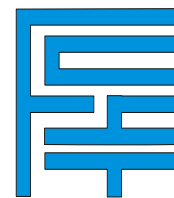


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**APOYO DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA
ASIGNATURA DE “MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN”**

Trabajo Dirigido Por Adscripción, Presentado Para Optar al Diploma Académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

Presentado por:

GIOVANNI JORGE ANAYA SÁNCHEZ
RAMIRO PABLO CHAOCA REYNAGA

Tutor: Ing. M.Sc. Fernando Arturo Ledezma Perizza

COCHABAMBA-BOLIVIA

Junio de 2009

DEDICATORIA:

*A mis padres y a mis hermanos,
por ser parte de este sueño
tan anhelado y hacerlo realidad*

Giovanni Jorge Anaya Sánchez

*A mi padre por apoyarme y por ser mi guía.
Mientras estuvo al lado mío.
A mi madre y a mis hermanos
por respaldarme hasta la culminación
de mi Carrera.*

Ramiro Pablo Chaoca Reynaga

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida y fortaleza en momentos difíciles.

A la Universidad Mayor De San Simón, por acogernos en sus aulas y a su plantel docente por darnos una excelente formación.

A nuestro Tutor, Ing. Fernando Arturo Ledezma Perizza, por brindarnos su valioso conocimiento, tiempo y apoyo incondicional durante la elaboración de este Trabajo.

Al Ing. Ramiro Orellana López (Gerencia de Planificación ABC) y a todos los profesionales que colaboraron en la realización de este trabajo.

Finalmente, gracias a todos los amigos y estudiantes de nuestra querida Universidad Mayor De San Simón.

FICHA RESUMEN

El presente trabajo constituye una referencia acerca de los diferentes tipos de materiales de construcción. En el se han incluido los materiales más utilizados actualmente en la rama de la construcción civil. Este texto pone al alcance del estudiante información valiosa acerca de la clasificación, aplicación, propiedades, ensayos y normas de calidad vigentes en nuestro país.

El texto se conforma de 3 partes y apéndices:

1ª PARTE - GENERALIDADES: Cap. 1 – Introducción, Cap. 2 - Agua, Cap. 3 - Roca y Agregados, Cap. 4 – Aglomerantes, Cap 5 – Aditivos, Cap. 6 – Morteros, Cap 7. – Hormigón, Cap 8. - Prefabricados de Hormigón, Cap. 9. - Materiales Cerámicos, Cap 10 - Materiales Metálicos, Cap. 11 - Madera, Cap. 12 - Vidrio, Cap. 13 - Plástico, Cap. 14 - Pintura, Cap. 15 - Asfalto y Materiales Bituminosos, Cap. 16 - Materiales para Instalación Sanitaria, Térmica y Acústica, Cap – 17 Materiales Para Instalación Eléctrica y Acústica, Cap. 18 - Materiales de Composición Tecnológica Avanzada, Cap. 19 - Máquinas livianas, Herramientas y equipo de Seguridad, Cap. 20 - Control de Calidad.

2ª PARTE - PROPIEDADES Y ENSAYOS: Cap. 21 – Propiedades Generales, Cap. 22 – Prpiedades y Análisis Químico del Agua para Hormigón, Cap. 23 – Roca y Agregados, Cap. 24 – Cemento, Cap. 25 – Morteros, Cap. 26 – Hormigón, Cap 27. - Prefabricados de Hormigón, Cap. 28. - Ladrillos, Cap 29 - Acero, Cap. 30 - Madera, Cap. 31 - Vidrio, Cap. 32 - Plástico, Cap. 33 - Pintura, Cap. 34 - Asfalto y Materiales Bituminosos.

3ª PARTE – DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN: Cap. 35 - Método ACI, Cap. 36 - Normativa Española.

Apéndice A (Muestrario fotográfico) y Apéndice B (Planillas para ensayos).

La calidad y los ensayos sobre los materiales estudiados se desarrollan bajo las normas ASTM y AASHTO para agua, roca, agregados, cemento, mortero, hormigón y madera.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
FICHA RESUMEN.....	iii
CONTENIDO PARTE 1.....	iv
PARTE 1 - GENERALIDADES	
CONTENIDO PARTE 2.....	viii
PARTE 2 – PROPIEDADES Y ENSAYOS	
CONTENIDO PARTE 3.....	x
DOSIFICACIÓN	
CONTENIDO DE APÉNDICES.....	xi
MUESTRARIO GRÁFICO	
PLANILLAS PARA ENSAYOS	
BIBLIOGRAFÍA	
GLOSARIO DE TÉRMINOS	
PROYECTO	
ÍNDICE DE NORMAS DE DESIGNACIONES DE NORMAS PARA ENSAYOS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi

Derechos Reservados © Junio-2009, Cochabamba – Bolivia
Universidad Mayor De San Simón
Facultad De Ciencias Y Tecnología
Carrera De Ingeniería Civil
Giovanni Jorge Anaya Sánchez (G.J.A.S.)
Ramiro Pablo Chaoca Reynaga (R.P.C.R.)

CONTENIDO

PARTE 1 – GENERALIDADES

CAPÍTULO 1 — INTRODUCCIÓN.....1

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1.1 — Antecedentes | 1.3 — Clasificación |
| 1.2 — Definición | 1.4 — Elección |

CAPÍTULO 2 — AGUA.....2

- | | |
|--------------------|------------------------------------|
| 2.1 — Antecedentes | 2.3 — Extracción |
| 2.2 — Definición | 2.4 — Clasificación y aplicaciones |

CAPÍTULO 3 — ROCA Y AGREGADOS.....3

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ROCA | AGREGADOS |
| 3.1 — Antecedentes | 3.6 — Antecedentes |
| 3.2 — Definición | 3.7 — Definición |
| 3.3 — Extracción | 3.8 — Extracción |
| 3.4 — Clasificación | 3.9 — Clasificación |
| 3.5 — Aplicaciones | 3.10 — Aplicaciones |

CAPÍTULO 4 — AGLOMERANTES.....10

- | | |
|---------------------|----------------------|
| CAL | YESO |
| 4.1 — Antecedentes | 4.7 — Antecedentes |
| 4.2 — Definición | 4.8 — Definición |
| 4.3 — Extracción | 4.9 — Extracción |
| 4.4 — Fabricación | 4.10 — Fabricación |
| 4.5 — Clasificación | 4.11 — Clasificación |
| 4.6 — Aplicaciones | 4.12 — Aplicaciones |

CEMENTO

- 4.13 — Antecedentes
- 4.14 — Definición
- 4.15 — Extracción y Fabricación
- 4.16 — Clasificación
- 4.17 — Aplicaciones

CAPÍTULO 5 — ADITIVOS.....24

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 5.1 — Antecedentes | 5.3 — Clasificación |
| 5.2 — Definición | |

CAPÍTULO 6 — MORTEROS.....31

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 6.1 — Antecedentes | 6.4 — Clasificación |
| 6.2 — Definición | 6.5 — Aplicaciones |
| 6.3 — Elaboración | |

CAPÍTULO 7 — HORMIGÓN.....	35
7.1 — Antecedentes	7.4 — Fabricación
7.2 — Definición	7.5 — Clasificación
7.3 — Dosificación	7.6 — Aplicaciones
 CAPÍTULO 8 — PREFABRICADOS DE HORMIGÓN.....	 38
VIGUETAS	LOSETAS
8.1 — Antecedentes	8.7 — Antecedentes
8.2 — Definición	8.8 — Definición
8.3 — Fabricación	8.9 — Fabricación
8.4 — Clasificación	8.10 — Clasificación
8.4 — Aplicaciones	8.11 — Aplicaciones
8.6 — Montaje	8.12 — Criterios de aceptación y rechazo
 OTROS PRODUCTOS	
8.13 — Columnas	
8.14 — Canaletas	
8.15 — Celosías	
8.16 — Cornisas	
8.17 — Cubremuros	
 CAPÍTULO 9 — MATERIALES CERÁMICOS.....	 45
LADRILLOS	TEJAS
9.1 — Antecedentes	9.7 — Antecedentes
9.2 — Definición	9.8 — Definición
9.3 — Extracción	9.9 — Extracción
9.4 — Fabricación	9.10 — Fabricación
9.5 — Clasificación	9.11 — Clasificación
9.6 — Aparejos	9.12 — Colocado
	9.13 — Elección del material
 AZULEJOS	
9.14 — Definición	
9.15 — Extracción	
9.16 — Fabricación	
9.17 — Aplicaciones	
9.18 — Clasificación	
 CAPÍTULO 10 — MATERIALES METÁLICOS.....	 57
FERROSOS	NO FERROSOS
10.1 — Antecedentes	10.7 — Definición
10.2 — Definición	10.8 — Fabricación
10.3 — Extracción	10.9 — Aplicaciones
10.4 — Fabricación	10.10 — Clasificación
10.5 — Clasificación	
10.6 — Aplicaciones	

CAPÍTULO 11 — MADERA.....	64
11.1 — Antecedentes	11.7 — Particularidades y anomalías de la madera aserrada
11.2 — Definición	11.8 — Deformaciones y Tolerancias (Pacto Andino)
11.3 — Estructura de la madera	11.9 — Medición de Madera Aserrada
11.4 — Extracción y transformación	
11.5 — Clasificación (Pacto Andino)	
11.6 — Aplicaciones	
CAPÍTULO 12 — VIDRIO.....	70
12.1 — Antecedentes	12.4 — Elección
12.2 — Definición	12.5 — Clasificación
12.3 — Fabricación	
CAPÍTULO 13 — PLÁSTICO.....	76
13.1 — Antecedentes	13.4 — Fabricación de tuberías de PVC
13.2 — Definición	13.5 — Reciclaje
13.3 — Extracción del PVC	13.6 — Clasificación
CAPÍTULO 14 — PINTURA.....	80
14.1 — Antecedentes	14.4 — Aplicaciones
14.2 — Definición	14.5 — Clasificación
14.3 — Fabricación	
CAPÍTULO 15 — ASFALTO Y MATERIALES BITUMINOSOS.....	84
15.1 — Antecedentes	15.4 — Fabricación
15.2 — Definición	15.5 — Aplicaciones
15.3 — Extracción	15.6 — Clasificación
CAPÍTULO 16 — MAT. PARA INS. SANITARIA, TÉRMICA Y ACÚSTICA.....	87
TUBERÍAS Y ACCESORIOS	CALEFONES
16.1 — Definición	16.4 — Antecedentes
16.2 — Aplicaciones	16.5 — Definición
16.3 — Colocación	16.6 — Clasificación
ACONDICIONADOS DE AIRE	INSTALACIÓN ACÚSTICA
16.7 — Antecedentes	16.10 — Antecedentes
16.8 — Definición	16.11 — Definición
16.9 — Clasificación	16.12 — Clasificación
CAPÍTULO 17 — MAT. PARA INS. ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN.....	103
MATERIALES PARA INS. ELÉCTRICA	AUTOMATIZACIÓN
17.1 — Antecedentes	17.5 — Antecedentes
17.2 — Definición	17.6 — Definición
17.3 — Clasificación	17.7 — Funciones de automatización
17.4 — Aplicaciones	17.8 — Objetivos

CAPÍTULO 18 — MAT. DE COMPOSICIÓN TECNOLÓGICA AVANZADA.....	109
18.1 — Antecedentes	18.3 — Clasificación
18.2 — Definición	18.4 — Aplicaciones
CAPÍTULO 19 — MÁQUINAS LIV., HERRAMIENTAS Y EQUIPO DE SEG.....	113
MÁQUINAS LIVIANAS	HERRAMIENTAS
19.1 — Definición	19.3 — Definición
19.2 — Clasificación	19.4 — Clasificación
EQUIPO DE SEGURIDAD	
19.5 — Definición	
19.6 — Clasificación	
CAPÍTULO 20 — CONTROL DE CALIDAD.....	122
20.1 — Definición	20.4 — Bases
20.2 — Requisitos	20.5 — Elementos
20.3 — Importancia	20.6 — Proceso de certificación

PARTE 1 – GENERALIDADES

CAPÍTULO 1 — INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES. Desde el comienzo de la civilización, los materiales junto con la energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida. Como los productos están fabricados a base de materiales, estos se encuentran en cualquier parte alrededor nuestro. Los más comúnmente encontrados son madera, hormigón, ladrillo, acero, plástico, vidrio, caucho, aluminio, cobre y papel. Debido al progreso de los programas de investigación y desarrollo, se están creando continuamente nuevos materiales.

Puesto que los productos deben pasar unos controles de calidad antes poder ser utilizados, la totalidad de los materiales empleados hoy día en la construcción están suministrados por empresas.

1.2 DEFINICIÓN. Los materiales naturales sin procesar (arcilla, arena, mármol) se suelen denominar **materias primas**, mientras que los productos elaborados a partir de ellas (ladrillo, vidrio, acero) se denominan **materiales de construcción**.

Sin embargo, en los procesos constructivos, muchas materias primas se siguen utilizando con poco o ningún tratamiento previo. En estos casos, estas materias primas se consideran también materiales de construcción propiamente dichos. Por este motivo, es posible encontrar un mismo material englobado en distintas categorías: por ejemplo, la arena puede encontrarse como material de construcción (lechos o *camas* de arena bajo algunos tipos de pavimento), o como parte integrante de otros materiales de construcción (como los morteros), o como materia prima para la elaboración de un material de construcción distinto (el vidrio, o la fibra de vidrio).

1.3 CLASIFICACIÓN. Los materiales se clasifican en general en los siguientes grupos:

- **Madera:** Se obtiene de la parte leñosa de los árboles. Se utiliza como combustible, para la industria papelera, para la fabricación de muebles, elementos de construcción (vigas, escaleras, etc.).
- **Plásticos:** Se obtienen artificialmente a partir del petróleo. Los plásticos se utilizan para fabricar tuberías, embalajes, recipientes, revestimiento de cables, etc.
- **Metales:** Se extraen de los minerales que forman parte de las rocas. Los metales se utilizan para estructuras y piezas de máquinas, herramientas, elementos de unión, componentes electrónicos, marcos de ventanas.
- **Pétreos:** Se extraen de las rocas. Son materiales pétreos el mármol, la pizarra, el vidrio, el yeso, el cemento, etc. Normalmente se utilizan como materiales de construcción.
- **Cerámicos:** Se obtienen moldeando arcillas y sometiendo después a un proceso de cocción a altas temperaturas en un horno. Un ladrillo y una teja, un botijo, una vajilla e, incluso, un lavabo son productos fabricados con materiales cerámicos.
- **Pinturas:** Es un producto de consistencia fluida que se aplica a una superficie y que con el tiempo confiere a dicha superficie propiedades de protección y decorativas.

1.4 ELECCIÓN. Al elegir un material para una determinada aplicación, habrá que tener en cuenta los siguientes factores:

- **Sus propiedades:** Dureza, flexibilidad, resistencia al calor, etc.
- **Las posibilidades de extracción y fabricación:** Las máquinas y herramientas de las que se dispone, la facilidad con que se trabaja.
- **Su disponibilidad:** La abundancia del material, la proximidad al lugar donde se necesita.
- **Costo y aplicación:** Precio y sus especificaciones técnicas.
- **Su impacto sobre el medio ambiente:** Si contamina, o es tóxico, o biodegradable.

Como otro factor no menos importante en la elección de ciertos materiales para su aplicación en ciertas estructuras, se puede mencionar también la **confortabilidad y aspecto** que otorga el material a una estructura (Vivienda, puente, etc.).

CAPÍTULO 2 — AGUA

2.1 ANTECEDENTES. El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. La forma en que estas moléculas se unen entre sí determinará la forma en que encontramos el agua en nuestro entorno; como líquidos, en lluvias, ríos, océanos, etc., como sólidos en témpanos y nieves o como gas en las nubes. El agua ha sido desde siempre elemento imprescindible en la construcción.

2.2 DEFINICIÓN. El **agua** (del latín aqua) es un compuesto formado por **dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O)**.

Es el único compuesto que puede estar en los tres estados (sólido, líquido y gaseoso) a las temperaturas que se dan en la Tierra.

2.3 EXTRACCIÓN. El agua es una sustancia que se encuentra en grandes cantidades en nuestro planeta. **El 97 % es agua salada**, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el **3 % de su volumen es dulce**. De esta última, un 1 por ciento está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.

2.4 CLASIFICACIÓN Y APLICACIONES. La clasificación del agua es de un amplio espectro pudiendo ir desde su origen, potabilidad, etc.; pero para efectos constructivos en ingeniería civil clasificamos el agua según su aplicación en el hormigón en:

- **Agua de amasado:** Se entiende por agua de amasado la cantidad de agua total contenida en el hormigón fresco. Esta cantidad es utilizada para el cálculo de la relación agua/cemento (A/C).

El agua de amasado esta compuesta por:

- El agua agregada a la mezcla.
- Humedad superficial de los agregados.
- Una cantidad de agua proveniente de los aditivos.

El agua de amasado cumple una doble función en la tecnología del hormigón: por un lado permite la hidratación del cemento y por el otro es indispensable para asegurar la trabajabilidad y la buena composición del hormigón.

Los requisitos físicos y químicos que el agua de amasado deberá cumplir, están especificados en la norma **ASTM C 94**. En ella se establecen los valores en cuanto a su influencia sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión.

- **Agua de curado:** El hormigón para fraguar y endurecer necesita una cierta cantidad de agua que reacciona químicamente con el cemento.

En las superficies expuestas al sol y principalmente al viento, el agua del hormigón se pierde rápidamente por evaporación, lo cual puede producir fisuras y grietas e impedir que el hormigón alcance la resistencia esperada.

Mantener el hormigón húmedo se denomina: **"curado del hormigón"**.

Este curado deberá comenzar inmediatamente después de efectuadas las operaciones de terminación de las superficies expuestas.

CAPÍTULO 3 — ROCA Y AGREGADOS

ROCA

- 3.1 ANTECEDENTES.** En el origen, cuando comenzó a enfriarse la corteza exterior, sólo existían la lava y las rocas producidas por su enfriamiento. A medida que la temperatura exterior desciende, la aparición de grandes extensiones de material sólido y la posibilidad de que el agua retenida en la atmósfera pudiera condensarse en forma de lluvia y, de este modo, correr sobre la roca hacia las zonas más deprimidas dieron origen a un proceso antes inédito: la destrucción de la roca expuesta y la acumulación de materiales nuevos: los sedimentos.

A medida que los espesores de sedimentos acumulados se hicieron cada vez mayores, y las condiciones en la parte más externa de la Tierra se hicieron menos severas, estos sedimentos fueron transformados en rocas.

- 3.2 DEFINICIÓN.** Son agregados de partículas minerales de dimensiones apreciables y de forma indeterminada. Los materiales derivados de las rocas, y que se emplean habitualmente en la construcción, reciben el nombre genérico de piedra.

- 3.3 EXTRACCIÓN.** Las rocas se forman según el esquema que se muestra a continuación:

Las rocas se extraen de las canteras o excavaciones, arrancándolas por medio de máquinas (piedras blandas), o por voladuras (piedras duras). En ambos casos se obtienen grandes bloques de roca sin una forma determinada. Para su uso en construcción es necesario realizar en primer lugar un desbaste, que es eliminar las partes más bastas de los bloques y prepararlas para la labra, que consiste en darles las dimensiones y formas requeridas.

Métodos de explotación:

- **Explotación a cielo abierto:** se realiza cuando la cantera se encuentra a poca Profundidad.
- **Explotación subterránea:** se lleva a cabo en el caso que la cantera se encuentre a una considerable profundidad.

A continuación se puede observar un diagrama de flujo que resume el proceso de extracción de la roca:

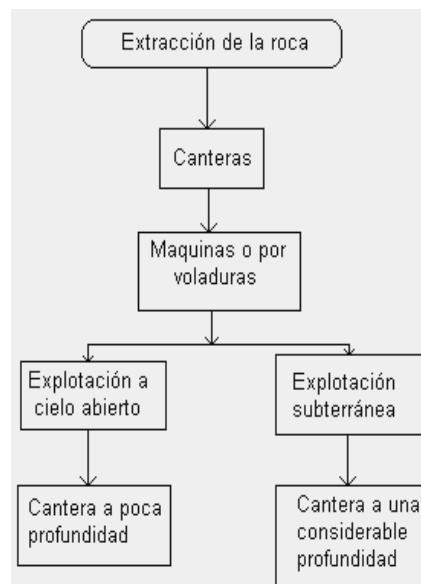


Fig.3.1. Proceso de extracción. Fuente: [Elaboración propia]

- 3.4 CLASIFICACIÓN.** De acuerdo a su origen geológico la roca se puede clasificar como: **ígneas, sedimentaria y metamórfica.**

- **Rocas ígneas o eruptivas:** Son rocas formadas por enfriamiento y solidificación de las masas fundidas de magma, del interior de la corteza terrestre, al salir al exterior. Las rocas ígneas están compuestas casi en su totalidad por minerales silicatos, y suelen clasificarse según su contenido de sílice. Las principales categorías son **ácidas o básicas**, siendo el granito ejemplo del primer grupo, y el basalto del segundo.

- **Ácidas (Granito):** Es una roca que cristaliza a partir de magma enfriado de forma lenta a grandes profundidades bajo la superficie terrestre. Está compuesta por **feldespato, cuarzo y mica**, y de algunos otros minerales. Presentan una estructura granular cristalina, con grano grueso, mediano o fino según las condiciones de enfriamiento. La coloración varía según abunde una clase de mineral u otra, siendo generalmente de color grisáceo, aunque podemos encontrar granitos negros, blancos, rojizos, etc.

Entre sus propiedades destaca su gran resistencia a las cargas, siendo un material muy duro, lo que dificulta su extracción; se labra mal, pero en cambio se pulen muy bien; presenta una resistencia a la helacidad baja, agrietándose también por la acción del fuego. Se emplea en toda clase de obras como pavimentos, zócalos, escalones, revestimiento de fachadas y ornamentaciones, etc. También se emplea para la obtención de gravas para la elaboración de hormigones.

- **Básica (Basalto):** Es la variedad más común de roca volcánica. Se compone casi en su totalidad de silicatos oscuros de grano fino. Suele ser de color gris oscuro, muy duro pero frágil, de elevada resistencia a la compresión. Es una piedra menos resistente a los agentes atmosféricos que el granito, siendo atacada por el agua carbonatada, que es capaz de disolverla dando lugar a terrenos sedimentarios. El basalto se emplea en pavimentos (pequeños adoquines), bordillos de aceras, construcción de diques, etc.

- **Rocas sedimentarias:** Las rocas sedimentarias están formadas por fragmentos pertenecientes a otras rocas más antiguas, y que han sido transformadas y erosionadas por la acción del agua y, en menor medida, del viento o del hielo glaciar.

Estos fragmentos se presentan en depósitos o sedimentos que forman capas o estratos superpuestos, separados por superficies paralelas, representando cada capa un periodo de sedimento.

Las rocas sedimentarias se clasifican según su origen en **mecánicas y químicas**.

- **Rocas mecánicas:** Se componen de partículas minerales producidas por la desintegración mecánica de otras rocas y transportadas hasta el lugar de depósito, sin deterioro químico. Las rocas mecánicas pueden a su vez dividirse en:

- **Rocas incoherentes:** Se originan al resquebrajarse las rocas, dando fragmentos que sucesivamente, por la acción de los agentes externos y/o el propio choque entre ellas, se van reduciendo y redondeando. Según el diámetro de estos fragmentos tenemos diferentes tipos de materiales: bloques > 500mm, cantos o guijarros 500-100mm, gravas 100-30mm, gravilla 30-15mm, garbancillo 15-5mm, arena 5-0.2mm, polvo y limo 0.2-0.002mm y arcillas 0.002-0.0001mm.

- **Rocas compactas:** Se forman a partir de las incoherentes por compresión o aglomeradas por una pasta o cemento. Se dividen según el tamaño de los fragmentos que se han compactado, así tenemos los conglomerados que están formados por cantos, gravas, gravillas o garbancillos, areniscas cuando se compactan arenas y pizarras cuando se compactan arcillas y limo.

- **Rocas químicas:** Pueden formarse por precipitación de sales disueltas o por la acumulación de restos orgánicos. Las rocas por precipitación proceden de la acumulación de las sales disueltas en agua, al evaporarse ésta, en lugares secos y cálidos. Dentro de este tipo destaca en sobremanera el yeso que es sulfato cálcico dihidratado. Las rocas de origen orgánicos proceden de la acumulación de restos de animales y plantas, destacando dentro de este grupo la caliza.

Calizas: Son rocas formadas por carbonato cálcico, pudiendo tener un origen químico por precipitación de soluciones bicarbonatadas u orgánico por acumulación de restos de caparzones o conchas de mar, formadas por las secreciones de CaCO_3 de distintos animales marinos.

Las calizas son de colores ocre, de dureza media, y fáciles de labrar y pulir. En general constituyen un excelente material de construcción. También se emplea en grandes cantidades como materia prima para la elaboración de cementos, y tratadas al fuego se calcinan dando cal.

- **Rocas metamórficas:** Las rocas metamórficas proceden de la transformación, en su composición mineralógica y estructural, de las rocas ígneas o sedimentarias debido a grandes presiones y/o temperaturas, producidas en el interior de la Tierra. Las rocas más importantes son el mármol y la pizarra.

- **Mármol:** Es una variedad cristalina y compacta de caliza metamórfica, que puede contener minerales accesorios como mica, serpentina, grafito, óxidos de hierro, etc. Estas impurezas proporcionan a los mármoles una amplia variedad de colores, que junto a la estructura del mismo, producen diferentes efectos y que sirven para su clasificación.

Según esta clasificación, los mármoles se dividen en:

- **Sencillos:** Que poseen un sólo color uniforme.
- **Policromos:** Que presentan diferentes colores.
- **Veteados:** Que presentan listas de color diferente al del fondo.
- **Arborescentes:** Si tienen dibujos veteados;
- **Lumaquetas:** Si contienen caracoles y conchas (proceden de las calizas lumaquetas); y
- **Brechas:** Formados por fragmentos angulosos de diferente coloración.

También es posible clasificar a los mármoles por el uso a que destinen, tenemos entonces:

- **Mármoles estatutarios:** que son de color uniforme.
- **Compactos:** Traslúcidos y de fácil labra.
- **Arquitectónicos:** Que son resistentes y de bellas coloraciones, empleados en pavimentos y decoración.

Una de las principales propiedades que caracterizan a los mármoles es el que se pueden pulir hasta obtener un gran brillo. Es además un material poco poroso, de dureza media-baja (3 en la escala de Mohs), que resiste bien el hielo pero poco el desgaste por rozamiento.

- **Pizarra:** Es una roca densa con grano fino, formada por el metamorfismo de esquisto micáceo y arcilla. El esquisto micáceo es el término común aplicado a las variedades de grano fino de roca sedimentaria formadas por consolidación de lechos de arcilla, mostrando laminaciones finas, paralelas a los planos de los lechos y a lo largo de las cuales la roca se rompe con fractura curva e irregular.

El proceso de metamorfismo produce la consolidación de la roca original y la formación de nuevos planos de exfoliación en los que la pizarra se divide en láminas características, finas y extensas. Aunque muchas rocas que muestran esta exfoliación se llaman también, por extensión, pizarras, la pizarra auténtica es dura y compacta y no sufre meteorización apreciable. La pizarra suele ser de color negro azulado o negro grisáceo, pero se conocen variedades rojas, verdes, moradas, etc.; son bastante blandas, pudiendo ser rayadas con un cuchillo y su tacto es suave, casi graso; son muy refractarias e impermeables, siendo estables al hielo. La pizarra se emplea en la construcción de tejados, como piedra de pavimentación y como "pizarras" o "pizarrones" tradicionales para escuela.

- 3.5 APLICACIONES.** En la actualidad, las rocas se emplean en la construcción como elemento resistente, decorativo en el recubrimiento de paredes y suelos, y como materia prima para la fabricación de otros materiales como cementos, piezas de cerámicas, etc., siendo este último su principal aplicación.

Tabla 3.1. Aplicaciones de algunas rocas. [9]

Roca	Aplicación.
Roca caliza (carbonato cálcico)	Muros de edificios. Fabricación de cemento.
Mármol	Suelos. Recubrimiento de paredes. Ornamentación en paredes y fachadas.
Granito (cuarzo, feldespato y mica)	Fabricación de hormigón. Pavimentos. Muros de edificios. Encimeras de cocina.
Pizarra (arcilla, cuarzo, mica y feldespato)	Cubiertas de edificios.
Piedra manzana	Cimientos y sobrecimientos.

AGREGADOS

3.6 ANTECEDENTES. Los áridos en sus diferentes formas se han usado desde siempre en aplicaciones muy variadas, tales como caminos, puentes, edificaciones, defensas, etc.

En la prehistoria ya se constata el empleo de bloques para conformar marcos y habitaciones destinadas a protegerse del medio ambiente. Luego, en el período precristiano existieron aplicaciones comprobadas de áridos para construir fortalezas y grandes edificaciones (por ejemplo las pirámides de Egipto y América Central).

En el comienzo de la Era Cristiana (400 a.C.-500 d.C.), el Imperio Greco-Romano hizo un aprovechamiento magistral de los áridos en caminos, puentes, estadios y otras magníficas estructuras a lo largo de Europa, África y Medio Oriente. En América, los incas y los aztecas construyeron caminos, puentes, edificios y templos en base a áridos menores y bloques de roca adecuadamente tallados.

En los siglos XIX y XX, hasta hoy, se ha diversificado la aplicación de los áridos para satisfacer las crecientes necesidades de la humanidad, llegándose en la actualidad a consumos extraordinariamente masivos en todos los países del mundo, generando en algunas vastas regiones el agotamiento de los yacimientos aprovechables.

3.7 DEFINICIÓN. Se denomina **grava o árido grueso** a las partículas rocosas de tamaño mayor a 5 mm. Pueden ser producidas por el hombre, en cuyo caso suelen denominarse piedra **partida o chancada**, y también naturales, en cuyo caso, suele suceder que el desgaste natural producido por el movimiento en los lechos de ríos haya generado formas redondeadas y se denominan **canto rodado**.

Las gravas recomendadas para su utilización pueden ser de origen silíceo (de río o cantera), de origen volcánico (basalto, andesita, etc.), o también calizas sólidas. En cambio gravas de origen sedimentario (dolomitas) o volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser analizadas previamente. No deben emplearse gravas que provengan de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables, ni porosas.

La **arena o agregado fino** son las partículas cuyo tamaño es menor a 5 mm.. Dentro este rango, las partículas mayores a 2 mm se denominan arenas gruesas y las menores arenas finas. Partículas menores a 0.08 mm se denominan finos de arena. Su aplicación o no en el hormigón depende de su procedencia al igual que la grava.

3.8 EXTRACCIÓN. Se pueden distinguir como fuentes de abastecimiento:

- **Bancos de sedimentación:** Son los bancos contruidos artificialmente para embancar el material fino-grueso que arrastran los ríos.
- **Cauce de río:** Corresponde a la extracción desde el lecho del río, en los cuales se encuentra material arrastrado por el escurrimiento de las aguas.
- **Pozos secos:** Son zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos.
- **Canteras:** Son lugares de explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen usualmente desde cerros mediante lo que se denomina tronadura o voladura (rotura mediante explosivos).
- **Canteras:** Son lugares de explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen usualmente desde cerros mediante lo que se denomina tronadura o voladura (rotura mediante explosivos).

La preparación de los materiales de canteras, graveras, y minas en general, se realiza mediante una serie de operaciones que pueden comprender las siguientes:

a) **Extracción de materiales sin consolidar.** Se la realiza de dos formas:

- En **vía seca**, cuando el yacimiento se encuentra por encima del nivel del agua (capa freática o nivel del curso de agua). Se emplea maquinaria minera y de obras públicas como bulldozers, palas cargadoras, retroexcavadoras, atacando el frente de material bien desde arriba, bien desde el pie del mismo, y avanzando la explotación mediante el método denominado minería de transferencia.
- En **vía húmeda**, cuando el yacimiento se encuentra por debajo del nivel del agua. Se utilizan, desde la orilla, dragalinas con cables y cuchara o retroexcavadoras (si la profundidad es escasa) y, desde el agua, dragas (en profundidades mayores).

b) **Precribado.** Tiene eliminar los elementos inferiores a un determinado calibre para no someterlos a manipulaciones inútiles subsiguientes.

c) **Trituración, fragmentación o machaqueo.** Consiste en el proceso de reducción del tamaño de los fragmentos de piedra sin reducirlos a polvo, para alcanzar fragmentos de las dimensiones deseadas a partir del todo uno

de cantera o gravera, para este cometido se utilizan equipos de mandíbulas, de percusión, los giratorios o los molinos de bolas o de barras. En las arenas y gravas de origen aluvial, únicamente se trituran los tamaños superiores y por lo tanto el número de etapas de trituración suele ser inferior.

Según la reducción obtenida, la fragmentación tomaría los nombres de:

- Machaqueo o fragmentación primaria para la reducción del todo uno hasta un calibre máximo, igual o superior a 100 mm.
 - Machaqueo o fragmentación secundaria para la reducción a un calibre comprendido entre 25 y 100 mm.
 - Granulación para la reducción a calibre entre 6,5 y 25 mm.
 - Trituración fina para la reducción en grano fino de 0,1 a 5 mm.
- d) **Clasificación granulométrica.** Consiste en pasar los materiales a granel a través de los orificios de un cedazo o criba, con objeto de separar sus fragmentos por grosores diferentes hasta alcanzar dimensiones superiores a 1 mm, luego a cedazos de mallas tupidas o tamices para la clasificación sobre mallas de 0,15 a 1 mm y finalmente a cernidos de clasificación en seco, sobre telas y finas de aberturas comprendidas entre 40 y 150 micrones. La operación final es la decantación diferencial, operación por diferencia de los pesos específicos de los elementos, también llamados gravimétricos.
- e) **Lavado.** Para obtener los materiales libres de impurezas y de polvo, se procede a varias operaciones de lavado realizadas en diversas fases del proceso.
- El lavado de la fragmentación o sobre productos premachacados tiene por objeto eliminar la arcilla e impurezas.
 - El lavado que se efectúa sobre criba para eliminar los residuos finos.
 - El lavado se hace en una fase cualquiera de la preparación, para eliminar el exceso de polvo.
- f) **Almacenamiento y envío.** Finalmente y gracias al control del proceso, se dispone ya de productos de calidad que responden a criterios bien precisos como son:
- La naturaleza de los áridos que es función del yacimiento.
 - Las características morfológicas del grano caras de fractura, redondez, lajosidad.
 - La granulometría precisa o la fracción granulométrica.

A continuación se puede observar un esquema que resume el proceso de extracción y tratamiento de los agregados detallado anteriormente.

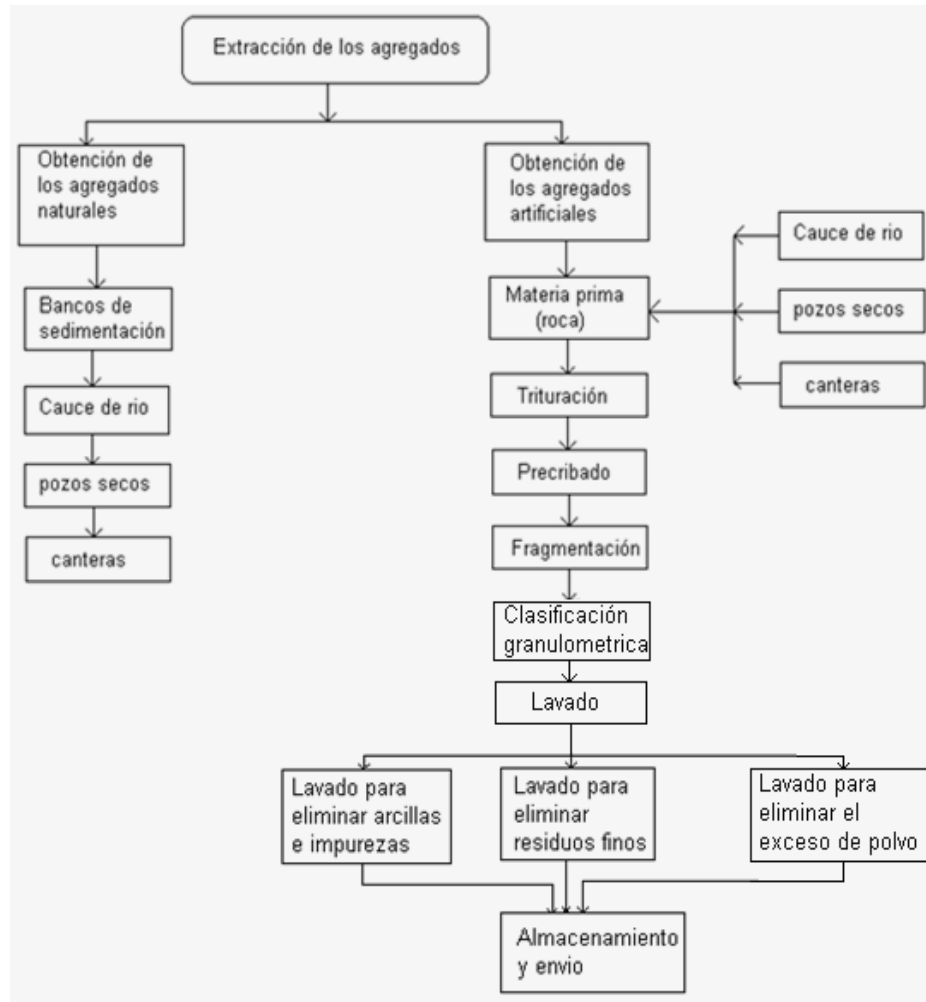


Fig. 3.2. Proceso de extracción de los áridos. Fuente: [Elaboración propia].

3.9 CLASIFICACIÓN. Las gravas se clasifican en:

- **Grava redondeada o canto rodado:** Estos áridos son partículas granulares de material pétreo de tamaño variable. Este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre. Estas gravas den como resultado hormigones más dóciles y trabajables y requieren menos cantidad de agua que las gravas chancadas.
- **Grava chancada o artificial.** En este caso actúan los procesos de chancado o triturado utilizados en las respectivas plantas de áridos. El material que es procesado, corresponde principalmente a minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita. Estas gravas tienen una mayor trabazón, otorgando al hormigón mayor resistencia mecánica y química
- **Arenas gruesas ASTM 00:** Las que pasan una malla de 5 mm. y son retenidas por otra de 2 mm.
- **Arenas medias ASTM 00:** Las que pasan una malla de 2 mm. y son retenidas por otra de 0.5 mm.
- **Arenas finas ASTM 00:** Las que pasan una malla de 0.5 mm. y son retenidas por otra de 0.02 mm.

3.10 APLICACIONES. Las gravas tienen distintas aplicaciones en la construcción, dependiendo de su clasificación (chancada o canto rodado) y gradación.

Tabla 3.2. Aplicaciones de gravas de diferentes granulometrías. Fuente: [12].

Tipo de grava	Gradación	Aplicación
Chancada	1 ½" A 7/8"	Tiene una calidad muy alta, normalmente se utiliza en calles de concreto y rampas para cochera.
Chancada	¾" A 3/8"	Es una grava uniforme un poco más gruesa y casi no tiene finos, su calidad es muy alta, es utilizada principalmente por contratistas que necesitan mantener una excelente calidad en sus colados.
Chancada	¾" A ¼"	Material con mayor demanda en construcción de vivienda y edificación en general, su calidad es muy alta, su característica principal es que tiene mucho porcentaje de granulometría pequeña.
Chancada	¾" A ¼"	Esta compuesta de grava triturada y sin triturar, su calidad es alta, es recomendable para firmes, colados para dalas.
Chancada (Gravilla)	½" y sello de 3/8"	Generalmente es utilizada en carreteras (es la gravilla que ponen al último en las carreteras), su calidad es muy alta.
Rodada	1 ½" A ¼"	Su calidad es media, por lo tanto su precio es más económico, puede servir para hacer losas gruesas, rampas para cocheras que no requieran tanta resistencia, algunos contratistas lo utilizan para techos.
Rodada	¾" A ¼"	De calidad media, es recomendable para firmes que no requieran de tanta resistencia (pisos), también es utilizada para aceras.



Fig. 3.3. Aplicaciones de los áridos. [9]

CAPÍTULO 4 — AGLOMERANTES

CAL

4.6 ANTECEDENTES. La cal se ha usado, desde la antigüedad, como conglomerante en la construcción; también para pintar (encalar) muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial, habitual en las antiguas viviendas mediterráneas.

Hasta la revolución industrial y el descubrimiento del cemento en 1824 en Pórtland, Inglaterra, la cal ha sido el principal ligante de la construcción en morteros, revestimientos y pinturas. Es responsable de la solidez de los edificios antiguos y medievales y ha participado en obras tan prestigiosas como los frescos y estucos que los decoran. Los constructores de entonces aplicaban las cales disponibles en las canteras y caleras más próximas. Es decir, la calidad de las cales reencontradas varía según la roca de extracción, pues de las calizas, las más puras proceden de las cales más grasas, es decir, aéreas y de las calizas las más arcillosas, pues las más ricas en sílice (margas) procedían las cales magras es decir hidráulicas.

4.7 DEFINICIÓN. Óxido de calcio o cal, de fórmula CaO . Esta palabra interviene en el nombre de otras sustancias, como por ejemplo la «cal apagada» o «cal muerta», que es hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 .

4.8 EXTRACCIÓN.- Un 20% de la superficie terrestre está cubierta de roca caliza. La cal se extrae de Los depósitos sedimentarios de carbonato de calcio se llaman caliches.

4.9 FABRICACIÓN.- El material utilizado para hacer mortero de cal se obtiene de las rocas calizas calcinadas a una temperatura entre 900 y 1200 °C, durante días, en un horno rotatorio o en un horno tradicional, romano o árabe. En estas condiciones el carbonato es inestable y pierde una molécula de óxido de carbono (IV).

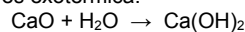
➤ **Cal viva:** La cal viva es obtenida a partir de la **calcinación** de la caliza (CaCO_3) por la siguiente reacción:

$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$

- a) **Trituración y tamizado:** Las piedras de cal minadas o desenterradas son aplastadas en rocas de tamaño más pequeño por una carrillera trituradora y luego es alimentada a tres cubiertas de filtrado por vibración la cual remueve cualquier fragmento grande o pequeño según el tamaño deseado.
- b) **Pesado:** Después que han sido filtrados, las piedras de cal son pesadas en una correa transportadora con balanzas construidas, como cuando este es transportado en una grúa de salto.
- c) **Horneado:** Las piedras de cal y el coque son elevadas a la parte superior del horno vertical donde son descargados.
- d) **Pulverización:** Las piedras calizas son desfragmentadas térmicamente en un horno donde la temperatura varía de 925 °C 1340 °C, siendo mantenidas con el fin de alcanzar la temperatura de disociación de los carbonatos encontrados en las piedras de cal. El dióxido de carbono en el horno de gas es soplado dentro de un sistema de lavado pero con una reducida ventilación.
- e) **Almacenamiento:** La cal viva producida en el horno es descargada en un mandil transportador el cual los lleva hacia un martillo de triturado.

Después que ha sido pulverizado por el martillo de triturado, este es descargado en una tolva elevadora para ser transportada al depósito de almacenamiento de la cal viva.

➤ **Cal apagada (hidratada):** La cal apagada se obtiene a partir de la cal viva haciendo una reacción estequiométrica con **agua**, esta reacción es exotérmica:



- a) **Hidratación:** La cal hidratada es producida básicamente por la mezcla de agua con la cal viva. El agua y la cal viva son alimentadas en un hidratador en un porcentaje de uno a uno.
- b) **Envejecimiento:** Esta cal apagada es colocada dentro de un tanque de avejantamiento donde se completa su hidratación.
- c) **Separación centrífuga:** Durante el proceso de separación, las partículas gruesas de cal son removidas desde la cal hidratada en forma de desechos. El siguiente paso, aparte de la producción en polvo listo para embolsar, es la mejora de la consistencia respecto a la fineza y pureza química de la cal hidratada producida.
- d) **Embolsado:** El polvo de cal hidratada es transportado a la máquina de embolsado la cual automáticamente distribuye la cal en bolsas de 25 Kg o en bolsas de una tonelada, completando el proceso.

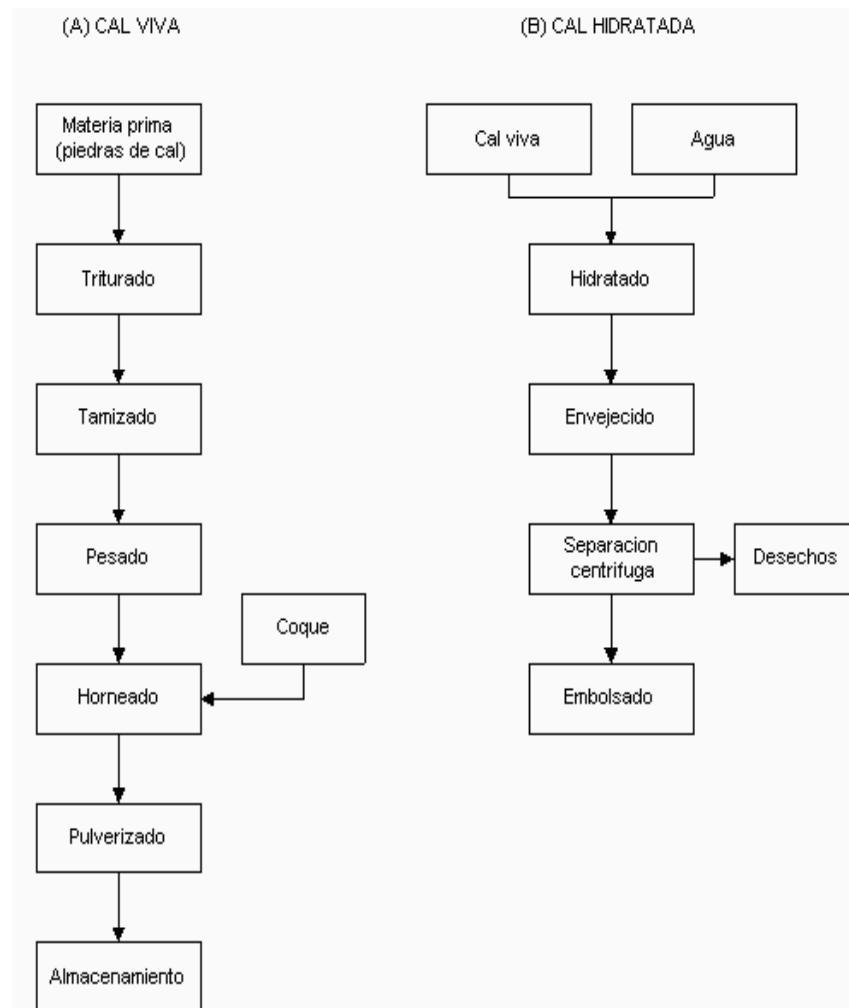


Fig. 4.1. Flujograma del proceso de fabricación de la cal viva y la cal hidratada. [16]

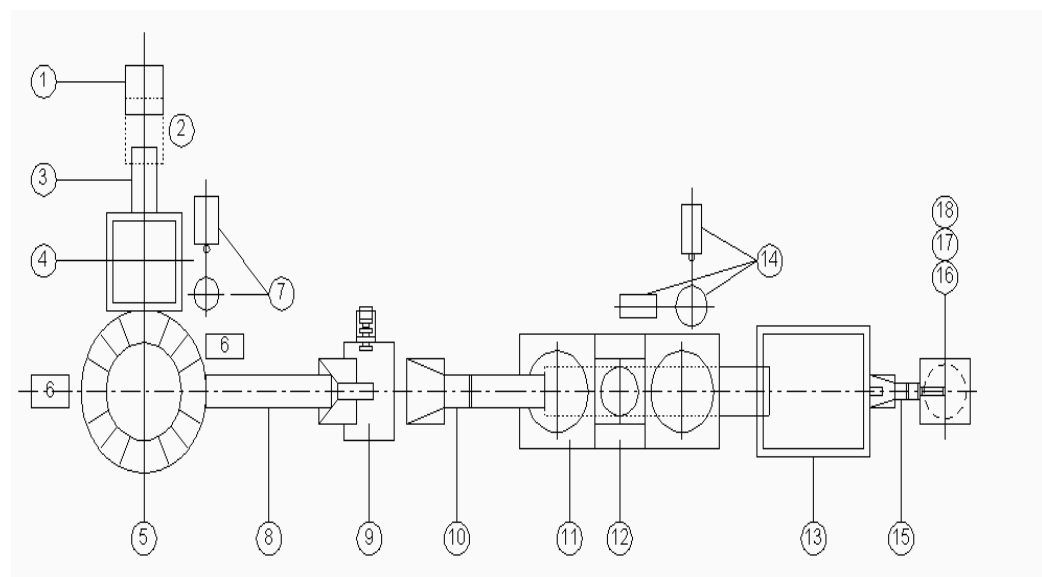


Fig. 4.2 Partes del equipo de fabricación. [16]

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1) Trituradora de mordazas. | 11) Depósito de cal triturada. |
| 2) Tamiz. | 12) Hidratador de cal con sistema alimentador de agua. |
| 3) Correa pesadora. | 13) Tanque de añejamiento con transportador de husillo. |
| 4) Extractor de salto. | 14) Sistema lavador de vapor y polvos. |
| 5) Hornos de cal. | 15) Elevador de baldes o contenedores. |
| 6) Sopladores. | 16) Separador centrífugo Gayco. |
| 7) Sistema lavador de gas horneado. | 17) Depósito de cal hidratada. |
| 8) Transportador de mandil. | 18) Dispositivo de empaque. |
| 9) Martillo triturador. | |
| 10) Elevador de baldes. | |

4.5 CLASIFICACIÓN. Existen dos tipos de cal: la cal viva (CaO), la cal apagada (Ca(OH)_2) también existe la lechada de cal que no es mas que cal hidratada con un exceso de agua.

Según el tipo de caliza utilizada, la cocción permite la fabricación de varios tipos de cal:

- **Cal aérea:** La calcinación de la “cal aérea” se produce por la cocción de la caliza pura (carbonato de calcio) a alrededor de 900 grados y está acompañada de una pérdida del 45% de su peso, correspondiente a la pérdida de gas carbónico. Tras la extinción de la cal viva (óxido cálcico) resultante de la cocción, se obtiene la cal apagada apta para su aplicación en la construcción (hidróxido cálcico). Por producir mucho calor, el proceso de extinción se hace en fábrica o bien por personal especializado. El agua, añadida en la elaboración del mortero a base de cal y arena, efectúa el inicio de la carbonización, una reacción lenta de varios meses que exige la presencia de agua y gas carbónico del aire a la vez. Una vez evaporada el agua, la calcinación sigue con el vapor del agua presente en el aire que tiene una afinidad con el gas carbónico (forman ácido carbónico). La calcinación entonces se nutre del gas carbónico presente en este ácido.
- **Cal dolomítica:** En las calizas dolomíticas el carbono de calcio está asociado al carbonato de magnesio. Tras su cocción a temperaturas inferiores a 900 grados se obtiene una cal aérea.
- **Cal hidráulica natural:** Son raras las calizas puras. Casi siempre aparecen mezcladas con arcillas, ricas en elementos químicos como el hierro, el aluminio y, sobre todo, el sílice y de las cuales procede la Cal hidráulica natural. Entre 800 y 1.500 grados (en general alrededor de 900 grados), el calcio de la caliza se combina con dichos elementos formando silicatos, aluminatos y ferro-aluminatos de calcio. Al contacto con el agua estos cuerpos quieren formar hidratos insolubles lo que confieren al ligante un carácter hidráulico. Al contacto con el aire húmedo, la cal y los hidratos así formados carbonizan con el gas carbónico del aire. Esta reacción dura varios meses y es la parte aérea del proceso. Los científicos del siglo XIX intentaron clasificar las cales hidráulicas según su índice de hidráulicidad, dependiente de su contenido de arcilla (entre 5 y 30%). En la actualidad se producen cales hidráulicas con baja y alta hidráulicidad formando 3 clases de resistencia de las cuales las más frecuentes son la clase NHL 5 (la más resistente entre las cales hidráulicas naturales con una resistencia mínima a la compresión 28 días = 5 MPa y un contenido de arcilla de la caliza procedente de entre 15-20%) y la clase NHL 3,5 (resistencia mínima a la compresión 28 días = 3,5 Mpa, contenido de arcilla de la caliza procedente = 8-15%) y menos frecuente la clase NHL 2 con un contenido muy bajo de arcilla y una resistencia final a la compresión poco superior a la de una cal aérea. Las cales de hidráulicidad algo superiores a la de las cales hidráulicas naturales se denominan “cales hidráulicas artificiales” (cales hidratadas) ya que contienen sustancias añadidas antes o después de la cocción, como son, entre otros:
 - Clinker, son silicatos y aluminatos hidratados, obtenidos por cocción encima de la sinterización (1.500 grados).
 - Puzolanas de origen natural (volcánico) o bien artificial (mezcla de sílice, aluminio y óxido férrico).
 - Cenizas volantes, que provienen de la combustión de petróleo.
 - Escorias siderúrgicas.
 - Filleres calizos.
- **Cales hidráulicas artificiales:** Hablando de cales hidráulicas artificiales ya entramos en el mundo de los cementos “naturales” (cementos cocidos bajo la sinterización) ya que sus elementos constitutivos son prácticamente iguales. El cemento Pórtland sería el resultado de una cocción de estos elementos con temperaturas mucho más altas (encima de la sinterización). De esta manera se obtiene un ligante para morteros

rígidos y con alta resistencia a la compresión debido a un proceso de endurecimiento exclusivamente hidráulico y equivalente a la pérdida de las cualidades bioclimáticas, de buena trabajabilidad y retención de agua así como de buen aspecto frente a un mortero de cal. Además de ser incompatibles con toda clase de materiales que componen los edificios del patrimonio a restaurar, los morteros de cemento, aparte de usarlos si acaso para la cimentación, son absolutamente innecesarios para levantar un edificio de vivienda unifamiliar o plurifamiliar con pocas plantas.

- 4.6 APLICACIONES.** El hidróxido de calcio reacciona otra vez con el óxido de carbono (IV) del aire para formar de nuevo carbonato de calcio (cal). En esta reacción la masa se endurece. Por esto el óxido de calcio forma parte de formulaciones de morteros, especialmente a la hora de enlucir paredes de color blanco.

La cal se usa principalmente en enlucidos y estuco principalmente como cal hidráulica la cual contiene gran cantidad de impurezas silíceas por que debido a esto la cal hidráulica fragua bajo el agua y tiene propiedades plásticas, generalmente se usa como sustituto del cemento, la cal hidratada se usa para la fabricación de ladrillos de cal los cuales consisten en la cal hidráulica mas arena los cuales juntos forman silicatos monocálcicos los cuales tienen propiedades aislantes, por esto mismo se agrega a algunas carreteras de arena cal hidráulica para formar silicatos sobre esta y así formar un "cemento natural" donde obviamente no se requiere cal de gran pureza.

- **Morteros para cimentaciones y asentamientos de piedra natural y bloques de fábrica:** La cal aérea aporta mayor trabajabilidad y flexibilidad debido a una mayor finura frente a la cal hidráulica natural. Pero es preferible la cal hidráulica ya que aparte de buena trabajabilidad y flexibilidad tiene mayor resistencia a la compresión y una mayor resistencia inicial, con la ventaja de poder adelantar el trabajo rápido con ahorro de tiempo y dinero. Además tolera las transferencias de humedades y sales minerales. Gracias a su mayor endurecimiento inicial la cal hidráulica natural permite al constructor realizar trabajos en el exterior durante todo el año, también en los meses del invierno, siempre que se proporcione una protección contra calores, hielo y aguas pluviales durante las primeras 72 horas de cura.
- **Construcción de piscinas naturales y estanques (almacenaje de aguas pluviales, etc.):** Cal hidráulica natural, ya que es más impermeable, más resistente a la compresión, más resistente a sales minerales y capaz de endurecerse incluso debajo del agua, sin la presencia de aire.
- **Revestimientos exteriores e interiores:** Los morteros para revestimientos exteriores, en todo caso serían a base de cal hidráulica natural, ya que tiene la mayor resistencia mecánica, la mayor impermeabilidad y la mejor resistencia a agresiones ambientales así como influencias marítimas. Los revestimientos interiores podrían estar compuestos de un revestimiento base de mortero de cal hidráulica natural y un acabado fino (en una o varias capas) a base de mortero de cal aérea, sin o con pigmento, lo que en su totalidad es un estuco de cal. La elevada finura y máxima trabajabilidad de la cal aérea, que se puede aumentar aún más trabajando con cal grasa en pasta, es necesaria para un buen resultado final del acabado. Su elevada porosidad es responsable para un efecto máximo de compensación de vapores de agua en la vivienda así como un excelente aislamiento térmico.
- **Lechadas y pinturas:** Para la fijación de una superficie con mala adherencia, se podrían aplicar una o varias capas de lechada de cal aérea o cal hidráulica natural. Para la fijación de superficies arenosas es aconsejable la cal hidráulica. Para aumentar la adherencia de un soporte justo antes de revestir da más efecto la lechada de cal aérea, la más grasa posible. Las pinturas serían a base de cal aérea (color más blanco), preferiblemente cal grasa en pasta, diluida con agua y si acaso mezclada con pigmentos aptos para la cal. La cal en pasta, para pintar, debe estar elaborada de las capas superiores (con ausencia de partículas gordas sin apagar) de la cal que ha reposado bajo el agua durante un tiempo de meses o años. Es aconsejable añadir a la pintura un estabilizante natural que entrará en reacción con la cal, como la caseína, por ejemplo, ya que de esta forma se aumenta su resistencia al tacto. La humidificación del soporte y el control de la desecación de la capa de pintura es de gran importancia ya que la falta de agua es incompatible con la carbonización de la cal. El ámbito de aplicación de pinturas de cal es más bien en interiores ya que éstas son sensibles a las variaciones climáticas (hielo, sol, viento y humedad). Pues exigen un alto grado de mantenimiento en exteriores.
- **Fijación de tejas, solería (interior y exterior) y piezas de decoración y murales:** Tejas y solería con cal hidráulica natural, ya que interesa resistencia mecánica así como máxima impermeabilidad.

Para la fijación de piezas decorativas cerámicas o de piedra natural en superficies verticales, además de elaborar un mortero con alto contenido de cal y óptima granulometría, se podría aplicar un mortero a base de cal hidráulica (resistencia mecánica y buena adherencia) y pasta de cal grasa (aumento de adherencia). El soporte, si fuese necesario, se podría preparar con una lechada de cal grasa.
- **Estabilizar tierra con cal:** Se puede estabilizar la tierra para la fabricación de adobes o tapial y conseguiremos aumentar su resistencia mecánica así como su resistencia al agua.

Los suelos muy arcillosos (40% o más) se estabilizan mejor con cal aérea. Los suelos muy arenosos se estabilizan mejor con cal hidráulica para ganar más resistencia. Aparte de mezclarlo todo bien, para asegurar un buen proceso de endurecimiento, las mezclas de tierra y cal hidráulica se deben poner en obra pronto, evitando el secado rápido, ya que, si no, se puede perder con facilidad el 50% de resistencia. La cal viva en polvo puede ser utilizada para estabilizar pero tiene la desventaja de producir mucho calor y puede dañar peligrosamente la piel.

Por causa del calor de hidratación tiende a secar el suelo rápidamente con el riesgo de dilatación. En general se aplica un 5% de estabilizante ya que menos cal casi significa una pérdida de resistencia. La estabilización no es una ciencia exacta por ello depende del técnico o constructor, es mejor hacer bloques de prueba para realizar ensayos. El propósito de estos ensayos es encontrar la menor cantidad de estabilizante que satisfaga los requerimientos.

YESO

4.7 ANTECEDENTES. El yeso es uno de los más antiguos materiales empleado en construcción. En el período Neolítico, con el dominio del fuego, comenzó a elaborarse yeso y utilizar para guarnecidos, unir las piezas de mampostería y sellar las juntas de los muros de las viviendas, sustituyendo al mortero de barro. En *Çatal-Huyuk*, durante el milenio IX a. C., encontramos guarnecidos de yeso y cal, con restos de pinturas al fresco. En la antigua Jericó, en el milenio VI a. C., se usó yeso moldeado. En el Antiguo Egipto, durante el tercer milenio a. C., se empleó yeso para sellar las juntas de la Gran Pirámide de Giza, y en multitud de tumbas como revestimiento y soporte de bajorrelieves pintados. El palacio de Cnosos contiene revestimientos y suelos elaborados con yeso. Los Sasánidas utilizaron profusamente el yeso en albañilería. Los Omeyas dejaron muestras de su empleo en sus alcázares sirios, como revestimiento e incluso en arcos prefabricados.

Durante la Edad Media, principalmente en la región de París, se empleó el yeso en revestimientos, forjados y tabiques. En el Renacimiento para decoración. Durante el período Barroco fue muy utilizado el estuco de yeso ornamental y la técnica del *staff*, muy empleada en el Rococó.

En el siglo XVIII el uso del yeso en construcción se generaliza en Europa. Lavoisier presenta el primer estudio científico del yeso en la Academia de Ciencias. Posteriormente Van t'Hoff y Le Chatelier aportaron estudios describiendo los procesos de deshidratación del yeso, sentando las bases científicas del conocimiento ininterrumpido posterior.

4.8 DEFINICIÓN. El yeso es un producto preparado básicamente a partir de una piedra natural denominada algez, mediante deshidratación, al que puede añadirse en fábrica determinadas adiciones para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado directamente. También, se emplea para la elaboración de materiales prefabricados.

El yeso como producto industrial es sulfato de calcio hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), también llamado comúnmente "yeso cocido". Se comercializa molido, en forma de polvo.

4.9 EXTRACCIÓN. El algez se extrae de las canteras en que se encuentra por explotación a cielo descubierto ó en galería, siguiendo los métodos ordinarios, pero adoptando precauciones especiales por su poca resistencia y su socavabilidad por el agua.

A igualdad de condiciones, se deben explotar las canteras en que el algez contenga sílice atacable y caliza, porque estas sustancias comunican al yeso buenas cualidades; y evitar la extracción del algez mezclado con arena, gravilla, etc., porque estas materias perjudican al yeso y disminuyen su valor

4.10 .FABRICACIÓN. La fabricación del yeso consiste en la calcinación del mineral también denominado algez. Si se aumenta la temperatura hasta lograr el desprendimiento total de agua combinada fuertemente se obtienen durante el proceso diferentes yesos de construcción, los que de acuerdo con las temperaturas crecientes de deshidratación pueden ser:

- **Temperatura ordinaria:** Piedra de Yeso o Sulfato de Calcio Bihidratado.
- **107°C:** Formación de Sulfato de Calcio Semi Hidratado.
- **107°C – 200°C:** Desección del Semi Hidrato, con fraguado más rápido que el anterior (Yeso comercial para Estuco).
- **200°C- 300°C:** Yeso con ligero residuo de agua, de fraguado lentísimo y de gran resistencia.
- **300°C – 400°C:** Yeso de fraguado aparentemente rápido, pero de muy baja resistencia.
- **500°C- 700°C:** Yeso Anhidro o Extra cocido, de fraguado lentísimo o nulo (Yeso muerto).
- **750°C – 800°C:** Empieza a formarse el Yeso Hidráulico.
- **800°C – 1000°C:** Yeso Hidráulico normal o de Pavimento.
- **1000°C – 1400°C:** Yeso Hidráulico con mayor proporción de cal libre y fraguado más rápido.

Proceso:

- **Cochura:** El algez pierde su agua de combinación de **120° á 100°** y se transforma en **sulfato cálcico anhidro**, que al batirse con agua se hidrata y cristaliza en masa. La temperatura de calcinación más conveniente para un fraguado rápido es la de 140°, por las razones que se dirán al ocuparnos del fraguado del yeso; pero cualquiera que sea aquélla, hay que cuidar no llegue á 160°, porque el yeso así obtenido recupera el agua muy lentamente. El yeso no se hidrata si ha estado sometido á la temperatura del calor rojo.

Cualquiera que sea el procedimiento de calcinación, la carga del horno debe arreglarse para obtener resultados homogéneos. Los diferentes bancos de algez dan productos muy distintos; pero con mezclas bien dispuestas en las proporciones que aconseje la experiencia, se puede preparar yeso excelente.

La cochura del algez puede ser intermitente ó continua. El horno que se emplea en el primer procedimiento, llamado de *campo* ó de *campaña*, se reduce á tres muros rectos, dos de ellos paralelos entre sí y el tercero perpendicular á ambos, entre los cuales se coloca el algez sobre bovedillas formadas con la misma piedra, disponiendo los trozos de mayor tamaño en la parte inferior y los fragmentos más pequeños y el polvo en la superior.

Estos hornos pueden ser cubiertos ó descubiertos; en el primer caso la techumbre es de tejas, y descansa sobre una armadura sencilla, disponiéndose las tejas de modo que dejen paso fácil á los productos de la combustión. Debajo de las bovedillas se introduce leña ó ramaje, al que se prende fuego, sosteniendo la combustión durante ocho ó doce horas para calcinar completamente el algez por la acción de la llama y los gases calientes que atraviesan la masa dispuesta en el horno. Durante la calcinación el algez pierde próximamente la cuarta parte de su peso, que es el correspondiente al agua de combinación y de cantera, y cuando esto ocurra en toda la masa es cuando se debe suspender la cochura y dejar enfriar el yeso. Los obreros conocen que el yeso está bastante cocido en su aspecto, en que es suave, untuoso al tacto y se pega á los dedos, y además saben cuándo la cochura ha terminado por el aspecto de los humos.

La calcinación del algez puede hacerse en hornos de hogar lateral ó central, análogos á los descritos para la cochura de las cales grasas, en los cuales puede hacerse la calcinación intermitente ó continua usando combustible de llama larga, pero adoptando precauciones especiales en el caso de usar hullas, para que el yeso quede blanco.

Se puede también hacer la cochura del algez en montones formados por capas alternadas de combustible y piedra de yeso, adoptando una disposición análoga á la descrita en los hornos de campaña para la obtención de la cal grasa. Pero como el yeso es muy blando, al deshacer los montones una parte de él se reduce á polvo, mezclándose con las cenizas, y el producto obtenido tiene color oscuro, por lo que recibe el nombre de *yeso negro*. El *yeso negro* se emplea en las obras que hayan de quedar enlucidas y para abono de las tierras pobres en cal.

- **Empleo del vapor:** Para obtener yeso muy fino se puede hacer la cochura, por el vapor de agua, en un aparato (fig.), que se reduce a un generador de vapor, provisto de un serpentín para recalentar a este y tres tinas de fábrica unidas a aquél y entre sí por tubos provistos de llaves, que permiten abrir o cerrar a voluntad las comunicaciones.

El vapor procedente del serpentín se hace pasar sucesivamente por dos de las tinas, mientras se descarga y carga la tercera, consiguiéndose la calcinación en la primera y que ésta empiece en la segunda; terminada la cochura en la primera tina, se hace pasar el vapor recalentado por la segunda y la tercera, en el orden que se citan, mientras se descarga y carga de nuevo la primera, y se continúa de modo análogo. Con este procedimiento se obtiene un yeso bastante bueno y muy blanco, con facilidad y economía y en grandes cantidades.

- **Cochura en hornos helicoidales:** En las fábricas modernas la calcinación del algez suele hacerse empleando un tostador de helicoide, cuya inclinación y velocidad se fijan de modo que las piedras se cuezan al recorrer el cilindro que se calienta por el exterior. Otras veces, en el interior del helicoide se inyecta vapor de agua recalentado, lo que parece introduce notable economía. Cualquiera de los dos métodos produce una cochura muy uniforme y yeso de buena calidad.
- **Molido y cernido:** El yeso, después de extraído, se muele en molinos de fundición muy sólidos, análogos á los empleados en el molido del café, ó con molinos de piedras en que muelas de piedra ruedan en una caja en forma de corona, cuyo fondo y paredes son también de piedra. El molido no debe ser demasiado perfecto, porque cuando esto ocurre, el yeso pierde parte de sus propiedades plásticas.

Después del molido se hace pasar el yeso por un tamiz de 144 mallas por centímetro cuadrado; el residuo sobre el cedazo se muele de nuevo, y el polvo que pasa por él se apila en los almacenes ó se envasa en sacos de 25 á 40 litros de capacidad.

El yeso se puede conservar en barricas herméticamente cerradas, ó en montones formados en un sitio bien seco, que se riegan ligeramente en su superficie para hacer que fragüe una capa delgada y proteja al resto de la masa de la acción del aire húmedo.

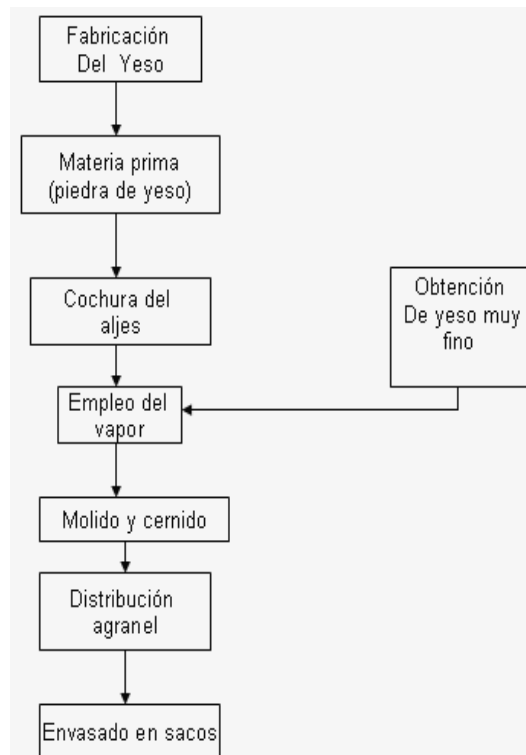


Fig. 4.3. Flujograma resumen del proceso de fabricación del yeso. Fuente: [Elaboración propia].

4.11 CLASIFICACIÓN.- Una forma de clasificación es:

- **Tipo I** → yeso parís.
- **Tipo II** → yeso de impresiones.
- **Tipo III** → yeso piedra.
- **Tipo IV** → yeso piedra extraduro o Densita.
- **Tipo V** → yeso de alta resistencia y expansión

Los yesos de construcción se pueden clasificar en:

- **Yesos artesanales, tradicionales o multi-fases:**
 - **El yeso negro** es el producto que contiene más impurezas, de grano grueso, color gris, y con el que se da una primera capa de enlucido.
 - **El yeso blanco** con pocas impurezas, de grano fino, color blanco, que se usa principalmente para el enlucido más exterior, de acabado.
 - **El yeso rojo**, muy apreciado en restauración, que presenta ese color rojizo debido a las impurezas de otros minerales.
- **Yesos industriales o de horno mecánico:**
 - **Yeso de construcción (bifase):** Puede ser grueso o fino.
 - **Escayola:** Es un yeso de más calidad y grano más fino, con pureza mayor del 90%.
- **Yesos con aditivos:** Controlado de construcción, finos especiales, controlado aligerado, de alta dureza superficial, de proyección mecánica, aligerado de proyección mecánica, yesos-cola y adhesivos, de brazo.

4.12 APLICACIONES.- El yeso es un mal conductor del calor, por lo tanto un buen aislante térmico. Es utilizado en la construcción, escayolados, estucados.

- En **construcción** debido a sus excelentes propiedades bioclimáticas, de aislamiento y regulación higrométrica, mecánicas y estéticas se utiliza en guarnecidos, enlucidos, prefabricados y relieves arquitectónicos, proporcionando bienestar y comodidad. Esencial como agente retardante en la producción de cemento.
- En **cerámica** para la elaboración de moldes, aparatos sanitarios.

Es utilizado profusamente en construcción como pasta para guarnecidos, enlucidos y revoques; como pasta de agarre y de juntas. También es utilizado para obtener estucados y en la preparación de superficies de soporte para la pintura artística al fresco.

Prefabricado, como paneles de yeso para tabiques, y escayolados para techos.

Se usa como aislante térmico, pues el yeso es mal conductor del calor y la electricidad.

Sus aplicaciones son múltiples: en albañilería (confección de morteros simples para la construcción de tabiques y bóvedas para formación de cielos rasos, revocos y enlucidos, esgrafiados, estucos, etc.) en la fabricación de placas machiembradas para techos falsos, artesonados, pisos, florones y motivos de adorno.

- **Yeso natural triturado:** De la misma forma, el polvo de yeso crudo se emplea en los procesos de producción del cemento Portland, donde actúa como elemento retardador del fraguado. Es utilizado para obtener ácido sulfúrico, también se usa como material fundente en la industria.

- **Tabiques y bóvedas:** Las pastas de yeso, además de emplearse en construcción como morteros, forjados, enlucidos y blanqueos, tienen aplicaciones especiales en los tabiques y muros, en los estucos y en el moldeo. En algunas ocasiones se han fabricado tabiques enteros de yeso, que se ejecutaban del mismo modo que la fábrica de tapial, ó poniendo en obra ladrillos de yeso, previamente confeccionados, unidos por mortero del mismo material.

Más frecuente para la construcción de tabiques es el empleo del cascote de yeso procedente de los derribos de edificios, que en grandes trozos se colocan en obra, tomándolos con mortero de yeso. Esta construcción de muros divisorios tiene las mismas ventajas que las anteriores y resulta mucho más económica.

Con los morteros de yeso y ladrillo se construyen las llamadas *bóvedas tabicadas*, con las que se pueden salvar luces considerables y aumentar, por consiguiente, el ancho de las crujiás, sin necesidad de emplear cimbras; por lo que resultan obras muy económicas.

- **Estucos:** Sustituyendo el agua del batido de las pastas de yeso por agua de cola, se obtienen mezclas más duras que las ordinarias, susceptibles de adquirir pulimento y brillo cuando se tratan de modo conveniente, que se emplean en enlucidos, recibiendo el nombre de *estuco de yeso ó escayola*.

El yeso empleado en los estucos es yeso espejuelo de primera calidad, finamente molido y cernido en un tamiz de seda muy fino.

Para estucar un muro se empieza por guarnecerlo y enlucirlo con yeso blanco extendido y alisado con la llana; sobre este enlucido, después de bien seco, se extiende con igualdad el yeso batido con una disolución de gelatina, formando una capa de dos a tres milímetros de grueso, que cuando está bien seca se apomaza, se frota con trípoli y un pedazo de fieltro, y sacando brillo con una muñeca mojada en agua de jabón al principio y en aceite al final. Las superficies estucadas han de estar perfectamente planas, por quedar muy visibles las desigualdades con el pulimento, y para sacar el brillo es necesario frotar sin interrupción, porque de lo contrario el estuco queda mate.

El estuco que acabamos de describir es el estuco blanco, que se puede colorear y vetear agregando á la pasta de yeso y cola óxidos metálicos ó sustancias colorantes, con lo que se logra que su parecido con los mármoles sea tal, que sólo se distinguen por la sensación de frío que los últimos producen al tocarlos.

Los estucos de yeso sólo se pueden emplear en el interior de habitaciones; cuando se trata de estucar fachadas de edificios ó paredes en lugares húmedos, se hace uso del *estuco de cal*, que se prepara mezclando por partes iguales cal blanca muy bien cocida, perfectamente apagada por inmersión y molida sobre mármol, con mármol blanco ó alabastro yesoso en polvo muy fino y cernido por tamiz de seda.

Preparada la mezcla, y después de molida para hacerla lo más íntima posible, se bate con agua y se extiende sobre el muro á estucar, después de bien mojado y de haberle dado una ó varias manos de estuco desleído en agua y aplicado con brocha. Este estuco se pule con un trapo humedecido algo basto, ó con bruñidores de acero, y puede colorarse como el estuco de yeso.

- **Yeso alúmbrico:** Llamado también *mármol artificial*, tiene más dureza, es algo menos mate que el yeso ordinario y es algo translúcido, circunstancias por las cuales puede sustituir á éste en el vaciado de objetos artísticos y en la preparación de la escayola.

Calcinado el algez como en la preparación del yeso ordinario hasta eliminar el agua de cristalización, se sumerge en un baño de agua saturada de alumbre durante unas seis horas próximamente; después de transcurrido este tiempo, se extrae del baño, se seca al aire y se le hace sufrir una segunda cochura, en la que se eleva la temperatura al rojo oscuro. El producto obtenido de esta calcinación, después de molido como el yeso ordinario, es el yeso alúmbrico, que se puede batir con agua potable ó con una disolución de alumbre.

El yeso alúmbrico fragua con más lentitud que el yeso ordinario, pues se conserva blando después de varias horas de amasado; admite más arena, y el mortero formado con volúmenes iguales de yeso y arena es susceptible de alcanzar gran dureza, por lo que se emplea para fabricar baldosas.

CEMENTO

4.13 ANTECEDENTES. Desde la antigüedad, se emplearon pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos en las edificaciones. Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, los primeros cementos naturales. En el siglo I a. C. se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio. La bóveda del Panteón es un ejemplo de ello. En el siglo XVIII John Smeaton construye la cimentación de un faro en el acantilado de Edystone, en la costa Cornwall, empleando un mortero de cal calcinada. El siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el *Portland Cement*, denominado así por su color gris verdoso oscuro. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura. En el siglo XX surge el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular y los métodos de transportar hormigón *fresco* ideados por Juerger Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907.

4.14 DEFINICIÓN. El cemento es un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena), agua y algunas veces un aditivo, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, siendo su principal función la de aglutinante.

4.15 EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN. La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos.

Existe una gran variedad de cementos según la materia prima base y los procesos utilizados para producirlo, que se clasifican en procesos de *vía seca* y procesos de *vía húmeda*.

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

- a) **Trituración:** Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.
- b) **Homogeneización:** Esta etapa puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el clínker a temperaturas superiores a los 1500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el clínker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.
- c) **Producción del clínker:** El clínker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

El cemento es una sustancia particularmente sensible a la acción del agua y de la humedad, por lo tanto para salvaguardar sus propiedades, se deben tener algunas precauciones muy importantes, entre otras: Inmediatamente después de que el cemento se reciba en el área de las obras si es cemento a granel, deberá almacenarse en depósitos secos, diseñados a prueba de agua, adecuadamente ventilados y con instalaciones apropiadas para evitar la absorción de humedad.

Si es cemento en sacos, deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.

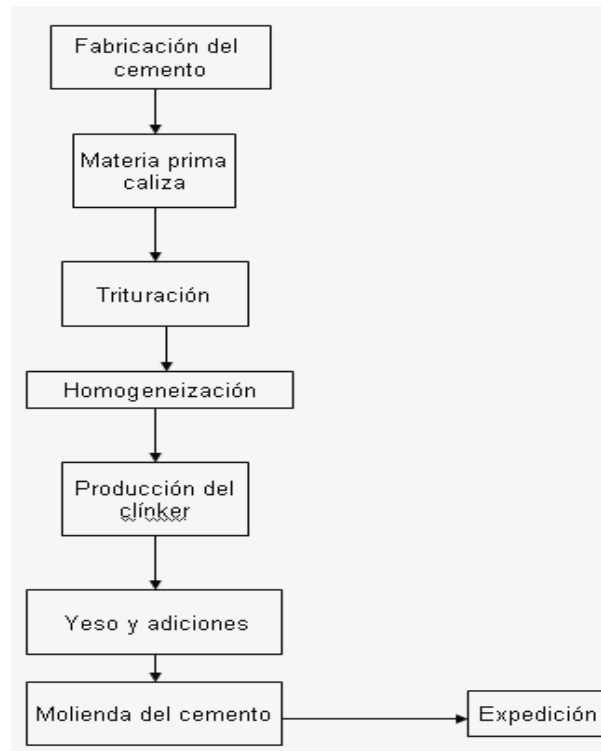


Fig. 4.4. Flujograma resumen del proceso de fabricación del cemento. Fuente: [Elaboración propia].

4.16 CLASIFICACIÓN. Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos:

- **De origen arcilloso:** obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
- **De origen puzolánico:** la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

- **El cemento Pórtland:** El tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto es el cemento portland.

Cuando el cemento Pórtland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su *resistencia característica*.

Con el agregado de materiales particulares al cemento (calcáreo o cal) se obtiene el *cemento plástico*, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable. Este material es usado en particular para el revestimiento externo de edificios.

La calidad del cemento Pórtland deberá estar de acuerdo con la norma **ASTM C 150**.

- **Cementos Pórtland especiales:** Se obtienen de la misma forma que el portland, pero que tienen características diferentes a causa de variaciones en el porcentaje de los componentes que lo forman.
- **Pórtland férrico:** Está caracterizado por un módulo de fundentes de 0,64. Esto significa que este cemento es muy rico en hierro. En efecto se obtiene introduciendo cenizas de pirita o minerales de hierro en polvo. Este tipo de composición comporta por lo tanto, además de una mayor presencia de Fe_2O_3 , una menor presencia de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ cuya hidratación es la que desarrolla más calor. Por este motivo estos cementos son particularmente apropiados para ser utilizados en climas cálidos. Los mejores cementos férricos son los que tienen un módulo

calcáreo bajo, en efecto estos contienen una menor cantidad de 3CaOSiO_2 , cuya hidratación produce la mayor cantidad de cal libre (Ca(OH)_2). Puesto que la cal libre es el componente mayormente atacable por las aguas agresivas, estos cementos, conteniendo una menor cantidad, son más resistentes a las aguas agresivas.

- **Cementos blancos:** Contrariamente a los cementos férricos, los cementos blancos tienen un módulo de fundentes muy alto, aproximadamente 10. Estos contienen por lo tanto un porcentaje bajísimo de Fe_2O_3 . El color blanco es debido a la falta del hierro que le da una tonalidad grisácea al Pórtland normal y un gris más oscuro al cemento férrico. La reducción del Fe_2O_3 es compensada con el agregado de fluorita (CaF_2) y de criolita (Na_3AlF_6), necesarios en la fase de fabricación en el horno para bajar la calidad del tipo de cemento que hoy en día hay 4: que son tipo I 52,5, tipo II 52,5, tipo II 42,5 y tipo II 32,5; también llamado pavi) se le suele añadir una adición extra de caliza que se le llama clinkerita para rebajar el tipo, ya que normalmente el clinker molido con yeso sería tipo I.
- **Cementos de mezclas:** Los cementos de mezclas se obtienen agregando al cemento Pórtland normal otros componentes como la *puzolana*. El agregado de estos componentes le da a estos cementos nuevas características que lo diferencian del Pórtland normal.
- **Cemento puzolánico:** Se denomina *puzolana* a una fina ceniza volcánica, su nombre deriva de la localidad de Pozzuoli, en las proximidades de Nápoles, en las faldas del Vesubio. Posteriormente se ha generalizado a las cenizas volcánicas en otros lugares. Ya Vitrubio describía cuatro tipos de puzolana: negra, blanca, gris y roja. Mezclada con cal (en la relación de 2 a 1) se comporta como el cemento puzolánico, y permite la preparación de una buena mezcla en grado de fraguar incluso bajo agua.

Esta propiedad permite el empleo innovador del hormigón, como ya habían entendido los romanos: El antiguo puerto de Cosa fue construido con puzolana mezclada con cal apenas antes de su uso y colada bajo agua, probablemente utilizando un tubo, para depositarla en el fondo sin que se diluya en el agua de mar. Los tres muelles son visibles todavía, con la parte sumergida en buenas condiciones después de 2100 años.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa y puede obtenerse a bajo precio. Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

- 55-70% de clinker Pórtland.
- 30-45% de puzolana.
- 2-4% de yeso.

Puesto que la puzolana se combina con la cal (Ca(OH)_2), se tendrá una menor cantidad de esta última. Pero justamente porque la cal es el componente que es atacado por las aguas agresivas, el cemento puzolánico será más resistente al ataque de éstas. Por otro lado, como el $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ está presente solamente en el componente constituido por el clinker Portland, la colada de cemento puzolánico desarrollará un menor calor de reacción durante el fraguado. Este cemento es por lo tanto adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones.

- **Cemento siderúrgico:** La puzolana ha sido sustituida en muchos casos por la ceniza de carbón proveniente de las centrales termoeléctricas, escoria de fundiciones o residuos obtenidos calentando el cuarzo. Estos componentes son introducidos entre el 35 hasta el 80%. El porcentaje de estos materiales puede ser particularmente elevado, siendo que se origina a partir de silicatos, es un material potencialmente hidráulico. Esta debe sin embargo ser activada en un ambiente alcalino, es decir en presencia de iones OH^- . Es por este motivo que debe estar presente por lo menos un 20 % de cemento Pórtland normal. Por los mismos motivos que el cemento puzolánico, el cemento siderúrgico también tiene buena resistencia a las aguas agresivas y desarrolla menos calor durante el fraguado. Otra característica de estos cementos es su elevada alcalinidad natural, que lo rinde particularmente resistente a la corrosión atmosférica causada por los sulfatos.
- **Cemento de fraguado rápido:** El *cemento de fraguado rápido*, también conocido como "cemento romano ó prompt natural", se caracteriza por iniciar el fraguado a los pocos minutos de su preparación con agua. Se produce en forma similar al cemento Pórtland, pero con el horno a una temperatura menor (1.000 a 1.200 °C).¹ Es apropiado para trabajos menores, de fijaciones y reparaciones, no es apropiado para grandes obras porque no se dispondría del tiempo para efectuar una buena colada. Aunque se puede iniciar el fraguado controlado mediante retardantes naturales (E-330) como el ácido cítrico, pero aun así si inicia el fraguado aproximadamente a los 15 minutos (temperatura a 20°C). La ventaja es que al pasar aproximadamente 180 minutos de iniciado del fraguado, se consigue una resistencia muy alta a la compresión (entre 8 a 10 MPa), por lo que se obtiene gran prestación para trabajos de intervención rápida y definitivos. Hay cementos rápidos que pasados 10 años, obtienen resistencia a la compresión superior algunos hormigones armados (pasan en la gráfica de 60 MPa).

- **Cemento aluminoso:** El *cemento aluminoso* se produce a partir principalmente de la bauxita con impurezas de óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de titanio (TiO_2) y óxido de silicio (SiO_2). Adicionalmente se agrega calcáreo o bien carbonato de calcio. El cemento aluminoso, también llamado «cemento fundido», por lo que la temperatura del horno alcanza hasta los 1.600°C y se alcanza la fusión de los componentes. El cemento fundido es colado en moldes para formar lingotes que serán enfriados y finalmente molidos para obtener el producto final.

El cemento aluminoso tiene la siguiente composición de óxidos:

- 35-40% óxido de calcio.
- 40-50% óxido de aluminio.
- 5% óxido de silicio.
- 5-10% óxido de hierro.
- 1% óxido de titanio.

Por lo que se refiere a sus reales componentes se tiene:

- 60-70% CaOAl_2O_3
- 10-15% 2CaOSiO_2
- $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$
- $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$

Por lo que se refiere al óxido de silicio, su presencia como impureza tiene que ser menor al 6 %, porque el componente al que da origen, es decir el ($2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$) tiene pocas propiedades hidrófilas (poca absorción de agua).

4.17 APLICACIONES Y USOS.- Tipo, nombre y aplicación:

I : Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.

IA : Normal. Uso general, con inclusor de aire.

II : Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.

IIA : Moderado. Igual que el tipo II, pero con inclusor de aire.

III : Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

IIIA : Altas resistencias. Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.

IV : Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

V : Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

- **Tipo I:** Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

- **Tipo II:** El cemento Portland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc.

La Norma **ASTM C 150** establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

- **Tipo III:** Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.
- **Tipo IV:** El cemento Pórtland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo.

En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos -como el mineral de hierro cuando es necesario- y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producir un material nodular de color verde oscuro denominado CLINKER.

- **Cementos Hidráulicos Mezclados:** Estos cementos han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción.

La norma **ASTM C 595** reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

- **Tipo IS:** El cemento Pórtland de escoria de alto horno se puede emplear en las construcciones de concreto en general. Para producir este tipo de cemento, la escoria del alto horno se muele junto con el clinker de cemento Pórtland, o puede también molerse en forma separada y luego mezclarse con el cemento. El contenido de escoria varía entre el 25 y el 70% en peso.
- **Tipo IP y Tipo P:** El cemento Pórtland IP puede ser empleado en construcciones en general y el tipo P se utiliza en construcciones donde no sean necesarias resistencias altas a edades tempranas. El tipo P se utiliza normalmente en estructuras masivas, como estribos, presas y pilas de cimentación. El contenido de puzolana de estos cementos se sitúa entre el 15 y el 40 % en peso.
- **Tipo S:** El cemento tipo S, de escoria, se usa comúnmente en donde se requieren resistencias inferiores. Este cemento se fabrica mediante cualquiera de los siguientes métodos:
 - Mezclando escoria molida de alto horno y cemento Pórtland.
 - Mezclando escoria molida y cal hidratada.
 - Mezclando escoria molida, cemento Pórtland y cal hidratada.

El contenido mínimo de escoria es del 70% en peso del cemento de escoria.

- **Tipo I (PM):** Se emplea en todo tipo de construcciones de concreto. El cemento se fabrica combinando cemento Pórtland o cemento Pórtland de escoria de alto horno con puzolana fina. Esto se puede lograr:
 - Mezclando el cemento Pórtland con la puzolana.
 - Mezclando el cemento Pórtland de escoria de alto horno con puzolana.
 - Moliendo conjuntamente el clinker de cemento con la puzolana.
 - Por medio de una combinación de molienda conjunta y de mezclado.

El contenido de puzolana es menor del 15% en peso del cemento terminado.

- **Tipo I (SM):** Se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto. Se fabrica mediante cualquiera de los siguientes procesos:
 - Moliendo conjuntamente el clinker con alguna escoria granular de alto horno.
 - Mezclando escoria molida y cal hidratada.
 - Mezclando escoria, cemento Pórtland y cal hidratada.

El contenido máximo de escoria es del 25% del peso del cemento de escoria.

➤ **Cementos Especiales.**

- **Cementos para Pozos Petroleros:** Estos cementos, empleados para sellar pozos petroleros, normalmente están hechos de clinker de cemento Pórtland. Generalmente deben tener un fraguado lento y deben ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas. El Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute) establece especificaciones (API 10-A) para nueve clases de cemento para pozos (clases A a la H). Cada clase resulta aplicable para su uso en un cierto rango de profundidades de pozo, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados. También se emplean tipos convencionales de cemento Pórtland con los aditivos adecuados para modificar el cemento.
- **Cementos Plásticos:** Los cementos plásticos se fabrican añadiendo agentes plastificantes, en una cantidad no mayor del 12% del volumen total, al cemento Pórtland de TIPO I ó II durante la operación de molienda. Estos cementos comúnmente son empleados para hacer morteros y aplanados.
- **Cementos Pórtland Impermeabilizados:** El cemento Pórtland impermeabilizado usualmente se fabrica añadiendo una pequeña cantidad de aditivo repelente al agua como el estearato de sodio, de aluminio, u otros, al clinker de cemento durante la molienda final.

➤ **Otros Tipos de Cementos.**

- **Cementos de Albañilería:** Estos son cementos hidráulicos diseñados para emplearse en morteros, para construcciones de mampostería. Están compuestos por alguno de los siguientes: cemento Pórtland, cemento Pórtland puzolana, cemento Pórtland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica y cemento natural. Además, normalmente contienen materiales como cal hidratada, caliza, creta, talco o arcilla.

La trabajabilidad, resistencia y color de los cementos de albañilería se mantienen a niveles uniformes, gracias a los controles durante su manufactura. Aparte de ser empleados en morteros para trabajos de mampostería, pueden utilizarse para argamasas y aplanados, mas nunca se deben emplear para elaborar concreto.

- **Cementos Expansivos:** El cemento expansivo es un cemento hidráulico que se expande ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Debe satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C 845, en la cual se le designa como cemento tipo E-1. Comúnmente se reconocen tres variedades de cemento expansivo:
 - E-1(K) contiene cemento Pórtland, trialuminosulfato tetracálcico anhidro, sulfato de calcio y óxido de calcio sin combinar.
 - E-1(M) contiene cemento Pórtland, cemento de aluminato de calcio y sulfato de calcio.
 - E-1(S) contiene cemento Pórtland con un contenido elevado de aluminato tricálcico y sulfato de calcio.
- **Cemento Portland Blanco:** El cemento blanco se utiliza para fines estructurales y para fines arquitectónicos, como muros precolados, aplanados, pintura de cemento, paneles para fachadas, pegamento para azulejos y como concreto decorativo.
- **Suelo cemento:** Es tierra apisonada a la que se le ha agregado una pequeña cantidad de cemento, alrededor del 10%. El cemento le aporta a la tierra un aumento de su resistencia y una reducción de la contracción.

CAPÍTULO 5 — ADITIVOS

5.1 ANTECEDENTES. La historia del uso de aditivos químicos en los hormigones se remonta al siglo 19, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento Portland».

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad. En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón. Los fluatos o fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada.

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y por lo tanto para obtener hormigones más resistentes, económicos y durables.

En la década del 70 se introdujeron en Chile los primeros aditivos superplastificantes, revolucionando la tecnología del hormigón en esa época, por cuanto se logró realizar hormigones fluidos y de alta resistencia para elementos prefabricados y para la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia.

Paralelamente, para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería, se utilizó la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura.

En la década de los 80 se introdujo en Chile el uso de microsilíce, material puzolánico que usado en conjunto con los aditivos superplastificantes permite obtener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón.

5.2 DEFINICIÓN. Los aditivos son sustancias que se incorporan al hormigón fresco con el objeto de optimizar sus propiedades, entre estas la **permeabilidad, docilidad, resistencia**, etc.

No así corregir deficiencias en la dosificación, preparado y puesta en obra. Por tanto el concepto de que son la solución a todas las deficiencias deberá desecharse totalmente.

Los aditivos no son aglomerantes sino ciertos productos que integrados en los hormigones les confieren cualidades particulares.

5.3 CLASIFICACIÓN. Los aditivos pueden clasificarse en: **acelerantes, retardadores, plastificantes, fluidificantes, superfluidificantes, aireantes, plastificantes aireantes, impermeabilizantes.**

- **Acelerantes:** Se denominan aceleradores a aquellos productos, que amasados en proporciones adecuadas con el hormigón, aumentan la velocidad del fraguado y/o del endurecimiento. De esta forma se logra que la estructura gane resistencia en mayor proporción de lo que comúnmente lo hace.

El objetivo que generalmente se persigue con la inclusión de acelerantes es el de desencofrar en tiempos breves, pues se sabe que no debe hacerse sin que haya ganado más del 75% de su resistencia. Otro objetivo podría ser el de tener una estructura firme y resistente lo mas antes posible para su utilización. También se utilizan en el hormigonado en tiempo frío, para conseguir que el hormigón adquiera resistencias rápidamente y contrarrestar el efecto retardador de las bajas temperaturas.

Entre los aceleradores de fraguado clásico están el carbonato sódico, cuya dosificación óptima (que suele oscilar entre el 2 y el 5 por ciento del peso del cemento) conviene determinar en cada caso, ya que en pequeñas proporciones actúa más bien como retardador.

Son aceleradores de endurecimiento : los cloruros (de calcio, de sodio, de aluminio, etc.), las bases alcalinas (sosa, potasa , amoníaco) y sus sales (carbonatos , silicatos, aluminatos ,etc. Debe recordarse también que el calor es un acelerador de fraguado y endurecimiento, así como la cantidad de agua de amasado, cuya disminución acelera el fraguado.

- **Retardadores:** Se denominan retardadores a aquellos productos que se incluyen en el amasado del hormigón y cuya principal función es la de prolongar el tiempo fraguado, que generalmente empieza como mínimo a las 2 horas, y en ocasiones como efecto secundario también el tiempo de endurecimiento.

Generalmente se los emplea en situaciones donde es necesario tener más tiempo de trabajabilidad de la mezcla, ya sea por los siguientes motivos:

- Largas distancias de transporte.
- Temperaturas altas que aceleran el fraguado.

- Elementos de mucho detalle que requieren mayor tiempo de trabajabilidad.
 - Suelen ser sustancias orgánicas, principalmente lignosulfatos o hidratos de carbono. En general, las resistencias a compresión muy tempranas (1 a 3 días) suelen verse disminuidas pero no así las de 28 o 90 días, que incluso pueden resultar más elevadas que las de hormigón sin aditivo
 - Por que su empleo es muy delicado hoy en día se recomienda sustituirlos por fluidificantes que al mismo tiempo que permiten reducir el agua de amasado, actúan también como retardadores de fraguado.
- **Plastificantes:** Los plastificantes son sustancias que confieren al hormigón fresco mayor docilidad y trabajabilidad, con poca cantidad de agua. Por tanto su efecto secundario es el de reducir el agua de amasado y por tanto aumentar la resistencia del hormigón.

Se utilizan principalmente para mejorar las mezclas con las siguientes características:

- Mezclas deficientes en agua, es decir secas.
- Hormigones de poca docilidad.
- Hormigones con elevado contenido de agregado grueso.

Son productos hechos a base de polvos muy finos, tales como la tierra de diatomeas, la bentonita, sales grasas o hidráulicas finas, cenizas volantes y puzolanas molidas que añadidos al hormigón completan la granulometría del cemento y facilitan el deslizamiento de los granos en el mortero haciendo las mezclas más trabajables. Mejoran la impermeabilidad del hormigón y al ser químicamente inertes, alteran poco sus restantes propiedades. Pero los plastificantes exigen aumentar algo el agua de amasado, por lo que no permiten en general, mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón, salvo en el caso en que estos finos añadidos a la masa del hormigón fresco poseen carácter puzolánico, como es el caso de las cenizas volantes

- **Fluidificantes:** Presentan una mayor importancia que los anteriores, son generalmente productos orgánicos de molécula larga, tenso activa. Al poseer estas moléculas un extremo hidrófilo y otro hidrófobo, quedan adsorbidas y orientadas en la superficie de los granos, de lo que resulta un efecto lubricante y una de flocculación o dispersión de los granos de cemento, que pueden ser así mojadas con una cantidad de agua mínima.

Entre los productos de partida más empleados como fluidificantes se encuentran los jabones de resina y el lignosulfato sódico o cálcico (subproducto de la fabricación de la pasta de papel). Las características que confieren a los hormigones, mejorando sus propiedades tanto en fresco como endurecido, son las siguientes:

- Aumentan la plasticidad de las masas.
 - A igualdad de docilidad, reducen la relación agua cemento (de un 5 a 15 %).
 - A igualdad de relación agua cemento mejora la docilidad.
 - Disminuyen la tendencia a la segregación durante el transporte.
 - Mejoran la adherencia del hormigón a las armaduras.
 - Mejoran la resistencia (de un 10 a 20 % en compresión a 28 días) al disminuir el agua necesaria y forzar la hidratación a fondo del cemento.
 - Aumentan la durabilidad y resistencia a la abrasión del hormigón.
 - Suelen retrasar ligeramente el fraguado y primer endurecimiento del hormigón, sobre todo si se emplean en dosis elevadas, por lo que deben tomarse precauciones y retrasar el desencofrado cuando se utilicen en tiempo frío.
 - No deben ser empleados en hormigones blandos o fluidos sino, por el contrario con los secos y seco plásticos, ya que su eficacia es tanto mayor cuanto la relación agua cemento es menor. Indicados para hormigones bombeados y preamasados, para piezas muy densamente armadas, para hormigones vistos y, en general, para cualquier obra en que se requiera un hormigón de calidad.
 - Salvo el caso en que se emplee para hormigón en masa, es necesario comprobarse previamente que el fluidificante en cuestión este exento de cloruros.
- **Superfluidificantes:** Debido a que el fluidificante puede tener efectos secundarios sobre el hormigón, como el retraso en su fraguado y primer endurecimiento y además que la reducción de agua obtenida de tan solo 15% es que ahora se están empleando los denominados superfluidificantes que además de no presentar los efectos secundarios del fluidificante llegan a reducir la cantidad de agua hasta un 30 %.

Hay dos grupos de superfluidificantes: los condensados de formaldehído (SMF y SNF) y los lignosulfatos modificados (SML). Los del segundo grupo son más económicos por ser subproductos de la industria del papel, pero los más empleados son los del primer grupo.

Sus propiedades más importantes son: aumentan la docilidad de la masa del hormigón fresco sin variar la relación agua cemento y alternativamente aumentar las resistencias del hormigón sin variar la docilidad de la masa. Ideal para hormigonado de piezas de geometría complicada o con gran concentración de armaduras, así como para bombear hormigón y en prefabricación. Por la gran trabajabilidad de masas que se consiguen permite una puesta en obra rápida. El hormigón consigue aumentos en los asientos del cono de Abrams de cinco a veinte centímetros; además que mantiene su cohesión sin presentar exudación, segregación ni pérdida de sus resistencias.

- **Aireantes:** Los aireantes son aditivos, cuya principal finalidad es la de incorporar en la masa del hormigón pequeñas burbujas de aire, que se reparten uniformemente en el hormigón, cumpliendo una función lubricante. De esta forma complementan la granulometría del conjunto, proporcionando mayor plasticidad, impermeabilidad y homogeneidad.

Se deben emplear en aquellos casos en los que se tengan hormigones de las siguientes características:

- Mezclas poco dóciles y trabajables.
 - De poca homogeneidad.
 - De poca impermeabilidad y expuestos a capilaridad.
 - Es necesario hacer notar que este tipo de aditivo, generalmente disminuye la resistencia, por lo que será necesario prever este aspecto.
 - Los productos de partida empleados como aireantes son análogos a los citados para plastificantes reductores de agua, es decir, sustancias orgánicas del tipo de resinas o aceites sulfonados que al ser batidos con el hormigón fresco en dosis convenientes, incorporan a su masa un volumen de aire comprendido entre el 3 y el 6 %.
- **Plastificantes aireantes:** De forma general puede decirse que todo plastificante reductor de agua es en alguna medida aireante, siendo también cierta la recíproca. No obstante, existen productos comerciales que específicamente poseen un carácter mixto, reuniendo las ventajas de ambos tipos de aditivos. Con el empleo de plastificantes-aireantes garantizados por casas de experiencia, pueden obtenerse hormigones más trabajables y de mayor resistencia mecánica y química que los hormigones ordinarios, lo que tiene gran importancia en la técnica del hormigón armado.
 - **Impermeabilizantes:** Pueden emplearse impermeabilizantes de masa para cerrar los poros y capilares, mejorar la compacidad del conjunto. Es evidente que su efecto será nulo si tales poros y capilares no son relativamente pequeños.

Se deduce que cuando se quieran conseguir hormigones impermeables, será necesario emplear una relación agua/cemento lo mas baja posible.

Entre los productos de partida utilizados como impermeabilizantes de masa pueden mencionarse las materias finas, las sales de ácidos grasos y los plastificantes en general. Los impermeabilizantes aumentan, por regla general la retracción.

Tipos de aditivos:

- **Sika 1.**
 - **Descripción:**
 - Líquido color amarillo.
 - Densidad: 1.03 Kg. /cm³.
 - Es un aditivo **impermeabilizante** elaborado a base de una suspensión acuosa y materiales inorgánicos de forma coloidal, que obturan los poros y capilares del hormigón y mortero mediante el gel incorporado.
 - **Características:**
 - Sika 1 reacciona con la cal libre de cemento en hidratación, formando compuestos insolubles, que obturan los poros y capilares del hormigón y mortero.

-
- Es de naturaleza inorgánica y no se degrada por la acción bacteriana en el tiempo.
 - Permite la ventilación natural de los elementos constructivos.
 - Incrementa la trabajabilidad y la adherencia en las mezclas, facilitando las labores de colocación.
 - Asegura la impermeabilidad de hormigones y morteros aún bajo presión de agua.
 - **Presentación:**
 - Bidón 1 Kg.
 - Bidón 1,5 Kg.
 - Bidón 4 Kg.
 - Bidón 5 Kg.
 - Tineta 20 Kg.
 - Tambor 200 Kg.
- **Sika 2.**
- **Descripción:**

Líquido color rojo

Densidad: 1.32 Kg. /cm³

Es un acelerador ultrarápido de acción inmediata sobre el fraguado del cemento.
 - **Características:**

Sika 2 es un producto alcalino que no contiene cloruros y que mezclado con cemento puro produce **fraguado en aproximadamente 20 segundos. Fraguado bajo el agua.**
 - **Presentación:**
 - Bidón 6 Kg.
 - Tineta 25 Kg.
 - Tambor 200 Kg.
- **Sika 3.**
- **Descripción:**
 - Líquido color verde
 - Densidad: 1.25 Kg. /cm³
 - Es un **acelerador controlable del fraguado y endurecimiento del cemento**, aplicado tanto en pasta a morteros como a hormigones.
 - **Propiedades:**
 - Dependiendo en las diluciones empleadas en el mortero, el frague y el endurecimiento son acelerados de 1 a 150 minutos.
 - En hormigón en diluciones 1:3, 1:7, 1:10 adquieren respectivamente en 24, 48, 60 horas la resistencia correspondiente a 7 días
 - **Presentación.-**
 - Bidón 6 Kg.
 - Tineta 25 Kg.
 - Tambor 200 Kg.
-

➤ **Plastiment H.E.R.**

○ **Descripción:**

- Líquido color café
- **Densidad:** 1.15 Kg. /cm³
- Es un aditivo **plastificante y retardador de fraguado**, para ser usado en hormigones y morteros, de efecto plastificante y retardador.
- No contiene cloruros.

○ **Propiedades:**

- Retarda el fraguado de hormigón al aumentando el tiempo límite de colocación.
- Aumenta considerablemente las resistencias mecánicas, al permitir reducir la cantidad de agua en el amasado.
- Menor retracción hidráulica, por lo tanto disminuye el peligro de figuración.
- Aumento de la impermeabilidad.
- Mejora la trabajabilidad del hormigón fresco.

○ **Presentación:**

- Bidón 5 Kg.
- Tineta 20 Kg.
- Tambor 235 Kg.

➤ **Frioplast A-6**

○ **Descripción:**

- Líquido color café
- Densidad: 1.13 Kg. /cm³
- Es un aditivo de efecto combinado **plastificante e incorporador de aire**. Contiene cloruros, no es toxico ni inflamable.

○ **Características:**

- Mejora la trabajabilidad del hormigón, disminuyendo los riesgos de una compactación deficiente.
- Permite una reducción considerable del agua del amasado, manteniendo la trabajabilidad del hormigón.
- Facilita las labores de terminación

○ **Presentación:** Tambor 235 Kg.

➤ **Sikafloor 7530**

○ **Descripción:**

- Líquido Disponible en varios colores
- Densidad: 1.87 Kg. /dm³ (Comp. A+B)
- Es un revestimiento de 2 componentes a base de resinas epóxicas con bajo contenido de solventes.

○ **Características:**

- De fácil y rápida colocación con rodillo

-
- Alta resistencia mecánica y a ataques químicos.
 - Resistencia ala abrasión
 - Buena adherencia a los substratos
 - Excelentes propiedades antideslizantes.
 - Fácil de limpiar.
 - **Presentación:** Juego de 15 Kg.
- **Sikaflex 1A Plus.**
- **Descripción:**
 - Líquido color blanco gris.
 - Densidad: 1.2 a 1.3 Kg. /dm3.
 - Es un sellante para juntas, de un componente a base de poliuretano, permanente elástico.
 - **Características:**
 - La temperatura de aplicación es de + 5°C A 40°C, una temperatura de servicio es de -30°C A 70°C.
 - El alargamiento a la ruptura es de 800%.
 - Velocidad de secado es de 2mm /24 horas aprox.
 - Tiene una contracción máxima del 80%.
 - Fácil aplicación y listo para utilizar.
 - Excelente adherencia a los materiales de construcción de cemento, metales, madera, vidrio, cerámica, ladrillo, etc.
 - Excelente resistencia a la intemperie y envejecimiento.
 - Resiste al agua, agua calcárea y salinas.
 - No resiste los ácidos orgánicos, ni los ácidos y bases concentradas.
 - Solo se puede recubrir con pintura.
 - **Presentación:** Cartucho de 310 cm3 (0.37Kg.).
- **Sikadur®-32 Primer**
- Descripción:** Es un adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes. Garantiza Una pega perfecta entre concreto fresco y endurecido.
- **Características:**
 - Como puente de adherencia para la pega de concreto fresco a concreto endurecido.
 - Como ayuda a la adherencia de un mortero o concreto nuevo o de reparación a un sustrato de concreto para lograr una pega permanente que no sea afectada, en condiciones de servicio, por la humedad ó agentes agresores (durabilidad).
 - Como imprimante de alta adherencia para recubrimientos epóxicos sobre superficies de concreto absorbentes, húmedas o metálicas secas.
 - Como capa impermeable y barrera de vapor de agua en los casos que se requiera.
 - **Presentación:** Unidad: 1,0 Kg. y Unidad: 3,0 Kg.

➤ **SIKA® GROUT 214**

Descripción: Es una mezcla cementicia de alta resistencia, con áridos especiales de granulometría controlada, aditivos de avanzada tecnología, exentos de cloruros y componentes metálicos.

○ **Características:**

- Altas resistencias mecánicas.
- No presenta retracciones.
- Alta capacidad de escurrimiento.
- Exudación y expansión controladas lo que asegura la adherencia y el traspaso de cargas.
- Material predosificado.
- Rápida puesta en servicio.
- No contienen elementos mecánicos ni cloruros.

○ **Presentación:** Saco de 30 Kg.

CAPÍTULO 6 — MORTEROS

6.1 ANTECEDENTES. El origen de los morteros está íntimamente ligado al de los conglomerantes, que forman parte importante de su composición. **Hace 5.000 años** aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indígenas. También los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales volcánicos (cenizas), mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Estas cenizas las encontraron en un lugar llamado *Puteoli* conocido hoy como *Puzzioli*, de aquí que a este cemento se le llamase «cemento de puzolana».

Hasta el **siglo XVIII** sólo se utilizan los morteros de cal, yesos y materiales puzolánicos (tierra de diatomeas etc.). Hacia **1750-1800** se investigan mezclas calcinadas de arcilla y caliza.

En el **siglo XIX**, **Vicat** realizó una serie de investigaciones que describían el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla, y propuso en **1818** el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad. **Vicat** encaminó la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. Este sistema es de vía húmeda y orientó el inicio del actual proceso de fabricación.

En **1824**, **James Parker** y **Joseph Aspdin** patentan el **Cemento Portland** dándole este nombre por motivos comerciales, en razón de su color y dureza que recuerdan a las *piedras de Portland*, materia que obtuvieron de la calcinación a alta temperatura de una *Caliza Arcillosa*.

Desde finales del **siglo XIX** se perfecciona el proceso de fabricación que posteriormente desencadenó la fabricación de los actuales cementos Portland, material íntimamente ligado a la producción de los morteros de hoy.

La tecnificación del material en el **siglo XX** produce desde las últimas décadas un desplazamiento de los morteros hechos *in situ* a favor de los morteros industriales. Finalmente, la mayor exigencia y control en las propiedades de los morteros, provoca en los últimos años una fuerte tendencia hacia el desarrollo del **mortero seco**.

6.2 DEFINICIÓN. Mortero es la combinación de aglomerantes y aglomerados compuestos por cemento, agregado fino y agua. Generalmente, se utiliza para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.

6.3 ELABORACIÓN. El proceso de elaboración del mortero consta de los siguientes pasos:

- a) **Mezclado:** Este paso se debe realizar en un recipiente no absorbente, de preferencia un mezclado mecánico, está permitido mezclar los ingredientes sólidos hasta alcanzar un color homogéneo en la mezcla, pero ésta mezcla no podrá utilizarse en un plazo mayor a 24 hrs. El tiempo de mezclado una vez que se agrega el agua, no debe ser menor de 4 mins., ni del necesario para alcanzar 120 revoluciones. La consistencia de la mezcla será cuando se observe que alcanza la mínima fluidez compatible con una fácil colocación.
- b) **Remezclado:** Si el mortero comienza a endurecerse, podrá remezclarse hasta que vuelva a tomar la consistencia deseada agregándole un poco de agua si es necesario, pero sólo se permite un remezclado. Los morteros a base de cemento ordinario deberán utilizarse dentro del lapso de 2.5 h a partir del mezclado inicial.
- c) **Colocación:**
 - o **Mortero para pegar:** el espesor de las juntas será el mínimo que permita una capa uniforme de mortero, y la alineación de las unidades de mampostería.
 - o **Mortero para relleno:** se colocará de manera que se obtenga un llenado completo de los huecos, permitiéndose la compactación del mortero sin hacer vibrar demasiado al refuerzo. El colado se efectuará en tramos no mayores de 500 mm para el caso de un área de celda de 2500 mm², ni de 1.5 m cuando el área de la celda es mayor a 2500 mm², y si se interrumpe la construcción, el mortero deberá alcanzar a rellenar hasta la mitad de la altura de la pieza de la última hilada, pero en los casos de las unidades multiperforadas no es necesario rellenarlas totalmente con mortero, basta con que el mortero penetre al menos 10 mm.
 - o **Juntas:** cuando se empleen unidades de mampostería de fabricación mecanizada, el espesor de las juntas horizontales no debe exceder de 12 mm; siempre y cuando contenga algún refuerzo horizontal en la junta, ni de 10 mm en los casos que no exista tal refuerzo, además, cuando se empleen unidades de mampostería de fabricación artesanal el espesor de las juntas no debe exceder de 15 mm, y en todos los casos el espesor mínimo para una junta de mortero es de 6 mm. Además se recomienda un espesor de hasta 19 mm para la junta de mortero sobre la cual se desplanta la primera hilada del muro.
Antes de que el mortero de las juntas se endurezca, pero que sin embargo sea capaz de resistir la presión de un dedo sin presentar una deformación excesiva, se procede a darle el acabado a la junta haciendo uso

de algún tipo de ranurador; una varilla, un perfil de acero, de aluminio o de madera, de una longitud tal que le permita producir una superficie uniforme que una a las unidades en sus aristas.

El acabado de la junta puede ser estético, pero en realidad el objetivo principal es lograr que la junta de mortero sea lo más impermeable posible. Bajo este criterio, es importante no dejar juntas sobresalidas o muy remetidas, ya que propician que el agua se acumule en ellas.

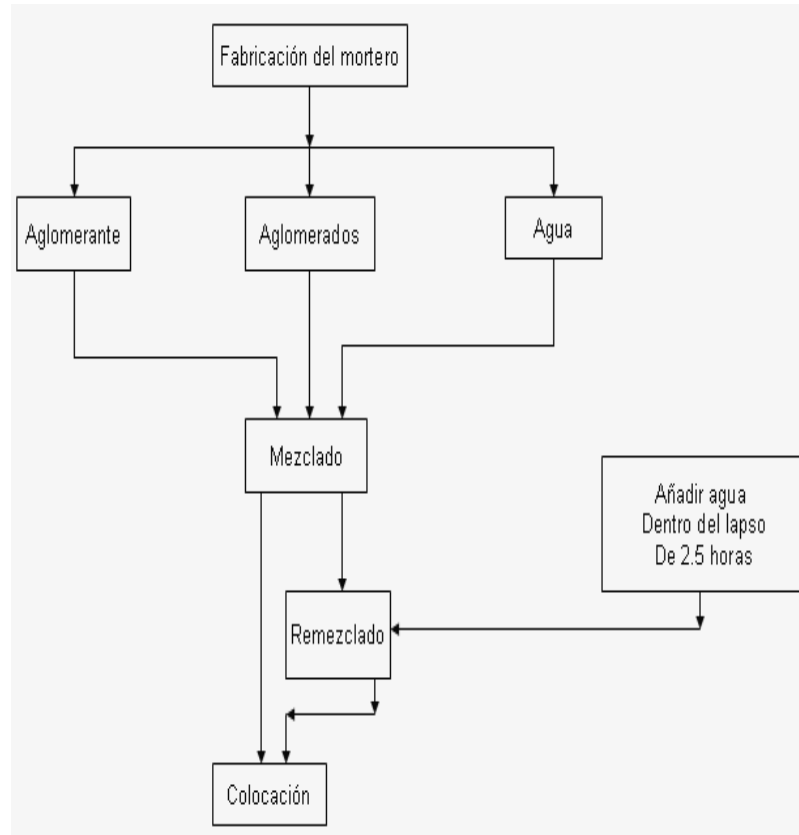


Fig.6.1. Flujograma resumen del proceso de elaboración de un mortero. Fuente: [Elaboración propia].

6.4 CLASIFICACIÓN.- Se pueden clasificar en:

- **Morteros de cal :** Los morteros de cal son aquellos que están fabricados con cal, arena y agua. La cal puede ser aérea o hidráulica.

Este tipo de morteros no se caracterizan por su gran dureza a corto plazo, sino por su plasticidad, color, y maleabilidad en la aplicación.

- **Morteros de cemento pórtland:** El mortero de cemento Portland o simplemente *mortero de cemento*, es un material de construcción obtenido a base de mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante.

El mortero de cemento se desarrolló a mediados del siglo XIX.

Los morteros pobres o ásperos son aquellos que tienen poca cantidad de cemento, y por consiguiente resultan muy difíciles de trabajar. Por otro lado, los morteros que tienen gran cantidad de cemento se retraen y producen fisuras, además de ser de mayor coste económico. Estos factores hacen necesario buscar una dosificación adecuada.

La falta de trabajabilidad de los morteros puede corregirse añadiendo aditivos plastificantes. También pueden mejorarse con la adición de otro tipo de conglomerante como la cal, o modificando la dosificación del mortero.

- **Morteros bastardos:** (1 parte cemento + 2 de cal + 3 de arena + 3 de agua)
- **Morteros a base de cemento hidráulico:** Este tipo de morteros poseen altos valores de resistencia, son de fraguado rápido, y poco manejables ya que tienen mucha dificultad para retener el agua de la mezcla, lo cual facilita su agrietamiento.

- **Morteros a base de cemento hidráulico y cal:** Este tipo de morteros reúnen las características de sus dos cementantes, creando un balance de sus propiedades; por una parte son resistentes, además de que son muy manejables, ya que si retienen el agua de la mezcla. Por lo general, este tipo de mortero es el que más se utiliza en las construcciones de mampostería.
- **Morteros para relleno:** En general, este tipo de mortero se utiliza en la construcción de mampostería reforzada interiormente. Consiste en una mezcla fluida de agregados (tamaño máximo de 10 mm) y materiales cementantes, que penetra en las cavidades del muro adhiriéndose a las superficies de las unidades de mampostería y del refuerzo sin sufrir segregación. Deberá cumplir lo siguiente: su resistencia a la compresión debe ser al menos 125 kg/cm² (en muros de 10 cm. de espesor se permite un mortero de relleno de 40 kg/cm²), en su preparación debe emplearse la mínima cantidad de agua que le permita ser lo suficientemente fluido, además durante el mezclado se acepta el uso de aditivos que mejoren su manejabilidad.
- **Morteros especiales:**
 - **Morteros refractarios:** Son refractarios aquellos materiales capaces de soportar elevadas temperaturas.
 - **Morteros con aireante.**
 - **Morteros ignífugos:** tipo de mortero que se añaden sustancias o materiales, con propiedades de buen comportamiento y resistencia frente al fuego.
 - **Morteros de cemento cola:** Es un tipo de mortero adhesivo, está compuesto por cemento de color gris o blanco, carga mineral de naturaleza silícea o calcárea y algunos aditivos.

La adherencia se consigue tanto de forma mecánica, por la cristalización del cemento, como de forma química, por polimerización de resinas.

6.5 APLICACIONES. Las aplicaciones varían de acuerdo al tipo de mortero.

- **Mortero refractario** Se utiliza como material de agarre, revestimiento de paredes, y para tomar las juntas entre hiladas de ladrillo refractario.

Compuestos por cemento de aluminato de calcio y arena refractaria. Se emplean estos morteros para construir hornos, hogares y chimeneas, y como material de agarre para la unión de piezas refractarias. Son resistentes a altas temperaturas ya la agresión de los gases que se producen en las combustiones.
- **Mortero ignífugo:** Se emplea para revestir todo tipo de estructuras, paramentos, o cualquier otro elemento al que se tenga que incrementar su resistencia o estabilidad al fuego.

Es muy utilizado para proteger estructuras metálicas conformadas por elementos de acero.
- **Mortero de cemento cola:** Es utilizado para la colocación en paredes y suelos de baldosas cerámicas, tanto en interiores como exteriores.
- **Morteros de toma:** Son los que usamos para el levantamiento de muros y tabiques ya sean estos portantes o de relleno.

Elevados con mampostería cerámica, de bloques de hormigón o ladrillos refractarios etc. y en la colocación de revestimientos y pisos.

Es decir se propone construir con elementos pequeños una unidad de obra con características propias. el mortero debe de tener suficiente resistencia para soportar las cargas que van a actuar sobre el muros. La resistencia debe obtenerse relativamente pronto para poder continuar con la construcción.

El mortero de cal endurece por secado y carbonatación, este proceso es lento y avanza desde la superficie hacia dentro la masa. En ambiente húmedo se retrasa el secado y si es seco la carbonatación se hace lenta. Por eso es favorable la adición de cemento que permitirá obtener resistencias iniciales en un proceso mas rápido para poder seguir la construcción.
- **Impermeabilizaciones:** Deben ser morteros compactos, hidráulicos, se usan en cerramientos laterales, submuración.
- **Revoques:**
 - Sistemas de una capa.
 - Sistemas de dos capas.
 - Sistemas de tres capas.

- Particularidades en cerramientos verticales y horizontales (cielorrasos).
- Revoques de tanques de agua.
- **Bases para otras terminaciones o acondicionamientos:**
 - Alisado para Parquet, vinílicos, moquetas.
 - Alisados para impermeabilización.
- **Realización de mampuestos:**
 - Bloques.
 - Ladrillos Sílico Calcáreos.

Tabla 1. Dosificaciones y aplicaciones. [25]

Morteros de cal	1 parte de cal 3 a 4 partes de arena gruesa o terciada	"Mezcla gruesa"
	1 partes de cal 2½ a 3 partes de arena fina	"Mezcla fina"
Morteros de cemento de albañilería	1 parte de cemento de albañilería 5 a 6 partes de arena	Elevación de muros
	1 parte de cemento de albañilería 4 a 5 partes de arena	Revoques gruesos y asentamiento de pisos
Morteros de cemento Portland.	1 parte de cemento portland 3 partes de arena gruesa o terciada	<ul style="list-style-type: none"> • Capa aisladora de cimientos. • 1ª capa de revoques exteriores (Ambos aditivados con hidrófugo) • 1ª capa sobre metal desplegado. • Amure de aberturas grapas y bigotes, protección de tuberías de hierro. • Azotada de cielorraso. • Alisados (pisos, azoteas). • Frisos.
	1 parte de cemento portland 4 partes de arena gruesa o terciada	<ul style="list-style-type: none"> • Alisados (pisos, azoteas). • Elevación de muros o mortero de toma para ladrillo visto.
Morteros con más de un aglomerante.	1 parte de cemento portland 5 partes de mezcla gruesa	<ul style="list-style-type: none"> • 2ª capa de revoques exteriores. • 2ª capa sobre metal desplegado.
	1 parte de mezcla gruesa 1/20 de cemento portland	<ul style="list-style-type: none"> • 1ª capa de revoques interiores. • 2ª capa de cielorraso.
	1 parte de mezcla fina 1/10 de cemento portland	<ul style="list-style-type: none"> • 2ª capa de revoques interiores. • 3ª capa de cielorraso. • 3ª capa de revoques exteriores. • Colocación de azulejos, pétreos, mesadas y zócalos.
	1 parte de mezcla gruesa 1/20 de cemento portland	Mortero de toma para mampuestos cerámicos (ladrillos, ticholos, tejas), baldosas, pétreos).
	2 partes de cemento portland blanco 7 a 10 partes de mezcla fina	<ul style="list-style-type: none"> • 3ª capa de revoques exteriores de fachada. • revoque salpicado (tipo balai).
	2 partes de portland blanco 1 parte de carbonato 2 partes de marmolina 3 partes de grano de mármol	3ª capa de revoques exteriores de fachada (diferente terminación a la anterior)

CAPÍTULO 7 — HORMIGÓN

7.1 ANTECEDENTES. En la Antigua Grecia, hacia el año **500 a. C.**, se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer hormigón de la historia, los antiguos romanos emplearon cenizas volcánicas que contienen sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal daban como resultado el denominado cemento puzolánico (obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio). Añadiendo en su masa jarras cerámicas o materiales de baja densidad (piedra pómez) obtuvieron el primer hormigón aligerado, con el que fueron contruidos diversos arcos del Coliseo romano, los nervios de la bóveda de la Basílica de Majencio, con luces de más de 25 metros, las bóvedas de las Termas de Caracalla, y la cúpula del Panteón de Agripa, de unos cuarenta y tres metros de diámetro, la de mayor luz durante siglos.

La invención del **hormigón armado** se suele atribuir al constructor **William Wilkinson**, quien solicitó en **1854** la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego. El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue **François Hennebique** quien ideó un sistema convincente de **hormigón armado**, patentado en **1892**, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895.

En la década de **1960** aparece el **hormigón reforzado con fibras**, incorporadas en el momento del amasado, dando al hormigón isotropía y aumentando sus cualidades a flexión, tracción, impacto, fisuración, etc. En los años 1970, los aditivos permiten obtener hormigones de alta resistencia, de 120 a más de 200 MPa; la incorporación de monómeros, genera hormigones casi inatacables

por los agentes químicos o indestructibles por los ciclos hielo-deshielo, aportando múltiples mejoras en diversas propiedades del hormigón.

7.2 DEFINICIÓN. El hormigón (concreto), es la **mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente cemento) con áridos (grava, gravilla y arena), agua y eventualmente, aditivos.**

7.3 DOSIFICACIÓN. Existen varios métodos para dosificar previamente el hormigón, pero son sólo orientativos. Las proporciones definitivas de cada uno de los componentes se suelen establecer mediante ensayos de laboratorio, realizando correcciones a lo obtenido en los métodos teóricos.

Aspectos básicos a determinar:

- **Resistencia característica (f_{ck}):** Se fija en el proyecto.
- **Selección del tipo de cemento** se establece en función de las aplicaciones del hormigonado (en masa, armado, pretensado, prefabricado, de alta resistencia, desencofrado rápido, hormigonados en tiempo frío o caluroso, etc.) y del tipo de ambiente a que estará expuesto.
- **Tamaño máximo del árido:** Es conveniente que sea el mayor posible, pues a mayor tamaño menos agua necesitará ya que la superficie total de los granos de áridos a rodear será más pequeña. Pero el tamaño máximo estará limitado por los espacios que tiene que ocupar el hormigón fresco entre dos armaduras cercanas o entre una armadura y el encofrado.
- **Consistencia del hormigón:** Se establece en función del tamaño de los huecos que hay que rellenar en el encofrado y de los medios de compactación previstos.
- **Cantidad de agua por metro cúbico de hormigón:** Conocida la consistencia, el tamaño máximo del árido y si la piedra es canto rodado o de machaqueo es inmediato establecer la cantidad de agua que se necesita.
- **Relación agua/cemento:** Depende fundamentalmente de la resistencia del hormigón, influyendo también el tipo de cemento y los áridos empleados.
- **Cantidad de cemento:** Conocida la cantidad de agua y la relación agua /cemento, determinamos la cantidad de cemento.
- **Cantidad de áridos:** Conocida la cantidad de agua y de cemento, el resto serán áridos.
- **Composición granulométrica del árido:** Consiste en determinar los porcentajes óptimos de los diferentes tamaños de áridos disponibles. Hay varios métodos, unos son de granulometría continua, lo que significa que interviene todos los tamaños de áridos, otros son de granulometría discontinua donde falta algún tamaño intermedio de árido.

Determinada la dosificación más adecuada, en la planta de hormigón hay que medir los componentes, el agua en volumen, mientras que el cemento y áridos se miden en peso.

7.4 FABRICACIÓN. Durante el proceso de fabricación y/o preparación de hormigones es muy importante seleccionar áridos limpios, con mínima cantidad de arcillas o contaminantes que afecten la hidratación del cemento.

El agua debe estar libre de contaminaciones orgánicas y salinas. Cuando sea posible y lo aconsejable en todos los casos es utilizar agua potable.

- **La mezcla del hormigón:** El Mezclado debe hacerse de tal forma que asegure la homogeneidad del hormigón. Se recomienda el uso de hormigoneras en obras pequeñas y solicitarlos a una planta de fabricación de hormigones para obras medianas y grandes. En caso de que se realice manualmente deben extremarse los cuidados durante su elaboración, el agua debe dosificarse por volumen, el cemento y los áridos por peso.
- **Vaciado y colocación del hormigón:** Los cuidados durante el vaciado del hormigón tienen como fin mantener la mezcla homogénea, es decir, con buena distribución de los áridos. Es importante que se elimine el aire atrapado por lo que es recomendable del vibrador como herramienta y en obras pequeñas de una simple varilla.
- **Curado del hormigón:** Para que el hormigón alcance toda su resistencia y las características para las que fue diseñado es necesario que no pierda la humedad de la mezcla aceleradamente, con este objetivo debe protegerse la superficie del hormigón para evitar su secado antes de tiempo, la protección y cuidados se denominan Curado del Hormigón.

Un buen curado contribuye a obtener las resistencias de diseño. En caso de un mal curado, las resistencias pueden quedar hasta un 30% por debajo de lo esperado.

- **Desencofrado del hormigón:** Otro factor muy importante es el tiempo que se debe mantener el encofrado para obtener la resistencia del hormigón y conseguir su durabilidad. En placas o losas, es recomendable mantener el encofrado por lo menos 15 días en condiciones normales y dejar los puntales necesarios.
- **Resistencia de diseño del hormigón:** La resistencia a la compresión es una de las pruebas más importantes para verificar la calidad del hormigón. Se utiliza en el diseño de estructuras.

Las pruebas se proyectan generalmente a **28 Días**. La resistencia a la compresión es afectada fuertemente por la relación agua/cemento, la edad y el curado del hormigón.

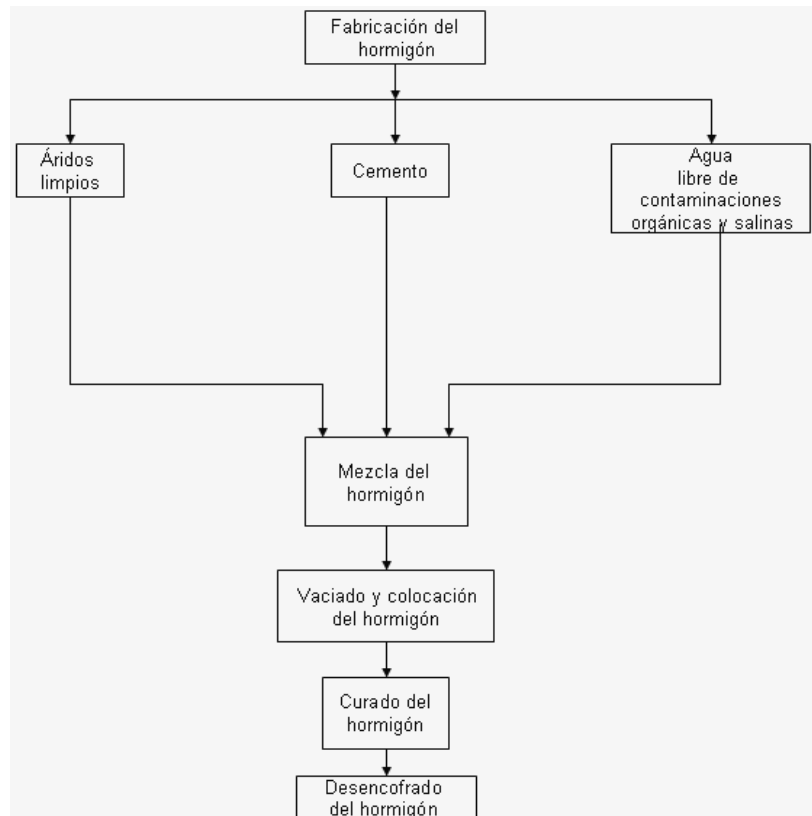


Fig.7.1. Flujograma resumen del proceso de elaboración de un hormigón. Fuente: [Elaboración propia].

7.5 CLASIFICACIÓN.- Los hormigones se pueden clasificar en:

- **Ciclópeo:** El hormigón ciclópeo está constituido por una mezcla de hormigón con una resistencia última a la compresión de 175 kg/cm² a los 28 días, a la cual se le agregará hasta el 60% de piedra.
- **Hormigón armado:** Consiste en la utilización de hormigón reforzado con barras o mallas de acero, llamadas armaduras.

También es posible armarlo con fibras, tales como fibras plásticas, fibra de vidrio, fibras de acero o combinaciones de barras de acero con fibras dependiendo de los requerimientos a los que estará sometido. El hormigón armado es de amplio uso en la construcción siendo utilizado en edificios de todo tipo, caminos, puentes, presas, túneles y obras industriales. La utilización de fibras es muy común en la aplicación de hormigón proyectado, especialmente en túneles y obras civiles en general.

- **Hormigón preesforzado:** Son los elementos estructurales de hormigón sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados y anclados al hormigón.

- **Otros tipos de hormigón:**

- **Aireado o celular:** Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón de densidad < 1 (lo cual le permite por ejemplo flotar).

El término celular refiere a que en este tipo de hormigón se procura formar celdas o células (burbujas) de gas independientes, aisladas entre si, que luego del fraguado dejan huecos que al material le proporcionan las varias características especiales de este tipo de hormigón.

Entre las características más destacables e interesantes del hormigón celular se encuentran las siguientes:

- Bajo peso.
- Facilidad para trabajarlo una vez fraguado (por ejemplo ranurarlo para insertar conductos hidráulicos o eléctricos).
- Excelente aislamiento térmico.
- **Microhormigón:** Es un hormigón de altas prestaciones en los cuales las partículas del árido no superan los 10 mm. Se utiliza para la fabricación de tejas de hormigón y otros materiales.

Adquieren 90 por ciento de su resistencia final en menos de siete días, lo cual permitiría un ahorro significativo en la industria de la construcción, pues el tiempo para levantar una edificación disminuiría casi el 60 por ciento.
- **Permeable:** Es un hormigón que utiliza áridos de gran tamaño, lo cual permite que una vez colocado queden huecos entre la pasta y las piedras. Por estos espacios puede escurrir el agua u otros líquidos.
- **De alta densidad:** Los hormigones convencionales tienen una densidad aproximada de entre 2200 y 2500 kg/m³. Se denomina hormigón de alta densidad, u hormigón pesado, a aquellos hormigones con una densidad superior a la habitual. Estos hormigones, capaces de alcanzar densidades de más de 6000 kg/m³, están fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita.).

7.6 APLICACIONES. La aplicación del hormigón armado, prácticamente abarca todas las especialidades en ingeniería civil.

- **Hormigón ciclópeo:** Es usado para la construcción de cimientos, sobrecimientos, muros de contención, etc.
- **Hormigón Armado:** Es utilizado en la construcción de edificios (Columnas, vigas, losas, fundaciones, muros, etc.), puentes de luces pequeñas, carreteras, obras hidráulicas, etc.
- **Hormigón preesforzado:** Puentes para luces grandes.
- **De alta densidad:** El hormigón pesado se ha utilizado generalmente para blindar estructuras y proteger frente a la radiación, en centrales nucleares, salas de radiología de hospitales, aceleradores de partículas, etc.
- **Permeable:** Su desarrollo aún está en fase experimental, pero se proyecta su utilización en estacionamientos y pavimentos.

CAPÍTULO 8 — PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

VIGUETAS

8.1 ANTECEDENTES. El principio básico del pretensado fue aplicado a la construcción quizás hace siglos, cuando se ataban cintas o bandas metálicas alrededor de duelas de madera para formar los barriles. Cuando se apretaban los cinchos, estaban bajo una fuerza que creaba un esfuerzo de compresión entre las duelas y las habilitaban para resistir la tensión en arco, producida por la presión interna del líquido contenido.

Aunque a través del tiempo se han hecho diversos intentos para disminuir el agrietamiento del hormigón bajo tracción, la contribución más importantes a su solución suelen atribuirse al ingeniero francés Eugene, Freyssinet quien convirtió en realidad práctica la idea de pretensar los elementos de hormigón.

Según Freyssinet, pretensar un elemento estructural consiste en crear en él, mediante algún procedimiento específico, antes o al mismo tiempo que la aplicación de las cargas externas, esfuerzos de tal magnitud que al combinarse con los resultantes de dichas fuerzas externas, anulen los esfuerzos de tensión o los disminuyan, manteniéndolos bajo las tensiones admisibles que puede resistir el material.

1886: En este año es aplicado el principio anterior al hormigón cuando P. H. Jackson, un ingeniero de San Francisco, California, obtuvo las patentes para atar varillas de acero en piedras artificiales y en arcos de hormigón que servían como losas de pisos.

1788: Hacia este año, C. E. W. Dohering, de Alemania, aseguró una patente para hormigón reforzado con metal que tenía aplicado un esfuerzo de tensión antes de que fuera cargada la losa.

1908: C. R. Steiner, de los Estados Unidos, sugirió la posibilidad de reajustar las barras de refuerzo después de que hubiera tenido lugar cierta contracción y fluencia del hormigón, con el objeto de recuperar algunas de las pérdidas.

1925: R. E. Dill, de Nebraska, ensayó barras de acero de alta resistencia cubiertas para evitar la adherencia con el hormigón. Después de colocar el hormigón, se tensaban las varillas y se anclaban al hormigón por medio de tuercas en cada extremo.

1928: Se inicia el desarrollo moderno del hormigón pretensado en la persona de Eugène Freyssinet, de Francia, quien empezó usando alambres de acero de alta resistencia para el pretensado. Tales alambres contaban con una resistencia a la ruptura tan elevada como 18,000 kg/cm², y un límite elástico de más de 12,600 kg/cm².

8.2 DEFINICIÓN. Las viguetas son elementos estructurales diseñados para ser colocados en losas armadas en una sola dirección, trabajando como elementos simplemente apoyados. Su facilidad y rapidez en la colocación brindan grandes ventajas para la construcción.

Estas losas son mas livianas que aquellas vaciadas de manera tradicional, ya que el peso propio del plastoformo es muy bajo, y las viguetas tienen un peso aproximado de 14.5 Kg /ml. Esto reduce la carga sobre las vigas, columnas y cimentaciones.

8.3 FABRICACIÓN. La fabricación de las viguetas se lleva a cabo por procesos de moldeado en moldes de metal para darle un acabado liso y van reforzadas con varas de hierro de construcción de por lo general 5, 6 o 7 mm dependiendo de las cargas que vayan a soportar. Se construyen en presentaciones simple y antisísmica, estas tienen en su forma un relieve en la parte superior de setas o cortes formando una llave mecánica que permite un mejor trabajo junto con la losa (capa) de compresión. Para fabricarlas se emplean máquinas vibrocompresoras que tiene la particularidad de quitar el aire al cemento y con ello obtener una vigueta más resistente y compacta.

Pasos para el proceso de fabricación del material:

- | | |
|--|--------------------------|
| a) Limpieza de moldes y aplicación de desmoldante. | g) Vaciado del concreto. |
| b) Corte de alambre. | h) Vibrado del concreto. |
| c) Colocación de alambre. | i) Destesado de alambre. |
| d) Anclaje de alambre. | j) Corte de alambre. |
| e) Tensado de alambre. | k) Descimbrado. |
| f) Fabricación del cemento. | l) Acarreo de viguetas. |

8.4 CLASIFICACIÓN. Las Viguetas de Hormigón vienen prefabricadas y se clasifican de acuerdo a la forma de su sección en: viguetas autoportantes, pretensadas y semirresistentes.

- **Viguetas Autoportantes:** Las secciones de estas viguetas son similares a las metálicas, en forma de I.

Son los extremos de las mismas que concentran las masas de la sección resistente, separadas por un alma más esbelta cuya función es unir los extremos.

La capacidad resistente de la pieza se expresa justamente en la forma de la sección.

Estas viguetas resisten su peso propio y el de las cargas que apoyan sobre ellas, y no requieren de apuntalamiento previo para su colocación.

- **Viguetas Semirresistentes:** Estas viguetas no tienen la cabeza de compresión como en el caso anterior.

Se ejecuta en obra por medio de hormigón de relleno y chapa de compresión.

Existen modelos donde se incorpora una armadura externa para mayor adherencia.

Estas viguetas no son capaces de resistir cargas por sí mismas, y algunos modelos no soportan ni su propio peso. Al carecer de cabeza de compresión, no son capaces de resistir tracciones, efecto por flexión, por esta razón, requieren de apuntalamientos.

La ventaja que aporta esta viga es que los forjados contruídos con ella resultan más monolíticos, porque el hormigón de relleno de senos y chapa de compresión efectuado de una sola vez en obra proporciona la cabeza de compresión para cada viga.

Este forjado presenta una sección donde los elementos resistentes tienen forma T, comportándose como una placa unidireccional y de gran monolitismo.

Con un conjunto de estas viguetas es posible construir losas de escaleras.

- **Viguetas Pretensadas:** Cuando la viga trabaja a los esfuerzos a que está sometida, adopta una flecha (deformación). Podría fabricarse una cuya deformación inicial contraria, llamada contraflecha, contrarreste los esfuerzos y, la deformación final, o flecha resultante, al entrar en carga será mucho menor. Éste es justamente el objetivo del pretensado.

El pretensado se realiza para aumentar la capacidad resistente a la compresión del hormigón. Al comprimir el hormigón de la viga, transcurrido un lapso de tiempo del fraguado, se libera la compresión; entonces la armadura inferior queda sometida a la tracción produciendo la contraflecha.

8.5 APLICACIÓN. Las ventajas de hormigón pretensado son más bajos los costos de construcción, losas delgadas especialmente importante en los edificios altos que en el piso espesor de ahorro puede traducirse en plantas adicionales para el mismo (o menos) y menos coste.

El aumento de las longitudes aumenta el espacio utilizable no comprometidos en los edificios; disminuyendo el número de articulaciones conduce a la disminución de los costes de mantenimiento durante la vida de diseño de un edificio, ya que las articulaciones son los principales escenario de debilidad en edificios concretos.

Se recomienda no almacenar viguetas pretensadas por un tiempo prolongado porque la deformación a que llegarían las vuelve inservibles.

En caso en que las viguetas posean una longitud mayor de la requerida, no debe reducirse su largo rompiendo las cabezas de las viguetas pues así estaría rompiendo los anclajes de la armadura pretensada perdiendo la contra flecha adquirida en ese pretensado.

8.6 MONTAJE.

- **Apuntalamiento:** Antes de ubicar los bloques, se dispondrán los tirantes de apoyo de las viguetas que se colocarán a una distancia no mayor de 2 m. con puntales de sostén a una separación máxima de 1,50 m.

El apuntalamiento se realizará de forma que las viguetas adquieran una contra flecha de 3 a 5 mm. por cada metro de luz. Debajo de los puntales, además de las cuñas, se colocaran tablas para obtener una mejor distribución de las cargas y evitar el hundimiento del terreno.

El despuntalamiento se efectuará de acuerdo a las luces de las mismas: Para luces de hasta los 4 m, entre los 12 y 15 días; para las luces mayores entre 15 y 21 días.

- **Montaje de viguetas y bloques:** Las viguetas deberán apoyarse sobre muros de mampostería, vigas de acero o vigas de hormigón, no menos de 10 cm. y sobretodo encofrados de vigas a hormigonar el empotramiento de las viguetas no será inferior a 5 cm.

La distancia entre viguetas se establece automáticamente colocando bloques, como elemento distanciador en cada extremo. Tanto durante el hormigonado de la capa de compresión como en la colocación de bloques, hay que tomar los debidos recaudos para no transitar directamente sobre viguetas o bloques, sino sobre tablonos apoyados transversalmente a la dirección de las viguetas previamente apuntaladas.

Es necesaria la colocación de armadura de distribución transversal a las viguetas (en general, para cargas uniformes basta con colocar armadura 6c/25 cm. o en malla 4,2c/15cm.

- **Limpieza y mojado:** Limpiar todo residuo de tierra, yeso, cal u otras impurezas que obstaculicen la adherencia entre la vigueta y la capa de compresión. Mojar en forma abundante los bloques para obtener un buen hormigonado y una buena resistencia final. Cuando se vierte el hormigón, los bloques deberán encontrarse aun húmedos.
- **Vaciado de la capa de compresión:** Preparar el hormigón con una dosificación (1:2:3), Que permita obtener una resistencia ala compresión no inferior a los 190 Kg./cm² correspondientes a 1 balde de cemento, 2 baldes de arena y 3 baldes de agregado grueso y agua en cantidad mínima para lograr una buena plasticidad, teniendo en cuenta que el exceso de agua empobrece el hormigón reduciendo su resistencia.

Colocar el hormigón cuidando que rellene muy bien los nervios y cubra un espesor de 5 cm. sobre los bloques, Tener en cuenta -especialmente en verano- que si la losa esta expuesta al sol, deberá cubrirse o mojarse a menudo durante los primeros días. Tampoco deberá hormigonarse y permitir el fragüe con temperaturas inferiores a 5° C.

- **Desencofrado:** Se debe desencofrar de acuerdo a la luz de la vigueta, vale decir que el desencofrado es de 1 día por cada 30 centímetros de luz.

Si tenemos una luz de 3.00 metros. Se debe hacer la siguiente:

$(3.00\text{metros} / 0.30\text{metros}) = 10$. Entonces debemos desencofrar esa losa en 10 días.

Es común que cuando se da el tiempo de desencofrado el maestro diga que es igual a la tradicional, hay que hacer notar que se esta hablando de carga plena a los diez días la losa pretensada puede ser sometida a las cargas trabajo a la cual a sido diseñada, y en una losa común sino se le adiciona acelerantes de fragüe no ocurre antes de los 28 días.

LOSETAS

8.7 ANTECEDENTES. Su origen se remonta hace 25 siglos. Los cartagineses y romanos los utilizaban en sus grandes vías para dotarlas de rapidez y duración. Para lograr un transporte más cómodo se vió la necesidad de conseguir una superficie de rodamiento más continua y esto no se podía lograr con el empedrado anterior, que consistía en piedras sin tallar en estado natural.

El pavimento de losetas se utilizó de modo funcional hasta finales del siglo XIX. En tiempos de Napoleón se construyeron grandes avenidas en las ciudades, entre otras cosas para posibilitar que las grandes piezas de artillería circularan por las calles.

La aparición del automóvil hizo crecer el ritmo de pavimentación y el enlosetado dejó de ser rentable.

Hoy se utilizan los enlosetados con motivos estéticos y todavía muchos de los antiguos se encuentran en servicio y en buen estado, prueba de la gran robustez de este sistema. Asimismo, se han desarrollado adoquines de hormigón, los cuales se utilizan de manera similar a los antiguos adoquines de piedra y dan origen a lo que se denomina pavimentos articulados. A veces, a los enlosetados modernos se les añaden colorantes buscando un mejor resultado estético.

8.8 DEFINICIÓN.- Son piedras o bloques labrados de diferentes formas que se utilizan en la construcción de pavimentos. El material más utilizado para su construcción ha sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento. Sus dimensiones suelen ser de 20 cm. de largo por 15 cm. de ancho, lo cual facilita la manipulación con una sola mano.

8.9 FABRICACIÓN.- Las losetas son productos prefabricados de hormigón que pueden producirse en plantas industriales, al igual que con equipos sencillos y pequeños. Las losetas también pueden ser fabricadas agregando pigmentos al hormigón, obteniendo elementos de distintos colores, alternativa a la que se recurre en el caso de veredas, sendas peatonales, plazas, accesos vehiculares y otros.

- **Desarrollo del proceso de fabricación paso por paso:**
 - a) Determinar cuánto se va a producir.
 - b) Verificar los recursos con los que se cuenta para la fabricación.

- c) Verificar el estado de los equipos para un proceso eficiente, y que haya espacio suficiente para realizar el proceso con facilidad.
 - d) Se inicia la producción con el preparado de la mezcla (grava, arena, cemento, agua).
 - e) Se vacía la mezcla en moldes.
 - f) Se realizan los primeros ensayos:
 - o Cono de Abrams (para saber el asentamiento del hormigón, que debe estar entre 3 y 6 cm.).
 - o Extracción de probetas (para hallar la resistencia de la mezcla).
 - g) Se enciende la máquina ("mesa vibradora") giratoria y se procede al vaciado de la loseta en pequeños tablones estimados para los requerimientos.
 - h) Se realiza el fraguado y el curado inicial en un galpón durante 12 horas aprox.
 - i) Se lleva el material al "Almacén de producto terminado" donde se realiza el curado durante 10 días.
 - j) Antes de que salga a la venta se realiza el ensayo de rotura de probetas simétricas y el ensayo no destructivo (consiste en realizar mediciones a la loseta).
 - k) Después de todo este proceso las losetas están listas para su comercialización y distribución.
- **La construcción de un pavimento de losetas se puede resumir en siete etapas:**
- a) Preparación de la subrasante.
 - b) Extensión y compactación de la capa subbase.
 - c) Ejecución de los bordes de confinamiento.
 - d) Extensión y nivelación de la capa de arena.
 - e) Colocación de losetas.
 - f) Vibrado del pavimento.
 - g) Sellado con arena.

8.10 CLASIFICACIÓN. Tipos de losetas de hormigón se clasifican por su:

- **Forma:** Los bloques de hormigón que se utilizan para pavimentar pueden tener distintas formas. Los tipos **A** y **B** son paralelepípedos que solamente se distinguen entre sí por tener las aristas vivas o aplastadas. Los tipos **C** y **D** encajan mejor entre sí. La superficie de las losetas es más bien tosca y muchas tienen las aristas con rebordes para poner en evidencia las líneas de unión al ser colocadas.

El diseño más simple se obtiene con losetas rectangulares dispuestas en hiladas paralelas, pero con juntas desfasadas en mitad del bloque.

Es interesante el dibujo obtenido con losetas rectangulares entregadas en ángulo. En los bordes no hay otro remedio que utilizar, partiéndolo, medio bloque.

Los bloques en forma de S quedan muy bien cuando se colocan en filas paralelas. Se logran elegantes efectos, con unas líneas onduladas en una dirección y las juntas alineadas en otra dirección.

Los bloques del tipo D son atractivos cuando se colocan imitando el parquet, de dos en dos, alternadamente. Pueden colocarse también con óptimos resultados en forma de espina de pez.

Las losetas de hormigón son muy resistentes y, por sus dimensiones limitadas, se pueden colocar formando diseños muy diversos. Su principal ventaja es que todos los elementos quedan estables debido a la presión que cada pieza ejerce sobre las adyacentes.

Existen muchas formas de losetas de hormigón. Algunas ofrecen un aspecto áspero para dar la impresión de haber utilizado un producto rústico, en tanto que otras son lisas y con un aspecto más regular. Los colores habitualmente usados son los naturales de hormigón: desde el rojizo al marrón pasando por tonalidades grises o de antracita. Pero también se podrán hallar piezas con veteados que recuerdan los verdaderos adoquines de piedra labrada.

- **Dimensión:** Las dimensiones son diversas; está muy difundido el tipo de 200 x 100mm, con espesores de 40, 50 o 60mm (e incluso más). Algunas losetas tienen un reborde que subraya su contorno cuando ha sido colocado, especialmente en superficies muy amplias. Otros tipos tienen bordes con un perfil en zig-zag, agudo o redondeado, que contribuyen a su encaje y permiten realizar recubrimientos muy estables.
- **Colocación:** Los diseños fundamentales para la colocación de hormigón son esencialmente una espiga, un escalado o una serie de líneas paralelas. Al fin y al cabo, no se trata sino de imitar prácticamente los aspectos que se adoptan para constituir un parquet.

La colocación en forma de espiga es la más resistente. Constituye la disposición ideal para caminitos o pasillos por los que tienen que circular vehículos y que se hallan expuestos a continuo desgaste, además de tener que soportar exigencias dinámicas elevadas. Los aparejos en formas paralelas y en desfases de tipo parquet no resultan menos resistentes y se alcanzan igualmente buenos resultados, pero dentro de áreas poco transitadas.

Es posible realizar variaciones de composición con losetas formando parejas, o bien combinando en el conjunto diseños diferentes en una misma área.

- **Textura:** Según su textura superficial, las baldosas pueden ser lisas o en relieve. Según su elaboración se dividen en:
 - **Baldosas al seco:** Constituida por dos capas de mortero; una inferior formada por arena y cemento, una superior constituida por cemento, un material inerte y pigmentos destinados a dar a la baldosa el color deseado. Los morteros de ambas capas se emplean húmedos.
 - **Baldosa al líquido:** Es aquella que está formada por tres capas de mortero; una inferior compuesta de arena y cemento; una intermedia llamada capa secante, compuesta de una mezcla seca de arena fina y cemento, y una superior formada por cemento, un material inerte y pigmentos (Esta última capa se aplica en estado líquido).

Las baldosas no deberán tener defectos que puedan afectar su durabilidad o resistencia.

8.11 APLICACIONES. Los pavimentos de losetas de concreto son una solución simple y duradera para el pavimento de plazas, calles y avenidas. Se aplican principalmente en poblaciones o barrios cuyas redes de agua potable y alcantarillado estén incompletas o en mal estado, puesto que las losetas se pueden volver a utilizar con facilidad, permitiendo posteriores intervenciones en el subsuelo sin inconvenientes mayores. Para su colocación se utiliza poca maquinaria y mucha mano de obra local, la misma que necesita muy poco adiestramiento.

Los pavimentos de losetas de concreto se pueden utilizar en cuanto se terminan, el costo de mantenimiento es bajo y se pueden reparar muy fácilmente.

- **Zonas no sometidas a carga:** Las losetas pueden aplicarse en plazas, vías peatonales, terrazas y en general en todos aquellos lugares en los que el nivel de carga no sea un factor determinante en el diseño del pavimento. En estos casos la durabilidad y el efecto estético que se logra son las principales razones para la elección de las losetas como material de pavimentación.
- **Vías urbanas:** A la belleza y capacidad estructural de los pavimentos de losetas, se suma la facilidad que presentan para ser levantadas y recolocadas cuando se requiere realizar algún trabajo en la zona bajo el pavimento y la facilidad de su construcción; todas ellas razones de peso para que su utilización en vías urbanas resulte algo cada vez más frecuente.
- **Zonas industriales:** Las investigaciones realizadas y el comportamiento de las obras ya construidas han mostrado la gran capacidad de estos pavimentos para soportar elevadas cargas y resistir la acción agresiva de combustibles y aceites, ambos factores característicos en zonas industriales.

8.12 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO.- Las losetas requieren de ciertas características para ver si son aptas o.

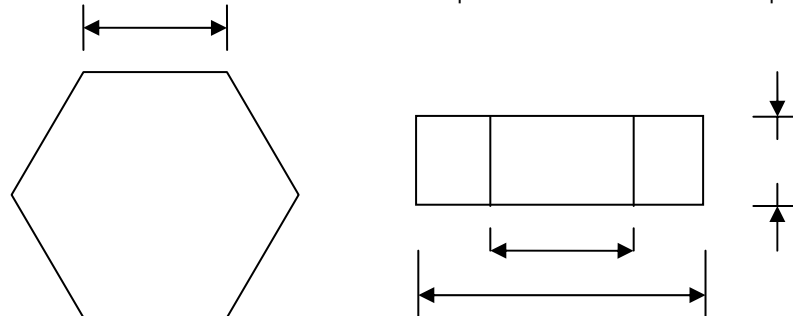


Fig. 8.1. Esquema de una loseta. [30]

➤ **Características Especiales:**

Tabla 1. Características. [30]

Producto	a (cm)	c (cm)	e (cm)	Peso (Kg./pza)	Rend. (pza/m²)	Tipo de Hormigón
Loseta Vehicular	18	35	10	17.08	12	H - 18

Nota: Las medidas pueden variar $\pm 5\%$

➤ **Características De Insumos NB:**

Tabla 2. Características. [31]

Insumo	Tipo	Norma
Agregado Fino	Arena	NB 596 - 94
Agregado Grueso	Grava	NB 598 - 91
Cemento	IP - 40 / IP - 30	NB 011-95
Agua		NB 637-94

➤ **Criterios de Aceptación y rechazo:**

- Para los ensayos se seleccionan losetas representativas del lote completo por calificar.
- Se toma el 1 por mil del lote con un mínimo de 15 losetas.
- Cada muestra se marca de modo que puedan ser identificadas en cualquier momento.
- Se aceptarán sin observaciones las partidas de losetas que cumplan con los valores promedios y extremos indicados.
- En caso que alguno de los valores resulte insuficiente se repite el ensayo correspondiente con el doble de número de muestras.
- Se rechaza la partida de losetas que, en definitiva, no satisfaga los valores promedios y mínimos exigidos, luego de haber repetido los ensayos que correspondiera.

OTROS PRODUCTOS

8.13 COLUMNAS. Permiten la construcción rápida y práctica de columnas a diferentes alturas puesto que se trata de elementos remontables provistos de un machihembrado. Las posibilidades de este producto no se limitan solamente a completar vallas de balaustres, sino que puede utilizarse como columna exenta, de soporte, como elemento arquitectónico de ambiente clásico, - porches, pérgolas, soporte para plantas trepadoras, y como base para mesas y bancos de jardín.

- **Color:** Se fabrica en blanco y beige.
- **Colocación:** Para construir una columna con elementos COL-33 solo se necesita de cimientos a nivel, varillas para armarla y mortero para el relleno. Recomendamos leer atentamente las normas de colocación incluidas en cada palet.
- **Complementos:** El pedestal conforma la base de la columna y a su vez el capitel. Para su uso en balaustradas, es necesario suplementar el pedestal con. Con ello se logra adecuar la altura al zócalo de la balaustrada.

8.14 CANALETAS. Ideales para conducir las aguas pluviales hacia el desagüe, evitando charcos y humedad indeseables. Las canaletas simplifican el embaldosado exterior ya que no es necesario realizar pendientes pluviales muy pronunciadas.

- **Color:** Sólo se fabrican en hormigón gris.
- **Colocación:** Se colocan como cualquier baldosa. Es conveniente hacer una buena solera si habrá tránsito de vehículos.

8.15 CELOSÍAS. Están diseñadas para dar un toque decorativo a vallas y cierres. Se fabrican en secciones de 5 y 8 cm.

- **Color:** Se fabrican exclusivamente en blanco.

8.16 CORNISAS. Las cornisas prefabricadas solucionan la construcción de estos elementos ornamentales a un coste inferior que las realizadas manualmente en obra. Con estos productos puede olvidarse de encofrados, encargos difíciles, operarios cualificados. Una vez colocadas, no necesitan mantenimiento.

- **Color:** Se fabrican en blanco y beige.
- **Colocación:** Al ser una pieza auto estable, se coloca sobre fábrica de ladrillo o bloque. Su forma de U permite utilizarla como zuncho, con las ventajas que ello comporta a nivel de ahorro, de tiempo y material.
- **Complementos:** Los dos modelos disponen de piezas de ángulo interior y exterior así como de la pieza de terminación.

8.17 CUBREMUIROS. Están diseñados para proteger muros y vallas y dotarlos de un acabado perfecto mediante una superficie lisa. Disponen de goterón en ambos extremos para evitar que el agua se deslice hacia el muro. Se fabrican en ocho medidas de ancho para adaptarse a toda clase de muros. mampostería, bloque de hormigón, ladrillo, etc.

- Los cubremuros se fabrican en dos secciones:
 - Albardillas: Proporcionan un acabado a doble pendiente que facilita la evacuación del agua.
 - Losas: Disponen de superficie plana que posibilita la colocación de celosías, balastradas, jardineras o cualquier otro elemento decorativo sobre el muro.
- **Color:** Se fabrican en blanco, gris y beige.
- **Colocación:** Los cubremuros disponen de unas ranuras en su parte inferior que facilitan su fijación con mortero. Además al estar fabricados con hormigón en masa permite su corte en obra sin perjudicar el acabado final.

CAPÍTULO 9 — MATERIALES CERÁMICOS

LADRILLOS

9.1 ANTECEDENTES. El uso del **ladrillo cerámico** como elemento constructivo, se conoce desde la antigüedad.

En el VIII milenio a.C. se detectan en Mureybet viviendas edificadas con bloques calcáreos unidos por mortero de arcilla. Simultáneamente, en Ali Kosh aparecen los primeros ladrillos de adobe, aunque de muy pequeño tamaño y destinados a conformar depósitos y pequeños almacenes. Estos serán los sistemas de construcción hasta que durante el período de Samarra (año 5500 a. C.) se comiencen a erigir edificios con ladrillos de adobe.

Posteriormente la cultura del imperio romano fue la gran difusora de la construcción en ladrillo. Esta manera de diseñar y construir edificios, casas, templos, muros, delimitaciones, etc., permitió la edificación de los complejos monumentales del Imperio. Esta tarea hubiera sido muy difícil de completar con cualquier otro material. Por ejemplo, los monumentos erigidos con ladrillo podían ser recubiertos con piedra y estuco para mejorar el acabado. De esta forma, los romanos se convirtieron en los grandes difusores

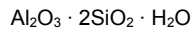
del uso del ladrillo, pues a su accesibilidad se añadía la posibilidad de producir grandes cantidades a corto plazo, con la consiguiente reducción de costos y de tiempo. Además, constituían un material muy resistente que podía conseguirse de diversas formas y tamaños.

9.2 DEFINICIÓN. El término “cerámica” proviene de la palabra griega “keramikos”, que significa “cosa quemada”, esto quiere decir que las propiedades deseables de estos materiales generalmente se alcanzan después de un tratamiento térmico a alta temperatura que se denomina cocción.

Los ladrillos son elementos generalmente paralelepípedos hechos en base a arcilla, que se emplean en la construcción de muros es un material de construcción muy común en las edificaciones, es económico y su formato modular permite una colocación armoniosa.

9.3 EXTRACCIÓN. La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio, además de otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:



Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800° C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por el hombre, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla.

9.4 FABRICACIÓN. Una vez seleccionado el tipo de arcilla el proceso puede resumirse en: Maduración, Tratamiento mecánico previo, Depósito de materia prima procesada, Humidificación, Moldeado, Secado, Cocción, Almacenaje.

a) Maduración: Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo en acopio, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo a la intemperie tiene, en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) favorece, además, la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

b) Tratamiento mecánico previo: Después de la maduración que se produce en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración que consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Los instrumentos utilizados en la pre-elaboración, para un tratamiento puramente mecánico suelen ser:

➤ **Rompe-terrones:** como su propio nombre indica, sirve para reducir las dimensiones de los terrones hasta un diámetro de, entre 15 y 30 mm.

- **Eliminador de piedras:** está constituido, generalmente, por dos cilindros que giran a diferentes velocidades, capaces de separar la arcilla de las piedras o chinós.
- **Desintegrador:** se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, más duros y compactos, por la acción de una serie de cilindros dentados.
- **Laminador refinador:** está formado por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación, entre sí, de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla someténdola a un aplastamiento y un planchado que hacen aún más pequeñas las partículas. En esta última fase se consigue la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar, todavía, en el interior del material.

c) **Depósito de materia prima procesada:** A la fase de pre-elaboración, sigue el depósito de material en silos especiales en un lugar techado, donde el material se homogeneiza definitivamente tanto en apariencia como en características físico químicas.

d) **Humidificación:** Antes de llegar a la operación de moldeado, se saca la arcilla de los silos y se lleva a un laminador refinador y, posteriormente a un mezclador humedecedor, donde se agrega agua para obtener la humedad precisa.

e) **Moldeado:** El moldeado consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la extrusora. La boquilla es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere producir.

El moldeado, normalmente, se hace en caliente utilizando vapor saturado aproximadamente a 130 °C y a presión reducida. Procediendo de esta manera, se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene una mayor poder de penetración que el agua.

f) **Secado:** El secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para, de esta manera, poder pasar a la fase de cocción.

Esta fase se realiza en secaderos que pueden ser de diferentes tipos. A veces se hace circular aire, de un extremo a otro, por el interior del secadero, y otras veces es el material el que circula por el interior del secadero sin inducir corrientes de aire. Lo más normal es que la eliminación del agua, del material crudo, se lleve a cabo insuflando, superficialmente, al material, aire caliente con una cantidad de humedad variable. Eso permite evitar golpes termohigrométricos que puedan producir una disminución de la masa de agua a ritmos diferentes en distintas zonas del material y, por lo tanto, a producir fisuras localizadas.

g) **Cocción:** Se realiza en hornos de túnel, que en algunos casos pueden llegar a medir hasta 120 m de longitud, y donde la temperatura de la zona de cocción oscila entre 900 °C y 1000 °C.

En el interior del horno, la temperatura varía de forma continua y uniforme. El material secado se coloca en carros especiales, en paquetes estándar y alimentado continuamente por una de las extremidades del túnel (de dónde sale por el extremo opuesto una vez que está cocido).

h) **Almacenaje:** Antes del embalaje, se procede a la formación de paquetes sobre pallets, que permitirán después moverlos fácilmente con carretillas de horquilla. El embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento para, posteriormente, ser trasladados en camión.

9.5 CLASIFICACIÓN. Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

- **Ladrillo perforado (gero):** Son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10% de la superficie de la misma. Muy popular para la ejecución de fachadas de ladrillo visto, revestidas o albañilería interior.
- **Ladrillo macizo:** Son aquellos con menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.
- **Ladrillo tejar o manual:** Simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.
- **Ladrillo hueco (tochana):** Son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa (en los laterales), que reducen el volumen de cerámica empleado en ellos. Son los que se usan para tabiquería que no vaya a sufrir cargas especiales. Para albañilería interior.

9.6 APAREJOS.- Aparejo es la ley de traba o disposición de los ladrillos en un muro, estipulando desde las dimensiones del muro hasta los encuentros y los enjarjes, de manera que el muro suba de forma homogénea en toda la altura del edificio.

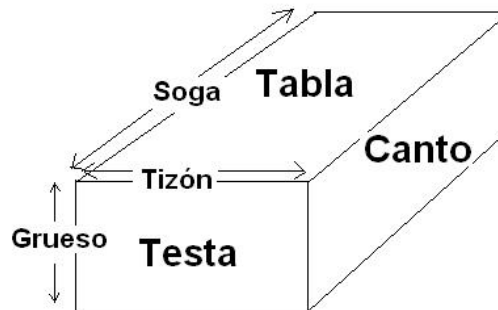


Fig. 9.1. Nomenclatura de las partes de un ladrillo. [33]

Algunos tipos de aparejo son los siguientes:

- **Aparejo en panderete (Tabique):** es el empleado para la ejecución de tabiques, su espesor es el del grueso de la pieza 4 cm. Y no está preparado para absorber cargas excepto su propio peso.
- **Aparejo palomero:** es como el aparejo en panderete pero dejando huecos entre las piezas.
- **Aparejo a sogas (Muro soguilla):** los costados del muro se forman por las sogas del ladrillo, tiene un espesor de 10 cm. (el tizón) y es muy utilizado para fachadas de ladrillo cara vista.
- **Aparejo a tizones o a la española (Muro semicarga):** en este caso los tizones forman los costados del muro y su espesor es de 24 cm. (la soga). Muy utilizado en muros que soportan cargas estructurales (portantes).
- **Aparejo inglés (Muro Semicarga):** en este caso se alternan hiladas en sogas y en tizones, dando un espesor de 24 cm. (la soga). Se emplea mucho para muros portantes en fachadas de ladrillo cara vista. Su traba es mejor que el muro a tizones pero su puesta en obra es más complicada y requiere mano de obra más experimentada.

TEJAS

9.7 ANTECEDENTES. 3000 años antes de J.C: Los Romanos se inspiraron de los tejados chinos de bambúes cortados. Con forma cónica se bloquean unos con otros por deslizamiento. Más tarde ellos **inventan la teja canal en cerámica**, la más antigua de las tejas que combina una parte plana, la «Tegula» y una parte redonda el «Imbrix»

Siglo V: Desarrollo de la teja lisa en cerámica; se inspiran en los lauzes de piedra y en las pizarras. Se adapta mejor a los tejados con fuerte pendiente. La estanqueidad se hace por el recubrimiento de una fila de tejas sobre otra, más o menos grande según la inclinación.

1840 : Los hermanos GILARDONI inventan las tejas con encaje en Altkirch en el Alto Rin. El principio consiste en ganar superficie útil reemplazando el gran recubrimiento de los elementos entre ellos, que es necesario para asegurar la estanqueidad de las tejas lisas y de las tejas canal, mediante un juego de pasos encajados. Estas tejas se fabrican con una máquina, es por ello que tomarán el nombre de tejas mecánicas. La teja de los hermanos GILARDONI era rectangular y grande (15 piezas por m²).

1848 : LARTIGUE et DUMAS incorporan un sistema de encaje a la teja canal tradicional.

Es el nacimiento de la teja Romana. Rápidamente otros fabricantes siguen esta vía con la teja Méridionale con onda un poco más lisa y con encaje invertido.

1875 : Los señores ROYAUX y BEGHIN crean la primera teja con encaje y molde pequeño (20 piezas por m²).

9.8 DEFINICIÓN. Es una pieza de arcilla, cocida, hecha en forma acanalada o plana para cubrir por fuera los techos, recibir y escurrir el agua.

9.9 EXTRACCIÓN. La materia prima al igual que el ladrillo es la arcilla.¹

¹ Ver Extracción / Pág. 45 / I. Ladrillos.

9.10 FABRICACIÓN. El proceso de fabricación de las tejas es el mismo que para el ladrillo cambiando en la etapa de moldeo.²

9.11 CLASIFICACIÓN. Las tejas se clasifican, según su forma en:

- **Teja cerámica mixta:** Incorpora a su forma lomuda un apéndice lateral de perfil recto, que posibilita el solape y facilita la evacuación del agua sin tener que recurrir al canal.

Incluyen un sistema de encaje longitudinal y otro de encaje transversal. Dichos sistemas permiten el ensamblaje estanco de las piezas contiguas.

Se aconseja su colocación para pendientes superiores al 25% ó a 14°.

- **Teja cerámica doble mixta:** Parte del diseño de la teja cerámica mixta, pero simulando una duplicación del número de piezas al dividir la parte curva de la teja en dos.

Las tejas dobles mixtas incluyen un sistema de encaje longitudinal y otro de encaje trasversal. Dichos sistemas permiten el ensamblaje estanco de las piezas contiguas.

Al igual que la teja mixta, este modelo de teja también está recomendado para pendientes superiores al 25% ó 14°.

- **Teja cerámica plana:** De perfil bastante plano presenta una o más (generalmente dos) acanaladuras.

Al igual que las tejas mixta y mixta doble, las tejas planas tienen unos sistemas de encaje longitudinal y trasversal que permiten el ensamblaje estanco de piezas contiguas.

La teja plana se aconseja para pendientes superiores al 25% ó 14°.

- **Teja cerámica curva:** Las tejas curvas son elementos de cobertura de forma semitroncocónica y espesor constante, diseñadas para provocar la escorrentía del agua, recogerla y conducirla pendiente abajo. La ausencia de sistemas de encaje entre ellas posibilita obtener valores diferentes de solape entre las piezas.

La utilización de teja curva requiere una pendiente mínima del 26% o 15°.

La utilización de teja curva implicara, en principio, el uso de un sistema húmedo de fijación (morteros, siliconas...), de piezas de remate, tejas de alero.

Existe la posibilidad de la colocación en seco, por gravedad, o bien, perforando las piezas que se quieren asegurar.

9.12 ELECCIÓN DEL MATERIAL. Para elegir una teja se deberá tomar en cuenta las siguientes características:

- **Características estructurales:**

- **Fisuras y grietas:** Ninguna de las piezas debe presentar fisuras o grietas visibles.
- **Exfoliaciones y laminaciones:** Ninguna pieza presentará exfoliaciones o laminaciones. La aparición de una sola pieza que presente exfoliación o laminación determinará el rechazo de la partida.
- **Desconchados y saltados:**
 - Se considerará como defecto todo desconchado con una superficie superior a 0,7 cm².
 - Ninguna pieza presentará desconchados con una superficie unitaria superior a 2 cm².
 - La superficie afectada por los desconchados en la cara o caras vistas de la teja no será superior al 5% del área total proyectada.
 - Se considerará superficie afectada la suma de las áreas de los rectángulos circunscritos a los cráteres producidos por el desconchado.
- **Roturas:** Ninguna de las piezas presentará rotura imputable al proceso de fabricación.

- **Características geométricas:**

- **Características de forma:**

² Ver Fabricación / Pág. 45 / I. Ladrillos.

- No se establecen limitaciones para las formas, radios de curvatura ni dimensiones generales, salvo las derivadas de los aparatos siguientes.
- El espesor mínimo de las piezas será de ocho milímetros (8 mm.) en cualquier punto.
- Los diseños deberán asegurar:
 - Un solapamiento de doce centímetros y medio (12,5 cm.) medidos a la dirección en que se produzca aquél.
 - Un recorrido mínimo de treinta milímetros (30 mm.) para pasar del exterior al interior, medidos siguiendo el contorno de las piezas en los encajes.
- **Tolerancias dimensionales.** Se controlarán las dimensiones siguientes:
 - **Longitud total.**
 - **Anchura mínima.**
 - **Anchura máxima.**
 - **Espesor.**

En todas estas dimensiones se tolerarán diferencias del dos por ciento en más o en menos (2%) entre el valor nominal y el valor medio de la partida o producción.
El espesor mínimo no será inferior al nominal en ningún caso.

Entre el valor medio y el valor más alejado de una dimensión y en una misma partida se tolerará una diferencia máxima del dos por ciento (2%).

- **Deformaciones:** Las deformaciones no producirán en las generatrices o planos flechas superiores al uno por ciento (1%) de la longitud sobre la que se midan y del 2% en las aristas.

➤ **Características físicas y mecánicas:**

- **Permeabilidad:** La permeabilidad media de las tejas, medida tal como se especifica en la **Norma UNE 67.033** será tal que en el plazo de dos horas no se produzca goteo.
- **Resistencia a la helada:** Todas las tejas deberán obtener la calificación de **no heladizas**, según la **Norma UNE 67.034**.
- **Resistencia a la flexión:** Las tejas deberán soportar una carga mínima de cien (100) daN totales aplicada como se especifica en la **Norma UNE 67.035**.
- **Resistencia al impacto:** Las tejas deberán soportar sin roturas ni desconchados, las pruebas definidas en el ensayo de la **Norma UNE 67.032**.

➤ **Recepción.**

- **Ensayos previos y toma de muestras:** Con objeto de determinar si el producto es un principio aceptable o no, se verificará en fábrica o su llegada a obra el material que vaya a ser suministrado, a partir de una muestra extraída del mismo.

Sobre dicha muestra se determinarán, con carácter preceptivo, las características técnicas que a continuación se indican, de acuerdo con lo establecido en la **Norma UNE 67.024**: defectos estructurales y características geométricas, resistencia a flexión, resistencia al impacto, permeabilidad, resistencia a la helada.

Si del resultado de estos ensayos se desprende que el producto no cumple alguna de las características exigidas, se rechazará el suministro. En caso contrario, se aceptará el mismo con carácter provisional, quedando condicionada la aceptación de cada uno de los lotes que a continuación se vayan recibiendo en obra al resultado de los ensayos de control.

- **Control:** Para el control de aprovisionamiento a la obra cerámicas, se dividirá la previsión total en lotes de 10.000 piezas o fracción que provengan de una misma fabricación.

El plan de control de aprovisionamiento a la obra de tejas cerámicas, se dividirá la previsión total en lotes de 10.000 piezas o fracción que provengan de una misma fabricación.

El plan de control se establecerá determinando tantas tomas de muestras como números de lotes se hayan obtenido.

La extracción de cada muestra se realizará al azar sobre los suministros del material a obra, considerándose homogéneo el contenido de un cambio o el material suministrado en un mismo día, en distintas entregas pero procedentes del mismo fabricante.

Para cada muestra se determinarán las características técnicas que se establecen en la **Norma UNE 67.024** con los métodos de ensayo fijados por dicha norma.

Si los resultados obtenidos cumplen las prescripciones exigidas para cada una de las características, se aceptará el lote y de no ser así, el Director decidirá su rechazo o depreciación a la vista de los ensayos realizados.

Tabla 9.1. Especificaciones para tejas. [35]

Tabla CE 13 Especificaciones Para Tejas Curvo Según Norma Une En 1304:99

UNE EN 1304	Defectos Estructurales	≤ 5%	
UNE EN 1024	Longitud	± 2%	
	Anchura	± 2%	
	Uniformidad de perfiles transversales	(Solo para Tejas Curvas) ≤ 15 mm.	
	Rectitud	L > 300 mm. → 1,5%	
		L ≤ 300 mm. → 2%	
	Alabeo	L > 300 mm. → 1,5%	
L ≤ 300 mm. → 2%			
UNE EN 539-1 Permeabilidad:			
Categoría 1		Categoría 2	
Metodo 1	Metodo 2	Metodo 1	Metodo 2
Valor medio: ≤ 0,5 cm ³ /cm ² /día	Valor medio: ≤ 0,8	Valor medio: ≤ 0,8 cm ³ /cm ² /día	Valor medio: ≤ 0,925
Valores Individuales: ≤ 0,6cm ³ /cm ² /día	Valores Individuales: ≤ 0,85	Valores Individuales: ≤ 0,9cm ³ /cm ² /día	Valores Individuales: ≤ 0,95
		El empleo de tejas clasificadas en esta categoría solamente esta autorizado cuando son colocadas para formar una cubierta provista de un techo estanco al agua.	
UNE EN 538 Resistencia a la flexión:			
Tejas Planas sin encaje	Tejas Planas con encaje	Tejas Curvas	Resto de Tejas
600 N	900 N	1000 N	1200 N
UNE EN 539 – 2	Resistencia a la helada según Método C	50 ciclos	

Fuente: UNE - 1024

Tabla 9.2. Especificaciones para tejas. [35]

Tabla CE 14 Especificaciones Para Tejas Planas Según Norma Une

UNE EN 1304	Defectos Estructurales	≤ 5%	
UNE EN 1024	Longitud	± 2%	
	Anchura	± 2%	
	Uniformidad de perfiles transversales	(Solo para Tejas Curvas) ≤ 15 mm.	
	Rectitud	L > 300 mm. → 1,5%	
		L ≤ 300 mm. → 2%	
	Alabeo	L > 300 mm. → 1,5%	
L ≤ 300 mm. → 2%			
UNE EN 539-1	Permeabilidad:		
Categoría 1		Categoría 2	
Metodo 1	Metodo 2	Metodo 1	Metodo 2
Valor medio: ≤ 0,5 cm ³ /cm ² /día	Valor medio: ≤ 0,8	Valor medio: ≤ 0,8 m ³ /cm ² /día	Valor medio: ≤ 0,925
Valores Individuales: ≤ 0,6cm ³ /cm ² /día	Valores Individuales: ≤ 0,85	Valores Individuales: ≤ 0,9cm ³ /cm ² /día	Valores Individuales: ≤ 0,95
		El empleo de tejas clasificadas en esta categoría solamente esta autorizado cuando son colocadas para formar una cubierta provista de un techo estanco al agua.	
UNE EN 538 Resistencia a la flexión:			
Tejas Planas sin encaje	Tejas Planas con encaje	Tejas Curvas	Resto de Tejas
600 N	900 N	1000 N	1200 N
UNE EN 539 – 2	Resistencia a la helada según Método C	50 ciclos	

Fuente: UNE - 1024

Tabla 9.3. Especificaciones para tejas. [35]

Tabla CE 15 Especificaciones Para Tejas Mixtas Según Norma Une

UNE EN 1304	Defectos Estructurales	≤ 5%	
UNE EN 1024	Longitud	± 2%	
	Anchura	± 2%	
	Uniformidad de perfiles transversales	(Solo para Tejas Curvas) ≤ 15 mm.	
	Rectitud	L > 300 mm. → 1,5%	
		L ≤ 300 mm. → 2%	
Alabeo	L > 300 mm. → 1,5%		
	L ≤ 300 mm. → 2%		
UNE EN 539-1 Permeabilidad:			
Categoría 1		Categoría 2	
Metodo 1	Metodo 2	Metodo 1	Metodo 2
Valor medio: ≤0,5cm ³ /cm ² /día	Valor medio: ≤ 0,8	Valor medio: ≤ 0,8 m ³ /cm ² /día	Valor medio: ≤ 0,925
Valores Individuales: ≤ 0,6cm ³ /cm ² /día	Valores Individuales: ≤ 0,85	Valores Individuales: ≤ 0,9cm ³ /cm ² /día	Valores Individuales: ≤ 0,95
		El empleo de tejas clasificadas en esta categoría solamente esta autorizado cuando son colocadas para formar una cubierta provista de un techo estanco al agua.	
UNE EN 538 Resistencia a la flexión:			
Tejas Planas sin encaje	Tejas Planas con encaje	Tejas Curvas	Resto de Tejas
600 N	900 N	1000 N	1200 N
UNE EN 539 – 2	Resistencia a la helada según Método C	50 ciclos	

Fuente: UNE - 1024

9.13 COLOCADO. El colocado de las tejas está de acuerdo a las pendientes y estas a su vez dependen del lugar al cual estarán expuestas.

➤ **Pendientes.**

Tabla de pendientes en función de la longitud del techo y del área geográfica.

Lugar Protegido	30%	33%	35%
Lugar Normal	33%	35%	38%
Lugar Expuesto	40%	43%	47%

Sitios de Colocación

Protegido: Depresión rodeada por montañas o protegida del viento

Normal: Llano o meseta con desniveles poco importantes

Expuesto: Próxima al mar, en cima de acantilados e islas y fuertes viento

Fig. 9.2. Pendientes. [35]

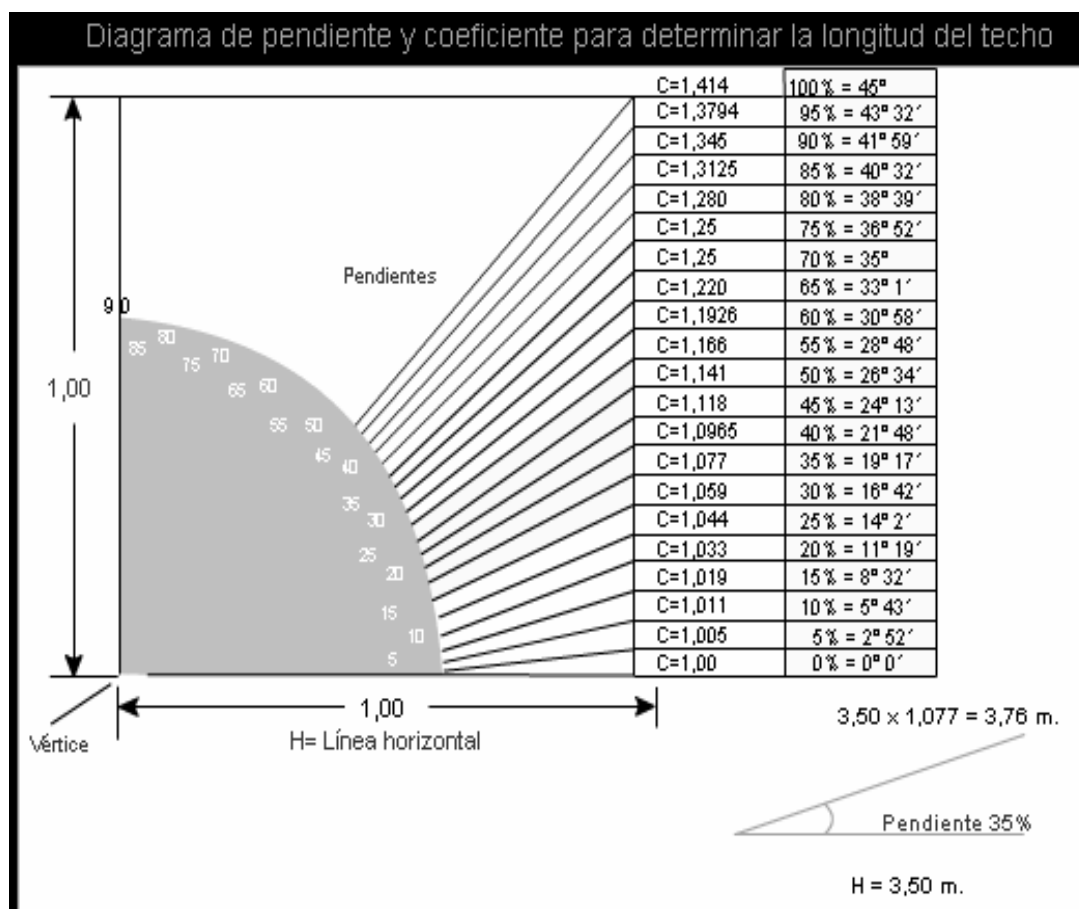


Fig. 9.3. Pendientes. [35]

- **Armado de listones:** Se colocarán a una distancia de 32 a 35 cm. Se recomienda utilizar listones de madera de construcción de 2"x2" la instalación de listones comienza de abajo hacia arriba Colocar las tejas comenzando de abajo hacia arriba hasta alcanzar la cumbrera y de derecha a izquierda.

Las tejas de la primera hilera inferior deben estar apoyadas sobre un listón de 1 pulgada colocado para efectos de nivelación.

En esta fila la teja deberá sobresalir del listón una distancia mayor o igual a 12 cm. Las tejas deben ser colocadas con un traslape de 8 cm.

Se deberá colocar abrazaderas sujetadas a los últimos listones de cada caída para asegurar las canaletas de desagüe

AZULEJOS

9.14 DEFINICIÓN. El término **azulejo** del árabe az-zulayy (*piedra pulida*) refiere a una **pieza de cerámica** de poco espesor, generalmente cuadrada, en la cual una de las caras es vidriada, resultado de la cocción de una substancia a base de esmalte que se torna impermeable y brillante. Esta cara puede ser monocromática o policromática, lisa o en relieve. El azulejo es generalmente usado en gran cantidad como elemento asociado a la arquitectura en revestimiento de superficies interiores o exteriores o como elemento decorativo aislado.

9.15 EXTRACCIÓN.- La arcilla es la materia prima.¹

9.16 FABRICACIÓN.- El proceso de fabricación de un azulejo consta de los siguientes pasos:

- a) **Molienda:** Vía húmeda, en molinos de bolas. Trituración de las arcillas con agua para conseguir una perfecta mezcla.

El proceso de molienda a seco debe pasar por 8 fases extremadamente importantes:

- Secado de las materias primas con humedad superior al 20%.
- Alimentación y dosage de los componentes de la pasta con sistema de pesado.
- Molienda primaria de pre-refinación.
- Molienda de refinación/secado/selección granulométrica.
- Tamización de control y desferización.
- Homogenización, humidificación/granulación con control de la humedad.
- Estocage y alimentación prensas con homogenizador a tamiz rotante.
- Supervisión y gestión eléctrica "inteligente" de la instalación

- b) **Atomizado:** Secado de la barbotina en atomizador con pulverizado en contra corriente del aire caliente hasta llegar a una humedad homogénea determinada (5 a 6%), con una granulometría en forma de esferas que permiten una mejor compactación en la prensa.

Para concluir con una buena preparación de la pasta cerámica falta solo la fase de humidificación, peletización que es una parte determinante del proceso.

La humidificadota vertical realiza una doble función.

Da un justo tenor de agua a la pasta, operando por medio de picos nebulizadores.

A través del eje central completo de palas que confiere a la pasta un movimiento helicoidal combinado al efecto derivante de la nebulización, se obtiene un aglomerado en gránulos de pequeñas dimensiones (menores de 1 mm) y una homogenización para la humedad en todas las fracciones granulométricas de la misma pasta.

Las ventajas principales de esta fase tecnológica se encuentran sobre todo durante el prensado. Se obtiene una relación de compresión notablemente reducida y una velocidad similar a la del atomizado en términos de ciclos de prensado.

¹ Ver Extracción / Pág. 45 / I. Ladrillos.

Una importante y fundamental función de control y gestión de la humedad de la humidificadota, es realizado por un Medidor de Humedad automático que esta en grado de determinar y mantener con elevada precisión y en modo continuo el porcentaje de humedad del material a la salida de la humidificadota, con las ventajas en la fase de prensado secado y cocción.

- c) **Prensado:** El polvo atomizado es prensado en una prensa de alta presión (1000 ton) para compactar el material y darle la forma de la baldosa.
- d) **Secado:** En secador vertical de ciclo rápido para eliminar la humedad residual de las piezas prensadas.

La fase de secado es realizada cuando el material a tratar se presenta desde el origen con un exceso de humedad relativa.

A nivel de la instalación es necesario, según la tipología del secado, será propuesta y dimensionada en función de los resultados solicitados.

Un ejemplo de secado es aquel obtenido con el Secador a Tambor rotante, en este caso las máquinas operan en "contra corriente" con el flujo de los gases calientes y la dirección de avance de las materias primas aumentando de tal manera el rendimiento térmico del proceso.

El material a secar y los gases calientes entran en el tambor rotante y quedan en su interior por un tiempo necesario para el calentamiento de la masa y la evaporación del agua.

- e) **Esmaltado:** Este proceso se realiza aplicando unos aditivos que ayuda a formar una película semiplástica, la cual impide que el esmalte polvoriento se pegue a las pantallas.

Es el proceso de decorado se utilizan serigrafías, el 90% de fritas y unos porcentajes de caolinita, y de acuerdo con el diseño deseado se hace la pantalla y un escrito, el tipo de serigrafía, la alimentación del esmalte y la cantidad de colores son controlado automáticamente.

Cuando hay un producto con mayor demanda se aplican granillos que ayuda a dar el gráfico, esto para los productos de piso que necesiten una mayor resistencia a la fricción y al desgaste.

Después de la decoración las baldosas son llevadas a un prealmacenamiento donde pierde humedad y quedan listas para ser llevadas al horno; la humedad en ese momento debe ser de 1% máxima, evitando así los problemas de fisuras o grietas.

Una vez en el horno las piezas inician un proceso de acción que dura aproximadamente 45 min. y esta dividido en tres etapas:

- **Precalentamiento,** a una temperatura de 500° a 700° C.
 - **Quema** u una temperatura de 720° a 1130° C.
 - **Enfriamiento** a una temperatura descendiente de 1150° a 650° C, presentados posteriormente un enfriamiento natural al salir del horno obteniendo una temperatura de 50° a 60° C, después del cual se realiza la selección del material dependiendo de la calidad.
- f) **Almacenamiento:** Las piezas esmaltadas se almacenan en coches automáticos para su posterior ingreso al horno y de esta manera conseguir una alimentación constante del mismo.
 - g) **Cocción:** En horno a rodillo monoestrato a temperatura aproximadas de 1150°C, donde se produce la sinterización de la mezcla de arcillas y la fusión del esmalte hasta alcanzar el acabado deseado en resistencia y tamaño.
 - h) **Clasificación:** Donde se encajona las piezas de acuerdo al tamaño y calidad deseada.
 - i) **Control de Calidad:** A lo largo de todo el proceso se realiza un constante control de los parámetros establecidos por el laboratorio para conseguir el producto terminado de acuerdo a las normas técnicas internacionales (**ISO-10.545, y las Normas UNE**).
 - j) **La recuperación de los descartes cerámicos:** Se puede reciclar los residuos por medio de una tecnología extremadamente eficiente que tiene como objetivo final ventajas en términos económicos (costo materias primas), tecnológicos y ambiental.

Esta solución permite de poder utilizar los polvos a la salida directamente en la fase sucesiva de molienda (sea a seco como en húmedo)

En el caso sea necesario tener un rígido control de granulometría se recurre a una fase sucesiva apta para tal operación seguida de una molienda secundaria tramite la utilización de un Molino Plg secundario refinador o sino un Molino a Anillo Rotante ARO.

9.17 CLASIFICACIÓN. Los pisos cerámicos se clasifican según su capacidad de absorción y desgaste.

- **Capacidad de absorción:** Los pisos cerámicos se clasifican según su **capacidad de absorción** de agua en cuatro tipos: porcelana, gres cerámico, semigres cerámico, y loza porosa. Dicha característica física se relaciona con tres aspectos fundamentales de su proceso productivo:

- **Temperatura de Cocción.**
- **Presión de Moldeo.**
- **Granulometría de la Mezcla Base.**

Así, los cuatro tipos cerámicos básicos y su **capacidad de absorción de agua** se relacionan con la temperatura de cocción según la siguiente tabla:

Tabla 9.4. Absorción de agua. [37]

Clasificación	Absorción De Agua	Temperatura De Cocción
Porcelana	0 %	> 1200 ° C
Gres Cerámico	0,50 % a 3,00%	1200 °C a 1050 °C
Semi Gres Cerámico	3,00% a 6,00%	1200 °C a 1050 °C
Loza Porosa	> 6,0%	1050 °C a 890 °C

- **Desgaste:** Todo revestimiento para pisos está sometido a un mayor o menor desgaste. Esto es producto de varios factores, como la dureza de la superficie (esmalte), el comportamiento elástico y por sobre todas las cosas las diferentes exigencias (tránsito) a las que se verá sometido el piso.

La capa vitrificada puede presentar desgaste superficial por un uso inadecuado para este tipo de esmalte, por eso las cerámicas se clasifican en diferentes grupos de acuerdo a la resistencia del esmalte al desgaste.

Se rige por normas **IRAM e ISO** y es un ensayo normalizado diseñado específicamente para observar el efecto del desgaste de los esmaltes que recubren a las cerámicas. Clasificando al material ensayado en 5 grupos, desde Grupo I (no recomendado para pisos) hasta Grupo 5 (tránsito muy pesado) según el siguiente cuadro:

Tabla 9.5. Clasificación según el tipo de tránsito. [37]

I	Tránsito liviano	Ambientes con tránsito liviano con calzados normales, sin contacto con el exterior, poco expuestos a la acción de calzado con polvillo, ej.: dormitorios.
II	Tránsito moderado	Ambientes con tránsito liviano con calzados normales, sin contacto con el exterior, ej.: baños, locales interiores en viviendas unifamiliares, excepto, escaleras, cocinas, pasillos.
III	Tránsito normal	Ambientes donde pueda darse desgaste por rozamiento con el polvillo, que se arrastra con calzado normal. Locales interiores en viviendas unifamiliares en contacto con el exterior, ej.: escaleras, cocinas, estar, balcones, pasillos.
IV	Tránsito intenso	Ambientes con solicitudes relativamente fuertes con movimientos constantes y grandes posibilidades de polvillo que se arrastra con el calzado normal. Locales comunes de viviendas colectivas, viviendas en contacto con el exterior. Con excepción de locales con gran afluencia de público, ej.: oficinas privadas, terrazas, salas de hospitales.
V	Tránsito muy intenso	Ambientes con solicitudes fuertes, con gran movimiento constante y presencia de polvillo que se arrastra con el calzado. Bancos, peluquerías, bares, ingreso a hoteles. Con excepción de locales con tránsito de elementos fuera de lo común, zapatos de golf, ruedas de carritos de supermercado sin adecuada protección.

9.18 APLICACIONES. Sus principales aplicaciones son en pisos y muros, de tránsito bajo, medio y alto. Recomendadas especialmente para recintos donde debe cuidarse el tema de deslizamiento y las características higiénicas (superficies selladas), por ejemplo cocinas industriales o áreas exteriores.

Las cerámicas y porcelanatos que se utilizan en el piso son más pesados y duraderos que las que se aplican en las paredes y otras superficies, pues deben soportar el impacto de las pisadas y el peso de los muebles.

Las ventajas de estos pisos es su desempeño en lugares donde hay humedad. La facilidad para su limpieza y su resistencia a los hongos son características que hacen de éstos los pisos preferidos para éstas zonas.

CAPÍTULO 10 — MATERIALES METÁLICOS

FERROSOS

10.1 ANTECEDENTES. El procesamiento moderno del hierro comenzó en Europa central a partir de la mitad del siglo XIV.

Los métodos antiguos para la fabricación del acero consistían en obtener hierro dulce en el horno, con carbón vegetal y tiro de aire. Una posterior expulsión de las escorias por martilleo y carburación del hierro dulce para cementarlo. Luego se perfeccionó la cementación fundiendo el acero cementado en crisoles de arcilla y en Sheffield (Inglaterra) se obtuvieron, a partir de 1740, aceros de crisol.

En 1950 se inventa el proceso de **colada continua** que se usa cuando se requiere producir perfiles laminados de acero de sección constante y en grandes cantidades. El proceso consiste en colocar un molde con la forma que se requiere debajo de un crisol, el que con una válvula puede ir dosificando material fundido al molde.

En 2007 se utilizan algunos metales y metaloides en forma de ferroaleaciones, que, unidos al acero, le proporcionan excelentes cualidades de dureza y resistencia.

10.2 DEFINICIÓN. El **hierro** es un metal de color gris, dúctil, maleable, tenaz y magnético. Conocido desde la prehistoria y el más utilizado para uso industrial, casi siempre con cierto contenido de carbono y en forma de aleaciones con otros metales, aceros y fundiciones. Es un elemento simple perteneciente al grupo VIII de la tabla periódica. Símbolo Fe, número atómico 26 y masa atómica 55,847.

El **acero** es la aleación de **hierro y carbono**, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar a diferencia de los acero, se moldean.

La definición anterior, sin embargo, se refiere a los aceros al carbono en los que éste último es el único aleante o los demás presentes lo están en cantidades muy pequeñas pues de hecho existen multitud de tipos de acero con composiciones muy diversas que reciben denominaciones específicas en virtud ya sea de los elementos que predominan en su composición (aceros al silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidables) e incluso en función de su uso (aceros estructurales). Usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de aceros especiales, razón por la que aquí se ha adoptado la definición de los comunes o "al carbono" que amén de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás.

10.3 EXTRACCIÓN. El **hierro** es el principal metal utilizado en la industria moderna. Representa un 5% de la corteza terrestre aunque desde el punto de vista de la explotación sólo tienen interés los lugares donde el acumulamiento de este metal va desde el 20 al 65 por ciento.

La localización y las características químicas influyen decisivamente en la viabilidad del contenido del hierro, que hacen de la roca un yacimiento explotable.

Aunque se explotan algunos yacimientos con contenidos de un 30 por ciento, la mayoría de las minas importantes tienen contenidos de este elemento que exceden el 50 por ciento.

El **carbono** está entre el 0,02% y el 2%, presenta gran dureza y tiene distintas aplicaciones en función de la cantidad de Carbono. Además, se puede mejorar añadiéndole Cromo, Níquel.

10.4 PROCESO DE FABRICACIÓN. El acero se fabrica partiendo de la fundición o hierro colado; éste es muy impuro, pues contiene excesiva cantidad de carbono, silicio, fósforo y azufre, elementos que perjudican considerablemente la resistencia del acero y reducen el campo de sus aplicaciones.

- a) **Fábrica de aglomeración:** Para preparar el mineral de hierro, este se tritura y calibra en granos que se aglomeran (se aglutinan) entre ellos. El aglomerado así obtenido se compacta, cargándolo después en el alto horno junto con el coque. El coque es un potente combustible, que se obtiene como residuo sólido de la destilación de la hulla (una clase de carbón muy rico en carbono).
- b) **Alto horno:** Se extrae el hierro de su mineral. El mineral y el coque sólidos se introducen por la parte superior del horno. El aire caliente (1200°C) inyectado en la base produce la combustión del coque (carbono casi puro). El óxido de carbono así formado reduce los óxidos de hierro, es decir, extrae su oxígeno, aislando el hierro de ese modo. El calor desprendido por la combustión funde el hierro y la ganga en una masa líquida en que la ganga, de menor densidad, flota sobre una mezcla a base de hierro, denominada "fundición". Los residuos formados por la ganga fundida (escorias) son aprovechados por otras industrias: construcción de carreteras, fabricación de cementos. Aquí se convierte la fundición en acero. La fundición en fusión se vierte sobre un lecho de chatarra. Se

queman los elementos indeseables (carbono y residuos) contenidos en la fundición, inyectando oxígeno puro. Se recuperan los residuos (escoria de acero). Se obtiene acero líquido "bruto", que se vierte en una cuchara. Se denomina acero bruto porque, en esa etapa, está todavía inacabado.

- c) **Convertidor de oxígeno:** Aquí se convierte la fundición en acero. La fundición en fusión se vierte sobre un lecho de chatarra. Se queman los elementos indeseables (carbono y residuos) contenidos en la fundición, inyectando oxígeno puro. Se recuperan los residuos (escoria de acero). Se obtiene acero líquido "bruto", que se vierte en una cuchara. Se denomina acero bruto porque, en esa etapa, está todavía inacabado.
- d) **Coquería:** El coque es un combustible obtenido mediante destilación (gasificación de los componentes no deseados) de la hulla en el horno de la fábrica de coque. El coque es carbono casi en estado puro, dotada de una estructura porosa y resistente a la rotura. Al arder en el alto horno, el coque aporta el calor necesario para la fusión del mineral y los gases necesarios para su reducción.
- e) **Procedimiento eléctrico:** La materia prima introducida en el horno puede incluir desde material en bruto (por ejemplo, piezas de maquinaria) debidamente seleccionado, hasta chatarra entregada en forma preparada, clasificada, triturada y calibrada con un contenido mínimo de hierro del 92%. La chatarra se funden en un horno eléctrico.
- f) **El acero líquido** obtenido de esa manera, se somete a continuación a las mismas operaciones de afinado y de matización que en el procedimiento de fundición. La chatarra procede de envases desechados, edificaciones, maquinaria y vehículos desguazados o desechos de fundición o acero recuperados en la planta siderúrgica o de sus clientes transformadores. Cada matiz de acero requiere una elección rigurosa de la materia prima, especialmente en función de las "impurezas" que un metal determinado u otro mineral contenido en la chatarra pueda representar para un matiz.
- g) **Estación de afino:** Afino (descarburación) y adiciones químicas. Las operaciones se producen en un recipiente al vacío, haciendo que gire el acero entre la cuchara y el recipiente con la ayuda de un gas inerte (argón). Se inyecta oxígeno a fin de activar la descarburación y calentar el metal. Este procedimiento permite una gran precisión en el ajuste de la composición química del acero ("matización").
- h) **Colada continua moldeo de piezas en bruto:** (semiprosesados): El acero fundido se vierte en continuo en un molde sin fondo. Al atravesar este molde, comienza a solidificarse en contacto con las paredes refrigeradas por agua. El metal moldeado baja, guiado por un conjunto de rodillos, y continúa enfriándose. Al llegar a la salida, está solidificado hasta el núcleo. En ese momento se corta inmediatamente en las longitudes deseadas.
- i) **La extrusión:** Una vez fundido, el material es obligado a pasar de forma continua a través de una boquilla y es recogido a la salida de la misma por un sistema de arrastre. Al enfriarse, por contacto con el aire ambiente o mediante circulación forzada de aire frío, se obtiene un perfil cuya sección tiene la forma de la boquilla.

Esta técnica se utiliza en termoplásticos para fabricar tuberías, varillas y otros perfiles de sección constante.

A continuación se muestra un Flujograma que resume el proceso de fabricación del acero:

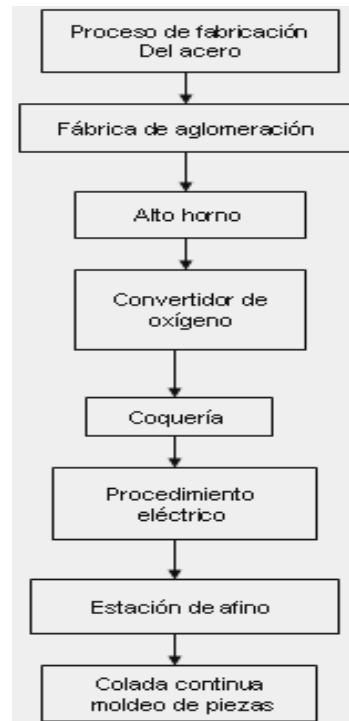


Fig. 10.1. Proceso de fabricación del acero. Fuente: [Elaboración propia].

10.5 CLASIFICACIÓN. Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistente, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

- **Aceros al carbono:** El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre. Con este tipo de acero se fabrican máquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, pasadores de pelo, etc.
- **Aceros aleados:** Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.
- **Aceros de baja aleación ultra resistentes:** Es la familia de aceros mas reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.
- **Aceros inoxidables:** Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina.
- **Aceros de herramientas:** Estos aceros se emplean para fabricar herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas. Contiene wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

Otros tipos de aceros:

- **Acero auto templado:** Acero que adquiere el temple por simple enfriamiento en el aire, sin necesidad de sumergirlo en aceite o en agua.
- **Acero calmado o reposado:** Acero que ha sido completamente desoxidado antes de colarlo, mediante la adición de manganeso, silicio o aluminio.

- **Acero de construcción:** Acero con bajo contenido de carbono y adiciones de cromo, níquel, molibdeno y vanadio.
- **Acero de rodamientos:** Se obtiene a partir de aleaciones del 1% de carbono y del 2% de cromo, a las que se somete a un proceso de temple y revenido. Se emplea en la construcción de rodamientos a bolas y en general.
- **Acero dulce:** Denominación general para todos los aceros no aleados, obtenidos en estado fundido.
- **Acero duro:** Es el que una vez templado presenta un 90% de martensita.
- **Acero efervescente:** Acero que no ha sido desoxidado por completo antes de verterlo en los moldes.
- **Acero fritado:** El que se obtiene fritando una mezcla de hierro pulverizado y grafito, o también por carburación completa de una masa de hierro fritado.
- **Acero indeformable:** El que no experimenta prácticamente deformación geométrica tanto en caliente (materias para trabajo en caliente) como en curso de tratamiento térmico de temple (piezas que no pueden ser mecanizadas después del templado endurecedor).
- **Acero magnético:** Aquel con el que se fabrican los imanes permanentes.
- **Acero no magnético:** Tipo de acero que contiene aproximadamente un 12% de manganeso y carece de propiedades magnéticas.
- **Acero moldeado:** Acero de cualquier clase al que se da forma mediante el relleno del molde cuando el metal está todavía líquido.
- **Acero para muelles:** Acero que posee alto grado de elasticidad y elevada resistencia a la rotura. Aunque para aplicaciones corrientes puede emplearse el acero duro, cuando se trata de muelles que han de soportar fuertes cargas y frecuentes esfuerzos de fatiga se emplean aceros al silicio con temple en agua o en aceite y revenido.
- **Acero pudelado:** Acero no aleado obtenido en estado pastoso.
- **Acero rápido:** Acero especial que posee gran resistencia al choque y a la abrasión. Los más usados son los aceros tungsteno, al molibdeno y al cobalto, que se emplean en la fabricación de herramientas corte.
- **Acero refractario:** Tipo especial de acero capaz de soportar agentes corrosivos a alta temperatura.
- **Acero suave:** Acero dúctil y tenaz, de bajo contenido de carbono.
- **Aceros comunes:** Los obtenidos en convertidor o en horno Siemens básico.
- **Aceros finos:** Los obtenidos en horno Siemens ácido, eléctrico, de inducción o crisol.
- **Aceros forjados:** Los aceros que han sufrido una modificación en su forma y su estructura interna ante la acción de un trabajo mecánico realizado a una temperatura superior a la de recristalización.

10.6 APLICACIONES Y USOS. El acero de tiene una amplia gama de aplicaciones en ingeniería civil.

- **Acero de refuerzo:** Barras de acero para refuerzo del hormigón: Se utilizan principalmente como barras de acero de refuerzo en estructuras de hormigón armado. A su vez poseen su propia clasificación generalmente dada por su diámetro, por su forma, por su uso:
 - Barra de acero liso.
 - Barra de acero corrugado.
 - Barra de acero helicoidal se utiliza para la fortificación y el reforzar rocas, taludes y suelos a manera de perno de fijación.
 - Malla de acero electrosoldada o mallazo
 - Perfiles de Acero estructural laminado en caliente
 - Ángulos de acero estructural en L
 - Perfiles de acero estructural tubular: a su vez pueden ser en forma rectangular, cuadrada y redonda.
 - Perfiles de acero Liviano Galvanizado: Estos a su vez se clasifican según su uso, para techos, para tabiques, etc.

- **Edificación:** Estructuras, Carpintería, Escaleras, Barandillas, Vallados, Condiciones, Andamios.
- **Grandes estructuras:** Puentes, túneles, torres.
- **Armaduras galvanizadas para hormigón:** Construcciones portuarias, tableros de puentes, paneles de Fachada, Prefabricados de Hormigón.

NO FERROSOS

10.7 DEFINICIÓN. Los materiales no ferrosos **no contienen hierro**. Estos incluyen el **aluminio, magnesio, zinc, cobre, plomo** y otros elementos metálicos, las aleaciones el latón y el bronce, son una combinación de algunos de estos metales no ferrosos y se les denomina aleaciones no ferrosas.

10.8 FABRICACIÓN. Los procesos de producción de los metales no ferrosos varían según los metales a producirse, y de acuerdo con las materias primas que se utilicen. No es una consideración frecuente en los proyectos específicos, pero cabe señalar que, en general, antes de desarrollar las instalaciones necesarias para extraer el metal virgen.

A menudo, existen dos diferentes procesos para producir de níquel, cobre y zinc de los minerales azufrados: el **piro metalúrgico**, y el **hidro metalúrgico**. La selección del proceso depende de muchos factores, incluyendo las propiedades inherentes del mineral, y los factores no metalúrgicos, como la ubicación geográfica, disponibilidad de agua y energía eléctrica, y requerimientos del mercado. La ventaja de la hidrometalúrgica es que se presta para los minerales más pobres o complejos. Esto es importante, porque se están agotando las existencias mundiales de los minerales ricos. A menudo, este proceso sirve para depósitos de mineral reducidos, empleando plantas de procesamiento relativamente pequeñas. Sin embargo, no necesariamente es defendible declarar que el proceso hidro metalúrgico es mejor que el piro metalúrgico, por razones ambientales: la situación no es tan clara y deberá ser evaluada, separadamente, para cada proyecto.

10.9 CLASIFICACIÓN. Los metales no ferrosos se clasifican en tres grupos: Pesados, Ligeros, Ultraligeros.

➤ **Metales no ferrosos pesados.**

○ **Estaño (Sn).**

- **Características:** se encuentra en la casiterita; su densidad es de 7,28 kg/dm³, su punto de fusión alcanza los 231°C; tiene una resistencia a la tracción de 5 kg/mm²; en estado puro tiene un color muy brillante, pero a temperatura ambiente se oxida y lo pierde; a temperatura ambiente es también muy maleable y blando, sin embargo en caliente es frágil y quebradizo; por debajo de -18°C se empieza a descomponer convirtiéndose en un polvo gris, este proceso es conocido como peste del estaño; al doblarse se oye un crujido denominado grito del estaño.
- **Aleaciones:** las más importantes son el bronce (cobre + estaño) y las soldaduras blandas (plomo + estaño con proporciones de este entre el 25% y el 90%).
- **Aplicaciones:** sus aplicaciones más importantes son la fabricación de hojalata y proteger al acero contra la oxidación.

○ **Cobre (Cu):**

- **Características:** se encuentra en el cobre nativo, la calcopirita, la calcosina, la malaquita y la cuprita; su densidad es de 8,9 kg/dm³; su punto de fusión de 1083°C; su resistencia a la tracción es de 18 kg/mm²; es muy dúctil, maleable, y posee una alta conductividad eléctrica y térmica.

○ **Zinc (Zn):**

- **Características:** se extrae de la blenda y la calamina; su densidad es 7,14 kg/dm³, su punto de fusión es de 419°C; su resistencia a la tracción es en las piezas moldeadas de 3 kg/mm², y en las piezas forjadas de 20 kg/mm²; es muy resistente a la oxidación y corrosión en el aire y en el agua, pero poco resistente al ataque de ácidos y sales; tiene el mayor coeficiente de dilatación térmica de todos los metales; a temperatura ambiente es muy quebradizo, pero entre 100 y 150°C es muy maleable.

○ **Plomo (Pb).**

- **Características:** se obtiene de la galena, su densidad es 11,34 kg/dm³; su punto de fusión 327°C; su resistencia a la tracción de 2 kg/mm²; es muy maleable y blando; es de color grisáceo-blanco muy brillante recién cortado, se oxida fácilmente, formando una capa de carbonato básico que lo protege; resiste a los ácidos clorhídrico y sulfúrico, pero es atacado por el ácido nítrico y el vapor de azufre.

- **Aleaciones y aplicaciones.**
 - En estado puro:
 - Oxido de plomo: pinturas antioxidantes (minio).
 - Tuberías: en desuso.
 - Recubrimiento de baterías, protección de radiaciones nucleares (rayos X).
 - Formando aleación:
 - Soldadura blanda: Pb + Sn empleado como material de aportación.
- **Cromo (Cr):**
 - **Características:** su densidad es de 6,8 kg/dm³; su punto de fusión es de 1900°C; tiene un color grisáceo acerado, muy duro y con una gran acritud, resiste muy bien la oxidación y la corrosión.
 - **Aleaciones y aplicaciones:**
 - Cromado brillante: para objetos decorativos.
 - Cromado duro: para la fabricación de aceros inoxidables y aceros para herramientas.
- **Níquel (Ni):**
 - **Características:** su densidad es 8,85 kg/dm³; su punto de fusión es de 1450°C; tiene un color plateado brillante y se puede pulir fácilmente, es magnético, es muy resistente a la oxidación y a la corrosión.
 - **Aplicaciones y aleaciones:**
 - Ni + Cr + acero: se emplea para aceros inoxidables.
 - En aparatos de la industria química.
 - En recubrimiento de metales por electrolisis.
- **Wolframio (W):**
 - **Características:** Su densidad es 19 kg/dm³; su punto de fusión de 3370°C.
 - **Aplicaciones y aleaciones:** Filamentos de bombillas incandescentes y fabricación de herramientas de corte para máquinas.
- **Cobalto (Co):**
 - **Características:** Su densidad es de 8,6 kg/dm³, su punto de fusión 1490°C; tiene propiedades análogas al níquel pero no es magnético
 - **Aleaciones y aplicaciones:** Reemplaza para endurecer aceros para herramientas (aceros rápidos) y como elemento para la fabricación de metales duros (sinterización) empleados en herramientas de corte.
- **Metales no ferrosos ligeros.**
 - **Aluminio (Al).**

Características: Se obtiene de la bauxita, su densidad es de 2,7 kg/dm³; su punto de fusión de 660°C; y su resistencia a la tracción de 10 kg/mm² (el doble si esta laminado o forjado); es muy ligero e inoxidable; es buen conductor de la electricidad y del calor, pesa poco y es muy maleable y dúctil.
 - **Titanio (Ti).**
 - **Características:** Se obtiene del rutilo y de la limeñita; su densidad es de 4,45 kg/dm³; su punto de fusión 1800°C; y su resistencia a la tracción de 100kg/mm²; es un metal blanco plateado que resiste mejor la corrosión y la oxidación que el acero; sus propiedades son análogas a las del acero con la propiedad que las conserva hasta los 400°C.
 - **Aleaciones y aplicaciones:** Se emplea en la fabricación de estructuras y elementos de máquinas aeronáuticas (aleado con el 8% de aluminio); en la fabricación de herramientas de corte, aletas para

turbinas y en forma de óxido y pulverizado par la fabricación de pinturas antioxidantes y para el recubrimientos de edificios.

➤ **Metales no ferrosos ultraligeros.**

○ **Magnesio(Mg).**

- **Características:** Se obtiene de la carnalita, dolomita y magnesita; su densidad es de 1,74 kg/dm³; su punto de fusión de 650°C; y su resistencia a la tracción de 18 kg/mm²; en estado líquido o polvo es muy inflamable, tiene un color blanco parecido al de la plata, es maleable y poco dúctil, es mas resistente que el aluminio.
- **Aplicaciones y aleaciones:** Se emplea en estado puro, tiene pocas utilidades, excepto en la fabricación de productos pirotécnico y como desoxidante en los talleres de fundición de acero, también en aeronáutica.

10.10 APLICACIONES Y USOS.- Las aplicaciones de los metales no ferrosos pueden resumirse en la siguiente tabla:

Tabla 10.1. Aplicaciones, usos y suministro comercial. [39]

Metales no ferrosos	Aplicaciones y usos	Forma de suministro comercial
Aluminio	Se utilizan en la construcción, perfiles para cerramientos, chapas acanaladas, bastidores, revestimientos, puertas,	Barras redondas, cuadradas y hexagonales, Varillas, Chapas, Laminas, Caños y tubos, Perfiles, Alambre.
Cobre	Conductores eléctricos. Serpentinas de refrigeración. Tuberías y recipientes para la industria química. Recubrimientos electrolíticos. Radiadores y calentadores de agua. Equipos de acondicionamiento de aire.	Planchas, tubos, barras, perfiles, lingotes.
Bronce	Su empleo más general se hace en estado fundido.	Piezas forjadas, en barras y perfiles laminados.
Estaño	Proteger a los metales contra la corrosión (hojalata). Tubos para serpentinas. Papel de estaño.	
Zinc	Chapas para techados. Cubiertas de edificios. Tubos. Depósitos de agua.	
Níquel	Instrumental quirúrgico y de laboratorio Acumuladores. Recubrimientos protectores. Para fabricar aceros inoxidables, bronce al níquel y alpacas.	
Cromo	Fabricar aceros inoxidables y metales duros. Para proteger el hierro. Recubrir superficies de cromo con cromo duro.	
Antimonio	Fabricar aleaciones antifricción. Metal de imprenta. Plomo duro. Placas acumuladores.	
Manganeso	Con el hierro forma ferromanganesos. Obtención de bronce y aleaciones ligeras.	
Cobalto	Reemplaza al níquel en elementos de cirugía. Aleaciones de acero para imanes, aceros rápidos y aleaciones magnéticas. Carburos metálicos de cobalto. Herramientas de corte de gran velocidad.	
Molibdeno	Soportes de filamentos de lámparas. Electrodos de tubos de rayos x.	
Tungsteno	Filamentos de lámparas. Contactos eléctricos. Fabricación de aceros rápidos y metales duros.	

CAPÍTULO 11 — MADERA

11.1 ANTECEDENTES. Durante miles de años el hombre la ha manipulado para que sirviera a sus necesidades y, aún en nuestros días, tipologías ancestrales continúan siendo válidas.

La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre para construcción de viviendas. Después fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas desde el siglo XX a.c. y hasta el siglo XIV d.c; donde al descubrirse nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal, el cartón, la fibra textil y todos los sustitutos de la madera, disminuyeron en gran medida el uso de esta.

11.2 DEFINICIÓN. La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas.

La madera es uno de los elementos constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado para la construcción de sus viviendas y otras edificaciones. Pero para lograr un resultado excelente en su trabajabilidad hay que tener presente ciertos aspectos relacionados con la forma de corte, curado y secado.

11.3 ESTRUCTURA DE LA MADERA. La madera está constituida de las siguientes partes:

- **Médula (Núcleo):** Parte central del árbol. Constituida por tejido flojo y poroso. Tiene un diámetro muy pequeño. Madera vieja y normalmente agrietada. Se suele desechar en los procesos de elaboración de la madera.
- **Duramen:** Madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia (debido al proceso de lignificación.) De coloración, a veces, más oscura que la exterior. Madera adulta y compacta. Es aprovechable. La duraminización (transformación de albura a duramen) de la madera se caracteriza por una serie de modificaciones anatómicas y químicas, oscurecimiento, aumento de densidad y mayor resistencia frente a los ataques de los insectos.
- **Albura:** Se encuentra en la parte externa del tronco, bajo la corteza. Constituida por tejidos jóvenes en período de crecimiento (zona viva). Contiene mucha savia y materias orgánicas. De coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo frente ataques bióticos.
- **Cambium:** Capa existente entre la albura y la corteza, constituye la base del crecimiento en especial del tronco, generando dos tipos de células:
 - Hacia el interior: Madera (albura).
 - Hacia el exterior: Líber.
- **Líber:** Parte interna de la corteza. Es filamentosos y poco resistente. Madera embrionaria viva.
- **Corteza:** Capa exterior del tronco. Tejido impermeable que recubre el líber y protege al árbol.
- **Radios leñosos:** Bandas o láminas delgadas de un tejido, cuyas células se desarrollan en dirección radial, o sea, perpendicular a los anillos de crecimiento. Ejercen una función de trabazón. Almacenan y difunden las materias nutritivas que aporta la savia descendente (igual que las células de parénquima). Contribuyen a que la deformación de la madera sea menor en dirección radial que en la tangencial.

Son más blandos que el resto de la masa leñosa. Por ello constituyen las zonas de rotura a compresión, cuando se ejerce el esfuerzo paralelamente a las fibras.

11.4 EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN. La madera desde que se extrae del árbol hasta que llega a ser empleada para la fabricación de objetos, pasa por el siguiente proceso de transformación:

- a) **Apeo, corte o tala:** en este proceso intervienen los leñadores o la cuadrilla de operarios que suben al monte y con hachas o sierras eléctricas o de gasolina cortan el árbol y le quitan las ramas, raíces y empiezan a quitarle la corteza para que empiece a secarse. Se suele recomendar que los árboles se los corte en invierno u otoño. Es obligatorio replantar más árboles que los que se cortaron.
- b) **Transporte:** es la segunda fase y es en la que la madera es transportada desde su lugar de corte al aserradero y en esta fase dependen muchas cosas como la orografía y la infraestructura que haya.

Normalmente se hace tirando con animales o maquinaria pero hay casos en que hay un río cerca y se aprovecha para que los lleve, si hay buena corriente de agua se sueltan los troncos con cuidado de que no se atasquen pero si hay poca corriente se atan haciendo balsas que se guían hasta donde haga falta.

- c) **Aserrado:** en esta fase la madera es llevada a unos aserraderos. En los cuales se sigue más o menos ese proceso y el aserradero lo único que hace es dividir en trozos la madera según el uso que se le vaya a dar después. Suelen usar diferentes tipos de sierra como por ejemplo, la sierra alternativa, de cinta, circular ó con rodillos. Algunos aserraderos combinan varias de estas técnicas para mejorar la producción.
- d) **Secado:** La madera recién cortada contiene gran cantidad de agua, de un tercio a la mitad de su peso total, por eso este es el proceso más importante para que la madera sea de calidad y esté en buen estado aunque si fallan los anteriores también fallará este.
- **Secado natural:** se colocan los maderos en pilas separadas del suelo y con huecos para que corra el aire entre ellos y protegidos del agua y el sol para que así se vayan secando. Lo que le pasa a este sistema es que tarda mucho tiempo y eso no es rentable al del aserradero que quiere que eso vaya deprisa.
 - **Secado artificial:** dentro de este hay varios métodos distintos:
 - **Secado por inmersión:** en este proceso se mete al tronco o el madero en una piscina, y por el empuje del agua por uno de los lados del madero la savia sale empujada por el lado opuesto así se consigue que al eliminar la savia la madera no se pudra; aunque prive a la madera de algo de dureza y consistencia, ganará en duración. Este proceso dura varios meses, tras los cuales la madera secará más deprisa porque no hay savia.
 - **Secado al vacío:** en este proceso la madera es introducida en unas maquinas de vacío. Es él más seguro y permite conciliar tiempos extremadamente breves de secado con además: bajas temperaturas de la madera en secado, limitados gradientes de humedad entre el exterior y la superficie, la eliminación del riesgo de fisuras, hundimiento o alteración del color. Fácil utilización. Mantenimiento reducido de la instalación.
 - **Secado por vaporización:** este proceso es muy costoso pero bueno. Se meten los maderos en una nave cerrada a cierta altura del suelo por la que corre una nube de vapor de 80 a 100 °C; con este proceso se consigue que la madera pierda un 25% de su peso en agua y más tarde para completar el proceso se le hace circular una corriente de vapor de aceite de alquitrán que la impermeabilizará y favorecerá su conservación.
 - **Secado mixto:** en este proceso se juntan el natural y el artificial: se empieza con un secado natural que elimina la humedad en un 20-25% para proseguir con el secado artificial hasta llegar al punto de secado o de eliminación de humedad deseado.
 - **Secado por bomba de calor:** este proceso es otra aplicación del sistema de secado por vaporización, con la a aplicación de la tecnología de "bomba de calor" al secado de la madera permite la utilización de un circuito cerrado de aire en el proceso, ya que al aprovecharse la posibilidad de condensación de agua por parte de la bomba de calor, de manera que no es necesaria la entrada de aire exterior para mantener la humedad relativa de la cámara de la nave ya que si no habría desfases de temperatura, humedad.
El circuito será el siguiente: el aire que ha pasado a través de la madera -frío y cargado de humedad- se hace pasar a través de una batería evaporadora -foco frío- por la que pasa el refrigerante (freón R-134a) en estado líquido a baja presión. El aire se enfría hasta que llegue al punto de rocío y se condensa el agua que se ha separado de la madera. El calor cedido por el agua al pasar de estado vapor a estado líquido es recogido por el freón, que pasa a vapor a baja a presión. Este freón en estado gaseoso se hace pasar a través de un compresor, de manera que disponemos de freón en estado gaseoso y alta presión, y por lo tanto alta temperatura, que se aprovecha para calentar el mismo aire de secado y cerrar el ciclo. De esta manera disponemos de aire caliente y seco, que se vuelve a hacer pasar a través de la madera que está en el interior de la nave cerrada.

La gran importancia de este ciclo se debe a que al no hacer que entren grandes cantidades de aire exterior, no se rompa el equilibrio logrado por la madera, y no se producen tensiones, de manera que se logra un secado de alta calidad.

11.5 CLASIFICACIÓN. Según el *Manual de Diseño en Maderas del Grupo Andino*, las maderas se clasifican en los siguientes grupos:

- GRUPO A $\rightarrow \gamma \equiv (750 - 850) \text{ k/m}^3$.
- GRUPO B $\rightarrow \gamma \equiv (700 - 750) \text{ k/m}^3$.
- GRUPO C $\rightarrow \gamma \equiv (600 - 750) \text{ k/m}^3$.

Tabla 11.1. Modulo de elasticidad (kg. /cm²). Fuente [Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino]

	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
E_{mínimo}	95,000	75,000	55,000
E_{promedio}	130,000	100,000	90,000

11.6 APLICACIONES. La madera de construcción es aquella que se utiliza en la producción intensiva de elementos estructurales como vigas, correas, cabriadas, etc. o para la realización de estructuras portantes de un edificio, como por ejemplo techos, paredes, escaleras, etc.

Estas maderas convienen que sean de rápido crecimiento, baratas y no necesariamente de una alta calidad. La tendencia actual se orienta a la utilización de coníferas, maderas livianas, blandas y de bajo peso propio.

La madera para carpintería en cambio, son de tipo finas, es decir, de calidad superior, y se utilizan para la fabricación de puertas, ventanas, muebles, elementos de terminación y decoración interior.

La construcción de edificios con estructura en base a madera implica la utilización también de un conjunto de otros materiales afines y complementarios.

- **Maderas duras,** su densidad varía entre 0.8-1.2 gr/cc. Se los usa para pisos, entablado, parquetaría, machambrado, como pasos de escalera, etc.
 - Almendrillo: se utiliza para vigas.
 - Verdolago: Se utiliza para tablones de carrocería.
 - Para este tipo de maderas las dimensiones más usadas son 2"x 6"x 5 metros.
 - Palo Maria, Jórori, Palo Román, Yesquero. Estas Maderas son utilizadas para techar, como forros para cielo rasos, carpintería de obras, marcos de puerta y ventanas.
- **Maderas blandas:** su densidad varía de 0.4 – 0.72 gr/cc. Ochoa, Mapajo, Bibose: son utilizadas para carpintería, encofrado, mueblería decorativa, etc.

11.7 PARTICULARIDADES Y ANOMALÍAS DE LA MADERA ASERRADA. La madera puede contener una serie de particularidades o estar afectada de unas anomalías que modifican su comportamiento. Las principales particularidades y anomalías son las siguientes:

- **Los nudos:** Los nudos son las ramas del árbol, no son en sí un defecto, pues las ramas son necesarias, pero modifican las características de la madera, tanto en su aspecto, como en su resistencia y transformación.

Los nudos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Por el estado del nudo: Nudo sano y adherente; Nudo negro; Nudo saltadizo; Nudo vicioso o podrido.
 - Por el tamaño de los nudos: Nudo en ojo de perdiz (<5mm); Nudo pequeño (entre 5mm y 15mm); Nudo mediano (entre 15mm y 25 mm); Nudo grande (entre 25mm y 40mm); Nudo muy grande (>40mm).
 - Por la forma de los nudos: Nudo en espiga; Nudo redondo o circular; Nudo oval.
- **La médula:** Al igual que en el caso anterior, la médula en el árbol no es un defecto sino que es un elemento anatómico característico. La consideración de defecto, es debido a que su constitución es totalmente diferente a la de la madera, presentando unas características de blandura, escasa resistencia y color, que hacen depreciar las piezas que lo contienen.

El tamaño de la médula, oscila normalmente entre 1 y 2 mm, con sección en forma circular, poligonal o estrellada.

- **Madera enfeada o con bolsas de resina y taninos:** Ciertas maderas sufren de forma natural o artificial, un proceso por el cual, parte o la totalidad del duramen, o incluso la albura, se impregnan de resina, dando un aspecto y cualidad a la madera característicos.

El proceso de enteamiento natural, es característico de ciertas especies (denominadas generalmente como pino tea, caso del canario, amarillos del sur...), cuando el árbol alcanza una cierta madurez.

- **Fendas:** Son roturas locales de la madera, producidas según planos de corte que incluyen la dirección radial y la del eje del árbol, causadas por esfuerzos superiores a los valores de resistencia de esa madera.

Según sea el origen de los esfuerzos que inciden sobre la madera, las fendas se clasifican:

- **De desecación:** Son fendas que se producen una vez que el árbol muere, momento a partir del cual, la humedad de la madera tiende a equilibrarse con la del medio ambiente que le rodea.

La existencia del gradiente de humedad supone la existencia de diferentes niveles de tendencia a mermar, que al ser la madera un cuerpo sólido, se traduce en un estado de tensiones, que en la superficie son de tipo

de tracción perpendicular a la fibra y en el interior de compresión. Cuando las tensiones son grandes (debidos a un gradiente grande de humedades) se produce la rotura de la madera por la zona de superficie, dado que la madera es muy poco resistente a la tracción.

- **De Cementado:** Son fendas de desecación que se produce por falta de cuidado durante el secado, en el que se produce una inversión de tensiones, cuando la madera del interior empieza a bajar del 30%. Las fendas se extienden del centro de la tabla hacia el exterior.
- **Acebolladuras:** Son roturas locales de la madera, producidas entre los anillos de crecimiento y a lo largo del eje del árbol, causadas, por esfuerzos que inciden sobre la madera.
- **Ataques de organismos xilófagos:** Son muy numerosos los organismos que se alimentan de alguna forma de la madera, pero sin lugar a dudas destacan de entre ellos, los hongos y los insectos, que provocan anomalías de gran importancia entre las que cabe destacar:
- **Coloraciones:** Son causadas por hongos denominados, por los efectos que producen, cromógenos, que se alimentan de los nutrientes existentes en las células de la madera, originando como principal efecto, el cambio de coloración de la madera, por el crecimiento del micelio fúngico en la misma.

El azulado se produce siempre que la confiera esté cortada o elaborada, con un contenido de humedad de entre 20 y 140%, con óptimo desarrollo alrededor del 50%, y una temperatura ambiente de entre 5 y 35°C, con óptimo de desarrollo a los 25°C. La intensidad del ataque dependerá de la resistencia de la propia especie, de la proximidad al óptimo de desarrollo de los hongos, y del tiempo de exposición a esas condiciones.

- **Picaduras:** Son agujeros, generalmente de apenas unos milímetros de diámetro, dispuestos en galerías, causados por insectos, que en alguna fase de su desarrollo se alimentan de sustancias contenidas en la madera.
- **Pudriciones:** Son causadas por hongos, que se alimentan de la pared de las células de la madera, originando su destrucción.

11.8.DEFORMACIONES Y TOLERANCIAS (PACTO ANDINO).

ALABEO. Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o de ambos.

Se consideran:

- a. Abarquillado
- b. Arqueadura
- c. Encorvadura
- d. Torcedura

- a. Abarquillado. Es el alabeo de las piezas cuando las aristas o bordes longitudinales no se encuentran al mismo nivel que la zona central.

Reconocimiento. al colocar la pieza de la madera sobre una superficie plana apoyar la parte central de la cara quedando levantados, presentando un aspecto cóncavo o de barquillo.

Tolerancia. se permite en forma leve, no mayor de 1 por ciento del ancho de la pieza.

- b. Arqueadura. Es el alabeo o curvatura a lo largo de la cara de la pieza.

Reconocimiento.- al colocar la pieza sobre una superficie plana se observara una luz o separación entre la cara de la pieza de la madera y la superficie de apoyo

Tolerancia. se permite 1 centrimetro por cada 300 centimetros de longitud o su equivalente: $(H/L) < 0.33\%$

- c. Encorvadura. Es el alabeo o curvatura a lo largo del ancho de la pieza.

Reconocimiento. al colocar la pieza sobre una superficie plana se observara una luz o separacion entre el canto de la pieza de madera y la superficie de apoyo. Se ubicara el lugar de mayor distanciamiento para ser medido.

Tolerancia. Se permite 1 cm. por cada 300 cm. de longitud o su equivalente: $(H/L) < 0.33\%$

- d. Torcedura. Es el alabeo que se presenta cuando las esquinas de una pieza de madera no se encuentran en el mismo plano.

Reconocimiento.- al colocar la pieza sobre una superficie plana se observara el levantamiento de una o más aristas en diferentes direcciones.

Tolerancia. Se permite solamente cuando este defecto se presenta en forma muy leve y en una sola arista. Se permite 1 cm. De alabeo para una pieza de 3 metros de longitud.

ARISTA FALTANTE

Reconocimiento.- Es la falta de madera en una o más aristas de la pieza.

Tolerancia. Se permite en una sola arista. Las dimensiones de la cara y el canto donde la falta la arista deberán ser por lo menos los tres cuartos de las respectivas dimensiones de la sección completa.

DURAMEN QUEBRADIZO. Es la parte mas interior del leño, generalmente de color más oscuro y de mayor durabilidad que la albura aunque no esta siempre nítidamente diferenciado de ella constituye generalmente la mayor proporción del centro del tronco

Reconocimiento. porción de madera en una zona de aprox. 10 cm. De diámetro adyacente a la medula caracterizada por una fragilidad anormal. Se presenta en forma de grietas de media luna. Es mas frecuente en árboles viejos y puede presentar deterioro.

Tolerancia. Ninguna. No se permite.

FALLAS DE COMPRESIÓN. Es la deformación y rotura de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesiva en árboles en pie causados por su propio peso, o por acción del viento. Pueden producirse además durante las operaciones de corte y apeo de los árboles o por un mal apilado de la madera aserrada.

Reconocimiento.- se observan en las superficies bien cepilladas de una pieza como arrugas finas perpendiculares al grano. Estas fallas originan zonas con muy poca o ninguna capacidad mecánica, por lo que su correcta identificación es fundamental para la seguridad de la estructura. Se presenta en árboles que tienen el tallo y fuste muy ahusado o cónico.

Tolerancia. Ninguna. No se permite.

GRANO INCLINADO. Es la desviación angular de las fibras de la madera en relación al eje longitudinal de la pieza.

Reconocimiento.- es la desviación angular que presenta el grano con respecto al eje longitudinal de la pieza. Es necesario hacer uso repetido del detector del grano sobre las caras y cantos de la pieza.

Tolerancia. Se permite en cara o canto hasta un máximo de 1/8 de inclinación.

GRIETA. Es la separación de los elementos de la madera en dirección radial y longitudinal que no alcanza a afectar dos caras de una pieza o dos puntos opuestos de la superficie de una madera rolliza.

Reconocimiento.- se observan como separaciones discontinuas y superficiales de aproximadamente 1 milímetro de separación y 2 a 3 mililitros de profundidad. Este defecto se produce durante el proceso de secado.

Tolerancia. Se permite moderadamente la suma de las profundidades, medidas desde ambos lados, no debe exceder un cuarto del espesor de la pieza.

PERFORACIONES. Son agujeros o galerías causadas por el ataque de insectos o larvas.

Se consideran:

- a. Perforaciones pequeñas
- b. Perforaciones grandes
- a. Perforaciones pequeñas

Reconocimiento.- son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm. Producidos por insectos de tipo Ambrosia. Insectos tipo Lyctus no se aceptan.

Tolerancia. Se permiten cuando su distribución es moderada y comprende una zona menor que un cuarto de longitud total de la pieza. Máximo 100 agujeros en 100 cm². No alineados ni pasantes.

- b. Perforaciones grandes

Reconocimiento.- son agujeros con diámetros mayores a 3 mm. Producidos por insectos o larvas perforadoras tipo "brocas de los domicilios"

Tolerancia. Se permiten cuando su distribución es moderada y superficial. Máximo 3 agujeros por metro lineal. No alineados ni pasantes.

RAJADURAS. Son separaciones naturales entre los elementos de la madera que se extienden en la dirección del eje de la pieza y afectan totalmente su espesor, o dos puntos opuestos de una madera rolliza.

Reconocimiento. se observa como separaciones del tejido leñoso en la dirección del grano.

Tolerancia. Se permite solo en uno de los extremos de la pieza y de una longitud no mayor al ancho o cara de la pieza.

11.9. MEDICIÓN DE MADERA ASERRADA

Las maderas se miden en pulgadas.

Una pulgada de madera tiene las siguientes dimensiones:

Ancho = 10 pulgadas = 25,4 cms

Largo = 12 pies = 3,60 mts

Espesor = una pulgada = 2,54 cms

1 pie = 1' = 30,48 cms = 12 pulgadas

1 metro = 3,2809 pies

1 pie = 12" = 12 pulgadas

1 pulgada = 1" = 25,3995 mm

Las maderas aserradas y las cepilladas se miden en pulgadas, sin embargo, la medición real de ambas difiere de su valor nominal por efecto del desgaste que produce el cepillado. **Una pulgada de madera aserrada mide 2,54 cms de espesor y una pulgada de madera cepillada mide sólo 2,06 cms de espesor.** Por efecto del cepillado una tabla o tablón disminuye entre 2 y 3 milímetros por cada lado.

Tabla 11.2. Dimensiones de la madera comercial

Medida	aserrada	aserrada	cepillada	Cepillada
	nominal	real	nominal	real
1"	2,54 cms	2,54 cms	2,54 cms	2,06 cms
1 ½"	3,81 cms	3,81 cms	3,81 cms	3,17 cms
2"	5,08 cms	5,08 cms	5,08 cms	4,44 cms
2 ½"	6,35 cms	6,35 cms	6,35 cms	5,71 cms

A los efectos de saber **cuántas pulgadas tiene una determinada tabla o tablón de madera** se multiplica el espesor (grosor) en pulgadas, por el ancho en pulgadas y por el largo en pies y ese total se divide por 120.

CAPÍTULO 12 — VIDRIO

12.1 ANTECEDENTES. El primer uso que se le dio al vidrio se remonta a tiempos muy antiguos, se utilizaba para objetos de bisutería; a éstos objetos se le añadían diversos minerales haciendo así que durante el fundido se obtuvieran cuentas de diferentes colores.

En la Antigua Roma, se dio a luz a la técnica del soplado, la misma permitió a elaboración o creación de decenas de recipientes, e incluso de láminas para ventanas. De todas formas, la técnica seguía siendo muy primitiva, y las láminas de buena calidad tenían que ser confeccionadas en pequeños tamaños.

En la Edad Media, el vidrio, fue muy utilizado en las vidrieras de las catedrales góticas. La industria que se dedicaba a la fabricación del vidrio experimentó un gran cambio a partir del primer cuarto del siglo XIX, esto se debió, gracias al abaratamiento de la producción comercial del mismo. Dicho abaratamiento tuvo lugar gracias a un método ideado por el químico francés Nicolás Leblanc al finalizar el siglo XVIII.

12.2 DEFINICIÓN. El vidrio es un material **duro, frágil y transparente** que ordinariamente se obtiene por fusión a unos 1.500 °C de arena de sílice (SiO_2), carbonato sódico (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3). El sustantivo "cristal" es utilizado muy frecuentemente como sinónimo de vidrio, aunque es incorrecto debido a que el vidrio es un sólido amorfo y no un cristal propiamente dicho.

12.3 FABRICACIÓN. El vidrio se origina a través de una compleja mezcla de compuestos vitrificantes tales como, fundentes, sílice, estabilizantes y álcalis; ésta materias primas son llevadas al horno de producción continua a través de una tolva.

El horno es calentado por medio de quemadores de petróleo o gas haciendo que la llama alcance una temperatura suficiente, y es por esto que el aire de combustión en recuperadores hechos de ladrillos de tipo refractorios. El horno cuenta con dos tipos de recuperadores cuyas funciones varían cada veinte minutos: uno logra el calentamiento por contacto con los gases ardientes mientras que el otro otorga el calor almacenado al aire de combustión. Esta mezcla se funde a no menos de 1.500°C y se traslada hacia la zona en donde será enfriada, cuando se obtiene el vidrio se le brinda la forma por laminación o por otro método.

Por sus características cristalinas debemos afirmar que el vidrio es un material muy higiénico y no tiene ninguna influencia sobre otros compuestos con los que se lo relaciona, este es el caso de los alimentos almacenados en recipientes de vidrio; se degradación química y física le exige un largo tiempo, de todas formas, no contiene sustancias nocivas para el medio ambiente.

Elaboración de vidrios comunes: Los vidrios comunes, incoloros y transparentes. Están compuestos por dos silicatos metálicos:

➤ Silicato de Sodio.

➤ Silicato de Calcio.

Las materias primas necesarias serán:

➤ Arenas: que aportan dióxido de silicio.

➤ Soda SOLVAY: carbonato de sodio decahidratado.

➤ Piedra caliza: que suministra el carbonato de calcio.

Las arenas deben ser blancas, de gran dureza, exentas en lo posible de óxido de hierro. Las arenas amarillentas, con alto porcentaje de óxido de hierro, producen coloraciones verdosas, como la de las botellas. Para abaratar la fabricación se recupera el vidrio de las botellas, envases y otros desechos, seleccionando desperdicios domiciliarios. Clasificados por color y calidad se incorporan a las materias primas con el nombre de cascote de vidrio. Se opera con hornos de cubeta de grandes dimensiones con capacidad para varios miles de toneladas. La llama de un combustible barre la superficie de los sólidos y eleva la temperatura. A unos 1000 o 2000° C se verifican las reacciones antedichas y se obtiene vidrio en estado líquido. Los hornos de cubeta funcionan ininterrumpidamente. Del sector mas frío y de menos profundidad, separado del resto por un tabique, se extrae el vidrio elaborado mientras en el extremo opuesto se recargan materias primas.

Proceso de fabricación de cristal laminado:

a) Cristal flotado.

b) Lavado y secado.

c) Laminado con PVB.

d) Aplicación del color.

e) Enfriamiento.

f) Calor y presión en autoclave.

12.4 CLASIFICACIÓN. Esta clasificación esta envase a distintos compuestos químicos donde se obtienen diferentes tipos de vidrio, en base a su composición química:

➤ **Vidrios de seguridad:**

- **Vidrio templado:** Se obtiene al someter la lámina de vidrio a un tratamiento térmico (calentamiento a 650°C y enfriamiento brusco) con lo cual aumenta la tensión superficial y modifica sus propiedades:
 - Aumento de la resistencia al impacto (hasta 6 veces más).
 - Aumenta la resistencia al choque térmico (diferencia de temperatura entre ambas caras hasta 4 veces más).
 - Su rotura se produce en pequeños fragmentos, no cortantes.

Precaución: el vidrio templado no puede ser cortado, perforado ni pulido, pues al vencer la tensión superficial la pieza se rompe totalmente. Estas operaciones deben realizarse antes del tratamiento térmico.

En el proceso de elaboración se diferencia el templado vertical del horizontal porque el primero determina marcas de las pinzas de procesamiento.

Tabla 12.1 Características del vidrio templado. [43]

Característica	Vidrio templado
Tensión admisibles	Tensión superficial de compresión menor a 100n/mm2
Resistencia mecánica	4 veces menor al vidrio común
Choques térmicos	Cambios bruscos 6 veces mayor que el vidrio común.Temp. máxima 300C.

- **Vidrio laminado:** Se produce mediante la unión de dos o más laminas de vidrio con una o más láminas de elementos plásticos de alta resistencia como refuerzo, lo que permite que al romperse la pieza los trozos de vidrio queden adheridos a ella.

Está compuesto por 2 o más hojas de vidrio flota unidas íntimamente por interposición de láminas de PVB (polivinil de Butiral) incoloro o coloreado.

Según el número y naturaleza de sus componentes brinda propiedades que van desde una seguridad simple hasta una protección antibala.

En caso de rotura los trozos quedan unidos por polivinil, impidiendo la caída y mantenimiento del conjunto, sin interrumpir el cerramiento ni la visión.

Posee buenas propiedades desde el punto de vista del aislamiento acústico.
Se pueden curvar con radio mínimo 50cm.

- **Vidrio armado:** en este caso se incorpora como alma una malla metálica electrosoldada o torsionada, con un efecto similar al citado anteriormente.

Es un vidrio traslucido incoloro al que se incorpora una malla metálica de acero generalmente de 12 x 12 mm. Esta actúa como soporte temporario del vidrio en caso de rotura.

Aplicado en aberturas permite retardar la propagación del fuego entre 30 y 60 minutos.

Los bordes deben tener un corte neto, perfectamente arenado. Espesor 6mm.

➤ **Vidrios atérmicos:**

- **Vidrios absorbentes:** Aumentan el coeficiente de absorción de la radiación solar, llegando hasta un 78% (vidrio común = 15%).
- **Vidrios reflejantes:** Elevan el coeficiente de reflexión de la radiación solar, alcanzándose valores de hasta un 57% (vidrio común = 7%).

Los vidrios que combinan ambos factores limitan la transmisión de energía a un mínimo de 11%, contra un 85% de un vidrio común. Asimismo se ve reducida sensiblemente la cantidad de luz que permiten pasar.

Se utilizan para proteger láminas, cuadros, fotos.

Tienen sus superficies levemente texturadas, atenúan las molestias que causan los reflejos sobre un vidrio de caras brillantes.

Se fabrican en espesor de 2.3mm.

La separación máxima con respecto a la imagen es de 20mm.

La cara texturada se coloca al exterior.

En particular el cristal flotado reflectivo posee una de sus caras un revestimiento reflectivo aplicado mediante un proceso piro lítico. Se produce simultáneamente con la fabricación del Flota incorporando en caliente sobre una de sus caras reflectivas en base a óxidos metálicos con el vidrio aun en estado viscoso.

- **Vidrios dobles:** Son dispositivos compuestos por dos láminas de vidrio separados por una cámara de aire sellada, estanca y rellena de gas deshidratado, para evitar condensación al interior de la misma. Aumentan notoriamente la resistencia térmica.
- **Vidrios translúcidos:** Puede ser incoloro o coloreado en su masa. Tiene en una o ambas caras una textura decorativa que transmite la luz en forma difusa e impide la visión clara.

Según los dibujos su translucidez y privacidad es de diferente grado. Según la profundidad del dibujo su índice de transmisión de la luz varía entre 70 y 80%, hay algún tipo de dibujos que son aptos para templar. Es recomendable estudiar las condiciones de uso cuando se desea tener privacidad.
- **Vidrio Fantasía:** Se producen mediante la impresión en una o ambas caras de un dibujo cualesquiera, lo que produce una distorsión de la visión sin afectar sustancialmente la transmisión de luz.
- **Vidrio Esmerilado:** Se obtiene un efecto similar al anterior mediante un tratamiento superficial de una de las caras del vidrio mediante ácidos o la proyección de un chorro de arena, confiriéndole una terminación mate, difusora de la luz.
- **Vidrio Opal u opalinas:** En este caso se modifican las materias primas, incluyendo fosfatos o fluoruros cuyas partículas van a oficiar de dispersantes de la luz en la masa del vidrio.
- **Vidrio de borosilicato:** Mediante la sustitución del óxido de calcio por óxido bórico se disminuye el coeficiente de dilatación térmica y se aumenta considerablemente la resistencia a altas temperaturas y al ataque de ácidos (ej.: vidrio Pyrex).
- **Vidrio de plomo:** Se sustituye en este caso el óxido de calcio por óxido de plomo, con lo cual el vidrio resultante posee una mayor densidad, mayor brillo y luminosidad y mayor aptitud para el tallado. Conocido como cristal.
- **Sílice vítrea:** Vidrio con contenidos mínimos de óxidos alcalinos, que determina una mayor permeabilidad de la radiación ultravioleta del sol y posibilita su aplicación con fines terapéuticos.
- **Vidrios coloreados:** La presencia de determinados agregados ocasiona en el vidrio una coloración, que puede ser involuntaria si estos se encuentran como impurezas o voluntaria se es controlada. Ej.: el óxido de hierro otorga coloración azul, amarilla o verde; el óxido de cromo coloración rojiza.
- **Espejos:** Son láminas de vidrio en las que se aplica en una de sus caras una lámina de metal fundido o un depósito químico, generalmente de estaño o plata.
- **Cristales esmaltados:** Se reviste una de sus caras con un esmalte cerámico vitrificado. Ha sido desarrollado como cerramiento de los antepechos y zonas de encuentro con los entrepisos en los muros cortina. Se generan zonas de no visión.

12.5 ELECCIÓN. La elección correcta de un vidrio para una aplicación concreta, requiere considerar una serie de características diferentes. En la mayor parte de las obras de vidriado es preciso evaluar, por lo menos, los 10 siguientes aspectos:

- **Color y aspecto:** En general, los cristales que hoy se producen para el mercado presentan una gran variedad de posibilidades visuales y estéticas.

Por caso, el Float incoloro, de color o reflectante brinda un amplio espectro de alternativas para satisfacer, según su modo de aplicación, variados diseños. El templado y/o el laminado son procesos que permiten aumentar su resistencia sin producir cambios perceptibles en su aspecto.

Los vidrios impresos Catedral (fabricados por VASA), sean incoloros o de color, presentan una amplia gama de dibujos a los que se le agrega el vidrio armado en alambre.

En general los colores de Float son tenues, por lo que su elección debe ser bien evaluada. La observación de muestras en escala real, instaladas en el sitio de la obra y en las orientaciones o posiciones a considerar, es el único método totalmente satisfactorio para tomar una decisión respecto al color.

El color aparente del vidrio resulta de la suma del color del vidrio (incoloro, gris, bronce, verde o revestido), más el color de la luz incidente (amanecer, mediodía o atardecer), más el color de los objetos vistos a través del vidrio (cortinas, persianas, etc.), más el color de los objetos reflejados (cielo, nubes u otros edificios).

- **Transmisión de la luz:** El nivel de iluminación natural en el interior de un edificio depende de esta característica. En viviendas, usualmente se requiere un nivel, más alto que en obras de arquitectura comercial o de servicios. Si se desea un nivel natural elevado y simultáneamente propiedades de control solar, el Float coloreado en su masa de color verde brinda un elevado porcentaje de transmisión de luz visible aportando, al mismo tiempo, un control de la radiación solar equivalente al que se obtiene empleando Float gris o bronce del mismo espesor.

Utilizando Float reflectante Eclipse o Suncool los niveles de luz transmitida son menores y sus coeficientes de sombra también.

Debe observarse que el color del Float coloreado en su masa varía de acuerdo con su espesor, y a medida que éste aumenta disminuye la cantidad de luz visible transmitida. Cuando distintos vidrios se aplican en unidades de color hermético, DVH, las diferentes combinaciones harán variar el color, el aspecto y la cantidad de luz transmitida como así también las propiedades que se analizan más adelante. Variar el espesor de vidrios de color en una fachada producirá una variación de su aspecto, apreciado tanto desde el interior como desde el exterior.

- **Transparente, translúcido u opaco:** De acuerdo a los requerimientos de diseño, el vidrio puede satisfacer, según su tipo, diferentes grados de transparencia que van desde la visión total a distintos grados de traslucidez o vidrios opacos que impiden la visión y el paso de la luz.

Cuando se desea visión total el Float transparente, incoloro o de color, satisface dicha función posibilitando una visión libre de distorsión óptica.

En los cristales reflectantes la visión usualmente unidireccional, se produce por la diferencia en la intensidad del nivel de iluminación a ambos lados del vidrio. La faz iluminada con más intensidad se torna un espejo.

Durante el día este fenómeno impide la visión hacia el interior de un edificio. Durante la noche el efecto es inverso, siendo difícil, con la luz artificial encendida, observar hacia el exterior. En esta situación lo que sucede en el interior puede ser observado desde el exterior del edificio.

Diferentes grados de privacidad visual, sin sacrificar el paso de la luz natural o artificial, pueden obtenerse empleando vidrios impresos translúcidos. El grado de traslucidez depende de las características, densidad y profundidad del dibujo grabado en una de sus caras del vidrio, incoloro o de color.

La serigrafía constituye otra alternativa, que, según su diseño, permite una amplia gama de posibilidades para filtrar el paso de la luz y la visión.

Los vidrios esmerilados u opacos, mediante diferentes procesos, constituyen otra variante para modificar la transparencia del vidrio.

- **Transmisión del calor solar:** El coeficiente de sombra es la mejor medida para evaluar la cantidad de energía solar radiante admitida a través de una abertura vidriada.

El coeficiente de sombra compara al vidrio en cuestión respecto de un vidrio transparente incoloro de 3 mm de espesor.

Los coeficientes de sombra bajos reducen la ganancia de calor solar y permiten disminuir los costos del aire acondicionado.

En viviendas, el Float incoloro es frecuentemente empleado para aprovechar el calor solar y reducir las necesidades de calefacción durante el invierno.

Esto también puede ser logrado mediante el empleo de cristales de control solar en casas herméticas y térmicamente bien aisladas, donde la utilización de Float incoloro en áreas vidriadas de gran superficie respecto del área cubierta, puede producir una ganancia excesiva de calor solar.

Con el empleo de Float de color (con un coeficiente de sombra del orden del 0,60) pueden duplicarse las superficies vidriadas debido a su menor ganancia solar pasiva equivalente.

Los cristales coloreados en su masa, también denominados absorbentes de calor, determinan la cantidad de calor que es detenido por absorción en la masa del vidrio. La absorción de calor eleva la temperatura del vidrio, y cuando ésta es excesiva puede, en determinadas situaciones, causar la fractura de un vidrio recocado.

Los cristales reflectantes también absorben calor, hecho que no puede ser ignorado. En dichas situaciones deberán adoptarse los recaudos necesarios, verificando el estado y situación de sus bordes y/o aumentando la resistencia a la tracción templando el vidrio.

- **Aislamiento térmico:** El coeficiente de transmitancia térmica K (W/m^2), expresa la aislación que ofrece el vidrio al paso del calor que, por conducción y convección superficial, fluye a través de su masa. Medido como la diferencia de temperatura aire/aire, a ambos lados del vidrio, su valor no varía en forma apreciable con el espesor del vidrio pues éste siempre tiene una magnitud relativamente pequeña si la comparamos con los espesores de otros materiales de construcción.

El coeficiente 'K' de un vidrio, incoloro, de color o reflectante, entre 4 y 10 mm de espesor es del orden de 5,4 $W/m^2 K$.

Cuando se emplean dos hojas de vidrio separadas con una cámara de aire, quieto y seco, con un espesor entre 6 y 12 mm, la resistencia térmica que ofrece el aire en dichas condiciones, hace que el valor K sea del orden de 2,9 $W/m^2 K$.

Una unidad de doble vidriado hermético (DVH), permite reducir en un 50% las pérdidas y/o ganancias del calor producido por los sistemas de calefacción y/o el admitido por radiación solar a través de las ventanas.

En la práctica un DVH permite aumentar un 10% el tamaño de las superficies vidriadas sin comprometer el balance térmico del edificio respecto de un vidriado simple.

Asimismo, elimina las corrientes conectivas del aire junto a la ventana y la posibilidad de empañado de los vidrios por condensación de humedad.

Desde el punto de vista del confort térmico, un DVH elimina la sensación de 'muro frío' pues la temperatura de la superficie del vidrio interior es cercana a la del ambiente.

Su aplicación permite disminuir la necesidad de calefacción reduciendo el consumo de energía y los costos de operación del edificio.

- **Aislamiento acústico:** Por efecto de masa, un vidrio grueso presenta un índice de aislación acústica mayor que uno de poco espesor. El Float de fuerte espesor es muy efectivo para aislar el ruido del tránsito automotor, caracterizado por presentar una baja frecuencia promedio.

El Float laminado con PVB, empleando cristales de espesor liviano, es eficaz para aislar frecuencias más altas, características de la voz y conversación humana.

Combinando Float de fuerte espesor y láminas gruesas de polivinil de butiral (PVB se obtiene una combinación de ambas variantes.

No obstante, ciertos ruidos como los producidos por las aspas de un helicóptero, de muy baja frecuencia requieren soluciones más sofisticadas para alcanzar los niveles de aislamiento deseados.

La interposición de una cámara de aire contribuye a incrementar la capacidad de aislamiento sólo cuando su espesor es del orden de 50 a 200 mm.

Siempre debe tenerse presente que el valor final de aislamiento acústico de una abertura depende también de su cierre hermético al paso del aire.

En obras de reemplazo de vidrios y/o renovación de aberturas, con exigencias de aislamiento contra el ruido, deberá tenerse en cuenta que para que el usuario perciba una mejora respecto de la situación anterior, el incremento de aislamiento acústico deberá ser no menor de 5 a 7 dB.

En casos de áreas muy ruidosas, el nivel de aislamiento deberá ser mayor para alcanzar el confort acústico deseado.

- **Resistencia:** Según su función, el vidrio debe hacer frente a una serie de esfuerzos y sollicitaciones mecánicas. Por lo tanto definir su espesor, tipo y sistema de sujeción en una carpintería o abertura requiere analizar una serie de factores, a menudo interrelacionados entre sí.

La presión del viento es una de las principales sollicitaciones a las que es sometido un vidrio. La **Norma IRAM 12565** indica el método de cálculo del espesor conveniente para vidrios, soportados en sus 4 bordes, sometidos a presión por carga del viento.

Templando una hoja de Float se cuadruplica su resistencia. No obstante, cuando es sometido a esfuerzos de larga duración, su resistencia, por efecto de fatiga, puede disminuir a la mitad. Ejemplos de ello pueden ser los vidrios de observación subacuática en grandes acuarios, techos vidriados con acumulación de nieve y los vidrios sometidos a esfuerzos de corta duración como el producido por ráfagas de viento huracanado.

El Float laminado, cuando es sometido a esfuerzos de corta duración a temperatura ambiente, tiene la misma resistencia que el Float monolítico de espesor equivalente.

Por estas razones, una buena práctica de diseño siempre debe considerar la posibilidad de rotura y la de sus consecuencias. El vidrio recocido se rompe en grandes trozos sin aristas filosas, permaneciendo la mayor parte de las piezas adheridas al marco. El vidrio templado lo hace en forma segura desgranándose en pequeños trozos sin aristas cortantes. El vidrio laminado con PVB ofrece una elevada resistencia a la penetración. En caso de rotura los trozos de vidrio quedan adheridos al polivinil, impidiendo su caída y manteniendo el conjunto dentro del marco, sin interrumpir el cerramiento ni la visión.

- **Reflexión bajo cargas:** Un vidriado vertical, soportado en sus cuatro bordes, usualmente presenta una flexión bajo carga muy pequeña. Duplicando la carga la deflexión no aumentará al doble. En vidrios de grandes dimensiones su espesor puede ser calculado de acuerdo con una flexión admitida antes de que la rotura se manifieste.

Debe recordarse que a igual espesor de vidrio recocido, laminado o templado, a temperatura ambiente, todos se flexionarán del mismo modo.

Un paño de vidrio sujeto sólo en dos bordes paralelos, respecto de otro de iguales dimensiones sujeto en todo su perímetro, siempre debe tener el espesor mayor necesario para mantener un grado de flexión admisible frente a las cargas del viento. Cuando las dimensiones de sus lados sin soportar son considerables, debe recurrirse al empleo de contravientos.

Los vidrios en techos o aplicados en forma inclinada deben tener en cuenta el peso propio del vidrio junto con las demás solicitaciones a las que es sometido.

- **Espesor:** En su definición intervienen gran parte de los aspectos ya enumerados. De la evaluación del espesor de un vidrio, incoloro o de color, dependen no sólo su resistencia sino también otras prestaciones esperadas por su aplicación, como por ejemplo: el aspecto, la transmisión de luz visible, su coeficiente de sombra y su capacidad de aislamiento térmico.

Ante dudas en adoptar determinado espesor para soportar la presión del viento u otros esfuerzos semejantes, siempre se aconseja adoptar el espesor mayor.

- **Criterios de calidad:** La elección de un vidrio debe tener siempre presente las posibles consecuencias en caso de rotura.

Las **Normas IRAM 12595 y 12596**, establecen las características que debe reunir un vidrio sometido a la posibilidad de impacto humano accidental y definen las áreas de riesgo en las que deben emplearse vidrios de seguridad y/o laminados.

Los vidrios denominados de seguridad se llaman así por que en caso de rotura lo hacen en forma segura y/o minimizan las consecuencias en caso de accidentes.

CAPÍTULO 13 — PLÁSTICO

13.1 ANTECEDENTES. El Plástico es parte del estilo de vida moderno, ya que a lo largo de los últimos 150 años, cambió radicalmente a la sociedad en que vivimos, contribuyendo al aumento del nivel de vida y del bienestar general.

Prueba de que el plástico es el material del Siglo XXI por excelencia, es nuestro mundo contemporáneo repleto de objetos e instrumentos fabricados de este material.

Existen, hoy en día, más de 1000 tipos de plásticos diferentes usados para los más diversos fines.

13.2 DEFINICIÓN. La palabra plástico tiene su origen en el griego plastikos, que significa moldeable.

Los plásticos son materiales orgánicos constituidos por macromoléculas y producidos por transformación de sustancias naturales o por síntesis directa, a partir de productos extraídos del petróleo, del gas natural, del carbón o de otras materias minerales. Los polímeros no tienen punto de fusión ni de ebullición definidos.

13.3 EXTRACCIÓN DEL PVC. El 43% de la molécula del PVC procede del petróleo y el 57% de la sal, fuente inagotable. Se puede afirmar, pues, que el PVC es el plástico con menor dependencia del petróleo, del que hay disponibilidades limitadas. Por otro lado, es de destacar que sólo un 4% del consumo total del petróleo se utiliza para fabricar materiales plásticos, y, de ellos, únicamente una octava parte corresponde al PVC.

13.4 FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE PVC. Las tuberías de PVC se fabrican a partir de un compuesto de resina de PVC, aditivada con estabilizantes térmicos, pigmentos, cargas y lubricantes externos e internos. Este prémix se prepara en máquinas mezcladoras por fricción.

El proceso de fabricación de la tubería se realiza por extrusión, en proceso continuo.

Una línea de extrusión dispone de los siguientes elementos:

- **Dosificador:** suministra el prémix en la cantidad adecuada.
- **Extrusora:** Transforma el prémix, que tiene forma de polvo, en una pasta gelificada a una temperatura de 180°.
- **Cabezal de extrusión:** conforma el extruido con las dimensiones finales aproximadas.
- **Bañera de enfriamiento y calibración:** Enfría el tubo y le confiere su dimensión final.
- **Carro de arrastre:** Sincronizado con la extrusora, impulsa el tubo extruido.
- **Máquina de corte:** Corta en continuo el tubo a la longitud requerida.
- **Abocardadora:** Máquina que conforma la boca sobre el tubo cortado.
- **Marcadora:** Para identificar el tubo y sus características.

13.5 RECICLAJE.

- **Ventajas del Reciclaje:**
 - Ahorro energía.
 - Reducción de los costos de recolección.
 - Reducción del volumen de los residuos sólidos.
 - Conservación del ambiente y reducción de la contaminación.
 - Aumento de la vida útil de los sistemas de relleno sanitario.
 - Remuneración económica en la venta de reciclables.
 - Protección los recursos naturales renovables y no renovables.
 - Ahorro de la materia prima en la manufactura de productos nuevos con materiales reciclables.

➤ **Los siete símbolos del plástico.**

1-PET o PETE (Polietileno tereftalato): Es el plástico típico de envases de alimentos y bebidas, gracias a que es ligero, no es caro y es reciclable. En este sentido, una vez reciclado, el PET se puede utilizar en muebles, alfombras, fibras textiles, piezas de automóvil.

2- HDPE (Polietileno de alta densidad): Es el plástico de botellas de champú, detergente, cloro, etc. Asimismo, también se le puede ver en envases de leche, zumos, yogurt, agua, y bolsas de basura y de supermercados. Se recicla de muy diversas formas, como en tubos, botellas de detergentes y limpiadores, muebles de jardín, botes de aceite, etc.

3- V o PVC (Vinílicos o Cloruro de Polivinilo): muy resistente, por lo que es muy utilizado en limpiadores de ventanas, botellas de detergente, champú, aceites, y también en mangueras, equipamientos médicos, ventanas, tubos de drenaje, materiales para construcción.

Aunque no se recicla muy habitualmente, en tal caso se utiliza en paneles, tarimas, canalones de carretera, tapetes, etc.

4- LDPE (Polietileno de baja densidad): Este plástico fuerte, flexible y transparente se puede encontrar en algunas botellas y bolsas muy diversas (de la compra o para comida congelada, pan, etc.).

Tras su reciclado se puede utilizar de nuevo en contenedores y papeleras, sobres, paneles, tuberías.

5- PP (Polipropileno): Su alto punto de fusión permite envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes. Se suele utilizar en la fabricación de envases médicos, yogures, botes de ketchup, tapas, algunos contenedores de cocina, etc. Al reciclarse se pueden obtener señales luminosas, cables de batería, escobas, cepillos.

6- PS (Poliestireno): Utilizado en platos y vasos de usar y tirar, hueveras, bandejas de carne, envases de aspirina, cajas de CD, etc. se trata de un material difícil de reciclar (aunque en tal caso se pueden obtener diversos productos) y que puede emitir toxinas.

7- Otros: En este cajón de sastre se incluyen una gran diversidad de plásticos muy difíciles de reciclar. Por ejemplo, con estos materiales están hechas algunas clases de botellas de agua, materiales a prueba de balas, DVD, gafas de sol, MP3 y PC, ciertos envases de alimentos, etc.

13.6 CLASIFICACIÓN. Según el proceso de **síntesis**, los plásticos son de:

- **Polimerización.**
- **Policondensación.**
- **Poliadición.**

Como se ha podido apreciar, existe una gran cantidad de materiales para fabricar plásticos, sin embargo se pueden agrupar en dos grandes grupos, esencialmente en dependencia de las cadenas de polímeros:

Para seleccionar el material, en el caso particular de los plásticos, hay que basarse en factores tales como: absorción de humedad, resistencia al impacto, resistencia a la tracción y costos.

- **Materiales termoplásticos:** Los materiales termoplásticos son polímeros lineales, que pueden ser ramificados o no y puesto que no se encuentran entrecruzados son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, son capaces de fundir y son reciclables. Los termoplásticos más frecuentes como PE, PP, PS y PVC se fabrican y emplean en cantidades muy grandes, si los comparamos con los plásticos restantes. Más de la mitad de la cifra total procesada corresponde a los cuatro plásticos citados.

Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea T_g (si se trata de un material amorfo), o una temperatura de fusión T_m (si se trata de un material cristalino), superior a la temperatura ambiente. Por lo general, son fáciles de procesar, reciclables y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer por encima de la T_g , con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas.

Dentro de los materiales termoplásticos los más comúnmente usados son:

- **ABE (acrilonitrilo-butadieno-estireno):** Muy tenaz, pero duro y rígido; resistencia química aceptable; baja absorción de agua, por lo tanto buena estabilidad dimensional; alta resistencia a la abrasión; se recubre con una capa metálica con facilidad.

- **Acetal:** Muy fuerte, plástico rígido usado en ingeniería con estabilidad dimensional excepcional, alta resistencia a la deformación plástica y a la fatiga por vibración; bajo coeficiente de fricción; alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos; conserva la mayoría de sus propiedades cuando se sumerge en agua caliente; baja tendencia a agrietarse por esfuerzo.
- **Acrílico:** Alta claridad óptica; excelente resistencia a la intemperie en exteriores; duro, superficie brillante; excelentes propiedades eléctricas, resistencia química aceptable; disponible en colores brillantes transparentes.
- **Celulósicos:** Familia de materiales tenaces y duros; acetato, propionato, butirato de celulosa y etil celulosa. Los márgenes de las propiedades son amplios debido a las composiciones; disponible con diversos grados de resistencia a la intemperie, humedad y productos químicos; estabilidad dimensional de aceptable a mala; colores brillantes.
- **Fluoroplásticos:** Gran familia (PTFE, FEP, PFA, CTFE, ECTFE, ETFE y PVDF) de materiales caracterizados por excelente resistencia eléctrica y química, baja fricción y estabilidad sobresaliente a altas temperaturas; la resistencia es de baja a moderada; su costo es alto.
- **Nylon (poliamida):** Familia de resinas usadas en ingeniería que tienen tenacidad y resistencia sobresalientes al desgaste, bajo coeficiente de fricción y propiedades eléctricas y resistencia química excelentes. Las resinas son higroscópicas; su estabilidad dimensional es peor que la de la mayoría de otros plásticos usados en ingeniería.
- **Óxido Fenileno:** Excelente estabilidad dimensional (muy baja absorción de humedad); con propiedades mecánicas y eléctricas superiores sobre un amplio margen de temperaturas. Resiste la mayoría de los productos químicos, pero es atacado por algunos hidrocarburos.
- **Poli carbonato:** Tiene la más alta resistencia al impacto de los materiales transparentes rígidos; estabilidad en exteriores y resistencia a la deformación plástica bajo carga excelentes; resistencia a los productos químicos aceptable; algunos solventes aromáticos pueden causar agrietamiento al esfuerzo.
- **Poliéster:** Estabilidad dimensional, propiedades eléctricas, tenacidad y resistencia química excelentes, excepto a los ácidos fuertes o bases; sensible al ranurado; no es adecuado para uso en exteriores o en instalaciones para agua caliente; también disponible en los termo fraguantes.
- **Polietileno:** Amplia variedad de grados: compuestos con densidad baja, mediana y alta. Los tipos BD son flexibles y tenaces. Los tipos MD y AD son más fuertes, más duros y más rígidos; todos son materiales de peso ligero, fáciles de procesar y de bajo costo; poca estabilidad dimensional y mala resistencia al calor; resistencia química y propiedades eléctricas excelentes. También se encuentra en el mercado polietileno de peso molecular ultra-alto.
- **Poliamida:** Gran resistencia al calor (500°F continuos, 900°F intermitente) y al envejecimiento por el calor. Resistencia al impacto y resistencia al desgaste altas; bajo coeficiente de expansión térmica; excelentes propiedades eléctricas; difícil de procesar por los métodos convencionales; alto costo.
- **Sulfuro de polifenileno:** Resistencia sobresaliente química y térmica (450°F continuos); excelente resistencia a baja temperatura; inerte a la mayoría de los compuestos químicos en un amplio rango de temperaturas; inherentemente de lenta combustión. requiere alta temperatura para su proceso.
- **Polipropileno:** Resistencia sobresaliente a la flexión y al agrietamiento por esfuerzo; resistencia química y propiedades eléctricas excelentes; buena resistencia al impacto arriba de 15°F; buena estabilidad térmica; peso ligero, bajo costo, puede aplicársele una capa galvanoplástica.
- **Poliestireno:** Bajo costo, fácil de procesar, material rígido, claro, quebradizo como el cristal; baja absorción de humedad, baja resistencia al calor, mala estabilidad en exteriores; con frecuencia se modifica para mejorar la resistencia al calor o al impacto.
- **Polisulfona:** La más alta temperatura para la deflexión por calor entre los termoplásticos que se procesan por fusión; requiere alta temperatura de proceso; tenaz (pero sensible al ranurado), fuerte y rígido; propiedades eléctricas y estabilidad dimensional excelentes, a una alta temperatura puede aplicársele una capa galvanoplástica; alto costo.
- **Poliuretano:** Material tenaz, de extrema resistencia a la abrasión y al impacto; propiedades eléctricas y resistencia química buenas; puede obtenerse en películas, modelos sólidos o espumas flexibles; la exposición a la radiación ultravioleta produce fragilidad, propiedades de menor calidad y color amarillo; también hay poliuretanos termofraguantes.
- **Cloruro de polivinilo:** Muchos tipos disponibles; los rígidos son duros, tenaces y tienen excelentes propiedades eléctricas, estabilidad en exteriores y resistencia a la humedad y a los productos químicos; los flexibles son fáciles de procesar, pero tienen propiedades de menor calidad; la resistencia al calor va de baja a moderada para la mayoría de los tipos de PVC; bajo costo.

- **Materiales termoestables:** Son materiales que adquieren un estado final reticulado (entrecruzado), que hace que el material sea insoluble e incapaz de fundir otra vez. A partir de materias primas de bajo peso molecular se forma, en una primera fase, un producto intermedio (prepolímero), de peso molecular intermedio, no reticulado o muy poco y por tanto todavía capaz de fundir (y por tanto de rellenar un molde).

A continuación se exponen algunos de estos materiales:

- **Alquídicos:** Propiedades eléctricas y resistencia al calor excelentes; más fáciles y rápidos de moldear que la mayoría de los termoestables; no son productos volátiles.
- **Alilos (dialilftalatos):** Estabilidad dimensional y propiedades eléctricas sobresalientes; fáciles de moldear, excelente resistencia a la humedad y a los productos químicos a temperaturas altas.
- **Amino (urea, melamina):** Resistencia a la abrasión y a astillarse; buena resistencia a los disolventes; la urea se moldea con mayor rapidez y cuesta menos que la melamina; la melamina tiene una superficie más dura y más alta resistencia al calor y a los productos químicos.
- **Resinas epóxicas:** Resistencia mecánica excepcional, sus propiedades eléctricas y de adhesión superan a la mayoría de los materiales; baja contracción durante el moldeo; algunas fórmulas pueden curarse sin calor o presión.
- **Fenólicas:** Material de bajo costo con buen equilibrio de las propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas; limitadas a colores negro y café.
- **Poliéster:** Excelente equilibrio de propiedades, colores ilimitados; transparentes u opacos; no libera volátiles durante el curado, pero la contracción en el moldeo es alta; se pueden usar moldes de bajo costo sin calor o presión; utilizado ampliamente con refuerzo de vidrio para producir componentes "de fibra de vidrio"; también hay poliéster termoplástico.
- **Poliuretano:** Puede ser flexible o rígido, dependiendo de la fórmula; presentan excepcional tenacidad y resistencia a la abrasión y al impacto; particularmente adecuado para piezas grandes hechas de espuma, ya sea en tipos rígidos o flexibles; también se produce con fórmulas termoplásticas.
- **Siliconas:** Resistencia al calor (desde -100°F a $+500^{\circ}\text{F}$), propiedades eléctricas y compatibilidad con los tejidos del cuerpo sobresalientes; su curado es mediante una variedad de mecanismos; alto costo; disponible en muchas formas: resinas para laminados, resinas para moldeo, revestimientos, vaciados o resinas vertidas y selladores.

CAPÍTULO 14 — PINTURA

14.1 ANTECEDENTES. Las primeras aplicaciones de la pintura fueron únicamente decorativas. La pintura sin aglutinante, formada por óxido férrico, se usaba en las creaciones artísticas rupestres hacia el milenio 15 a.C.

Los antiguos egipcios, los griegos, los romanos, los incas y los antiguos mexicanos conocían el añil, un pigmento azul que se extrae de la planta del añil. La goma arábiga, la clara de huevo, la gelatina y la cera de abeja fueron los primeros medios fluidos que se usaron con estos pigmentos. Las lacas se emplearon en China para pintar edificios en el siglo II a.c. Aunque los romanos ya conocían el empleo del aceite de linaza como medio fluido para la pintura, los artistas sólo lo utilizaron a partir del siglo XV. El albayalde, un pigmento blanco, tuvo una gran expansión durante el siglo XVII, y la pintura hecha con mezclas de pigmentos y medios fluidos se empezó a comercializar en el siglo XIX.

14.2 DEFINICIÓN. La pintura es una mezcla de tres componentes básicos: **ligante, pigmento y disolvente**. A ellos se suman otros productos destinados a modificar o mejorar diversas propiedades de la pintura.

- **Ligante:** generalmente lo forma un material más o menos transparente con apariencia de una resina y que es el que suele dar el nombre a la pintura, de él dependen la mayoría de las propiedades de la pintura.
- **Disolventes:** Tienen como fin facilitar la fabricación y aplicación de la pintura, regulando la fluidez y viscosidad. Se evaporan durante el secado y pueden ser:
 - **Ligeros:** Son los que evaporan muy rápidamente, nunca se aplican solos.
 - **Medios:** Tardan varios segundos en evaporar.
 - **Pesados:** Su evaporación es muy lenta.

Ligante + Disolvente = Barniz

- **Pigmentos:** Proporcionan color y cubrición, son polvos finos y coloreados.

Todas las pinturas están compuestas de un aglutinante y de pigmentos, que son los que confieren el color. Los más asequibles y comunes en la decoración de paredes son las tierras naturales, tonos en su mayoría derivados del óxido de hierro que van desde un pardo muy oscuro, hasta el ocre, pasando por el rojo óxido y las tonalidades marrones y anaranjadas. Mezclándolos con látex, se pueden obtener tonos muy intensos, tanto transparentes como completamente opacos. Pueden utilizarse para teñir la pintura plástica blanca, pero no directamente, sino habiéndolos mezclado antes con látex.

Ligante + Disolvente + Pigmentos = Pintura

- **Cargas:** Se usan para dar otras características particulares a la pintura (dar cuerpo, mejorar la adherencia, conseguir dureza, etc.), se usan una amplia gama de cargas.
- **Aditivos:** Confieren o mejoran algunas de las propiedades de la pintura, pueden ser:
 - **Plastificantes:** Dan más elasticidad a la película de pintura.
 - **Dispersantes:** Facilitan la dispersión de los pigmentos durante la fabricación.
 - **Secantes:** Aceleran el secado y endurecimiento.
 - **Estabilizantes:** Evitan las gelificaciones o formación de piel en el interior del bote.
 - **Reológicos:** Para evitar descuelgues y conferir tixotropia.
 - **De superficie:** Para regular el grado de brillo, la extensibilidad, etc.

14.3 FABRICACIÓN. El proceso real de fabricación se inicia con la mezcla de las materias primas. La fórmula del laboratorio da las cantidades de las materias primas y la secuencia en la que esta se colocan en la mezcladora, los ingredientes pueden incluir un vehículo que consiste en varios aceites o barnices, agentes impregnadores y algunas veces solventes y un sólido para pintura blanca consistente en pigmentos blancos secos, pigmentos colorantes. La mezcladora es un recipiente de acero de forma simétrica con un eje vertical a motor al cual se ajustan las hojas. El propósito fundamental de la operación de mezclado es distribuir los ingredientes en una pasta uniforme e impregnar lo mejor posible, después de la mezcladora la pasta pasa a la operación de la pulverización que es una dispersión a alta velocidad.

Los últimos pasos son adelgazamiento, teñido y tamizado antes de verter la pintura en recipientes, etiquetarla y enviarla para su uso.

14.4 CLASIFICACIÓN.- Se pueden clasificar:

➤ **Según el ligante:**

- **Pinturas al aceite:** El ligante está constituido por un aceite secante (Lino, Tung, ricino o castor deshidratado, etc, refinado (decolorado, neutralizado)) y generalmente tratado por calentamiento (espesado o polimerizado). Son resistentes a la intemperie pero de secado lento (es necesaria la incorporación de secantes). Son de poco uso en la actualidad.
- **Pinturas oleorresinosas:** Los pigmentos están dispersos en un barniz, el que se obtiene por tratamiento térmico conjunto de un aceite secante y una resina de característica adecuadas. Esta resina puede ser natural o sintética, siendo las sintéticas las más empleadas. Secan más rápidamente que las anteriores y su resistencia a la intemperie es variable, dependiendo de las materias primas empleadas. Al igual que las anteriores son aconsejables para el pintado de materiales o estructuras expuestas a medios muy agresivos.
- **Esmaltes alquídicos:** El ligante es una resina alquídica. Tienen buena durabilidad al exterior cuando se formulan con este fin, son de secado rápido y compatibles con otras resinas (esmaltes alquid-fenólicos, alquid-vinílicos, etc.).
- **Pinturas fenólicas:** Para la elaboración del ligante se emplean resinas fenólicas puras o modificadas. Tienen buena resistencia al exterior (retención de brillo inferior al de las pinturas alquídicas) y una resistencia al agua mayor que la de los tipo mencionados anteriormente, pero menor retención de brillo.
- **Pinturas Bituminosas:** Son formuladas con betunes asfálticas con cortes de alquitrán de hulla. Son de color negro, poco resistentes a la acción de la intemperie pero muy resistentes al agua y reactivos químicos.
- **Pinturas de caucho clorado:** El ligante es una resina de caucho clorado, con un plastificante adecuado. Son muy resistentes al agua, a los agentes químicos y a la intemperie, secan muy rápidamente.
- **Pintura vinílicas:** Son las formuladas con copolímeros de cloruro-acetato de polivinilo y se caracterizan por su buena resistencia al agua, a los agentes químicos diluidos y a la intemperie. Este tipo de pintura incluye tanto fondos anticorrosivos como pintura de terminación. Secan al aire muy rápidamente lo que hace muy difícil el pintado con pincel o rodillo de grandes superficies; es este caso se aconseja el pintado a soplete.
- **Pinturas poliuretánicas:** Son formuladas con resinas poliuretánicas y se presentan normalmente para su uso en forma de dos componentes, la base pigmentada y el catalizador, o agente de curado, que deben ser mezclados antes de la aplicación. El polímero se forma así "in situ" y la película tiene una resistencia muy grande, tanto al exterior como al agua y a los agentes químicos. Pueden ser pigmentadas en los colores más diversos y secan rápidamente.
- **Pinturas epoxídicas:** El ligante es una resina epoxídica formada por combinación (en el momento de su uso) de dos componentes (el peso molecular inicial es bajo y la polimerización ocurre como consecuencia de una reacción química entre los mencionados componentes). Secan rápidamente pero la reacción se completa solo después de algunos días, siendo cuando la película alcanza su máxima resistencia. Son deteriorables por la reacción solar, por lo que no se aconseja su utilización en exteriores. Pueden ser pigmentadas o incluir un betún asfáltico (pinturas epoxi bituminosas). Se pueden desarrollar formulaciones sin solventes. 100 % sólidos.
- **Pinturas emulsionadas:** El vehículo es una emulsión del ligante (polímeros o copolímeros vinil acrílicos, acrílicos, estireno acrílicos, alquids, poliuretanos, etc.) en agua.. Se diluyen en agua y al ser aplicadas posteriormente la emulsión se rompe al eliminarse el agua por secado, obteniéndose así una fase continua que forma una cubierta de buena resistencia, la que no debe ser soluble en agua, si la formulación es correcta. Se utilizan habitualmente en el pintado de mampostería o de madera, habiéndose desarrollado actualmente también pinturas anticorrosivas de este tipo.

➤ **Según la forma de presentación:**

- **Líquidas:** Son todas aquellas que por su viscosidad pueden fluir fácilmente.
- **En pasta:** Son de una viscosidad relativamente alta y de un aspecto cremoso.
- **En polvo:** Todos sus componentes se presentan como polvos finamente divididos.

➤ **Según su función:**

- **Masillas:** Presentan aspecto de pasta, formuladas principalmente para ser aplicadas a espátula, aunque en la actualidad existen formulaciones diseñadas para su uso a soplete dada su practicidad.

Son de un contenido de sólido alto ya que su principal función es la de rellenar distintas imperfecciones.

- **Enduidos:** El nombre se asocia más a masilla para mampostería. Si bien su aspecto es de pasta generalmente tiene un fluidez mayor que una masilla, se emplean para uniformar grandes superficies; dado su uso específico es muy importante que sean fácilmente lijables.
 - **Imprimaciones:** Son las pinturas destinadas a la protección del acero durante el período de construcción de una estructura o como un fondo preparador para paredes, madera, etc. Deben tener buena resistencia a la intemperie y ser compatibles con los sistemas de pintado que se utilizarán posteriormente. Pueden ser elaboradas con pigmentos anticorrosivos en cuyo caso se llaman Imprimaciones antióxidas.
 - **Fijadores:** Son productos de un alto poder penetrante (hidrosoles) cuya principal función es impregnar una superficie floja llegando hasta la superficie interior firme, impidiendo o evitando que la pintura a aplicar posteriormente, no adhiera en la capa floja con peligro de desprendimiento.
 - **Selladores:** Sirven para el tratamiento de superficies absorbentes, cuando se quiere "tapar" o "sellar" sus poros, reduciendo así la absorción excesiva de pintura de acabado, que no solo aumenta el consumo sino que provoca defectos en el aspecto final del trabajo.
 - **Antióxidos:** Son pinturas constituidas por un pigmento anticorrosivo y un ligante que por diferentes mecanismos contribuyen a proteger el acero contra la corrosión.
 - **Acabados:** Constituyen la capa final y se aplican sobre las anteriores que son parte de un esquema; deben tener buena resistencia al medio agresivo (intemperie, agua o reactivos químicos, según el uso de la pintura). Pueden ser transparente y/o pigmentado, en cualquier color y brillo.
- **Según el disolvente:**
- **Base acuosa:** Son todas aquellas en que su principal disolvente es el agua, independientemente de que el ligante se encuentre en solución, dispersión, o emulsión.
 - **Base solvente:** Son todas aquellas en que el disolvente está constituido por un solvente o mezcla de solventes orgánicos.
- **Por secado:**
- **Secado físico:** En ellas el secado y endurecimiento se producen por la evaporación de los disolventes, sin que exista modificación química del ligante. Se caracterizan por su elevado contenido en disolventes y rapidez de secado, pero dan una película delgada y su adherencia no es muy elevada. Son sensibles al disolvente y por ello pueden dar problemas en el repintado. En este grupo están: Nitrocelulósicas, Acrílicas termoplásticas y Clorocauchos principalmente.
 - **Secado por oxidación:** Tienen un secado en dos fases que pueden ser simultáneas o consecutivas. Una puramente física de evaporación de los disolventes y la otra de polimerización por reacción del oxígeno del aire. Al término del proceso la composición del ligante es totalmente distinta de la que presentaba en el momento de su aplicación, volviéndose insoluble y resistente a los disolventes originales. En este grupo están: Alquídicos o Glicerofálticos, mas conocidos como "Sintéticos".
 - **Secado por polimerización:** Son aquellas en las que el endurecimiento tiene lugar por una reacción química entre dos componentes, obteniéndose finalmente un ligante en la capa seca de composición distinta a la inicial. En este grupo están: Acrílicas, Amínicas, Epoxi y Poliuretano.
- **Por color:** Se clasifican en:
- **Colores cálidos** son la gama de colores comprendida entre el Amarillo y el Rojo-Violeta (rojos, amarillos y anaranjados), los asociamos a la luz solar, al fuego, de ahí su calificación de "calientes". Los tonos cálidos, parecen avanzar y extenderse. También se les conoce como Colores Activos
 - **Colores fríos** son la gama de colores que va del Amarillo-verdoso al Violeta pasando por el azul. Son aquellos colores que asociamos con el agua, al hielo, la luz de la luna, siendo el máximo representante el color azul y los que con él participan. Los tonos fríos, parecen retroceder y contraerse, tales cualidades son particularmente notable cuando, además existe contraste de temperatura. También se les conoce como Colores Pasivos.

Otros productos similares a la pintura:

- **Barniz:** compuestos líquidos transparentes, completamente incoloros o ambarinos que se aplican sobre una superficie para protegerla sin ocultar el sustrato. En términos simples se puede decir que son productos que básicamente pueden tener los mismos componentes que una pintura, excepto que no son pigmentados u opacos. Son productos que secan por doble mecanismo, es decir que en la primera etapa secan por evaporación de solventes y luego por oxidación de las dobles y triples ligaduras de las cadenas de los ácidos grasos que contienen los aceites.

Hay barnices de formulación más moderna que merecen este nombre aunque están basados en resinas, por ejemplo poliuretánicas de uno o dos componentes, los que curan por reacción con la humedad ambiente o por combinación con poliésteres o acrílicas reactivas.

Existen también barnices líquidos y coloreados, aunque transparentes para teñir y proteger la madera saturando el poro, y sin formar película exterior importante, llamados "impregnantes".

Características principales:

- Gran resistencia a rayos UV.
 - Máximo brillo, duración e impermeabilidad.
 - Mayor duración al exterior que barnices comunes.
 - Es fungicida (antihongos). Posee un alto rendimiento.
 - Excelente resistencia a humedad y ambiente salino.
 - Al aplicar a brocha, empareja y nivela.
 - Su secado lento permite una impregnación profunda.
 - Excelente flexibilidad, lo que le permite resistir las contracciones y dilataciones sufridas por la madera.
- **Laca:** Es un compuesto líquido que pueden o no estar coloreados, cuya característica distintiva, es la de tener un secado mucho más rápido que los barnices y tener una película más dura y apta para un eventual pulido y lustrado. Además las lacas en su mayoría son productos de aplicación a soplete, se pueden además definir como productos termoplásticos, es decir que pueden ablandarse con calor y como su secado es físico y no químico, solo eliminan los solventes en que están disueltas las resinas y son solubles toda su vida en los solventes verdaderos.

14.5 APLICACIONES. La pintura tiene diversas aplicaciones como por ejemplo:

- **Residencial:** Se utilizan en casas, residencias, apartamentos o conjuntos horizontales. Deben escogerse pensando en la apariencia, resistencia, variedad de colores, terminados, fácil aplicación y durabilidad.
- **Comercial:** Se utilizan en oficinas, restaurantes, tiendas, teatros, cines, bares, etc. Se deben considerar características mas específicas como; resistencia al tráfico, resistencia a la limpieza, resistencia a la abrasión, resistencia al uso intenso, etc.
- **Institucional:** Se utilizan en hospitales, escuelas, institutos, hoteles, edificios de gobierno, bibliotecas, auditorios, etc. Las características deben ser, resistencia a la abrasión, resistencia al uso, resistencia al desgaste, resistencia al tráfico intenso, resistencia a la limpieza diaria, resistencia a los detergentes, etc.
- **Industrial:** Se utilizan en metalurgia, manufactura, laboratorios, automotriz, etc.

Las características son más complejas por lo que se dividen en:

- Exposición industrial: a la luz moderada, al agua y a los químicos.
- Pisos para tráfico; Intenso, medio y bajo, ya sea humano o motor en zonas industriales.
- Aplicaciones en zonas industriales según la necesidad; acrílicas, alquídicas, epóxicas, base zinc, antiderrapantes.
- Resistencia a altas temperaturas; ambientes interiores de 40 °C hasta 500 °C.

CAPÍTULO 15 — ASFALTO Y MATERIALES BITUMINOSOS

15.1 ANTECEDENTES. Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C.

La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en **1876** en **Washington D.C.**, con asfalto natural importado. En 1900 aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la Isla de Trinidad.

A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo

en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces - de macadam a base de agua - provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1903, con objeto de enfrentar dicho inconveniente. En 1909 en Versailles, sobre el firme de una carretera con un tráfico diario de 5000 vehículos, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm de espesor. Así pues, en los albores del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XX.

15.2 DEFINICIÓN. El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro. Usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen.

15.3 EXTRACCIÓN. A pesar de la fácil explotación y excelente calidad del asfalto natural, no suele explotarse desde hace mucho tiempo ya que, al obtenerse en las refinerías petroleras como subproducto sólido en el craqueo o fragmentación que se produce en las torres de destilación, resulta mucho más económica su obtención de este modo.

El asfalto que se utilizó en épocas pasadas fue el asfalto natural; el cual se encuentra en la naturaleza en forma de **yacimientos** que pueden explotarse sin dificultad y cuyo empleo no requiere de operaciones industriales de ningún tipo para su preparación. Estos yacimientos se han producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles dejando las asfálticas. A este asfalto se le llama frecuentemente asfalto de lago. Casi siempre se encuentran en las rocas asfálticas, que son rocas porosas saturadas de asfalto. Sin embargo, se puede obtener artificialmente como producto de la refinación, donde las cantidades de asfalto residual varían según las características del crudo; pudiendo oscilar entre el 10 y el 70%.

15.1 FABRICACIÓN. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.

- a) **Destilación Primaria:** Es la primera operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta, kerosene, gas oil), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.
- b) **Destilación al Vacío:** Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfaltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.
- c) **Desasfaltización con propano o butano:** El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfaltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfaltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina "desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C). El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado "bitumen".
- d) **Oxidación del Asfalto:** Es un proceso químico que altera la composición química del asfalto. El asfalto está constituido por una fina dispersión coloidal de asfaltenos y maltenos. Los maltenos actúan como la fase continua

que dispersa a los asfaltenos. Las propiedades físicas de los asfaltos obtenidos por destilación permiten a los mismos ser dúctiles, maleables y reológicamente aptos para su utilización como materias primas para elaborar productos para el mercado vial. Al "soplar" oxígeno sobre una masa de asfalto en caliente se produce una mayor cantidad de asfaltenos en detrimento de los maltenos, ocasionando así de esta manera una mayor fragilidad, mayor resistencia a las altas temperatura y una variación de las condiciones reológicas iniciales.

15.2 CLASIFICACIÓN. Se clasifican en:

- **Asfaltos oxidados o soplados:** Estos son asfaltos sometidos a un proceso de deshidrogenación y luego a un proceso de polimeración. A elevada temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y adaptarlos a aplicaciones más especializadas. El proceso de oxidación produce en los asfaltos las siguientes modificaciones físicas: - Aumento del peso específico. Aumento de la viscosidad.
- **Asfaltos sólidos o duros:** Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10. Además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes.
- **Fluxante o aceite fluxante:** Fracción de petróleo relativamente poco volátil que puede emplearse para ablandar al asfalto hasta la consistencia deseada; frecuentemente se emplea como producto básico para la fabricación de materiales asfálticos para revestimientos de cubiertas.
- **Asfaltos líquidos:** También denominados asfaltos rebajados o cutbacks, son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida por lo que se salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300.
 - Asfalto de curado rápido: cuando el disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC(Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiestokes.
 - Asfalto de curado medio: si el disolvente es queroseno, se designa con las letras MC(Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.
 - Asfalto de curado lento: su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC(Slow Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.
 - Road oil: Fracción pesada del petróleo usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC).
- **Asfaltos emulsificados:**
 - Emulsiones asfálticas: Son parte de los asfaltos líquidos.
 - Emulsión asfáltica inversa: emulsión asfáltica en la que la fase continua es asfalto, usualmente de tipo líquido, y la fase discontinua está constituida por diminutos glóbulos de agua en porción relativamente pequeña.
- **Roca asfáltica:** roca porosa como arenisca o caliza, que se ha impregnado con asfalto natural a lo largo de su vida geológica.
 - Producto asfáltico de imprimación: asfalto líquido de baja viscosidad que penetra en una superficie no bituminosa cuando se aplica a ella.
 - Pintura asfáltica: producto asfáltico líquido que a veces contiene pequeñas cantidades de otros materiales como negro de humo, polvo de aluminio y pigmentos minerales. Gilsonita: tipo de asfalto natural duro y quebradizo que se presenta en grietas de rocas o filones de los que se extrae.
- **Productos prefabricados:** Para rellenos de juntas: tiras prefabricadas de asfalto mezclado con sustancias minerales muy finas, materiales fibrosos, corcho, etc., de dimensiones adecuadas para la construcción de juntas.
 - Paneles: compuestos generalmente de una parte central de asfalto, minerales y fibras, cubierta por ambos lados con una capa de fieltro impregnado de asfalto y revestido en el exterior con asfalto aplicado en caliente.
 - Tablones: mezclas premoldeadas de asfalto, fibras y filler mineral, reforzadas a veces con malla de acero o fibra de vidrio.
 - Bloques: hormigón asfáltico moldeado a alta presión. (Fuente de la información: Anónimo. Costa Rica, Universidad Latina).

- **Betunes:** El betún se obtiene generalmente por destilación a vacío del petróleo. La mayoría de los autores coinciden en que los betunes están constituidos, desde el punto de vista estructural, por un sistema coloidal multifásico. Así, se distinguen comúnmente tres grupos de compuestos en el betún: asfáltenos, resinas y aceites. Las resinas y aceites forman la fracción malténica. Distintas proporciones de estos compuestos dan lugar a diferentes micro estructuras en el betún. Así, si resinas y asfáltenos se encuentran dispersos en la fase malténica, sus interacciones son muy débiles y el betún se comporta como una dispersión dotada de propiedades viscosas. Un aumento de las asociaciones de asfáltenos produce estructuras compactas de marcadas propiedades visco elástico
- **Betunes asfálticos:** Productos bituminosos sólidos o viscosos, naturales o preparados a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación, o cracking que contienen un tanto por ciento bajo de productos volátiles, poseen propiedades aglomerantes características y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono.
- **Betunes asfálticos modificados con polímeros:** Ligantes hidrocarbonados resultantes de la interacción física y/o química de polímeros con un betún asfáltico.
- **Betunes fluidificados:** Productos resultantes de la incorporación a un betún asfáltico de fracciones líquidas, mas o menos volátiles, procedentes de la destilación del petróleo.
- **Betunes fluxados:** Productos resultantes de la incorporación a un betún asfáltico de fracciones líquidas, mas o menos volátiles, procedentes de la destilación del alquitrán.
- **Alquitranes:** Ligantes hidrocarbonados de viscosidad variable preparados a partir del residuo bruto obtenido en la destilación destructiva del carbón a altas temperatura.
- **Alquitranes para carreteras:** Productos bituminosos de viscosidad variable preparados a partir del residuo bruto obtenido en la destilación destructiva del carbón a altas temperaturas

15.3 APLICACIONES. En muchas aplicaciones, el asfalto es calentado hasta hacerse lo suficientemente fluido para cada aplicación en particular. La siguiente tabla nos indica la viscosidad que debe tener el asfalto para una aplicación determinada. Se asume que la aplicación se llevará a cabo a la máxima viscosidad posible, es decir la mínima temperatura posible.

Tabla 15.1. Aplicación y viscosidad requerida. [48]

Aplicación	Viscosidad requerida (cst)
Spray	20-100
Llenado de Juntas	100-200
Mezclado con Filler	200
Impregnación	20-200
Impermeabilización	200-1000
Pintado	600
Recubrimiento	1000
Bombear	1500-2000

CAPÍTULO 16 — MATERIALES PARA INSTALACIÓN SANITARIA, TÉRMICA Y ACÚSTICA

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

16.1 ANTECEDENTES. En las antiguas construcciones, el plomo era común. Fue generalmente eclipsado hacia el final de los 1800 por las tuberías de agua hechas de hierro galvanizado que fueron unidas con las cañerías de tuberías roscadas. Una más alta durabilidad, y costo, sistemas hechos con la tubería y los accesorios de cobre amarillo. El cobre con los accesorios soldados se volvió popular alrededor del 1950, aunque había sido utilizado desde 1900. Los abastecimientos de tuberías plásticas han llegado a ser cada vez más comunes desde cerca del 1970, con una variedad de materiales y accesorios empleados.

16.2 DEFINICIÓN. en el campo de la construcción las tuberías y los accesorios es utilizado para transportar agua fría y caliente, fluidos de acondicionamiento de aire, sistemas de ductos de calefacción, gas natural, drenaje, etc.

- **Tuberías:** Las tuberías para conducción y distribución de agua potable pueden ser de hierro fundido gris, acero, hierro dúctil, cobre y cloruro de polivinilo (PVC).
- **Accesorios:** Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso.

16.3 CLASIFICACIÓN. Los accesorios se pueden clasificar en:

- **Bridas:** Son accesorios para conectar tuberías con equipos (bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.). La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado.

Tipos:

- **Brida con cuello:** Para soldar es utilizada con el fin de minimizar el número de soldaduras en pequeñas piezas a la vez que contribuya a contrarrestar la corrosión en la junta.
- **Brida con boquilla:** Para soldar.
- **Brida deslizante:** Es la que tiene la propiedad de deslizarse hacia cualquier extremo del tubo antes de ser soldada y se encuentra en el mercado con cara plana, cara levantada, borde y ranura, macho y hembra y de orificio requiere soldadura por ambos lados.
- **Brida roscada:** Son bridas que pueden ser instaladas sin necesidad de soldadura y se utilizan en líneas con fluidos con temperaturas moderadas, baja presión y poca corrosión, no es adecuada para servicios que impliquen fatigas térmicas.
- **Brida loca con tubo rebordado.** Es la brida que viene seccionada y su borde puede girar alrededor de cuello, lo que permite instalar los orificios para tornillos en cualquier posición sin necesidad de nivelarlos.
- **Brida ciega:** Es una pieza completamente sólida sin orificio para fluido, y se une a las tuberías mediante el uso de tornillos, se puede colocar conjuntamente con otro tipo de brida de igual diámetro, cara y resistencia.
- **Brida orificio.** Son convertidas para cumplir su función como bridas de orificio, del grupo de las denominadas estándar, específicamente del tipo cuello soldable y deslizantes.
- **Brida de cuello largo** para soldar.
- **Brida embutible.** Tiene la propiedad de ser embutida hasta un tope interno que ella posee, con una tolerancia de separación de 1/8" y solo va soldada por el lado externo.
- **Codos:** son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.
 - **Tipos:** Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la pre-fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:
 - Codos estándar de 45°
 - Codos estándar de 90°

- Codos estándar de 180°
- **Características:**
 - **Diámetro.** Es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes los cuales existen desde ¼" hasta 120". También existen codos de reducción.
 - **Ángulo.** Es la existente entre ambos extremos del codo y sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.
 - **Radio.** Es la dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos. Según sus radios los codos pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extralargo.
 - **Espesores** una normativa o codificación del fabricante determinada por el grosor de la pared del codo.
 - **Aleación.** Es el tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo, entre los más importantes se encuentran: acero al carbono, acero a % de cromo, acero inoxidable, galvanizado, etc.
 - **Junta.** Es el procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo, u otro accesorio y esta puede ser: soldable a tope, roscable, embutible y soldable.
 - **Dimensión.** Es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante formulas existentes.
- **Tes:** Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y schedule y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.
 - **Tipos:** Diámetros iguales o te de recta. Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.
 - **Características:**
 - **Diámetro:** Las tes existen en diámetros desde ¼" " hasta 72" " en el tipo Fabricación.
 - **Espesor:** Este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada y ellos existen desde el espesor fabricación hasta el doble extrapesado.
 - **Aleación:** Las más usadas en la fabricación son: acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc. Juntas. Para instalar las te en líneas de tubería se puede hacer, mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.
 - **Dimensión:** Es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la te.
- **Reducción:** Es un accesorio de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías.
 - **Tipos:**
 - **Estándar concéntrica:** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.
 - **Estándar excéntrica:** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.
 - **Características:**
 - **Diámetro:** Es la medida del accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo, y varía desde ¼" " x 3/8" " hasta diámetros mayores.
 - **Espesor:** Representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extrapesado.
 - **Aleación:** Es la mezcla utilizada en la fabricación de reducciones, siendo las más usuales: al carbono, acero al % de cromo, acero inoxidable, etc.
 - **Junta:** Es el tipo de instalación a través de juntas roscables, embutibles soldables y soldables a tope.
 - **Dimensión:** Es la medida de boca a boca de la reducción Concéntrica y excéntrica.
- **Válvulas:** Es un accesorio que se utiliza para regular y controlar el fluido de una tubería. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta de flujo (válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos.

- **Tipos:** Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican como se especifica a continuación.
 - **Válvula de globo.** Siendo de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente.
 - **Válvula en ángulo:** Permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuirla erosión cuando esta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial.
 - **Válvula de tres vías:** Este tipo de válvula se emplea generalmente para mezclar fluidos, o bien para derivar un flujo de entrada dos de salida.
 - **Válvula de jaula:** Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula.
 - **Válvula de compuerta:** Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido.
 - **Válvula en Y:** Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal.
 - **Válvula de cuerpo partido:** Es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes entre las cuales esta presionado el asiento.
 - **Válvula Saunders:** El obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido.
 - **Válvula de compresión:** Funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo, un tubo de goma.
 - **Válvula de obturador excéntrico rotativo:** Consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que esta unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles.
 - **Válvula de obturador cilíndrico excéntrico:** Tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico.
 - **Válvula de mariposa.** El cuerpo esta formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular.
 - **Válvula de bola.** El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de bola o esfera.
 - **Válvula de orificio ajustable.** El obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que esta perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor.
 - **Válvula de Flujo Axial.** Las válvulas de flujo axial consisten en un diagrama accionado reumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero.
- **Tapones:** Son accesorios utilizados para bloquear o impedir el pase o salida de fluidos en un momento determinado. Mayormente son utilizados en líneas de diámetros menores.
- Tipos:** Según su forma de instalación pueden ser macho y hembra.
- **Empacaduras:** Es un accesorio utilizado para realizar sellados en juntas mecanizadas existentes en líneas de servicio o plantas en proceso.

Tipos:

- **Empacadura flexitalica.** Este tipo de empacadura es de metal y de asientos espirometátiles. Ambas características se seleccionan para su instalación de acuerdo con el tipo de fluido.
- **Empacadura de asbesto.** Como su nombre lo indica son fabricadas de material de asbesto simple, comprimido o grafitado. Las empaquetaduras tipo de anillo se utilizan para bridas de cara alzada o levantada, de cara completa para bridas de cara lisa o bocas de inspección y/o pasahombres en torres, inspección de tanques y en cajas de condensadores, donde las temperaturas y presiones sean bajas.

- **Empacaduras de cartón.** Son las que se usan en cajas de condensadores, donde la temperatura y la presión sean bajas. Este tipo puede usarse en huecos de inspección cuando el tanque va a llenarse con agua.
- **Empacaduras de goma.** Son las que se usan en bridas machos y hembras que estén en servicio con amoníaco o enfriamiento de cera.
- **Empacadura completa.** Son las que generalmente se usan en uniones con brida, particularmente con bridas de superficie plana, y la placa de superficie en el extremo de agua de algunos enfriadores y condensadores.
- **Empacadura de metal.** Son fabricadas en acero al carbono, según ASTM, A-307, A-193. en aleaciones de acero inoxidable, A-193. también son fabricadas según las normas AISI en aleaciones de acero inoxidable A-304, A-316.
- **Empacaduras grafitadas.** Son de gran resistencia al calor (altas temperaturas) se fabrican tipo anillo y espirometalicas de acero con asiento grafitado, son de gran utilidad en juntas bridadas con fluido de vapor

- **Línea rosca:** Tubería de PVC diseñada para instalaciones de distribución de agua fría y domiciliaria e industrial, con una presión de servicio de hasta 10 bar.

La tubería es fabricada en color gris en diámetros de 1/2", 3/4", 1", 1 1/2" y 2" en barras de 6 metros con los extremos roscados.

Esta diseñada para ser aplicada en:

- Instalaciones hidráulicas domiciliarias e industriales.
- Conexiones domiciliarias e industriales.
- Matrices secundarias de agua potable.

- **Línea soldable:** Para instalaciones de distribución de agua fría domiciliaria e industrial, diseñados para trabajar con presiones que van desde los 15 bar hasta los 41 bar (de 150 a 410 metros de columna de agua).

La presión de diseño de la tubería varía de acuerdo al diámetro y norma.

Esta tubería es fabricada en color gris en diámetros de 1/2", 3/4", 1", 1 1/2" y 2" en barras de 6 metros de longitud, con un extremo en espiga y el otro acampanado para posibilitar la soldadura.

Los accesorios son inyectados en PVC con la tecnología más moderna en una amplia gama de dimensiones y tipos que resuelven todas las necesidades del mercado.

Las uniones son soldadas químicamente en frío con la ayuda del limpiador y pegamento.

Esta diseñada para ser aplicada en:

- Instalaciones hidráulicas domiciliarias e industriales.
- Conexiones domiciliarias e industriales.
- Matrices secundarias de agua potable.

- **Línea de desagüe:** La Línea Desagüe presenta tuberías y accesorios de PVC diseñados para instalaciones domiciliarias de desagüe sanitario y ventilación que pueden ser utilizados en instalaciones internas y externas.

La tubería de la Línea Desagüe es fabricada en color blanco bajo norma milimétrica (DN 40, 50, 75, 100 y 150) y norma en pulgadas (1.1/2", 2", 2.1/2", 3", 4" y 6"), con una longitud de 4 metros, con un extremo en espiga y el otro acampanado para posibilitar la soldadura.

Los accesorios de la Línea Desagüe norma milimétrica son inyectados en PVC con la tecnología más moderna, en una amplia gama de dimensiones y tipos que resuelven todas las necesidades del mercado. Estos accesorios tienen una junta mixta, lo que significa que pueden funcionar con pegamento químico (soldable) o con anillo de goma (junta elástica).

Esta diseñada para ser aplicada en:

- En sistemas de desagüe sanitario.
- Ventilación en instalaciones domiciliarias.

- Utilizados como bajantes, reciben los afluentes del desagüe sanitario.
- **Línea de presión:** Presenta tuberías y accesorios de PVC para instalaciones de redes de infraestructura de distribución de agua fría industrial, diseñada para trabajar con presiones que van desde los 6 bar hasta los 20 bar (200 m. de columna de agua).
- Esta línea permite diseñar redes de alta eficiencia hidráulica a un bajo costo. Prácticamente se pueden atender todos los requerimientos de caudal y presión con mucha precisión.

Esta diseñada para ser aplicada en:

- Instalaciones hidráulicas de redes de infraestructura para distribución de agua potable.
- Aducciones de agua potable.
- Líneas de alta presión, para alimentación de riego por aspersión.
- Matrices primarias y secundarias de agua potable.

Tabla 16.1. Dimensiones de tuberías. [54]

Dimensión	Código	Diámetro externo mínimo (mm)	Espesor de pared mínimo (mm)	Longitud por barra (m)	Presión		
					Trabajo (bar)	Prueba* (bar)	Rotura ** (bar)
Norma: NB-213, Clase rosca.							
½	TPR 202	21.2	2.9	6	10	15	132
¾	TPR 103	26.6	2.9	6	10	15	106
1	TPR 104	33.4	3.4	6	10	15	99
1 ½	TPR 105	48.1	3.7	6	10	15	73
2	TPR 106	60.2	3.9	6	10	15	61

* La presión de prueba se aplica a pruebas de campo por un tiempo máximo de 3 horas.

** La presión de rotura no se aplica a pruebas de campo, se aplica solo a pruebas de laboratorio.

CALEFONES

16.7 ANTECEDENTES. En 1975 en el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Nacional de San Luis se experimentó por primera vez con colectores planos. Desde entonces, la evolución de la tecnología (y su uso en la fabricación e instalación de calefones solares), ha sido enorme. Aquella experiencia sirvió para demostrar que la combinación de chapa-parrilla de caños y unión móvil o soldadura, era un tema que no se resolvía sólo físicamente, sino que interesaban además la disponibilidad y costos de materiales, la factibilidad y costo de fabricación, etc. y que la evaluación final pasaba por obtener el menor costo de calor solar y durabilidad.

Así se demostró que un colector hecho con chapa parrilla de caños de cobre podía ser reemplazado por uno de chapa de hierro-parrilla de bronce con una superficie 21 % mayor para obtener la misma cantidad de energía útil en agua caliente y en consecuencia un ahorro económico del 40 %.

16.8 DEFINICIÓN. Se denomina **calentador de agua, calefón, o caldera** a un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua. Entre los usos domésticos y comerciales del agua caliente están la limpieza, las duchas, para cocinar o la calefacción. A nivel industrial los usos son muy variados tanto para el agua caliente como para el vapor de agua.

Entre los combustibles utilizados se encuentran en gas natural, gas propano (GLP), querosén, carbón y electricidad. Alternativamente también se emplea la energía solar, bombas de calor (compresor) de refrigeradores o de acondicionadores de aire, calor reciclado de aguas residuales (no aguas negras) y hasta energía geotérmica. En el caso de las aguas calentadas con energías alternativas o recicladas, éstas usualmente se combinan con energías tradicionales.

16.9 CLASIFICACIÓN. Los tipos de calentadores de agua más conocidos son: calentador de punto, calentador de paso (sin tanque), calentador de acumulación y las **calderas** (para recirculación).

El tipo de calentador y el tipo de combustible a seleccionar depende de muchos factores como la temperatura del agua que se desea alcanzar, disponibilidad local del combustible, costo de mantenimiento, costo del combustible, espacio físico utilizable, caudal instantáneo requerido, clima local, y costo del calentador.

- **Calentadores de punto:** Estos calentadores son unidades muy pequeñas instaladas a poca distancia del lugar donde se requiere el agua caliente. Son alimentados con electricidad y se activan automáticamente por flujo o manualmente con un interruptor. Su uso se reduce a unas pocas aplicaciones comerciales o domésticas.

Tienen un reducido consumo eléctrico van desde 1500 vatios a 5000 W. Sólo tienen un uso práctico en países de clima templado, dada su baja capacidad de calentamiento.

Podemos encontrar ejemplos de su uso instalados directamente a lavamanos o como las famosas duchas (regaderas) de punto, muy utilizadas en viviendas económicas en países de clima templado.

- **Calentadores de paso:** También llamados calentadores instantáneos o calentadores de flujo son también de reducido tamaño en los modelos eléctricos y algo más grandes en los modelos de gas natural o GLP. Son unidades que están apagadas, sin consumir energía, un sensor de flujo se activa cuando detectan circulación de agua e inician su procedimiento de calentamiento. Los modelos eléctricos van desde los 8.000 W (1,91 kcalorías/s) hasta los 22.000 W (5,26 kcalorías/s). Los modelos de gas pueden alcanzar las 8 kcal/s como es el caso de un calentador de 18 L/min. Los modelos eléctricos están equipados con resistencias calentadoras de inmersión y los de gas encienden una llama que calienta un intercambiador de calor por donde circula el agua.

Los modelos más avanzados están equipados con controles electrónicos de temperatura y caudalímetros. De esta manera el usuario puede seleccionar la temperatura que desea en grados. El controlador electrónico mide el flujo de agua que está circulando, la temperatura de entrada, y gradúa la potencia que aplicarán la resistencias de calentamiento en el caso de los modelos eléctricos o el tamaño de la llama en los modelos a gas.

Los modelos eléctricos pueden aplicar el 99% de la energía consumida al agua, mientras que los modelos a gas alcanzan entre un 80% y un 90% de eficiencia. En el caso de los de calentadores a gas la energía no utilizada se libera en forma de aire caliente y CO₂.

Los modelos eléctricos pueden ser instalados en lugares cerrados pues no requieren ventilación, en cambio los de gas deben ser instalados en lugares ventilados o de ser instalados en lugares cerrados deben dirigir los gases que expelen a través de un ducto de ventilación al exterior.

Estos calentadores tienen ventajas de ahorro de espacio, ahorro de energía y agua caliente ilimitada pero solo son prácticos en países de clima templado o caliente dada su baja capacidad de calentamiento a grandes flujos de agua, o si la temperatura inicial del agua es muy baja.

Para seleccionar la potencia de un calentador de paso debemos conocer que cantidad de agua necesitamos calentar y a que temperatura deseamos elevarla.

Un ejemplo práctico: deseamos alimentar dos duchas de manera simultánea y nuestra temperatura de entrada es de 18 °C. Una ducha promedio puede consumir alrededor de 8 L/min y una ducha confortable está alrededor de los 45 °C.

- **Calentadores de acumulación:** Estos calentadores son los más económicos de explotación; poseen un tanque donde acumulan el agua y la calientan hasta alcanzar una temperatura seleccionada en su termostato. La capacidad de su depósito es muy variable y va desde los 15 litros hasta modelos de 1000 L. Utilizan como energía gas natural, gas propano (GLP), electricidad, carbón, luz solar, madera o kerosén. Para la selección del tamaño se debe considerar la cantidad de agua caliente que se pueda requerir en determinado momento, la temperatura de entrada del agua y el espacio utilizable.

Estos calentadores tienen la ventaja de suministrar agua caliente a temperatura constante por tantos litros como casi la totalidad de depósito. Además admite que se abran varios grifos a la vez sin que se vea afectada la temperatura del agua que surte lo que no ocurre en los calentadores instantáneos. Su desventaja está en el tamaño de su depósito si está mal elegido, pues si agotase agotar el agua caliente acumulada puede pasar un rato largo antes de que se recupere la temperatura, lo cual depende también de la energía utilizada.

Al momento de escoger un modelo de acumulador se debe tener en cuenta el tipo y calidad de aislamiento térmico que posee. Si se selecciona un modelo económico puede pagarse ese ahorro después en la cuenta de electricidad o gas, ya que un aislamiento deficiente permite que se escape el calor del agua al ambiente, obligando al calentador a gastar más energía para volver a recuperar la temperatura.

- **Calefones solares:** Calefones solares sirven para calentar agua con la energía solar a temperaturas generalmente comprendidas entre 50 y 70°C. La mayoría de los calefones solares están compuestos de uno o varios colectores solares y en forma separada de un reservorio normalmente presurizado, en el cual se acumula y conserva el agua caliente. Dicho reservorio es protegido contra las pérdidas de calor hacia el ambiente mediante materiales aislantes, razón por la cual son también denominados termotanques. Ambas partes son interconectadas mediante una cañería de circuito cerrado, que permite la circulación del agua caliente desde los colectores al reservorio y del agua fría desde el último de vuelta a los colectores.

Cuando dicha circulación se produce naturalmente sin bombeo los calefones son de tipo termosifón, comunes para calefones de menor capacidad. Para que el efecto termosifón se produzca, el reservorio debería estar en cercanía inmediata de los colectores y a una altura mayor que esos.

Para calefones de mayor porte se utiliza generalmente la circulación forzada del agua entre tanque y colectores. En este caso el tanque puede estar en otro sitio e inclusive al nivel del suelo, mientras que los colectores se encuentran en el techo. Para tales sistemas se requiere de una bomba de circulación eléctrica con regulación electrónica por diferencia de temperatura, que hace que la bomba funcione solamente, cuando los colectores solares pueden generar agua más caliente que la que está actualmente almacenada en el termotanque.

Existen 2 tipos de calefones solares, los con colectores planos de fabricación propia y los con colectores a base de tubos de vidrio a vacío, que son importados.

o Calefones solares con colectores planos.

- Uso típico: Calentamiento de agua de uso sanitario o industrial.
- Características técnicas principales:

Colectores solares a base de placas absorbedoras de caño de cobre y chapa de aluminio acanalada en caja térmica con cubierta de vidrio conectados a un termotanque como reservorio de agua caliente.

Para tanques hasta 540 l se trata de sistemas tipo termosifón, para capacidades mayores se debe recurrir a la circulación forzada del agua.

- Modelos:
 - Tanque 100 l, 1 colector 2 m2.
 - Tanque 180 l, 1 colector 3 m2.
 - Tanque 320 l, 2 colectores 3 m2.
 - Tanque 320 l, 3 colectores 2 m2.
 - Tanque 540 l, 4 colectores 2 m2.
 - A partir de 540 l sobre demanda.
- Opciones:
 - Tanques de chapa negra con cobertura interior de epoxi, galvanizada o de acero inoxidable.
 - Con o sin calefacción auxiliar eléctrica.

o Calefones solares con colectores de tubos de vidrio a vacío

- Uso típico: Calentamiento de agua de uso sanitario o industrial.
- Características técnicas principales:

Colectores solares a base de tubos de vidrio a vacío conectados a un termotanque de acero inoxidable como reservorio de agua caliente. Calefacción auxiliar eléctrica con termostato.

- Modelos:
 - Tanque 90 l, colector solar 2.2 m2
 - Tanque 150 l, colector solar 2.5 m2
 - Tanque 200 l, colector solar 3.4 m2
 - Tanque 300 l, colector solar 5.0 m2
 - A partir de 300 l sobre demanda

ACONDICIONADOS DE AIRE

- 16.10 ANTECEDENTES.** Uno de los grandes sistemas para suprimir el calor sin duda fue el de los egipcios. Este se utilizaba principalmente en el palacio del faraón. Las paredes estaban construidas de enormes bloques de piedra, con peso superior de 1000 toneladas y de un lado pulido y el otro áspero.

Durante la noche, 3000 esclavos dismantelaban las paredes y acarreaban las piedras al desierto del Sahara. Como la temperatura en el desierto disminuye notablemente a niveles muy bajos durante el transcurso de la noche, las piedras se enfriaban y justamente antes de que amaneciera los esclavos acarreaban de regreso las piedras al sitio donde el palacio y volvían a colocarlas al sitio donde estas se encontraban.

Se supone que el faraón disfrutaba de temperaturas alrededor de los 27 °C, mientras que afuera estas se encontraban hasta en los 54°C o mas. Se necesitaban 3000 esclavos para poder efectuar esta labor de acondicionamiento, lo que actualmente se efectúa fácilmente.

- 16.11 DEFINICIÓN.** El **acondicionamiento de aire** es el proceso más completo de tratamiento del aire ambiente de los locales habitados; consiste en regular las condiciones en cuanto a la temperatura (calefacción o refrigeración), humedad, y el movimiento del aire dentro de los locales. Si no se trata la humedad, sino solamente de la temperatura, podría llamarse **climatización**.

Entre los sistemas de acondicionamiento se cuentan los autónomos y los centralizados. Los primeros producen el calor o el frío y tratan el aire (aunque a menudo no del todo). Los segundos tienen un/unos acondicionador/es que solamente tratan el aire y obtienen la energía térmica (calor o frío) de un sistema centralizado. En este último caso, la producción de calor suele confiarse a calderas que funcionan con combustibles. La de frío a máquinas frigoríficas, que funcionan por compresión o por absorción y llevan el frío producido mediante sistemas de refrigeración.

- 16.12 CLASIFICACIÓN.-** Ventiladores, climatizadores, evaporadores, aire acondicionado. La variedad de aparatos disponible en el mercado para enfriar un ambiente es tal, que conviene saber qué sistema se adapta mejor a las necesidades y posibilidades de cada hogar. La estrella del verano en materia de refrigeración son los sistemas de aire acondicionado.

➤ **Aire acondicionado:**

○ **Multi Split.**

- Instalación y funcionamiento: Una unidad exterior alimenta, según las necesidades, desde 2 hasta 5 unidades interiores. Las unidades interiores pueden ser de tipo mural, suelo-techo, cassette o mixtas. El hueco necesario para unir la unidad exterior y la interior es muy pequeño. Un hueco de 10 cm x 10 cm, es suficiente.
- Aplicación: Para climatizar viviendas de más de 100 metros cuadrados, casas unifamiliares.
- Ventajas: Permite regular la climatización de las estancias de manera independiente.
- Desventajas: La instalación debe hacerla un profesional.
- Capacidad de refrigeración: Entre 1.700 y 5.000 frigorías/hora.

○ **Split (partido).**

Consta de una unidad interior y otra exterior. La interior está compuesta por el evaporador, el ventilador, el filtro de aire y el sistema de control, y la unidad exterior donde se encuentra el compresor y el condensador. Están equipados con filtros purificadores de aire, desodorizantes, de prevención de humedad y demás sistemas de mejora de la calidad del aire. Pueden trabajar en modo de humidificación cuando la diferencia entre la temperatura del ambiente y la programada es reducida, más económico, o en modo refrigeración.

- Capacidad de refrigeración. Entre 1.000 y 8.000 frigorías, los más habituales para vivienda.

➤ **Climatizador de ventana.**

- Instalación y funcionamiento: Unitario y compacto, se instala en un hueco -hecho a los efectos- de una ventana o muro exterior, quedando medio equipo fuera y el otro medio dentro.
- Aplicación: Para viviendas donde no está permitida la colocación de unidades condensadoras en fachadas.
- Ventajas. Asegura la ventilación del local, ya que insufla aire fresco al interior y renueva el aire viciado.

- Desventajas: La instalación debe hacerla un profesional. Poco estético. Es de los más ruidosos, aunque algunos de sus últimos modelos anuncian un bajo nivel sonoro.
- Capacidad de refrigeración: Entre 1.500 y 5.000 frigorías/hora.
- **Split portátil.**
 - Instalación y funcionamiento: Tiene dos unidades, una exterior, tipo maleta, y otra interior. Se conectan a través de tuberías incorporadas a los equipos.
 - Aplicación: Ideales para acondicionar viviendas pequeñas, de alquiler o segunda residencia. Máximo 15-20 metros cuadrados.
 - Ventajas: No requiere la intervención de un profesional para instalarlo. Se puede trasladar de una habitación a otra y acondicionar según las necesidades. No ocupa demasiado espacio.
 - Desventajas: Su movilidad depende de su peso y de la longitud del tubo. La ventana tiene que permanecer abierta para dejar paso al tubo flexible, lo que hace que se pierda parte de los beneficios de la refrigeración.
 - Capacidad de refrigeración: Entre 1.000 y 2.600 frigorías/hora.
- **Monobloc portátil.**
 - Instalación y funcionamiento: Es un aparato compacto que extrae el calor expulsando el aire caliente hacia el exterior a través de un tubo flexible. Un sencillo hueco en un cristal o en el cerco de una ventana sirven para colocar el tubo del conducto por el que se expulsa el calor.
 - Aplicaciones: Ideales para acondicionar viviendas pequeñas, de alquiler o segunda residencia. Máximo 15-20 metros cuadrados.
 - Ventajas: No requiere la intervención de un profesional para instalarlo. Se puede trasladar de una habitación a otra. Es más cómodo y económico que el split portátil.
 - Desventajas: Es ruidoso porque el compresor está en la, única, unidad interior. Enfría menos que un split portátil, porque su potencia es inferior.
 - Capacidad de refrigeración: Entre 1.500 y 3.000 frigorías/hora.
- **Otras opciones:**
 - **Ventiladores:** Mucho más baratos que un equipo de aire acondicionado, los hay desde 19 euros, permiten un mayor ahorro energético, pero no enfrían el aire; lo que hacen es moverlo, provocando una corriente refrescante. De esta forma, consiguen que la sensación térmica baje entre 4 y 8 grados. Son recomendables para estancias aireadas y sombrías. Ganan efectividad colocados debajo de una ventana, de manera que aprovechen el aire proveniente de la calle.
 - **Enfriadores de aire/Climatizadores evaporativos:** Usan un ventilador para hacer pasar el aire caliente ambiental a través de un filtro, constantemente mojado gracias a una bomba de agua (incorporan un depósito de agua y hielo), acelerando con este proceso la evaporación del agua, y consiguiendo una reducción del aire que impulsan entre 12 y 16° C con respecto a la temperatura exterior. Son recomendables para climas secos y cálidos. Cuando la temperatura exterior es muy alta, de 40 o más grados, son poco eficientes. Manejables, portátiles y de bajo consumo, no precisan de instalación.

INSTALACIÓN ACÚSTICA

16.13 DEFINICIÓN. Aislar supone impedir que un sonido penetre en un medio, o que salga de él; por ello, la función de los materiales aislantes, dependiendo de donde estén, puede ser o bien, reflejar la mayor parte de la energía que reciben (en el exterior), o bien, por el contrario, absorberla.

A pesar de ello, hay que diferenciar entre aislamiento acústico y absorción acústica:

- El **aislamiento acústico** permite proporcionar una protección al recinto contra la penetración del ruido, al tiempo, que evita que el sonido salga hacia el exterior.
- En cambio, la **absorción acústica**, lo que pretende es mejorar la propia acústica del recinto, controlando el tiempo de reverberación, etc.

Por ello, los materiales **aislantes** son, generalmente, malos absorbentes. Es un hecho lógico, la misión de un aislante, si está colocado en el interior puede ser absorber el sonido que le llega, no obstante, colocado en el exterior, tendrá como misión reflejar la mayor cantidad de energía sonora que reciba, para impedir que penetre en el recinto.

La capacidad de **aislamiento acústico** de un determinado elemento constructivo, fabricado con uno o más materiales, es su capacidad de atenuar el sonido que lo atraviesa. La atenuación o pérdida de transmisión sonora de un determinado material se define como la diferencia entre la potencia acústica incidente y el nivel de potencia acústica que atraviesa el material.

Para conseguir un buen aislamiento acústico son necesarios materiales que sean duros, pesado, no porosos, y, si es posible, flexibles. Es decir, es preferibles que los materiales aislante sean materiales pesados y blandos al mismo tiempo.

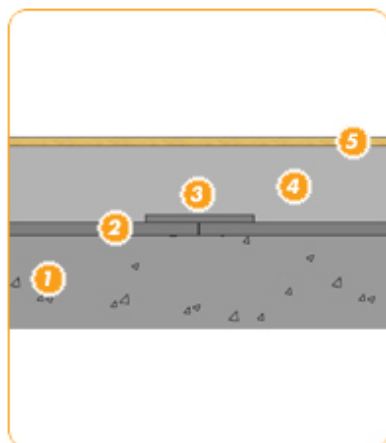
El plomo es el mejor aislante de todos ya que aísla del sonido y de las vibraciones.

También actúan como un gran y eficaz aislante acústico, las cámaras de aire (un espacio de aire hermético) entre paredes. Si se agrega, además, material absorbente en el espacio entre los tabiques (por ejemplo, lana de vidrio), el aislamiento mejora todavía más. Cuando se realiza un acondicionamiento acústico, no sólo hay que prestar atención a las paredes y suelos del recinto, sino a los pequeños detalles.

Una junta entre dos paneles mal sellada, una puerta que no encaja, etc., pueden restar eficacia al aislamiento.

16.14 CLASIFICACIÓN Y APLICACIONES.

- **Suelo - Sistema Impactodan:** Aislamiento a ruido de impacto y ruido aéreo



- 1.- Soporte
- 2.- Aislamiento a ruido de impacto Impactodan 10
- 3.- Cinta de solape Impactodan
- 4.- Capa de mortero de protección
- 5.- Pavimento de terminación

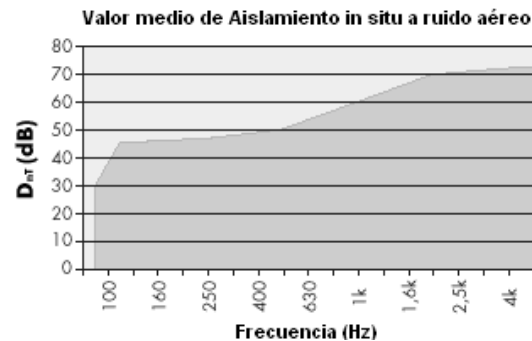
Fig. 16.1. Suelo - Sistema Impactodan. [58]

Tabla 16.2. Especificaciones. [58]

FICHA AA01	
Designación	Suelo flotante con PE reticulado
Forjado	Capa compresión 5 cm.
Producto	IMPACTODAN
Fijación	Bandas autoadhesivas
Mortero flotante	>4 cm.en relación 1:5
Peso	>380 Kg/m ² +Pavimento
Espesor acabado	5-6 cm.+Pavimento
Resistencia al fuego	RF > 60
Aislamiento térmico	U=0,93 W/m ² K
Aislamiento acústico	ΔLn = 20 dB
Aislamiento acústico	DnT,A > 50 dBA

Tabla 16.3. Valores acústicos. [58]

F (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
DnT (dB)	45,5	47	50	60	70	72,5



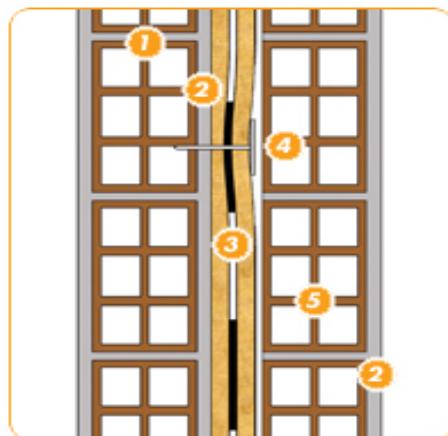
- **Descripción:** Solución recomendada para aislamiento acústico de forjados entre distinto usuario en edificación residencial independientemente del tipo de albañilería usada.

Sistema masa-resorte-masa formado por una lámina de polietileno reticular que envuelve totalmente a una capa de mortero que queda flotante respecto del forjado.

- **Ventajas:**

- Cumple in situ con los requerimientos del Código Técnico de la Edificación tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto.
- Sistema de aislamiento homologado por comisión de expertos en D.I.T.n ° 439 con ensayos 'in situ'.
- El IMPACTODAN tiene una reconocida durabilidad en el tiempo y resistencia a la compresión.
- Solución de poco espesor lo que implica que se producirá un menor incremento de altura.
- Sistema compatible con instalaciones que vayan por el suelo siendo innecesario echar una capa de relleno.

- **Medianera:** Aislamiento a ruido aéreo.



- 1.- Tabicón de ladrillo hueco doble
- 2.- Guarnecido de yeso
- 3.- Aislamiento multicapa Danofon
- 4.- Espigas PVC 40
- 5.- Tabicón de ladrillo hueco doble

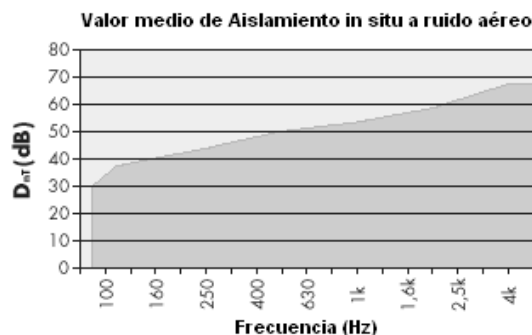
Fig. 16.2. Medianera. [58]

Tabla 16.4. Especificaciones. [58]

FICHA AA10	
Designación	Medianera doble hoja con multicapa
Albañilería	Ladrillo hueco doble
Aislamiento	DANOFON
Fijación	Espigas de PVC
Acabado	Enlucido 1.5 cm
Peso	> 215 Kg/m ²
Espesor	20 - 21.5 cm.
Resistencia al fuego	RF >60
Aislamiento térmico	U=0,79 W/m²K
Aislamiento acústico	RA =63 dBA DnT,A ≈53 dBA

Tabla 16.5. Valores acústicos. [58]

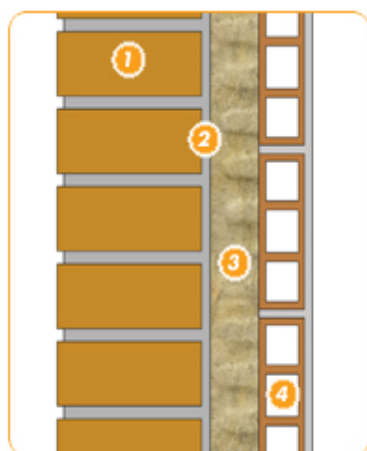
F (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
DnT (dB)	39	44	50	53	59	68



- **Descripción:** Solución recomendada para aislamiento acústico de medianeras entre distinto usuario con albañilería tradicional en edificios residenciales.

Sistema formado por una doble hoja de albañilería desolidarizada entre sí con producto multicapa **DANOFON** en su interior para atenuar bajas, medias y altas frecuencias.

- **Ventajas:**
 - Cumple in situ con los requerimientos del futuro código técnico de la edificación.
 - El enlucido interior garantiza la estanqueidad del sistema.
 - El DANOFON al llevar incorporado una membrana acústica compensa las pérdidas de masa por rozas y cajeados y mejora el rendimiento acústico a bajas frecuencias.
 - Por su alta resistencia al desgarró, se puede fijar mecánicamente huyendo de los inconvenientes de peligrosidad y salubridad de los pegados con cola de contacto.
 - Por el alto rendimiento acústico del DANOFON se pueden emplear fábricas ligeras o tabiques de escayola.
 - La flotabilidad de los tabiques está recogida en DIT n°439 'Sistema de amortiguación de ruido de impacto IMPACTODAN' con lo que se consiguen unos altos rendimientos acústicos.

➤ **Trasdosado:** Aislamiento a ruido aéreo

- 1.- Muro de cerramiento de medio pie de ladrillo macizo
- 2.- Guarnecido de yeso
- 3.- Lana de roca Rocdan 231/40
- 4.- Tabique de ladrillo hueco sencillo

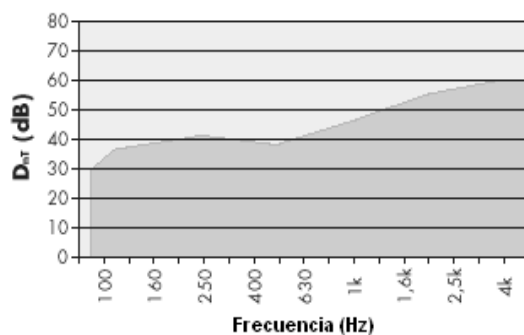
Fig. 16.3. Trasdosado. [58]

Tabla 16.6. Especificaciones. [58]

FICHA AA20	
Designación	Trasdosado con hueco sencillo
Albañilería	Hueco sencillo
Aislamiento	ROCDAN 231/40
Fijación	Agarrado con mortero
Acabado	Enlucido 1.5 cm
Peso	284 Kg/m ²
Espesor trasdós	10 cm.
Resistencia al fuego	RF >60
Aislamiento térmico(1)	U=0,58 W/m ² K
Aislamiento acústico(2)	RATr = 42 dBA

Tabla 16.7. Valores acústicos. [58]

F (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
DnT (dB)	37	40,5	38	47	55	60



- **Descripción:** Solución recomendada para aislamiento acústico en fachadas con albañilería tradicional en edificios residenciales.

Sistema formado por cerramiento de fachada trasdosado con ladrillo hueco sencillo enlucido con panel de lana de roca en el interior de la cámara. El espesor del aislamiento dependerá de zona climática.

o **Ventajas:**

- Aislamiento acústico suficiente para la parte ciega de una fachada.
- Aporta aislamiento térmico adecuado, dependiendo del espesor del material aislante según zona climática.
- El mortero interior garantiza la estanqueidad e impermeabilidad de la fachada.
- El ROC DAN 231 evita el efecto 'tambor dentro de la cámara'.
- Aislamientos orientativos.

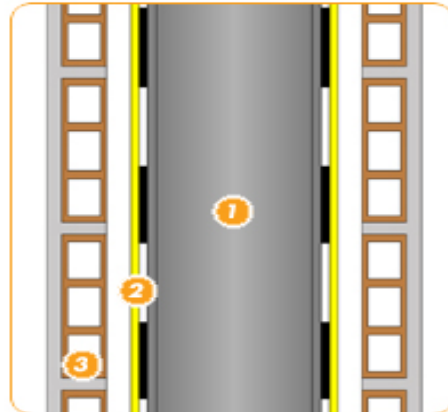
El aislamiento de las fachadas dependerá del valor del aislamiento y superficie de la parte ciega y de la parte acristalada, dando las siguientes recomendaciones del tipo de ventanas según su situación de afectación acústica:

- En zonas poco ruidosas: Ventana en carpintería corredera con cristal tipo climalit 4 + cámara + 4. $D_{2m,nTA} > 30$ dBA para una superficie acristalada del 30%.
- En zonas levemente ruidosas: Ventana practicable con cristal tipo climalit 4 + cámara + 4. $D_{2m,nTA} > 32$ dBA para una superficie acristalada del 30%.
- En zonas ruidosas: Ventana practicable con cristal tipo climalit (3+3) + cámara + 4. $D_{2m,nTA} > 35$ dBA para una superficie acristalada del 30%.
- En zonas muy ruidosas: Doble carpintería:

La exterior corredera de cristal stadip 3+3.(Ver DPS 3.4). Separación 12-15 cm.

La interior practicable con cristal tipo climalit (3+3) + cámara + 4. $D_{2m,nTA} > 38$ dBA para una superficie acristalada del 30%.

➤ **Bajante:** Aislamiento a ruido aéreo



- 1.- Bajante de PVC
- 2.- Banda autoadhesiva Fonodan BJ
- 3.- Tabique de ladrillo hueco sencillo

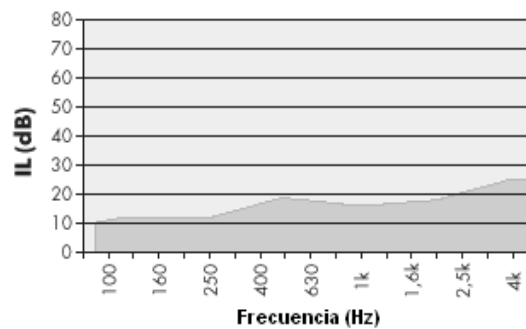
Fig. 16.4. Bajante. [58]

Tabla 16.8. Especificaciones. [58]

FICHA AA50	
Designación	Bajante edificación
Albañilería	Ladrillo hueco sencillo
Techo	Escayola
Aislamiento	FONODAN BJ
Fijación aislamiento	Autoadhesivo
Acabado	Encintado
Peso	80 Kg/m ²
Espesor	5,5 cm.
Resistencia al fuego	RF >30
Aislamiento térmico	-
Aislamiento acústico	IL = 17 dBA

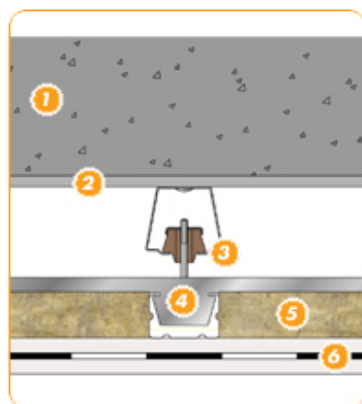
Tabla 16.9. Valores acústicos. [58]

F (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
IL (dB)	11,5	11,5	18,5	16,5	18	25



- **Descripción:** Solución recomendada para aislamiento acústico de bajantes pluviales y fecales en edificios residenciales. Sistema antiresonante formado por aislamiento bicapa FONODAN BJ adherido al tubo de la bajante, trasdosado con:
 - Solución A: Tabique hueco sencillo enlucido con 1.5 cm. de yeso en pared y placa de escayola en el forjado superior.
 - Solución B: Trasdoso de yeso laminar con placa N15 fijado a perfilera y material absorbente ROC DAN 231/40 en el interior de la cámara y placa yeso laminar en perfilera de techo continuo en forjado superior.
- **Ventajas:**
 - Amortigua las vibraciones al aportar masa acústica del tubo de bajantes.
 - Mejora la calidad acústica disminuyendo el ruido de las bajantes en 17 dBA.
 - Data de elasticidad al sistema evitando ruidos estructurales.
 - La banda de refuerzo en el codo y entronque aumenta el sistema de amortiguamiento en las zonas donde golpean los fluidos
 - Fortalece la unión entre tubos.

➤ **Techo:** Aislamiento a ruido aéreo.



- 1.- Soporte
- 2.- Guarnecido de yeso
- 3.- Amortiguador de caucho marrón Shore 45° ATC-25
- 4.- Perfilera techo (primario-secundario)
- 5.- Lana de roca Rocdan 231/40
- 6.- Sándwich acústico, 2 placas de yeso laminar N13

Fig. 16.5 Techo. [58]

Tabla 16.10.Especificaciones. [58]

FICHA AA30	
Designación	Techo sándwich acústico
Albañilería	Placas yeso laminar N13
Aislamiento	ROCDAN / M.A.D.
Fijación	Depositado / grapado
Acabado	Techo decorativo
Peso suspendido	40 Kg/m²+techo decorativo
Espesor	Mínimo 15 cm.
Reistencia al fuego	RF =120
Aislamiento térmico	U =0,51 W/m²K
Aislamiento acústico	DnT,A >60 dBA

- o **Descripción:** Solución recomendada para aislamiento acústico de techos en locales de actividad con horario diurno (7horas a 23 horas) y sin equipo de reproducción musical, como bares, restaurantes, supermercados, etc.

Sistema masa-resorte-masa formado por forjado existente, amortiguador de caucho y sándwich acústico (placa N13+M.A.D.4+placa N13) con material absorbente ROC DAN 231/40 en el interior de la cámara.

- o **Ventajas:**
 - Cumple in situ con los requerimientos de las distintas Ordenanzas Municipales para este tipo de locales.
 - El enlucido interior da la estanquidad necesaria al sistema.
 - Sistema masa-resorte-masa con aislamiento a medias y altas frecuencias.
 - La membrana acústica M.A.D.4 mejora el comportamiento acústico de las placas de yeso laminar, quitando las frecuencias de resonancia y coincidencia.
 - La lana mineral evita el efecto 'tambor' en la cámara de aire.
 - La altura de cámara puede ser la mínima que nos permita el local.
 - El amortiguador desolidariza el techo interior del exterior, amortiguando las excitaciones de medias y altas frecuencias.

CAPÍTULO 17 — MATERIALES PARA INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN

MATERIALES PARA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

17.1 ANTECEDENTES. Los fenómenos eléctricos en la Naturaleza son conocidos desde la antigüedad, aunque no fue hasta aproximadamente el 600 A.C. cuando Thales de Mileto comprobó las propiedades eléctricas del ámbar, el cual al ser frotado con una pieza de lana era capaz de atraer a pequeños objetos.

Más tarde se comprobó que otros cuerpos, como la piedra imán, el vidrio, la resina, el diamante y el cuarzo, tenían fuerza de atracción semejante a la del ámbar. Sin embargo tuvieron que transcurrir muchos siglos para que se buscara una explicación racional de aquellos fenómenos.

En realidad, ni la civilización griega ni la romana, ni luego el mundo de la Edad Media contribuyeron de manera importante a la comprensión de la electricidad y del magnetismo. El estudio científico de la electricidad se inició recién en el siglo XVII.

17.2 DEFINICIÓN. Material eléctrico es todo material utilizado en la **producción, transformación, transporte, distribución o utilización de la energía eléctrica**, como máquinas, transformadores, instrumentos de medida, dispositivos de protección, material para canalizaciones, receptores, etc.

Por lo tanto se denomina instalación eléctrica al conjunto formado por, el tendido de cañerías, conductores, artefactos de iluminación, toma corrientes y demás elementos de protección que se combinan para el aprovechamiento y utilización de la energía eléctrica en el hogar comercio e industria.

17.3 CLASIFICACIÓN. Los materiales eléctricos se pueden clasificar según:

- **Tipos de materiales:** Según su capacidad para transportar cargas eléctricas se dividen en:
 - **Conductores:** su valor de conductividad es muy alto. La plata es el mejor conductor y su valor de conductividad está entorno a $6,1 \cdot 10^7$.
 - **Aislantes:** su capacidad para transportar energía es prácticamente nula. Sus valores de conductividad son se 10^{-10} a 10^{-20} .
 - **Semiconductores:** tienen valores intermedios de conductividad, según su composición, pueden ser de dos tipos: Intrínsecos o Extrínsecos. Son de infinita utilidad en la rama de la electrónica. Su conductividad es del orden de 10^{-6} a 10^4

La capacidad de transportar energía depende de la composición química y metalúrgica del conductor.

- **Las instalaciones eléctricas interiores** en función del uso de la energía, se clasifican de la siguiente manera:

- Domiciliarias.
- Edificios destinados principalmente a viviendas.
- Edificios comerciales o de oficinas.
- Edificios públicos.
- Industriales.

En cada caso es necesario determinar la demanda máxima, con la cual se dimensionan las instalaciones de enlace (acometidas) y la potencia del transformador propio si es el caso.

- **Elementos de seguridad.**

- **Cuadro eléctrico de seguridad en una vivienda:** Compuesto por limitador de potencia, interruptores magnetotérmicos e interruptores diferenciales.

Las instalaciones eléctricas disponen de varios elementos de seguridad para disminuir el riesgo de accidentes, como los causados por cortocircuitos, sobrecargas o contacto de personas o animales con elementos en tensión.

El cortocircuito se produce normalmente por fallos en el aislante de los conductores, cuando estos quedan sumergidos en un medio conductor como el agua o por contacto accidental entre conductores aéreos por fuertes vientos o rotura de los apoyos. Debido a que un cortocircuito puede causar daños importantes en las instalaciones eléctricas e incendios en edificios, las instalaciones están normalmente dotadas de fusibles, interruptores magnetotérmicos o diferenciales y tomas de tierra, a fin de proteger a las personas y las cosas.

- **Fusible industrial de 200 amperios:** Es un dispositivo, constituido por un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión, que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o por un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.
- **Interruptor magnetotérmico:** también denominado disyuntor termomagnético, es un dispositivo utilizado para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas, en sustitución de los fusibles. Tienen la ventaja frente a los fusibles de que no hay que reponerlos. Cuando desconectan el circuito debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearmen de nuevo y siguen funcionando. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.
- **Interruptor diferencial:** también llamado disyuntor por corriente diferencial o residual, es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos. En esencia, el interruptor diferencial consta de dos bobinas, colocadas en serie con los conductores de alimentación de corriente y que producen campos magnéticos opuestos y un núcleo o armadura que mediante un dispositivo mecánico adecuado puede accionar unos contactos. El interruptor corta la corriente eléctrica cuando existe una derivación de corriente a tierra, que si pasa por un cuerpo humano puede tener consecuencias fatales.
- **Instalación domiciliaria de toma a tierra:** Se emplea en las instalaciones eléctricas para evitar el paso de corriente al usuario por un fallo del aislamiento de los conductores activos.

La toma a tierra es un camino de poca resistencia a cualquier corriente de fuga para que cierre el circuito "a tierra" en lugar de pasar a través del usuario. Consiste en una pieza metálica enterrada en una mezcla especial de sales y conectada a la instalación eléctrica a través de un cable. En todas las instalaciones interiores según el reglamento, el cable de tierra se identifica por ser su aislante de color verde y amarillo.

17.4 APLICACIONES.

- **Alumbrado de vías públicas:** La iluminación o alumbrado público es la acción o efecto de iluminar usando electricidad, vías públicas, monumentos, autopistas, aeropuertos, recintos deportivos, etc., así como la iluminación de las viviendas y especialmente la de los lugares de trabajo cuando las condiciones de luz natural no proporcionan la visibilidad adecuada.

En la técnica se refiere al conjunto de lámparas, bombillas, focos, tubos fluorescentes, entre otros, que se instalan para producir la iluminación requerida, tanto a niveles prácticos como decorativos. Con la iluminación se pretende, en primer lugar conseguir un nivel de iluminación, o iluminancia, adecuado al uso que se quiere dar al espacio iluminado, cuyo nivel dependerá de la tarea que los usuarios hayan de realizar.

La iluminación en los centros de trabajo debe prevenir que se produzca fatiga visual, que se ocasiona si los lugares de trabajo y las vías de circulación no disponen de suficiente iluminación, ya sea natural o artificial, adecuada y suficiente durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural.

Los locales, los lugares de trabajo y las vías de circulación en los que los trabajadores estén particularmente expuestos a riesgos en caso de avería de la iluminación artificial deben contar con una iluminación de seguridad de intensidad y duración suficiente.

La iluminación deficiente ocasiona fatiga visual en los ojos, perjudica el sistema nervioso, degrada la calidad del trabajo y es responsable de una buena parte de los accidentes de trabajo.

La fotometría es la ciencia que se encarga de la medida de la luz como el brillo percibido por el ojo humano. Es decir, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de estimular el sistema visual. En este ámbito la iluminancia es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz que incide, atraviesa o emerge de una superficie por unidad de área. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el Lux: 1 Lux = 1 Lumen/m².

- **Uso doméstico:** El empleo de bombillas de bajo consumo supone un ahorro de hasta un 80% de energía respecto a las convencionales.

El uso doméstico de la electricidad se refiere a su empleo en los hogares. Los principales usos son alumbrado, electrodomésticos, calefacción y aire acondicionado. Se está investigando en producir aparatos eléctricos que tengan la mayor eficiencia energética posible, así como es necesario mejorar el acondicionamiento de los hogares en cuanto a aislamiento del exterior para disminuir el consumo de electricidad en el uso de la calefacción o del aire acondicionado, que son los aparatos de mayor consumo eléctrico.

- **Materiales Aislantes:** Los materiales aislantes tienen múltiples aplicaciones:
 - Aislar a los conductores, es necesario para transportar energía.
 - Para crear condensadores. En ellos se acumula y modula la energía eléctrica
 - Para fabricar transductores: materiales en los que podemos encontrar una diferencia de potencial producida por una distensión mecánica.
- **Condensadores:** Su utilidad es la de almacenar energía. Un condensador es cualquier sistema con un electrodo cargado + y otro electrodo cargado - en donde se establece un campo eléctrico.
 - **Extensión** – es ideal para poder conectar aparatos en la red eléctrica cuando esta se encuentra distante del local dónde el equipamiento será utilizado. La longitud y el voltaje de las extensiones varían de acuerdo con el modelo.
 - **Transformador / Conversor** – es necesario para adecuar la tensión del aparato que se quiera utilizar con la tensión de la red eléctrica, permitiendo la conversión de voltaje para conectar equipamientos 110 volts en red de 220 volts.
 - **Interruptor** – utilizado para accionar o interrumpir el pasaje de corriente eléctrica. Permite que los aparatos conectados a la red, a través de un circuito, puedan ser enchufados o desenchufados con seguridad. Por lo general son utilizados para activar la iluminación de habitaciones. Existen modelos que poseen regulador de intensidad, permitiendo que la cantidad de energía eléctrica sea controlada.
 - **Conector** – este dispositivo actúa como conexión entre la puerta de salida de un equipamiento con la puerta de entrada de otro. Es fundamental para que haya conexión entre los equipamientos.
 - **Portalámparas** – cavidad utilizada para conectar entre otras cosas, lámparas, para que así puedan ser conectadas a la red eléctrica.
 - **Enchufe** – utilizado para conectar cables a la corriente eléctrica, para que haya abastecimiento de energía eléctrica. Este tipo de enchufe es designado como enchufe macho.
 - **Adaptador Universal** – como el propio nombre sugiere, es utilizado para adaptar el enchufe del aparato a cualquier tipo de enchufe, permitiendo que este sea conectado a la red eléctrica sin ningún problema. Estos adaptadores son muy útiles, principalmente para personas que viajan para otros países, dónde el patrón de enchufe es diferente del país dónde se reside.
 - **Ladrón** – accesorio utilizado para conectar diversos aparatos eléctricos en un mismo enchufe, a través de la división de la corriente eléctrica. Por lo general poseen tres entradas para conectar enchufes machos de equipamientos. Pueden ser conectados en serie, utilizándose varios ladrones conectados uno a los otros, sin embargo, se debe tomar cuidado para no sobrecargar la red eléctrica, causando corto-circuito.
 - **Alambres** - son conductores contruidos con un solo hilo de metal y puede estar desnudo o revestido (ver el siguiente diagrama) por una o más capas de **material aislante**.
 - **Los cables** son generalmente utilizados en instalaciones eléctricas de todo tipo e instalaciones automotrices.
 - Los hilos son de **cobre blando o endurecido** y también de **aluminio**.
 - Algunos alambres de cobre pueden estar **estañados**, para evitar la oxidación y facilitar la soldadura.

AUTOMATIZACIÓN

17.5 ANTECEDENTES. El concepto de edificio inteligente surgió a mediados de la década de 1980. Al comienzo se le asignó a aquellos edificios que tenían sistemas automatizados. Posteriormente se consideró que este tipo de edificios se caracteriza por estar provisto de la más alta tecnología en cada área componente del mismo, pero esto no le confiere la cualidad de "inteligente", sino la de altamente equipado tecnológicamente.

Este principio fue evolucionando al concepto actual, en donde los sistemas, la actividad y las telecomunicaciones además de estar automatizadas están integrados en un sistema global. Es de señalar que lo logrado hasta hoy tiene

que visualizarse como parte de un proceso evolutivo que aún no ha culminado. La dificultad mayor existente para avanzar en este camino, es la falta de coordinación entre el sector de la construcción y el de las áreas tecnológicas, que tradicionalmente tienen formas de pensar y obrar bien diferentes. El edificio inteligente da la ocasión para acortar distancias entre los distintos enfoques.

17.6 DEFINICIÓN. La automatización de un edificio consiste básicamente en integrar unidades de control y regulación independientes, descentralizadas y digitales (DDC) a través de una o varias unidades centrales, formadas por uno o varios PC's.

Un sistema inteligente de automatización de edificios es capaz de establecer una interconexión lógica entre diferentes sistemas - instalación de calefacción / climatización / refrigeración / ventilación de locales, equipos sanitarios, sistemas electrotécnicos y de seguridad llegando hasta sistemas de transporte vertical como por ej. Ascensores y escaleras mecánicas.

El intercambio de datos puede ser tanto manual por el usuario o automático a través de sensores, representando la base sobre la que se asientan las técnicas de automatización de edificios. Permite al sistema conocer en todo momento la totalidad de datos específicos, valores de medición, mensajes de servicio y alarma así como señales de ajuste y conmutación para su posterior señalización, protocolado y posterior procesamiento.

17.7 FUNCIONES DE AUTOMATIZACIÓN. Son las siguientes:

- **Controladores con Comunicación:** Controladores con funciones de control y supervisión integradas. Sus aplicaciones son verificadas y predefinidas y su configuración flexible.

Especialmente diseñado para el control de las variables de: Temperatura, humedad relativa y absoluta, presión y presión diferencial, velocidad de aire, calidad de aire interior y cualquier otra relacionado con la gestión de instalaciones técnicas de edificios.

- **Control de Accesos:** Con esta cerradura color dorado, podrá darle elegancia a su entrada a la vez que con presionar una contraseña numérica de 2 a 8 dígitos, podrá destrabar el pasador eléctrico para dar acceso. Olvide de usar llaves, aunque las incluye para una apertura tradicional. De muy sencilla instalación. Puede tener hasta 6 combinaciones diferentes para darle una clave a cada usuario. Funciona con baterías que duran más de 18,000 usos.

- **Garaje Automático:** Para puertas donde se utiliza constantemente.

- **Puertas batientes o abatibles.** Accionadores hidráulicos especialmente indicados para puertas de acceso a recintos con gran afluencia de vehículos. Especiales para puertas muy pesadas, o para edificios o racionamientos, donde el uso es constante.

- **Puerta riel:** Excelente para varios tipos de puerta. Cuenta con un riel de 7 pies con cadena integrada oculta. Su funcionamiento es muy suave y muy silencioso.

Tiene sistema de antia plaste y desacelere al cierre para que tengan sus puertas un movimiento delicado. Cuenta con 2 controles remotos inalámbricos y un control remoto alámbrico. Cuenta con destrabe para apertura manual de puertas.

- **Iluminación:**

- **Pantalla Touchscreen 1:** Pantalla touch screen para controlar cientos de dispositivos como de iluminación o aplicaciones avanzadas de automatización. Pantalla de 3.6" a color. Contiene batería para respaldo. Esta pantalla le facilita el uso de todos sus dispositivos ya que podrá controlar tanto encendidos, apagados, escenarios, aperturas, cierres, correr eventos, etc., y puede tener agrupados los botones por zonas de su casa para fácil identificación. Con el software incluido, de muy fácil uso, se programa desde una PC, de esta manera se podrá etiquetar cada botón para identificarlo rápidamente.

- **Pantalla Touchscreen 2:** Pantalla Touchscreen para el control total desde un punto. Se fija en cualquier pared. Se conecta con cable de red. Puede navegar en Internet, ya que es como una pequeña computadora. Tiene intensidad de brillo ajustable, incluye micrófono. Que puede controlar: iluminación, alarmas, audio, temperatura, ver las cámaras de seguridad, riego, apertura o cierre de puertas, revisar su correo, navegar por Internet, y cualquier otra aplicación eléctrica que se imagine.

- **Seguridad monitoreo:** Alarma inalámbrico para el cuidado de su propiedad.

- **Cámara inalámbrica:** Sistema de alarma inalámbrico para casa u oficina. Se podrá tener la tranquilidad de que alguien está cuidando su propiedad, ya que este sistema marca a 5 números telefónicos (celulares o teléfonos fijos) para informar que algo está sucediendo, además de sonar la sirena.

De igual modo se podrá controlar vía telefónica el alarma de manera remota, como activar, desactivar, tener reportes. Es la alarma de más sencilla instalación y se puede poner en mesa o en pared. A este

sistema se le pueden agregar hasta 10 sensores, 5 controles remotos, además de teclados adicionales de activar/desactivar por si cuenta con varias entradas. La central cuenta con batería de respaldo.

Tiene los siguientes accesorios adicionales: sensores de movimiento, sensores de puerta y ventanas, sensores de fuga de agua, controles remotos, teclados de pared para activar/desactivar, sirena, sensor de sonido, y repetidora de señal

- **Telefonía y cómputo:** Permite manejar y distribuir las llamadas entrantes de manera eficiente para no perder una sola de ellas y además ver quien toca la puerta.

- **Monitor a color para video portero:** Monitor a color con auricular con pantalla de 4" para monitorear quien toca a su puerta.
- **Central Telefónica.** Permite manejar y distribuir las llamadas entrantes de manera eficiente para no perder una sola de ellas Ofrece varias opciones de Desvío de Llamada y también puede programarse de acuerdo a los horarios y días de la semana.

Se pueden conectar hasta 4 sistemas de portero eléctrico para hablar con los visitantes e inclusive se puede abrir la puerta en caso de que se agregue un control de apertura de puertas. Los teléfonos se pueden utilizar como Monitores de Habitación, Facilita el ahorro y la optimización de recursos al ofrecer funciones de Administración Económica de Costos.

- Reportes de Actividad de Llamada.
- Introducción de Código de Cuentas.
- Restricción de Llamadas.
- Bloqueo Electrónico de Extensiones.
- Duración de Llamada limitada.

- **Video:** Transmite y recibe video HI-FI estéreo, atraviesa paredes y tiene un largo alcance de 400 pies en línea 5.8GHZ

- **Instalaciones de rociadores automáticos:** El agua es el agente extintor preferido por las actuales teorías de protección contra incendios. Al ser un elemento natural, resulta económico y está siempre disponible en cantidad suficiente.

Las instalaciones de rociadores automáticos aprovechan al máximo el potencial extintor del agua y trabajan con gran eficacia, ya que se pueden activar selectivamente permitiendo que el agua se utilice solamente allí donde se necesita. Los rociadores limitan los incendios a su foco de origen, facilitando así la labor de los bomberos.

Resultan por tanto igualmente adecuados para la protección de edificios comerciales e industriales como en hoteles u hospitales. El aporte de agentes espumantes filmógenos amplía el campo de aplicación de las instalaciones de rociadores automáticos cubriendo la totalidad de aplicaciones de riesgo.

- **Ascensores y escaleras mecánicas:** Los ascensores y escaleras mecánicas representan actualmente elementos de transporte imprescindibles en cualquier clase de edificio. Junto a los aspectos puramente funcionales, el aspecto exterior de un sistema de transporte vertical también posee gran importancia.

Sus posibles aplicaciones son tan variadas como la diversidad de modelos existente - desde instalaciones de gran capacidad en aeropuertos, estaciones y otros centros neurálgicos, pasando por ascensores panorámicos habituales en bancos y edificios administrativos, hasta los modelos especiales de ascensores con control de acceso integrado y selector de parada utilizados para garantizar la confidencialidad en centros de cálculo.

En colaboración con empresas de prestigio encontraremos la solución ideal para sus necesidades de transporte recurriendo a elementos de serie o a modelos especiales.

17.8 OBJETIVOS. Los objetivos o finalidad de un edificio inteligente, son los siguientes:

- **Tecnológicos:**
 - La disponibilidad de medios técnicos avanzados de telecomunicaciones.
 - La automatización de las instalaciones.
 - La integración de servicios.

➤ **Ambientales:**

- La creación de un edificio saludable.
- El ahorro energético.
- El cuidado del medio ambiente.

➤ **Económicos:**

- La reducción de los altos costos de operación y mantenimiento.
- Beneficios económicos.
- Incremento de la vida útil del edificio.
- La posibilidad de cobrar precios más altos por la renta o venta de espacios.

CAPÍTULO 18 — MATERIALES DE COMPOSICIÓN TECNOLÓGICA AVANZADA

18.1 ANTECEDENTES. Las fibras de alto rendimiento son algo nuevas en el mundo de los materiales estructurales. Fueron descubiertas en los años '60 por ingenieros electrónicos que trataban de encontrar la causa de misteriosos cortocircuitos en los primeros dispositivos basándose en semiconductores. La causa resultó ser finos filamentos de estaño que aparecían entre capas aislantes. Estos filamentos tenían una estructura cristalina pura muy regular y ofrecían una resistencia mecánica excepcional.

Hoy día, debido a su comparativa facilidad y economía de fabricación, las fibras de carbono y aramida son los elementos preferidos para el diseño y fabricación de estructuras compuestas perfeccionadas.

Cada uno de estos materiales sirve para una aplicación especial. A veces las mezclas de fibra de carbono y aramida (o de carbono y vidrio) se utilizan combinadas en un tejido único o pliegues alternativos de material laminados.

18.2 DEFINICIÓN. Los materiales compuestos son aquellos que cumplen las siguientes propiedades:

- Están formados de 2 o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una intercara.
- Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).

Estos materiales nacen de la necesidad de obtener materiales que combinen las propiedades de los cerámicos, los plásticos y los metales, que sean ligeros, rígidos, resistentes al impacto y que resistan bien la corrosión y el desgaste, propiedades éstas que rara vez se dan juntas.

A pesar de haberse obtenido materiales con unas propiedades excepcionales, las aplicaciones prácticas se ven reducidas por algunos factores que aumentan mucho su coste, como la dificultad de fabricación o la incompatibilidad entre materiales.

Están compuestos por:

1. **Agente reforzante:** es una fase de carácter discreto y su geometría es fundamental la hora de definir las propiedades mecánicas del material.
2. **Fase matriz o simplemente matriz:** tiene carácter continuo y es la responsable de las propiedades físicas y químicas. Transmite los esfuerzos al agente reforzante. También lo protege y da cohesión al material.

Pueden ser de dos clases fundamentalmente: **macroscópicos y microscópicos**.

Los macroscópicos, cuyo ejemplo típico es el hormigón (compuesto de cemento y grava, como hemos dicho antes) como material de construcción o el hormigón armado. Luego están los microscópicos, con estos materiales se pretende aumentar los valores normales de algunas propiedades físicas, también las características mecánicas (la resistencia, la dureza, el límite elástico, etc.) o también las características térmicas. Todas estas características suelen aglutinarse en la denominación de termoeelásticas.

Los **materiales compuestos microscópicos** pueden ser de refuerzo continuo (lo que comúnmente se conoce como fibras) y con refuerzo discontinuo (que están formadas por partículas pequeñas).

En los últimos años, ha habido un rápido crecimiento del uso de los materiales compuestos reforzados con fibras, sobre todo en aplicaciones técnicas. Este crecimiento es debido a que los materiales compuestos se van reemplazando por los materiales que se iban utilizando hasta ahora, como por ejemplo los metales. Esto se debe a las características casi siempre superiores de los materiales compuestos.

18.3 CLASIFICACIÓN. Según sus compuestos se clasifican en:

- **Materiales Compuestos reforzados con partículas:** Están compuestos por partículas de un material duro y frágil dispersas discreta y uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil.

Tipos: Endurecidos por dispersión Formados por partículas verdaderas.

- **Materiales Compuestos reforzados con fibras:** Un componente suele ser un agente reforzante como una fibra fuerte: fibra de vidrio, cuarzo, o fibra de carbono que proporciona al material su fuerza a tracción, mientras que otro componente (llamado matriz) que suele ser una resina como epoxy o poliéster que envuelve y liga las fibras, transfiriendo la carga de las fibras rotas a las intactas y entre las que no están alineadas con las líneas de tensión.

También, a menos que la matriz elegida sea especialmente flexible, evita el pandeo de las fibras por compresión. Algunos compuestos utilizan un agregado en lugar de, o en adición a las fibras.

En términos de fuerza, las fibras (responsables de las propiedades mecánicas) sirven para resistir la tracción, la matriz (responsable de las propiedades físicas y químicas) para resistir las deformaciones, y todos los materiales presentes sirven para resistir la compresión, incluyendo cualquier agregado.

Los golpes o los esfuerzos cíclicos pueden causar que las fibras se separen de la matriz, lo que se llama de laminación.

- **Materiales compuestos estructurales.** Están formados tanto por composites como por materiales sencillos y sus propiedades dependen fundamentalmente de la geometría y de su diseño. Los más abundantes son los laminares y los llamados paneles sandwich.

Los laminares están formados por paneles unidos entre si por algún tipo de adhesivo u otra unión. Lo más usual es que cada lámina esté reforzada con fibras y tenga una dirección preferente, más resistente a los esfuerzos. De esta manera obtenemos un material isótropo, uniendo varias capas marcadamente anisótropas. Es el caso, por ejemplo, de la madera contrachapada, en la que las direcciones de máxima resistencia forman entre sí ángulos rectos.

Los paneles sandwich consisten en dos láminas exteriores de elevada dureza y resistencia, (normalmente plásticos reforzados, aluminio o incluso titanio), separadas por un material menos denso y menos resistente, (polímeros espumosos, cauchos sintéticos, madera balsa o cementos inorgánicos). Estos materiales se utilizan con frecuencia en construcción, en la industria aeronautica y en la fabricación de condensadores eléctricos multicapas.

- **Fibras de Carbón:** Se caracterizan por su bajo peso, alta resistencia, gran consistencia y tenacidad. Son de alto costo. Resinas plásticas como la Epoxison reforzada con este material

Propiedades de las fibras de carbono:

- tracción $\approx 450-650$ Ksi.
- Módulo de elasticidad $E \approx 28-35$ Msi.
- Densidad varía entre 1.7 y 2.1 gr/cm³.
- Diámetro final entre 7-10 μm

- **Fibras de Arámida:** Combinan de alta resistencia a la tracción, alto módulo elástico E, baja densidad, alta elongación y buena resistencia al impacto.

De las diferentes clasificaciones que podemos hacer de los materiales compuestos, quizás la más importante sea la que se refiere a su matriz, y en la cual podemos identificar tres grupos principales:

- **Materiales compuestos de matriz metálica:** Los materiales compuestos de matriz metálica han sido desarrollados principalmente para componentes aeroespaciales y de motores de automoción. Poseen alta resistencia y muy bajo peso. Se clasifican en tres grandes grupos, de acuerdo con el tipo de refuerzo incorporado: reforzados con fibra continua, reforzados con fibras discontinuas y reforzados con partículas. Así, encontramos como ejemplos de los materiales compuestos de matriz metálica las aleaciones de aluminio con refuerzos de fibras de boro, aleaciones de aluminio reforzados con partículas de alúmina y carburo de silicio, etc.
- **Materiales compuestos de matriz cerámica:** Los materiales compuestos de matriz cerámica son más recientes, y mejoran las propiedades mecánicas como la resistencia y tenacidad de los materiales cerámicos tradicionales, especialmente en rangos de bajas temperaturas. También se clasifican de acuerdo con el tipo de refuerzo incorporado: reforzados con fibras continuas, reforzados con fibras discontinuas y reforzados con partículas. Las principales fibras de refuerzo que se combinan con las matrices cerámicas son las de carburo de silicio y las de óxido de aluminio, y en el caso de fibras discontinuas y partículas se utilizan como refuerzo agujas cerámicas de carburo de silicio.
- **Materiales compuestos de matriz polimérica:** En cuanto a los materiales compuestos de matriz polimérica, podemos definirlos como materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y que dadas sus particulares características, pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. Son aquellos materiales en los cuales la matriz está constituida por un polímero y el refuerzo es algún tipo de fibra, ya sea sintética o inorgánica. Por ser los materiales compuestos de matriz polimérica, y fundamentalmente los termoestables, los más utilizados en la construcción. Para finalizar, trataremos brevemente las características generales de los materiales compuestos.

Este tipo de materiales se definen básicamente como la unión de dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales de forma individual. Se clasifican en tres categorías generales:

- **Particulados.** Dentro de estos podemos distinguir dos tipos; los dispersoides, que son materiales endurecidos por dispersión y contienen partículas de 10 a 250 nm de diámetro, que aunque no sean coherentes con la matriz, bloquean el movimiento en las dislocaciones y producen un marcado endurecimiento del material matriz; y los "verdaderos" que contienen grandes cantidades de partículas gruesas, que no bloquean el deslizamiento con eficacia, son diseñados para obtener propiedades poco usuales, despreciando la resistencia en el material. Ciertas propiedades de un compuesto particulado dependen sólo de sus constituyentes, de forma que se pueden predecir con exactitud mediante la llamada regla de las mezclas, que es la sumatoria de las propiedades (densidad, dureza, índice de refracción, etc.) por la fracción volumétrica del constituyente.
- **Reforzados con fibras:** Por lo general, este tipo de compuestos consiguen mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas, aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material matriz transmite al fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. De forma semejante a los compuestos particulados, al regla de las mezclas predice algunas de sus propiedades.
- **Laminares:** Incluyen recubrimientos delgados, superficies protectoras, revestimientos metálicos, bimetálicos, laminados y todo un conjunto de materiales con aplicaciones específicas. Algunos compuestos reforzados con fibras, producidos a partir de cintas o tejidos pueden considerarse parcialmente laminares. Gran cantidad de compuestos laminares están diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión conservando un bajo costo, alta resistencia o bajo peso. Otras características de importancia incluyen resistencia superior al desgaste o a la abrasión, mejor apariencia estética y algunas características de expansión térmica poco usuales. Con la regla de las mezclas se pueden estimar algunas de las propiedades, paralelas a la laminillas de los materiales compuestos laminares. También se pueden calcular con poco margen de error: la densidad y la conductividad eléctrica y térmica.

18.4 APLICACIONES. Ejemplos de materiales compuestos:

- **Plásticos reforzados con fibra:**
 - Clasificados por el tipo de fibra:
 - Madera (fibras de celulosa en una matriz de lignina y hemicelulosa).
 - Plástico reforzado de fibra de carbono
 - Plástico reforzado de fibra de vidrio
 - Clasificados por la matriz:
 - Compuestos termoplásticos.
 - Termoplásticos reforzados por fibra larga.
 - Termoplásticos tejidos de vidrio.
 - Compuestos termoformados o termoestables.
- **Compuestos de matriz metálica o MMCs:**
 - Cermet (cerámica y metal).
 - Fundición blanca.
 - Metal duro (carburo en matriz metálica).
 - Laminado metal-intermetal.
- **Compuestos de matriz cerámica:**
 - Hormigón/Concreto.
 - Carbono-carbono reforzado (fibra de carbono en matriz de grafito).

➤ **Compuestos de matriz orgánica/agregado cerámico.**

- Madreperla o nácar.
- Concreto asfáltico.

➤ **Madera mejorada.**

- Plywood.
- Tableros de fibra orientada.
- Trex
- Weatherbest (fibra de madera reciclada en matriz de polietileno).
- Pycrete (serrín en matriz de hielo).

CAPÍTULO 19 — MÁQUINAS LIVIANAS, HERRAMIENTAS Y EQUIPO DE SEGURIDAD

MÁQUINAS LIVIANAS

19.1 DEFINICIÓN. Una máquina (del latín *machīna*) es un conjunto de piezas o elementos móviles y fijos, cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar un trabajo. Se denomina maquinaria (del latín *machinariūs*) al conjunto de máquinas que se aplican para un mismo fin y al mecanismo que da movimiento a un dispositivo

19.2 CLASIFICACIÓN. Entre las máquinas más utilizadas en construcción se pueden citar:

- **Mezcladora.** En una descripción sencilla, una mezcladora de materiales para la construcción se refiere a una especie de cubeta donde se introducen los materiales a mezclar, se pone en funcionamiento la máquina y, mediante movimientos de tipo rotativo, se va consiguiendo la mezcla. Los modelos y diseños de mezcladora son realmente muy variados. Existen mezcladoras de eje vertical y otras mezcladoras de doble eje.

En el caso de estas últimas se trata de un tipo de maquinaria para trabajos en los que la velocidad de producción de mezcla (cemento o lo que sea) es de vital importancia. Los ejes que están dentro de la cubeta se complementan para acelerar el proceso de mezclado. En todos los casos, existen máquinas mezcladoras de prácticamente todos los tamaños. La calidad de una máquina de este tipo se mide, primero, en cuán homogénea ha de ser la mezcla que consigue y luego, segundo, en el tiempo que necesita para efectivizar la mezcla.

- **Vibradora para hormigón.** Es una máquina que sirve para homogeneizar el hormigón fresco.
- **Cortadora de hormigón.** Una **sierra para hormigón**, o concreto, es una herramienta mecanizada, que se utiliza para cortar elementos de hormigón.

Para cortar los bloques de hormigón se emplea una sierra de forma circular que posee dientes de "widia", o "diamante artificial"; estos dientes especiales están templados para conseguir una gran dureza y resistencia.

La sierra es impulsada por un motor de combustión interna.

La gran fricción generada en el corte de duros materiales, como el hormigón, requiere que estas sierras discoidales deban ser enfriadas constantemente con agua.

- **Guinche.** Es una máquina que hace las veces de una pequeña grúa, sirve para transportar la mezcla de concreto de forma vertical.
- **Bomba de agua.** La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades.

Las bombas deben seleccionarse según el concepto del trabajo a realizar, con base a:

- Presión máxima de trabajo.
- Rendimiento de la bomba.
- Precisión y seguridad de operación.
- Fácil mantenimiento.
- Máximo flujo.
- Control requerido en la fase de arranque.

La primera bomba conocida fue descrita por Arquímedes y se conoce como tornillo de Arquímedes, descrito por Arquímedes en el siglo III a.C., aunque este sistema había sido utilizado anteriormente por Senaquerib, rey de Asiria en el siglo VII a.C.

Se pueden considerar dos grandes grupos: Dinámicas (Centrífugas, Periféricas y Especiales) y de Desplazamiento Positivo (Reciprocantes y Rotatorias).

- **Bombas dinámicas.**

- Bombas centrífugas: Son aquellas en que el fluido ingresa a ésta por el eje y sale siguiendo una trayectoria periférica por la tangente.
- Bombas periféricas: Son también conocidas como bombas tipo turbina, de vértice y regenerativas, en este tipo se producen remolinos en el líquido por medio de los alabes a velocidades muy altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía. No se debe confundir a las bombas tipo difusor de pozo profundo, llamadas frecuentemente bombas turbinas aunque no se asemeja en nada a la bomba periférica.

La verdadera bomba turbina es la usada en centrales hidroeléctricas tipo embalse llamadas también de Acumulación y Bombeo, donde la bomba consume potencia; en determinado momento, puede actuar también como turbina para entregar potencia.

- **Bombas de desplazamiento positivo.** Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc., y la carcasa o el cilindro. "El movimiento del desplazamiento positivo" consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes como rotatorias, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión), por esto a éstas máquinas también se les denomina Volumétricas.

- Bombas reciprocantes: Llamadas también alternativas, en estas máquinas, el elemento que proporciona la energía al fluido lo hace en forma lineal y alternativa. La característica de funcionamiento es sencilla.
- Bombas rotatorias: Llamadas también roto estáticas, debido a que son máquinas de desplazamiento positivo, provistas de movimiento rotatorio, y son diferentes a las rotodinámicas. Estas bombas tienen muchas aplicaciones según el elemento impulsor. El fluido sale de la bomba en forma constante, puede manejar líquidos que contengan aire o vapor. Su principal aplicación es la de manejar líquidos altamente viscosos, lo que ninguna otra bomba puede realizar y hasta puede carecer de válvula de admisión de carga.

HERRAMIENTAS

19.3 DEFINICIÓN. Una herramienta es un objeto elaborado a fin de facilitar la realización de una tarea mecánica, que requiere la aplicación correcta de energía.

19.4 CLASIFICACIÓN. Las herramientas pueden ser **manuales o mecánicas**. Las **manuales** usan la fuerza muscular humana mientras que las **mecánicas** usan una fuente de energía externa, por ejemplo la energía eléctrica.

➤ **Herramientas para medir y comprobar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:

- **Cinta métrica (Flexómetro):** Puedes medir muchos metros, según el modelo, y como mínimo aprecia los milímetros.
- **Regla flexible:** Puedes medir hasta 50 cm. y aprecia los medios milímetros.
- **Nivel:** Sirve para nivelar muros, etc.
- **Calibre o pie de rey:** Puedes medir exteriores, interiores y profundidades.
- **Transportador de ángulos:** Sirve para medir y transportar ángulos.
- **Voltímetro:** Para medir los voltios.
- **Amperímetro:** Para medir los amperios.

➤ **Herramientas de trazado:** A continuación se describe las siguientes herramientas:

- **Lápiz:** Para dibujar y que se pueda borrar u ocultar fácilmente.
- **Rotulador de tinta permanente:** Para trazar y que no se borre la marca y se puede usar prácticamente en todo tipo de materiales.

- **Granete:** Es un cilindro de acero terminado en punta que se emplea con los metales para marcar puntos de apoyo y para el compás y las brocas.
- **Compás:** Se emplea para trazar círculos o arcos. Para los metales se usa un compás con dos puntas de acero.
- **Escuadra:** Se utilizan para trazar perpendiculares.
- **Herramientas de sujeción:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Tornillo de banco:** Va fijado a la mesa de trabajo. La forma de sujetar en él las piezas es muy fácil y cómoda. (Si se sujeta piezas blandas es preferible que se coloque unas piezas de cartón o madera para no dejar las marcas del de las garras del tornillo).
 - **Sargentos o gatos:** Se suele usar para sujetar piezas grandes a la mesa de trabajo o para mantener unidas dos piezas el tiempo de pegado.
 - **Mordazas:** Son utilizadas normalmente para sujetar piezas que se van a taladrar.
 - **Entenallas:** Se usan para sujetar piezas pequeñas o para piezas que no caben en la mordaza cuando se va a taladrar.
 - **Alicates:** Son herramientas que se utilizan para sujetar piezas pequeñas cuando se van a doblar, cortar, soldar, etc. Hay muchos tipos de alicates.
 - **Tenazas:** Son herramientas especiales para sacar clavos, no son, por tanto, verdaderas herramientas de sujeción, aunque a veces se utilizan como tales.
- **Herramientas para cortar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Tijeras:** Es una herramienta que consta de dos cuchillas y que, por medio de la acción de ellas, permite el desgarramiento o cortadura del material. Con esta forma de se corte no se desprende viruta. Hay varios tipos de tijeras según el material a cortar.
 - **Tijera de electricista:** Tiene una muesca que permite pelar cables.
 - **Tijera de cortar chapa:** Especial para chapas metálicas. Si la chapa es muy gruesa se puede apoyar en la mesa o en el tornillo de banco.
 - **Alicates de corte:** Tienen la misma función que las tijeras a la hora de cortar alambre, cables.
 - **Cuchilla:** Nos sirve para cortar material, haciendo presión manual con ella sobre el mismo. Dependiendo del grosor de la cuchilla podemos cortar papel, plástico, cuero y madera.
 - **Cortatubos:** Es un tipo de cuchilla especial para cortar tubos.
- **Herramientas para serrar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Sierra de marquetería o de pelo:** Su usa para espesores de material no muy grandes. De 0 a 5 mm en madera, aglomerado y chapa. También se puede usar con metales blandos, la diferencia esta en la hoja de sierra a utilizar. Para metal se utiliza un pelo con dientes muy finos.
 - **Serruchos:** Se usan para madera.
 - **Sierra de arco:** Se usa para cortar metal. La posición de los dientes va hacia adelante.
 - **Sierra eléctrica Asahi-Koki:** es una sierra de pelo automática que puede cortar madera, hierro, latón; su utilización es muy sencilla.
 - **Sierra de calar:** Puedes cortar diferentes materiales, madera, aluminio, etc. Con solo cambiar la hoja de sierra. También puede cortar en ángulos inclinando el soporte apoyo.
- **Herramientas para trocear:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Formón:** Es una herramienta de corte y filo horizontal muy fino que sirve para hacer huecos en madera.
 - **Gubia:** Es un formón pero con la hoja curvada y vaciada.
 - **Escoplo:** Es un formón fino especial para hacer agujeros rectangulares o escopladuras o cajas.

- **Cinzel:** Es una herramienta de corte igual que el formón pero utilizada para trocear, rebajar o hacer huecos en metales.
- **Buril:** Tiene la arista en sentido transversal y se emplea para abrir canales o ranuras.
- **Gubia:** Tiene la punta redondeada y también se usa para canales o ranuras.
- **Cepillo de carpintero:** El cepillo no es más que un escoplo o un formón colocado en una caja de madera que sujeta la cuchilla inclinada, siempre a la misma posición y que nos sirve para obtener superficies planas en madera.
- **Herramientas para limar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Rascador:**
 - **Limas:** Las limas son herramientas cuyo fin es desgastar y pulir los metales.
 - **Escofina:** Lima especial para limar madera.
 - **Papel para lijar:**
- **Herramientas para taladrar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Barrena:** Se utiliza sólo para hacer pequeños agujeros en madera.
 - **Berbiquí:** También se usa solo para madera, pero permite hacer agujeros mayores. Necesita unas brocas especiales.
 - **Taladro manual o de pecho:** Se llama así por que se apoya y se empuja con el pecho para hacer fuerza hacia delante.

Actualmente son mas utilizadas las máquinas de taladrar eléctricas que los taladros manuales.
- **Brocas especiales:**
 - **Avellanado cónico:** es el más común.
 - **De pezón:** Lleva en el centro de una guía que se introduce en agujero abierto previamente y que nos ayuda a que quede centrado el segundo.
 - **De círculos:** Cuando los agujeros que necesitamos son mayores de 13 milímetros se usan estas otras brocas.
- **Herramientas para golpear:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Martillo:** Sirve para golpear y con ello transmitir una fuerza a otro elemento o herramienta.
 - **Mazas:** Son martillos con cabeza de madera, nylon, goma, etc. Se utilizan para golpear en materiales blandos que pueden quedar marcados. Se suelen usar para golpear otras herramientas y para dar forma a chapas.
 - **Botador:** Es como una punta de marcar pero con la punta cortada. Es la herramienta que se utiliza para introducir los clavos dentro de la madera de forma que no se vea la cabeza.
- **Herramientas para atornillar o desatornillar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:
 - **Destornillador:** Para apretar o soltar tornillos y tirafondos.
 - **Llaves:** Se utilizan para apretar o aflojar tuercas y tornillos. En ellas viene indicando un número que significa la longitud de la tuerca correspondiente en milímetros.

Llaves fijas:

 - **Plana de dos bocas:** Sirve para tornillos y tuercas de cabeza hexagonal o cuadrada.
 - **De tubo:** Sirven para tuercas hexagonales y se utiliza cuando son inaccesibles para otras llaves.
 - **De estrella:** Se emplea cuando los tornillos o tuercas solo permiten un pequeño desplazamiento.

- **Allen:** Para tornillos con cabeza hexagonal interior.

Llaves regulables: Necesitas para cada tamaño de tornillo su llave fija correspondiente, por el contrario, una llave regulable la puedes usar con varios tamaños de tuerca.

➤ **Herramientas para soldar:** A continuación se describe las siguientes herramientas:

- **Soldador eléctrico:** Cuando se tienen que unir partes metálicas no muy gruesas, como son los circuitos eléctricos, se usa la soldadura blanda. Consiste en la unión de dos metales por medio de la fusión de estaño, plomo o una aleación de los dos.

➤ **Herramientas para unir:** A continuación se describe las siguientes herramientas:

- **Cola blanca:** Para madera, cartón y materiales similares. La unión es fuerte después de veinte minutos aproximadamente.
- **Cola de contacto:** Se usa para pegar bastantes materiales. Hace una unión fuerte cuando la superficie de contacto es bastante grande.
- **Pegamento instantáneo:** Es un adhesivo muy potente y rápido y une la mayoría de los materiales.
- **Pegamento termofusible:** Las barras de pegamento duras son calentadas en la pistola y el pegamento caliente se comprime y sale por la punta.
- **Silicona.** Se utiliza como sellante para tapar grietas, impermeabilizar y sujetar cristales.

➤ **Herramientas para construir:** A continuación se describe las siguientes herramientas:

- **Torno.** Es una máquina-herramienta que sirve para construcción de piezas de revolución tanto, exteriores como interiores, conos, cilindros, etc.
- **Fresadora.** Es una máquina-herramienta que se usa para la construcción de piezas, con la que se pueden hacer ranuras, molduras, etc.
- **Pala.** Es una herramienta de mano utilizada para excavar o mover materiales con cohesión relativamente pequeña.

Su evolución ha dado lugar a las máquinas excavadoras y cargadoras, muy importantes en las tareas de movimiento de tierras para remodelación y acondicionamiento de terrenos, construcción de infraestructuras urbanas, conformación de sótanos, preparación de cimentaciones de edificios, etc.

- **Mazo.** una herramienta de mano que sirve para golpear o percutir; tiene la forma de un martillo pero es de mayor tamaño y peso. Denominado en la construcción con el nombre de (combo).

Mientras que el martillo cumple su principal papel dentro de la carpintería el mazo lo desempeña en la industria de la construcción o en la albañilería.

Al igual que el martillo y el hacha se compone de dos partes, o piezas, la cabeza generalmente es de madera, acero o goma, y el mango que es la parte por donde se sujeta, tradicionalmente se construye con madera, aunque también se fabrica de acero.

Picota. Se denomina **pico** a una herramienta formada por una barra de hierro o acero, con un mango de madera.

Es muy utilizado para cavar en terrenos duros y remover piedras. Se usa en obras de construcción para cavar zanjas o remover materiales sueltos.

Consta de una parte de acero de unos 60 cm de largo y 5 de grueso, y un mango de madera, perpendicular a la parte metálica; esta parte metálica termina en punta en uno de los extremos y es plano con borde ancho y cortante en el otro. El extremo que termina en punta es usado en suelos duros y con presencia de piedras, mientras que el extremo ancho es usado para suelos blandos, excavaciones y desterronado.

Se denomina zapa-pico o pico de punta y paleta a una variante del pico con la parte opuesta a la punta mucho más ancha.

- **Plomada.** Es una pesa normalmente de metal de forma cónica o cilíndrica, que mediante la cuerda de la que pende marca una línea vertical; de hecho la vertical se define por este instrumento.

EQUIPO DE SEGURIDAD

19.5 DEFINICIÓN. El equipo de seguridad está diseñado para proteger a los empleados en el lugar de trabajo de lesiones o enfermedades serias que puedan resultar del contacto con peligros químicos, radiológicos, físicos, eléctricos, mecánicos u otros.

19.6 CLASIFICACIÓN. En el trabajo se puede estar expuesto a:

- **Riesgos físicos.**
- **Riesgos químicos.**
- **Riesgos biológicos.**
- **Riesgos mecánicos.**
- **Riesgos térmicos.**
- **Radiaciones.**

Estos riesgos pueden producir lesiones producidas por:

Aerosoles. Ingestión de líquidos. Caídas de altura. Choques. Golpes. Impactos. Compresiones. Pinchazos. Cortes. Abrusiones. Vibraciones. Resbalones. Caídas a nivel del suelo. Calor. Incendio. Frío. Accidentes eléctricos. Radiaciones no ionizantes radiaciones ionizantes. Ruido, Polvos, Fibras, Humos, Niebla, Inmersiones. Salpicaduras. Proyecciones. Gases. Vapores, Bacterias patógenas, Virus patógenos, Hongos causantes de micosis. Antígenos, biológicos no microbianos.

Para tales peligros el equipo de seguridad se clasifica en:

- **Protectores de cabeza:** Se tiene los siguientes:
 - Cascos de seguridad (obras públicas y construcción, minas e industrias diversas).
 - Cascos de protección contra choques e impactos.
 - Prendas de protección para la cabeza (gorros, gorras, sombreros, etc., de tejido, de tejido recubierto, etc.).
 - Cascos para usos especiales (fuego, productos químicos, etc.).
- **Protectores de oído:** Se tiene los siguientes:
 - Cascos antirruído.
 - Protectores auditivos tipo "tapones".
 - Protectores auditivos desechables o reutilizables.
 - Protectores auditivos tipo "orejeras", con arnés de cabeza, bajo la barbilla o la nuca.
 - Protectores auditivos acoplables a los cascos de protección para la industria.
 - Protectores auditivos dependientes del nivel.
 - Protectores auditivos con aparatos de intercomunicación.
- **Protectores de ojos y cara.** Se tiene los siguientes:
 - Gafas de montura "cazoletas".
 - Gafas de montura "universal".
 - Gafas de montura "integral" (uni o biocular)..
 - Pantallas faciales.
 - Pantallas para soldadura (de mano, de cabeza, acoplables a casco de protección para la industria).
- **Protección de vías respiratorias:** Se tiene los siguientes:

- Equipos aislantes de aire libre.
- Equipos filtrantes de partículas (molestas, nocivas, tóxicas o radiactivas).
- Equipos filtrantes frente a gases y vapores.
- Equipos filtrantes mixtos.
- Equipos respiratorios con casco o pantalla para soldadura.
- Equipos respiratorios con máscara amovible para soldadura.
- **Protectores de manos y brazos:** Se tiene los siguientes:
 - Guantes contra las agresiones de origen eléctrico.
 - Guantes contra las agresiones mecánicas (perforaciones, cortes, vibraciones).
 - Guantes contra las agresiones químicas.
 - Guantes contra las agresiones de origen térmico.
 - Manoplas.
 - Manguitos y mangas.
- **Protectores de pies y piernas.** Se tiene los siguientes:
 - Calzado de seguridad.
 - Calzado de protección.
 - Calzado de trabajo.
 - Calzado y cubrecalzado de protección contra el calor.
 - Calzado y cubrecalzado de protección contra el frío.
 - Calzado frente a la electricidad.
 - Calzado de protección contra las motosierras.
 - Protectores amovibles del empeine.
 - Polainas.
 - Suelas amovibles (antitérmicas, antiperforación o antitranspiración).
 - Rodilleras.
- **Protección de piel:** Se tiene los siguientes:
 - Cremas de protección y pomadas.
- **Protectores de tronco y abdomen:** Se tiene los siguientes:
 - Chalecos, chaquetas y mandiles de protección contra las agresiones mecánicas (perforaciones, cortes, proyecciones de metales en fusión).
 - Chalecos, chaquetas y mandiles de protección contra las agresiones químicas.
 - Chalecos termógenos.
 - Mandiles de protección contra los rayos X.
 - Cinturones de sujeción del tronco.
 - Fajas y cinturones antivibraciones.

➤ **Protección total del cuerpo:** Se tiene los siguientes:

- Arnéses.
- Equipos de protección contra las caídas de altura.
- Dispositivos anticaídas deslizantes.
- Cinturones de sujeción.
- Dispositivos anticaídas con amortiguador.
- Ropa de protección.
- Ropa de protección contra las agresiones mecánicas (perforaciones, cortes).
- Ropa de protección contra las agresiones químicas.
- Ropa de protección contra las proyecciones de metales en fusión y las radiaciones infrarrojas.
- Ropa de protección contra fuentes de calor intenso o estrés térmico.
- Ropa de protección contra bajas temperaturas.
- Ropa de protección contra la contaminación radiactiva.
- Ropa antipolvo.
- Ropa antigás.
- Ropa y accesorios (brazaletes, guantes) de señalización (retroreflectantes, fluorescentes).

Los equipos de protección individual deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo.

En particular, en las actividades o sectores de actividad indicadas en el que puede resultar necesaria la utilización de los equipos de protección individual a menos que la implantación de las medidas técnicas u organizativas citadas en el apartado anterior garantice la eliminación o suficiente limitación de los riesgos correspondientes.

➤ **Andamios.** Un **Andamio** se trata de una construcción provisional con la que se hacen puentes, pasarelas o plataformas sostenidas por madera o acero (En Asia se emplea bambú). Actualmente se hace prefabricado y modular. Se hacen para permitir el acceso de los obreros de la construcción así como al material en todos los puntos del edificio que está en construcción o en rehabilitación de fachadas.

- **Características:** Los andamios pueden alcanzar diversas alturas, llegando hasta los treinta metros, e incluso más. Dependiendo de la complejidad suelen tener un plan de montaje.
- **Tipos de andamios:** Existen varios tipos de andamios y son los siguientes:
 - **Plataformas suspendidas o colgantes** de nivel variable, suelen tener accionamiento manual o motorizado, para el cambio de altura; los puntos de suspensión son elevados. Se suelen emplear en las tareas de mantenimiento de los edificios, limpieza de cristales, etc.
 - **Andamios constituidos de elementos prefabricados**, suelen estar apoyados sobre terreno, y llegan hasta seis metros de altura.
 - **Andamios instalados en el exterior**, similares que los anteriores, aunque suelen alcanzar mayores alturas.
 - **Andamios móviles** son andamios ligeros, generalmente fabricados en aluminio, que cuentan con ruedas en la base que posibilitan su desplazamiento. Sus principales ventajas son su facilidad de transporte hasta el lugar de empleo, su rapidez de montaje y su movilidad. Se utilizan como alternativa a instalaciones más grandes en forma de andamios fijos, pudiendo abarcar la misma superficie de trabajo pero con un coste de montaje y desmontaje muy inferior. Por el contrario, los andamios fijos disponen de múltiples plataformas de trabajo que permiten trabajar a varios operarios simultáneamente. Cumplen estrictas normativas constructivas de seguridad y están dotados de elementos tales como rodapiés, para asegurar la integridad tanto de los operarios que trabajan en ellos (barandillas, trampillas de paso, etc.) como de las personas que circulen en las proximidades de los mismos (rodapiés,

señalización, etc.) Las ruedas disponen de frenos y mecanismos de nivelación para salvar pequeños desniveles. Debidamente afianzados y lastrados permiten trabajar a alturas de hasta catorce metros.

- o **Seguridad.** Los elementos a tener en cuenta con respecto a los andamiajes son:
 - Que no se desplomen o se desplacen accidentalmente. Para ello se vigila los elementos de apoyo así como las especificaciones de carga y distribución de las herramientas. Los andamios deben ser vigilados y supervisados por personal cualificado para ello.
 - Dimensionado de los andamiajes. Acorde con las tareas a realizar y con las condiciones de carga admisible.
 - Señalización de las partes no montadas de los andamios.
 - Que no causen daños a los obreros y viandantes. Generalmente se suelen acolchar con materiales blandos, y los elementos salientes (susceptibles de causar heridas) eliminados de la trayectoria de movimiento.
 - Ubicación de sistemas anti-caídas y elementos de suspensión.

CAPÍTULO 20 — CONTROL DE CALIDAD

20.1 DEFINICIÓN. El control de la **calidad** se podría definir como las técnicas usadas para estandarizar algo. La función del control de **calidad** existe primordialmente como una organización de servicio, para conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que la producción alcance estas especificaciones.



Fig. 20.1. Certificaciones de calidad. [75]

Como tal, la función consiste en la colección y análisis de grandes cantidades de datos que después se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada.

- **Comprobar o verificar.**
- **Regular.**
- **Comparar con un patrón.**
- **Ejercer autoridad sobre alguien (dirigir o mandar).**
- **Frenar o impedir.**

20.2 REQUISITOS. Son los siguientes.

- **Corrección de fallas y errores:** El control debe detectar e indicar errores de planeación, organización o dirección.
- **Previsión de fallas o errores futuros:** el control, al detectar e indicar errores actuales, debe prevenir errores futuros, ya sean de planeación, organización o dirección.

20.3 IMPORTANCIA. Según su importancia tenemos:

1. **Crear mejor calidad:** Las fallas del proceso se detectan y el proceso se corrige para eliminar errores.
2. **Enfrentar el cambio.** Este forma parte ineludible del ambiente de cualquier organización. Los mercados cambian, la competencia en todo el mundo ofrece productos o servicios nuevos que captan la atención del público. Surgen materiales y tecnologías nuevas. Se aprueban o enmiendan reglamentos gubernamentales. La función del control sirve a los gerentes para responder a las amenazas o las oportunidades de todo ello, porque les ayuda a detectar los cambios que están afectando los productos y los servicios de sus organizaciones.
3. **Producir ciclos más rápidos.** Una cosa es reconocer la demanda de los consumidores para un diseño, calidad, o tiempo de entregas mejorados, y otra muy distinta es acelerar los ciclos que implican el desarrollo y la entrega de esos productos y servicios nuevos a los clientes. Los clientes de la actualidad no solo esperan velocidad, sino también productos y servicios a su medida.
4. **Agregar valor.** Los tiempos veloces de los ciclos son una manera de obtener ventajas competitivas. Tratar de igualar todos los movimientos de la competencia puede resultar muy costoso y contraproducente. El principal objetivo de una organización debería ser "agregar valor" a su producto o servicio, de tal manera que los clientes lo comprarán, prefiriéndolo sobre la oferta del consumidor.

Con frecuencia, este valor agregado adopta la forma de una calidad por encima de la medida lograda aplicando procedimientos de control.

5. **Facilitar la delegación y el trabajo en equipo.** La tendencia contemporánea hacia la administración participativa también aumenta la necesidad de delegar autoridad y de fomentar que los empleados trabajen juntos en equipo.

Esto no disminuye la responsabilidad última de la gerencia. Por el contrario, cambia la índole del proceso de control. Por tanto, el proceso de control permite que el gerente controle el avance de los empleados, sin entorpecer su creatividad o participación en el trabajo.

20.4 BASES. Las bases son las siguientes:

- Los **objetivos** son los programas que desea lograr la empresa, los que facilitarán alcanzar la meta de esta. Lo que hace necesaria la planificación y organización para fijar qué debe hacerse y cómo.
- El **hacer** es poner en práctica el cómo se planificó y organizó la consecución de los objetivos. De éste hacer se desprende una información que proporciona detalles sobre lo que se está realizando, o sea, ella va a esclarecer cuáles son los hechos reales. Esta información debe ser clara, práctica y actualizada al evaluar.
- El **evaluar** que no es más que la interpretación y comparación de la información obtenida con los objetivos trazados, se puedan tomar decisiones acerca de que medidas deben ser necesarias tomar.
- La **mejora** es la puesta en práctica de las medidas que resolverán las desviaciones que hacen perder el equilibrio al sistema.

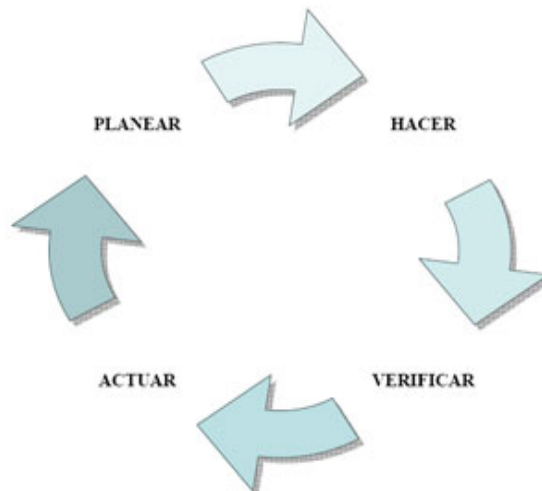


Fig. 20.2. Esquema de las bases del proceso de certificación. [75]

20.5 ELEMENTOS.

- **Establecimiento de estándares:** Es la primera etapa del control, que establece los estándares o criterios de evaluación o comparación. Un estándar es una norma o un criterio que sirve de base para la evaluación o comparación de alguna cosa. Existen cuatro tipos de estándares; los cuales se presentan a continuación:
 - **Estándares de cantidad:** Como volumen de producción, cantidad de existencias, cantidad de materiales primas, números de horas, entre otros.
 - **Estándares de calidad:** Como control de materia prima recibida, control de calidad de producción, especificaciones del producto, entre otros.
 - **Estándares de tiempo:** Como tiempo estándar para producir un determinado producto, tiempo medio de existencias de un producto determinado, entre otros.
 - **Estándares de costos:** Como costos de producción, costos de administración, costos de ventas, entre otros.
- **Evaluación del desempeño:** Es la segunda etapa del control, que tiene como fin evaluar lo que se está haciendo.
- **Comparación del desempeño con el estándar establecido:** Es la tercera etapa del control, que compara el desempeño con lo que fue establecido como estándar, para verificar si hay desvío o variación, esto es, algún error o falla con relación al desempeño esperado.
- **Acción correctiva:** Es la cuarta y última etapa del control que busca corregir el desempeño para adecuarlo al estándar esperado. La acción correctiva es siempre una medida de corrección y adecuación de algún desvío o variación con relación al estándar esperado.

20.6 CERTIFICACIÓN. El proceso de certificación de un material puede representarse mediante el siguiente esquema:

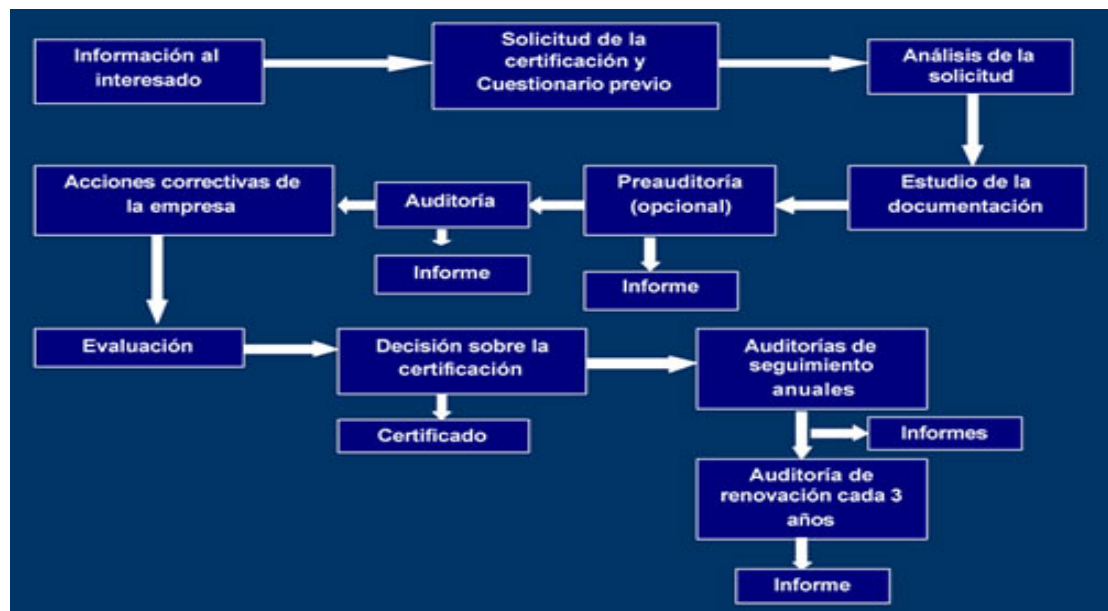


Fig. 20.3. Proceso de certificación. [75]

CONTENIDO

PARTE 2 – PROPIEDADES Y ENSAYOS

CAPÍTULO 21 — PROPIEDADES GENERALES.....	1
CAPÍTULO 22 — PROPIEDADES Y ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA PARA H^o.....	4
22.1 — Propiedades	
22.2 — Análisis Químico Del Agua Para H ^o	
CAPÍTULO 23 — ROCA Y AGREGADOS.....	10
ROCA	AGREGADOS
23.1 — Propiedades	23.3 — Propiedades
23.2 — Ensayos	23.4 — Ensayos
CAPÍTULO 24 — AGLOMERANTES.....	48
YESO	CEMENTO
24.1 — Propiedades	24.2 — Propiedades
	24.3 — Ensayos
CAPÍTULO 25 — MORTEROS.....	74
25.1 — Propiedades	
25.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 26 — HORMIGÓN.....	93
26.1 — Propiedades	
26.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 27 — PREFABRICADOS DE HORMIGÓN.....	130
VIGUETAS	LOSETAS
27.1 — Propiedades	27.2 — Propiedades
HORMIGÓN SECO	
27.2 — Propiedades	
CAPÍTULO 28 — LADRILLO.....	132
28.1 — Propiedades	
28.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 29 — ACERO.....	136
29.1 — Propiedades	
29.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 30 — MADERA.....	140
30.1 — Propiedades	
30.2 — Ensayos	

CAPÍTULO 31 — VIDRIO	157
31.1 — Propiedades	
31.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 32 — PLÁSTICO	162
32.1 — Propiedades	
32.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 33 — PINTURA	164
33.1 — Propiedades	
33.2 — Ensayos	
CAPÍTULO 34 — ASFALTO Y MATERIALES BITUMINOSOS	166
34.1 — Propiedades	
34.2 — Ensayos	

PARTE 2 – PROPIEDADES Y ENSAYOS

CAPÍTULO 21 — PROPIEDADES GENERALES

Las propiedades de los materiales de construcción se dividen de la siguiente forma:

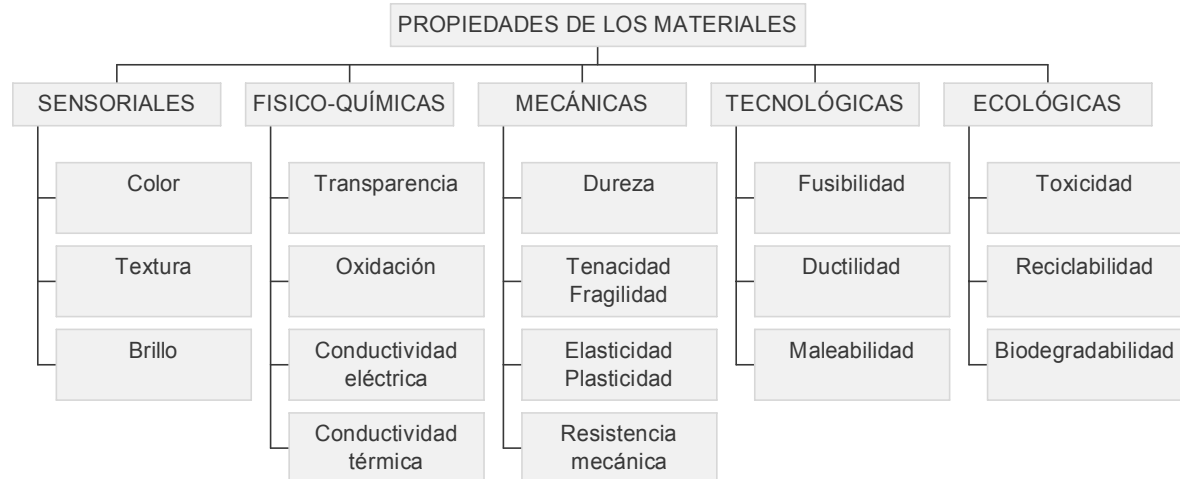


Fig. 21.1. Clasificación de las propiedades de los materiales. [12]

Sensoriales. Estas se aprecian mediante los sentidos, es decir que nos dan una primera identificación de un material determinado definiendo la apariencia del mismo.

- o **Textura:** Rugosidad de la superficie, tamaño, forma, peso.
- o **Color:** Es producida por rayos luminosos y depende de su longitud de onda y de las características del órgano receptor.
- o **Brillo:** Describe la manera en que la luz interactúa con la superficie de una roca, cristal o mineral.
- o **Olfato:** Informan sobre la composición que puede poseer un material.
- o **Oído:** Da una idea de la rigidez y estructura del objeto.

Físico-químicas. Dependen de la estructura y procesamiento del material. Describen características como conductividad eléctrica, térmica, magnetismo, etc., generalmente no se alteran por fuerza que actúan sobre el material.

- o **Propiedades eléctricas:** Describen el comportamiento eléctrico del material, el cual en muchas ocasiones es más crítico que su comportamiento mecánico. Existe también el comportamiento dieléctrico, propio de los materiales que impiden el flujo de corriente eléctrica, que va más allá de simplemente proporcionar aislamiento.
- o **Propiedades magnéticas:** Representan los cambios físicos que se producen en el cuerpo al estar sometido a un campo magnético exterior. El comportamiento magnético está determinado por las interacciones entre dipolos magnéticos, estos dipolos a su vez están dados por la estructura electrónica del material.
- o **Propiedades térmicas:** Relativas al comportamiento de los materiales con respecto a la temperatura.
 - **Calor específico:** O más formalmente la capacidad calorífica específica de una sustancia es una magnitud física que indica la capacidad de un material para almacenar energía interna en forma de calor.
 - **Conductividad térmica:** Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a sus propias moléculas adyacentes o a otras sustancias con las que está en contacto.
 - **Temperatura de fusión:** Es la temperatura a la cual el estado sólido y el estado líquido de una sustancia, coexisten en equilibrio térmico, a una presión de 1 atmósfera.

Por lo tanto, el punto de fusión no es el pasaje sino el punto de equilibrio entre los estados sólido y líquido de una sustancia dada. Al pasaje se lo conoce como derretimiento.

- **Propiedades Ópticas.** Están directamente relacionados con la forma en que reaccionan a la luz y con la interrelación entre un material y las radiaciones electromagnéticas en forma de ondas o partículas de energía, conocidas como fotones. Estas radiaciones pueden tener características que entren en nuestro espectro de luz visible, o ser invisibles para el ojo humano. Esta interacción produce una diversidad de efectos, como absorción, transmisión, reflexión, refracción y un comportamiento electrónico.
 - **Transparencia.** Un material presenta transparencia cuando deja pasar fácilmente la luz. La transparencia es una propiedad óptica de la materia, que tiene diversos grados y propiedades.
 - **Reflexión.** Es el cambio de dirección de un rayo o una onda que ocurre en la superficie de separación entre dos medios, de tal forma que regresa al medio inicial. Ejemplos comunes son la reflexión de la luz, el sonido y las ondas de agua.
 - **Refracción.** Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la onda. El índice de refracción es precisamente la relación entre la velocidad de la onda en un medio de referencia (el vacío para las ondas electromagnéticas) y su velocidad en el medio de que se trate.
- **Corrosividad.** Es la capacidad de dañar o destruir materiales o tejidos orgánicos por acción química.
- **Oxidabilidad.** Las reacciones de reducción-oxidación (también conocido como reacción redox) son las reacciones de transferencia de electrones. Esta transferencia se produce entre un conjunto de elementos químicos, uno oxidante y uno reductor (una forma reducida y una forma oxidada respectivamente).
- **Aleabilidad.** Por aleación se entiende la unión íntima y homogénea de dos o más elementos, siendo al menos uno de ellos un metal.

Se trata de una mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos. Se puede observar que las aleaciones están constituidas por elementos metálicos en estado elemental (estado de oxidación nulo), por ejemplo Fe, Al, Cu, Pb. Pueden contener algunos elementos no metálicos por ejemplo P, C, Si, S, As. Para su fabricación en general se mezclan los elementos llevándolos a temperaturas tales que sus componentes fundan.

Mecánicas. Determinan cómo responde el material cuando está sometido a fuerzas y describen la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas temperaturas.

- **Resistencia mecánica.**
 - **Tracción:** Es el esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas opuestas que tienden a estirarlo.
 - **Compresión:** Es el esfuerzo a que es sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas aplicadas en la misma dirección pero en sentido contrario y que tiende a juntar sus partículas.
 - **Flexión:** Es el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.
 - **Torsión:** Es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas.
 - **Cizalladura:** Es el corte que se produce cuando las fuerzas que soporta la pieza de un material cuando estas tienden a cortarla.
- **Tenacidad.** Es la propiedad que tienen ciertos materiales de soportar, sin deformarse ni romperse, los esfuerzos bruscos que se les apliquen.
- **Elasticidad.** Consiste en la capacidad de algunos materiales para recobrar su forma y dimensiones primitivas cuando cesa el esfuerzo que había determinado su deformación.
- **Plasticidad.** Aptitud de algunos materiales sólidos de adquirir deformaciones permanentes, bajo la acción de una presión o fuerza exterior, sin que se produzca rotura.
- **Dureza.** Es la resistencia que un material opone a la penetración.

- o **Fatiga:** La fatiga de materiales se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas. Un ejemplo de ello se tiene en un alambre: flexionándolo repetidamente se rompe con facilidad. La fatiga es una forma de rotura que ocurre en estructuras sometidas a tensiones dinámicas y fluctuantes (puentes). Puede ocurrir a una tensión menor que la resistencia a tracción o el límite elástico para una carga estática. Es muy importante ya que es la primera causa de rotura de los materiales metálicos (aproximadamente el 90%), aunque también ocurre en polímeros y cerámicos.
- o **Fragilidad.** Un material es frágil cuando se rompe fácilmente por la acción de un choque.
- o **Resiliencia.** Es la energía absorbida (energía del choque) antes de la ruptura cuando hablamos de choque o impacto. Si la medimos en Kg/m y la dividiremos por la sección de rotura en milímetros cuadrados es lo que llamamos *resiliencia*. Los materiales frágiles serán poco tenaces al tener poca deformación.

Tecnológicas. Están relacionadas con los procedimientos de transformación de los materiales.

- o **Fusibilidad.** Es la capacidad de los materiales de pasar del estado sólido al líquido cuando son sometidos a una temperatura determinada.
- o **Ductilidad.** Es la capacidad de los materiales de transformarse en hilos cuando se estiran.
- o **Maleabilidad.** Es la capacidad de los materiales de transformarse en láminas cuando se los comprime.

Ecológicas. Estas propiedades eran ajenas hasta hace poco a los procesos industriales, cobran en la actualidad una mayor importancia por los siguientes aspectos:

- o **Toxicidad.** Es el carácter nocivo de los materiales para el medio ambiente o los seres vivos.
- o **Reciclabilidad.** Es la capacidad de los materiales de ser vueltos a fabricar.
- o **Biodegradabilidad.** Es la capacidad de los materiales de, con el paso del tiempo, descomponerse de forma natural en sustancias más simples.

CAPÍTULO 22 — PROPIEDADES Y ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA PARA HORMIGÓN

22.1 PROPIEDADES

Físico-químicas

- o **Disolvente.** El agua es descrita muchas veces como el solvente universal, porque disuelve muchos de los compuestos conocidos. Sin embargo no lo es, porque no disuelve a todos los compuestos.

Esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares, o con carga iónica, como alcoholes, azúcares con grupos R-OH, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y -, dando lugar a disoluciones moleculares. También las moléculas de agua pueden disolver sustancias salinas que se disocian formando disoluciones iónicas.

- o **Polaridad.** La molécula de agua es muy dipolar. Los núcleos de oxígeno son muchos más electronegativos (atraen más los electrones) que los de hidrógeno, lo que dota a los dos enlaces de una fuerte polaridad eléctrica, con un exceso de carga negativa del lado del oxígeno, y de carga positiva del lado de los hidrógenos.

El hecho de que las moléculas de agua se adhieran electrostáticamente, a su vez modifica muchas propiedades importantes de la sustancia que llamamos agua, como la viscosidad dinámica, que es muy grande, o los puntos (temperaturas) de fusión y ebullición o los calores de fusión y vaporización, que se asemejan a los de sustancias de mayor masa molecular.

- o **Cohesión.** La cohesión es la propiedad con la que las moléculas de agua se atraen a sí mismas, por lo que se forman cuerpos de agua adherida a sí misma, las gotas.

La fuerza de cohesión permite que el agua se mantenga líquida a temperaturas no extremas.

- o **Adhesión.** El agua, por su gran potencial de polaridad, cuenta con la propiedad de la adhesión, es decir, el agua generalmente es atraída y se mantiene adherida a otras superficies. Esto es lo que se conoce comúnmente como "mojar". Esta fuerza está también en relación con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión, del llamado fenómeno de la capilaridad.

- o **Tensión superficial.** Por su misma propiedad de cohesión, el agua tiene una gran atracción entre las moléculas de su superficie, creando tensión superficial.

La superficie del líquido se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla; esta propiedad contribuye a que algunos objetos muy ligeros floten en la superficie del agua.

Las gotas de agua son estables también debido a su alta tensión superficial. Esto se puede ver cuando pequeñas cantidades de agua se ponen en superficies no solubles, como el vidrio, donde el agua se agrupa en forma de gotas.

- o **Capilaridad.** Es propiedad de ascenso, o descenso, de un líquido dentro de un tubo capilar. Esto se debe a sus propiedades de adhesión y cohesión.

Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase "agarrándose" por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua se equilibra con la presión capilar.

- o **Densidad.** La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión.

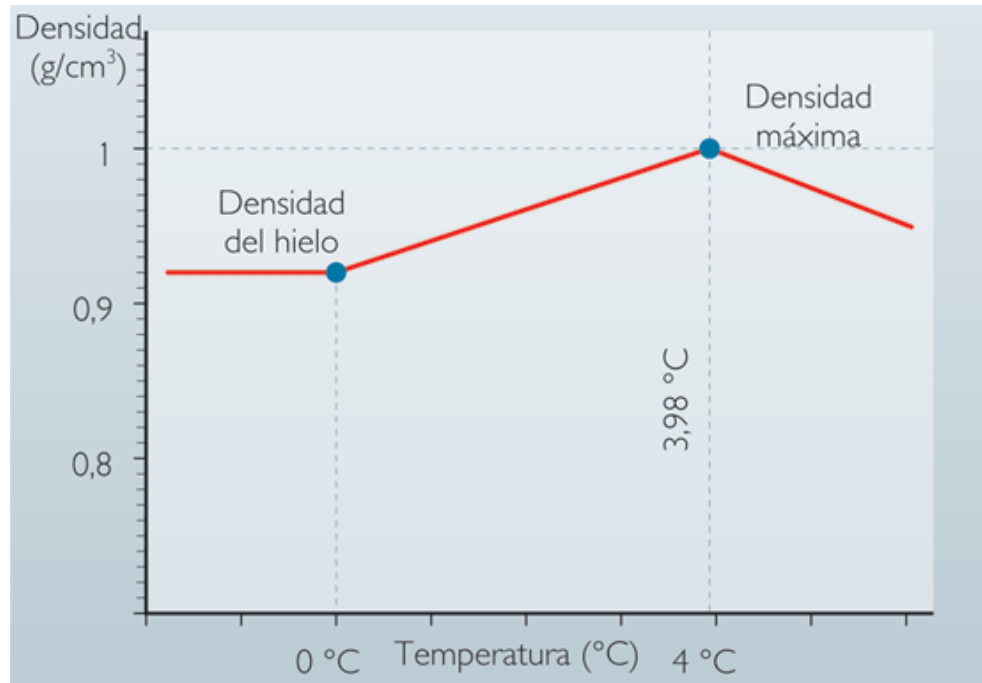


Fig. 22.1.1 Relación Temperatura vs. Densidad. [3]

A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad a los 100 °C, donde tiene 0,958 kg/l. Mientras baja la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/l) y ese aumento es constante hasta llegar a los 3,98 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/litro. Esa temperatura (3,98 °C) representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente (casi nada en la práctica), hasta que a los 0° disminuye hasta 0,9999 kg/litro. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/l a 0,917 kg/l.

- o **Cristalización:** Es el proceso por el que el agua pasa de su estado líquido al sólido cuando la temperatura disminuye de forma continua.
- o **Destilación:** Para obtener agua químicamente pura es necesario realizar diversos procesos físicos de purificación ya que el agua es capaz de disolver una gran cantidad de sustancias químicas, incluyendo gases.

Se llama agua destilada al agua que ha sido evaporada y posteriormente condensada. Al realizar este proceso se eliminan casi la totalidad de sustancias disueltas y microorganismos que suele contener el agua y el resultado es prácticamente la sustancia química pura H₂O.

- o **Conductividad Eléctrica:** Cuando se establece una diferencia de potencial entre dos electrodos no polarizables, de platino, situados en los extremos de un tubo lleno de agua, se produce un paso de corriente. El agua presenta una resistencia al paso de la corriente.

El agua tiene una de las constantes dieléctricas más elevadas.

El agua pura no conduce la electricidad (agua pura es el agua destilada libre de sales y minerales).

- o **Diamagnetismo:** Cuando se somete a un campo eléctrico una materia bipolar, es decir, que posea un momento eléctrico permanente, se comprueba que experimenta una polaridad inducida. Las propiedades magnéticas de un cuerpo se definen por una permeabilidad μ , que es la relación entre la inducción magnética en el interior del cuerpo y el campo magnético que la ha creado. Es un número sin dimensiones en el caso de medios isótropos y homogéneos.

Cuando se somete a un campo eléctrico una materia bipolar, es decir, que posea un momento eléctrico permanente, se comprueba que experimenta una polaridad inducida. Las propiedades magnéticas de un cuerpo se definen por una permeabilidad μ , que es la relación entre la inducción magnética en el interior del cuerpo y el campo magnético que la ha creado. Es un número sin dimensiones en el caso de medios isótropos y homogéneos.

- o **Propiedades térmicas:** En condiciones normales de presión (1 atm) el agua líquida solidifica a 0 °C y hierve a 100 °C, estas temperaturas sirven para definir la escala centesimal y en consecuencia el grado Celsius o centígrado (°C).

- **Calor Específico:** Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de una masa de 1 Kg. de agua, y es 4180 J/Kg./°C. EL agua es la sustancia que tiene mayor calor específico. Este varía con la temperatura y tiene un mínimo de +35 °C. El calor específico del hielo es de 2090 J/Kg./°C.
- **Calor Latente:** Es la cantidad de calor necesaria para efectuar el cambio de estado de la unidad de masa previamente llevada a la temperatura que corresponde a la presión reinante.
- **Calor de Vaporización:** El calor de vaporización depende de la temperatura a la que se efectúe el cambio de estado.
- **Viscosidad:** En el sistema CGS la unidad de viscosidad dinámica es el POISE (P), es la fuerza tangencial, por unidad de superficie (dina/cm²), requerida para mantener una diferencia de velocidad de una unidad (1 cm/s) entre dos planos paralelos separados por 1 cm de fluido.

$$1 \text{ POISE} = 1 \text{ dina.s/cm}^2 = 1 \text{ g/cm.s}$$

- **Viscosidad cinemática (v):** Es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido. Su unidad en el CGS es el STROKE (St), en el MKS se expresa en m²/s, unidad sin nombre.

$$1 \text{ P} = 10^{-4} \text{ unidades MKS.}$$

La viscosidad absoluta del agua es de 1,007.10⁻² P a 20 °C y disminuye con la temperatura. Una presión moderada hace al agua menos viscosa cosa que no ocurre con otros líquidos. La viscosidad del agua natural varía en función a su contenido de sales.

- **Propiedades ópticas:** La transparencia del agua depende de la longitud de onda que la atraviesa, los rayos ultravioletas pasan bien, pero los infrarrojos tan necesarios desde el punto de vista físico y biológico, apenas la penetran. El agua absorbe muy fuerte el anaranjado y el rojo en el espectro visible, debiéndose a ello el color azul transmitida en capa espesa.
- **Potencial hidrógeno. PH:** Indica el grado de acidez o alcalinidad del agua, este PH puede variar de acuerdo al origen del agua.
 - Disolución neutra pH = 7.
 - Disolución ácida pH < 7.
 - Disolución básica pH > 7.

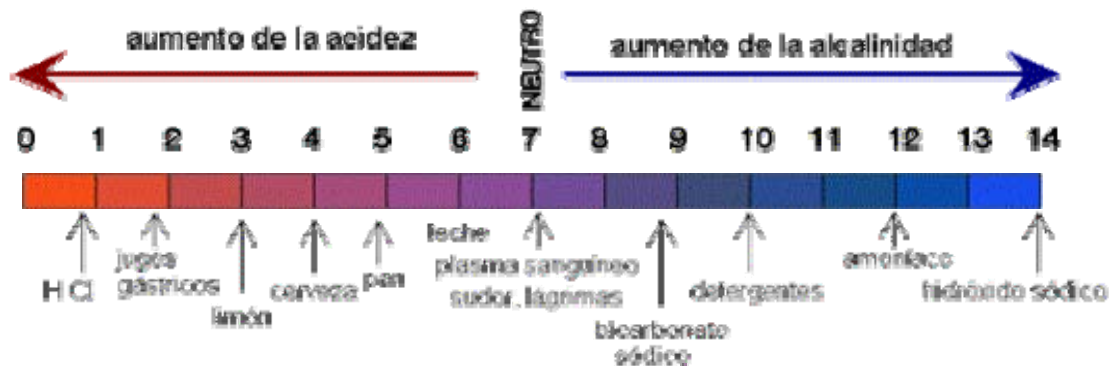


Fig. 22.1.2 Escala del PH. [3]

- pH de las aguas naturales: 7 – 9.
- pH de océanos: 8 - 8,4.
- **Difusión:** Es el flujo de partículas (átomos, iones o moléculas) de una región de mayor concentración a una de menor concentración, provocado por un gradiente de concentración.

Si se coloca un terrón de azúcar en el fondo de un vaso de agua, el azúcar se disolverá y se difundirá lentamente a través del agua, pero si no se remueve el líquido pueden pasar semanas antes de que la solución se aproxime a la homogeneidad.

- **Ósmosis:** Fenómeno que consiste en el paso del solvente de una solución de menor concentración a otra de mayor concentración que las separe una membrana semipermeable, a temperatura constante.

Ecológicas.

- **Toxicidad:** Sustancias tóxicas, como los metales pesados (plomo y cadmio), generan bioacumulación. Los residuos urbanos (aguas negras o aguas servidas), que contienen excrementos, también generan contaminación.

22.2 ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA PARA HORMIGÓN

El agua suele representar aproximadamente entre **10 y 25 % volumen del hormigón** recién mezclado, dependiendo del **tamaño máximo de agregado** utilizado y del revenimiento.

Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aun en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Tabla 22.2.1 Limitaciones del agua para concreto. **ASTM C 94 [11]**

Impurezas	Máxima concentración tolerada. Partículas por millón.
Carbonato de sodio y potasio	1,000 ppm
Cloruro de sodio	20,000 ppm
Cloruro como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro como Cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares galvanizados.)	1,000 ppm
Sulfato de sodio	10,000 ppm
Sulfato como SO ₄ <	3,000 ppm
Carbonato de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	40,000 ppm
Sulfato de magnesio	25,000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento de concreto)	2%
Sales de hierro	40,000 ppm
Yodato, arrestando, fosfato y borato de sodio	100 ppm
PH	6.0 a 8.0
Hidróxido de sodio (por peso de cemento de concreto)	0.50%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento de concreto)	1.20%
Azúcar	500 ppm
Aceite mineral (por peso de cemento de concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20 ppm
Agua de mar (contenido total de sales para concreto no reforzado)	35,000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable
Alcalis totales como Na ⁺	-----
Dióxido de carbono disuelto CO ₂	-----
Sólidos en suspensión en agua natural	2,000 ppm
Sólidos en suspensión en agua reciclada	-----
Magnesio como Mg ⁺⁺	-----
Total de impurezas en solución	-----

Algunos efectos por la presencia de sustancias e impurezas en el agua:

- **Carbonato de sodio:** Puede causar muy rápidos fraguados. Los bicarbonatos pueden también acelerar o retardar el fraguado. En altas concentraciones, estas sales pueden reducir la resistencia del concreto.
- **Cloruro de sodio:** Concentraciones de 20,000 ppm son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas durante su vida útil. Por el contrario, el agua usada en **concretos preesforzados no se deben presentar concentraciones de ion cloro superiores a 500 ppm**. Para el caso de

concretos de aluminio embebidos o galvanizados, u otros concretos expuestos a humedad ambiente, el agua no debe presentar concentraciones superiores a 1,000 ppm del ion cloro.

- o **Sulfato de sodio:** El agua de mezclado que contenga hasta 10,000 ppm puede ser tolerada para su uso.
- o **Sulfatos como S04:** Su cantidad esta limitada a 3,000 ppm. Las concentraciones de **sulfato de magnesio** deben ser menores de 25,000 ppm. Las sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo en el agua de mezclado pueden causar reducciones significativas en su resistencia y grandes variaciones en sus tiempos de fraguado. Otras sales activas como yodatos, fosfatos, arsenatos y boratos de sodio afectan el desarrollo de la resistencia en concentraciones superiores a 10 por ciento del peso del cemento. Generalmente, concentraciones de estas sales de hasta 500 ppm pueden ser tolerables para el agua de mezclado.
- o **PH (potencial de hidrógeno):** Las aguas ácidas con valores de ph por debajo de 3 pueden crear problemas de manejo, y deben ser evitadas en lo posible.
- o **Hidróxido de sodio:** Concentraciones de 0.5 por ciento por peso de cemento (6,000 a 10,000 ppm) no afectan la resistencia o los fraguados. Sin embargo, concentraciones superiores pueden reducir la resistencia del concreto o mortero.
- o **Hidróxido de potasio:** Concentraciones por encima de 1.2 por ciento de peso del cemento (18,000 a 24,000 ppm) tiene pequeños efectos sobre el desarrollo de la resistencia de algunos cementos, y en otros la puede reducir sustancialmente.
- o **Arcilla o limos:** Cerca de 2,000 ppm suspendidos en el agua de mezclado se pueden tolerar. Cantidades más altas pueden no afectar la resistencia, pero sí influir en otras propiedades del concreto.
- o **Aceite mineral (petróleo):** En concentraciones superiores a 2 por ciento de peso del cemento puede reducir la resistencia del concreto en 20 por ciento o más.
- o **Sulfatos, cloruros y álcalis:** En concentraciones superiores a las establecidas, su reacción con los componentes del cemento y los agregados puede ser muy agresiva

AG.1 CALIDAD DEL AGUA PARA HORMIGÓN

NORMA: AASHTO T 26

OBJETIVO: Este método establece el procedimiento para determinar la acidez o alcalinidad y el contenido de sólidos totales y materia orgánica.

ACIDEZ Y ALCALINIDAD. La acidez o alcalinidad se deberán determinar por alguno de los métodos A o B que se describen a continuación. Si se requiere gran precisión, se deberá emplear el método B.

- o La acidez o alcalinidad se determinarán con soluciones patrón 0.1.N alcalina o ácida, respectivamente, usando no menos de 200 ml del agua bajo control. Se podrán usar como indicadores fenoltaleína o naranja metílica. Excesivas acidez o alcalinidad indican la necesidad de ensayos adicionales.
- o La concentración del ión hidrógeno se determinará por los métodos electrométrico o colorimétrico en conjunto con el indicador adecuado y se deberá expresar en unidades de pH

Cuando el pH sea inferior a 4.5 o mayor de 8.5 se requieren ensayos adicionales. (El valor pH es el logaritmo del inverso de la concentración del ión hidrógeno (H^+) en moles por litro. Por ejemplo, una solución con pH de 4.5 tiene una concentración de ión hidrógeno de $10^{-4.5}$).

- o El procedimiento para asegurar los valores de pH deberá ser controlado totalmente por el método empleado, sea el electrométrico o el colorimétrico. El procedimiento a seguir en la determinación se basará en el tipo de aparato usado y estará de acuerdo con los métodos e instrucciones suministrados por el fabricante del aparato en uso. Los aparatos empleados, sean electrométricos o colorimétricos, deberán tener un rango de trabajo aceptable para el ensayo que se esté realizando.
- a) Método de garantía A: Concentración del ión cloruro. Se deberá determinar conforme lo establece la norma ASTM D-512, "Ión cloruro en agua industrial y agua industrial de desecho".
- b) Método de garantía B: Concentración del ión sulfato. Se determinará de acuerdo con la norma ASTM D-516, "Ión sulfato en agua industrial y agua industrial de desecho". Método de garantía (gravimétrico).

SÓLIDOS TOTALES, MATERIA ORGÁNICA

- Se evaporarán, hasta la sequedad, 500 ml en un recipiente tarado. Para este propósito, es conveniente un recipiente de platino de 100 a 200 ml de capacidad. El recipiente se llenará casi en su totalidad con agua y se colocará en un baño de agua, adicionando periódicamente porciones a la muestra de agua, hasta completar los 500 ml.

El contenido del recipiente se evaporará hasta la sequedad y se colocará en un horno a 132°C (270°F) por una hora, después de la cual se retirará el recipiente del horno, se enfriará en un desecador y se pesará. El peso del residuo en gramos, dividido por 5, será el porcentaje total de sólidos en el agua.

- Los sólidos obtenidos pueden estar constituidos por materia orgánica, materia inorgánica o una combinación de ellas. El recipiente de platino se encenderá a bajo calor rojo y el oscurecimiento del residuo durante la primera etapa del calentamiento suele indicar la presencia de materia orgánica. El porcentaje perdido por la ignición a bajo rojo es una indicación del contenido de materia orgánica, pero debe tenerse presente que algunas sales minerales tienden a volatilizar o descomponerse parcialmente con el calor.
- La determinación de la composición de la materia mineral en el agua requiere un análisis químico completo que no se suele efectuar, a no ser que la proporción de sólidos sea muy elevada o el agua tienda a dar resultados anormales en otros ensayos. Los resultados se indicarán de manera separada por componentes, en partes por millón.
- Se puede hacer una comparación del agua bajo ensayo con agua destilada, mediante la expansión en autoclave del cemento Portland, el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat, o el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Gillmore y la resistencia a compresión de los morteros de cemento hidráulico, empleando el mismo cemento con cada agua.

Los límites sugeridos de estos ensayos, son los siguientes: Cualquier indicación de falta de solidez, cambios marcados en los tiempos de fraguado, o una reducción de más de 10% en la resistencia con respecto a la mezcla elaborada con el agua destilada, pueden ser motivos suficientes para rechazar el agua bajo ensayo.

CAPÍTULO 23 — ROCA Y AGREGADOS

ROCA

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

R.1 VELOCIDAD DE ONDA P Y S.....	ASTM D 3999
R.2 COMPRESIÓN UNIAxIAL SIMPLE.....	ASTM D 4543
R.3 ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL.....	ASTM D 5731
R.3 COMPRESIÓN TRIAXIAL.....	ASTM D 2664
R.4 CORTE DIRECTO.....	ASTM D 5607
R.5 DURABILIDAD SLAKE.....	ASTM D 4644

23.1 PROPIEDADES

Sensoriales

- **Textura:** Varía desde muy rugosa hasta lisa dependiendo de su procedencia.
- **Color:** El color varía de acuerdo a su procedencia y composición, pudiendo ser de color uniforme o variable.

Físicas

Tabla 23.1.1. Composición, peso y densidad específica. [1]

Tipo de piedra	Nombre De la Piedra	Ingrediente principal	Peso lb/pie³	Densidad específica Kg/m³
Ígnea	Granito	Sílice	163-169	2.61-2.70
Metamórfica	Mármol	Carbonato de calcio(CaCO ₃)	165-170	2.64-2.72
	Pizarra		171-176	2.74-2.82
Sedimentaria	Caliza	Carbonato de calcio(CaCO ₃)	131-170	2.10-2.75
	Arenisca		140-166	2.014-2.066

Mecánicas

- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión varía según el tipo.

Tabla 23.1.2. Resistencia a la compresión. [1]

Tipo de piedra	Resistencia a la Compresión lb/pulg²
Ígnea	15600-30800
Metamórfica	9058-17787
Sedimentaria	2600-21320

- o **Módulo de rotura:** Varía según el tipo.

Tabla 23.1.3. Módulo de rotura. [1]

Tipo de piedra	Módulo de rotura lb/pulg ²
Ígnea	1490-3060
Metamórfica	1197-3442
Sedimentaria	9000-5235

- o **Dureza:** Son muy resistentes a las condiciones medioambientales y a los golpes. En relación con las condiciones medioambientales, es de especial interés la resistencia a la helicidad.

Tabla 23.1.4. Escala de Mohs. [1]

Dureza	Mineral	Comparación
1	Talco	La uña de la mano lo raya con facilidad
2	Yeso	La uña de la mano lo raya
3	Calcita	La punta de un cuchillo lo raya con facilidad
4	Fluorita	La punta de un cuchillo lo raya
5	Apatito	La punta de un cuchillo lo raya con dificultad
6	Feldespato potásico	Un trozo de vidrio lo raya con dificultad
7	Cuarzo	Puede rayar un trozo de vidrio con facilidad
8	Topacio	Puede rayar un trozo de vidrio con facilidad dejando una marca gruesa
9	Corindón	Raya todos los minerales menos el diamante
10	Diamante	Puede rayar todos los minerales existentes

23.2 ENSAYOS

R.1 VELOCIDAD DE ONDA P Y S.

NORMA: ASTM D 3999

OBJETIVO. Determinar de constantes elásticas dinámicas que se realizan mediante mediciones de velocidad de ondas de compresión (Vp) y de corte (Vs), en probetas de peso específico conocido.

EQUIPO

- o Unidad generadora de pulso, que consta de un generador de pulso y un amplificador de poder.
- o Unidad de transducer (palpadores piezoeléctricos), que consiste en un transmisor, el cual convierte los impulsos eléctricos en mecánicos.
- o Unidad receptora de ondas, que consiste en un osciloscopio, que tiene incorporado un amplificador de voltaje.

PROCEDIMIENTO

- Colocar los palpadores piezoeléctricos sobre la probeta, en donde la línea que conecta los centros de las áreas de contacto no debe estar inclinada más de dos grados con respecto a la línea perpendicular de cada área.
- Se pone un poco de grasa sobre las caras del testigo o probeta para permitir una mejor transmisión de ondas por los transducer.
- La lectura del tiempo inicial en la pantalla se determina uniendo los transducer sin el testigo, donde el tiempo inicial T_0 está determinado por la primera onda de forma recta en la pantalla del osciloscopio.
- Luego, estando los palpadores piezoeléctricos sobre la probeta, se determinan en forma simultánea los tiempos P y S.

CÁLCULO

$$Vp = L / Tp$$

$$Vs = L / Ts$$

Además:

$$Tp = Tpt - Tp' \quad Ts = Tst - Ts'$$

R.2 COMPRESIÓN UNIAXIAL SIMPLE

NORMA: ASTM D 4543.

OBJETIVO. Medir la resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de roca.

EQUIPO

- o Prensa hidráulica.
- o Tres escalas de carga de 3.30 y 150 Ton.
- o Probeta.

PROCEDIMIENTO

- a) Coloque el espécimen en el aparato de carga de tal manera que quede centrado en la platina inferior.
- b) Ajuste el instrumento de carga cuidadosamente de tal manera que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen.
- c) Lleve a ceros el indicador de deformación.
- d) Aplique la carga de tal manera que se produzca una deformación axial a una velocidad de 2 a 2.5% por minuto.
- e) Registre los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación (normalmente son suficientes 10 a 15 puntos). La velocidad de deformación debe escogerse de tal manera que el tiempo necesario para la falla no exceda de 15 minutos (nota).
- f) Continúe aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación o hasta que se alcance una deformación igual a 15%. La velocidad de deformación utilizada para ensayar muestras selladas puede disminuirse si se considera deseable para obtener mejores resultados en el ensayo.
- g) Registre la velocidad de deformación en el informe de los datos de ensayo.
- h) Determine el contenido de agua de la muestra de ensayo utilizando todo el espécimen a menos que se hayan obtenido cortes representativos para este fin, como en el caso de las muestras inalteradas.
- i) Indique en el informe del ensayo si la muestra para contenido de humedad fue obtenida antes o después del ensayo de compresión.

Los materiales blandos que presentan grandes deformaciones en la falla, deben ser ensayados con una mayor velocidad de deformación. Por el contrario, los materiales rígidos o frágiles que presentan pequeñas deformaciones en el momento de la falla deben ser ensayados con una menor velocidad de deformación.

R.3 ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL

NORMA: ASTM D 5731.

OBJETIVO. Evaluar de forma rápida la resistencia uniaxial (En campo o en laboratorio).

EQUIPO

- o Máquina de carga puntual con gata hidráulica.

PROCEDIMIENTO

- a) Se mide el diámetro del testigo de roca.
- b) Se coloca de forma perpendicular a la gata hidráulica.
- c) Luego de cubrirlo con un plástico para evitar accidentes, se aplica presión de forma progresiva con la gata hidráulica.
- d) Finalmente la roca se fractura y se observa el valor que entrega. Cada máquina posee un factor de corrección que en este caso es de 14,462 [cm²].

CÁLCULO

$$I_s = P/de$$

R.3 COMPRESIÓN TRIAXIAL**NORMA: ASTM D 2664.**

OBJETIVO. Medir la resistencia de muestras de roca cilíndricas sometidas a compresión triaxial, mediante el cual se podrá determinar el ángulo de resistencia a cizallamiento y la cohesión.

EQUIPO

- o Equipo computarizado con celda triaxial.

PROCEDIMIENTO. En este caso, se persigue poner a prueba el testigo en condiciones no isotrópico y con una presión confinante. Se utilizará la máquina para ensayo triaxial y se le aplicará una presión confinante por medio del bombeo de un aceite hidráulico a una cámara de compresión en que se dispone la muestra. A esta (que también es cubierta por una membrana de goma) se le va aplicando presión de forma análoga al caso uniaxial.

R.4 CORTE DIRECTO**NORMA: ASTM D 5607**

OBJETIVO. Medir la resistencia a corte directo punta y residual como función de la tensión normal al plano de cizallamiento.

EQUIPO

- o Aparato de cizalladura.

PROCEDIMIENTO

- a) Conecte y ajuste adecuadamente el instrumento de medición de desplazamiento horizontal utilizado para medir los desplazamientos de cizalladura.
- b) Haga una lectura inicial u coloque el instrumento de medición para indicar el desplazamiento cero.
- c) Aplique una pequeña carga normal al espécimen.
- d) Verifique que todos los componentes del sistema de carga estén ajustados y alineados de tal manera que no quede restringido el movimiento de la placa de transferencia de carga en la caja de cizalladura.
- e) Registre la carga vertical y la carga horizontal aplicadas en el sistema.

La carga normal aplicada al espécimen debe ser aproximadamente 7kPa (0.07 kg/cm²).
- f) Aplique la carga normal deseada o los incrementos sucesivos al espécimen y comience a registrar las lecturas de la deformación normal vs. el tiempo transcurrido. Para todos los incrementos de carga verifique que la consolidación primaria ha tenido lugar completamente.
- g) Seleccione una velocidad de desplazamiento apropiada.
- h) Cizalle el espécimen a una velocidad relativamente baja de modo que haya exceso de presión en los poros en el momento de la rotura.

- i) Determine el desplazamiento apropiado a partir de la siguiente ecuación:

$$Dr = Df/Tf$$

donde:

Dr: velocidad de desplazamiento.

Df: desplazamiento horizontal estimado en el momento de la ruptura (mm).

Tf: tiempo total estimado hasta la rotura (min).

- j) Registre el tiempo inicial, los desplazamientos vertical y horizontal y las fuerzas normal y de cizalladura.
- k) Ponga en funcionamiento el aparato e inicie la cizalladura.
- l) Haga la lectura de los datos de tiempo, desplazamiento vertical y horizontal y la fuerza de cizalladura a intervalos definidos de desplazamiento. Las lecturas de datos deben tomarse a intervalos de desplazamientos iguales al 2% del diámetro del espécimen, o de su anchura, para definir con precisión una curva de esfuerzo-desplazamiento.

CÁLCULO. Esfuerzo de cizalladura nominal sobre el espécimen:

$$T = F/A$$

Esfuerzo normal sobre el espécimen.

$$n = F/A$$

Velocidad de desplazamiento: Calcule la velocidad real de desplazamiento dividiendo el desplazamiento relativo por el tiempo transcurrido, o registre la velocidad utilizada para el ensayo.

$$Dr = Dh/Te$$

R.5 DURABILIDAD SLAKE

NORMA: ASTM D 4644.

OBJETIVO. Evaluar las lutitas y rocas débiles, las cuales pueden degradarse en el ambiente de servicio.

EQUIPO

- o Tambor de ensayo.
- o Artesa.

PROCEDIMIENTO

- a) Colocar la muestra en el tambor limpio y secar a una temperatura de 105°C, hasta obtener una masa constante en el horno (este procedimiento usualmente requiere de 2 a 6 horas). Registrar la masa de la muestra más el tambor, **A**. Ensayar finalmente la muestra después del enfriamiento.
- b) Colocar de nuevo la tapa, montar el tambor en la artesa y acoplar al motor.
- c) Llenar la artesa con un fluido de humedecimiento, usualmente agua corriente a una temperatura de 20°C, hasta un nivel de 20 mm por debajo del eje del tambor y ponerlo a rotar a una velocidad de 200 rpm durante un período de 10 min con una precisión de $\pm 0,5$ min.
- d) Retirar el tambor de la artesa, remover la tapa del tambor y llevar el conjunto tambor más la porción de la muestra retenida y secada. Registrar la masa del tambor más la porción retenida de la muestra, **B**, después del enfriamiento.
- e) Registrar la masa del tambor más la porción de la muestra retenida, **C**.
- f) Cepillar completamente el tambor y registrar su masa, **D**.

CÁLCULO

$$I_{d2} = \frac{C - D}{A - D} * 100 \%$$

AGREGADOS**LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES**

A.1 EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	ASTM C 75 AASHTO T 2
A.2 CUARTEO DE MUESTRAS.....	ASTM C 702 / AASHTO T 248
A.3 GRANULOMETRÍA.....	ASTM C 136 / AASHTO T 27
A.4 MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM.....	ASTM C 117 / AASHTO T 11
A.5 DENSIDAD APARENTE.....	ASTM E 30 / ASTM C 29
A.6 DENSIDAD REAL, NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS.....	ASTM C 127 / AASHTO T 85
A.7 DENSIDAD REAL, NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS.....	ASTM C 128 / AASHTO T 84
A.8 DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.....	ASTM C 131 / AASHTO T 96
A.9 EQUIVALENTE DE ARENA.....	ASTM D 2419
A.10 DESINTEGRACIÓN MEDIANTE SULFATOS.....	ASTM C 88 / AASHTO T 104
A.11 ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS.....	ASTM C 3744 / AASHTO T 210
A.12 REACTIVIDAD ÁRIDO /ALCALI (MÉTODO QUÍMICO).....	ASTM C 289

23.3 PROPIEDADES**Sensoriales**

- o **Textura:** Áspera.
- o **Color:** Por lo general plomizo aunque puede presentar otros colores.
- o **Brillo:** Destellos luminosos debido a la presencia de minerales varios.

Físico-químicas

- o **Gradación (granulometría):** Es la distribución del tamaño de las partículas en una muestra de los agregados.

Desde este punto de vista los agregados se dividen en:

- **No Uniformes o Bien Gradados:** Presentan gran variedad de tamaño en sus estructuras y son los agregados ideales desde el punto de vista ingenieril, ya que ofrecen un mejor comportamiento mecánico, debido a que los espacios entre los tamaño grandes son llenados por las partículas de tamaño menores. Su curva granulométrica tiene la forma aproximadamente de una S invertida suavemente horizontal.
- **Uniformes o Mal Gradados:** Existen poca variedad de tamaños o esta es prácticamente nula. Puede darse por dos fenómenos: Porque todas las partículas tengan el mismo tamaño o porque existan deficiencia de tamaños intermedios. Su curva granulométrica es prácticamente vertical. Corresponde a lo que denomina una gradación incompleta o abierta. Puede darse por dos fenómenos:
 - Porque todas las partículas tengan el mismo tamaño.
 - Exista deficiencia en los tamaños intermedios.

- o **Tamaño máximo:** Se refiere a los agregados grueso y tiene dos formas de hallarlos :

- **Tamaño máximo real:** Corresponde a la lectura del menor tamiz que deja pasar el 100% de la muestra ensayada, para nuestro caso es de el tamiz 1½.
- **Tamaño máximo nominal:** Es la dimensión del tamiz inmediatamente superior al menor tamiz cuyo porcentaje acumulado es del 15% o más. Tiene su aplicación para el diseño de la mezcla, por medio de la parábola de Fuller.

- o **Densidad:** Es la relación entre una masa determinada y el volumen ocupado por esa misma masa.

La densidad tiene varios conceptos:

- **Densidad Absoluta:** Es la relación entre el peso de la masa sólida y el volumen ocupado exclusivamente por si misma.

$$D_{abs.} = P_s / V_s$$

$$V_s = V_m - V_{ps} - V_{pns}$$

- **Densidad Nominal:** Es la relación entre el peso de la masa sólida y el volumen ocupado por éste, sin incluir los poros saturables.

$$D_n = P_s / (V_m - V_{ps})$$

- **Densidad Aparente:** Es la relación entre el peso del sólido y el volumen total, incluyendo los poros saturables y no saturables.

$$D_A = P_s / V_m$$

Desde el punto de vista ingenieril la más utilizada es la densidad aparente, debido a que con ella se determina la cantidad de agregado en peso que se resista para fabricar un metro cúbico de concreto. Sus valores normales oscilan entre 2.3 a 2.8 gr / cm³.

- **Absorción:** Se define como la propiedad que tienen los agregados de atrapar el agua en sus poros durante un periodo de tiempo determinado (24 h). La absorción influye en el cálculo de agua en la mezcla.

La densidad y la absorción influyen directamente sobre el peso unitario, resistencia mecánica, durabilidad y la dureza de los agregados.

- **Materia orgánica.** La materia orgánica + partículas de baja densidad / provocan reacciones inesperadas:

- Velocidad de fraguado.
- Resistencia.
- + Porosidad.
- Pérdida de adherencia.
- Manchas.

- **Terrones de arcillas.** Los terrones de arcillas + Partículas blandas /debilitan el hormigón y disminuyen la adherencia.

- **Sales.** Producen:

- Criterizaciones: Incremento de volumen y eflorescencias.
- Sales de azufre: destruyen el hormigón.
- Reactividad: Provocan mayor adherencia y – alcalis en el cemento.

Mecánicas

- **Resistencia mecánica;** Resistencia árido (1000 – 1500 Kp/cm²) > Resistencia hormigón.

- **Adherencia:** Adherencia cemento + árido à Nos va a dar Mayor calidad

Mayor resistencia del hormigón influye:

- La forma de los áridos.
- Texturas.
- Porosidad.
- Son perjudiciales los finos.

- **Resistencia al desgaste:** Afecta a la resistencia mecánica del hormigón y a la durabilidad.

23.4 ENSAYOS

Tabla 23.4.1. Cantidades más finas que pasan de cada tamiz de laboratorio. ASTM C 33. [11]

Tamaño Nominal (Tamices con aberturas cuadradas)	Cantidades más Finas que cada Tamiz de Laboratorio (Aberturas Cuadradas), Porcentaje en Masa													
	100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 ¹ / ₂ pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 ¹ / ₂ pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37.5 mm (1 ¹ / ₂ pulg.)	25.0 mm (1 pulg.)	19.0 mm (³ / ₄ pulg.)	12.5 mm (¹ / ₂ pulg.)	9.5 mm (³ / ₈ pulg.)	4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	1.18 mm (Nº 16)	300 µm (Nº 50)
90 a 37.5 mm (3 ¹ / ₂ a 1 ¹ / ₂ pulg.)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
63 a 37.5 mm (2 ¹ / ₂ a 1 ¹ / ₂ pulg.)	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
50 a 25.0 mm (2 a 1 pulg.)	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
50 a 4.75 mm (2 in. a Nº 4)	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
37.5 a 19.0 mm (1 ¹ / ₂ a ³ / ₄ pulg.)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
37.5 a 4.75 mm (1 ¹ / ₂ pulg. a Nº 4)	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
25.0 a 12.5 mm (1 a ¹ / ₂ pulg.)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
25.0 a 9.5 mm (1 a ³ / ₈ pulg.)	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
25.0 a 4.75 mm (1 pulg. a Nº 4)	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
19.0 a 9.5 mm (³ / ₄ a ³ / ₈ pulg.)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
19.0 a 4.75 mm (³ / ₄ pulg. a Nº 4)	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
12.5 a 4.75 mm	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...

(¹ / ₂ pulg. a N° 4)														
9.5 a 2.36 mm (³ / ₈ pulg. a N° 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
9.5 a 1.18 mm (³ / ₈ pulg. a N° 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
4.75 a 1.18 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

A.1 EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

NORMA: ASTM C 75 / AASHTO T2

OBJETIVO. Extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayo. Se aplicará a los áridos naturales y manufacturados.

EQUIPOS Y MATERIALES. Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sea necesario considerar para los procedimientos que se establecen en el presente método.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- o Muestra de terreno.
- o Muestra de laboratorio:
 - Áridos fino: 30 kg.
 - Áridos gruesos: Una cantidad en Kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto de los áridos grueso, expresado este último en mm.
 - Áridos integral: En este caso se cumplirá simultáneamente con las cantidades mínimas requeridas para los distintos tipos de áridos antes mencionados.

REGISTRO. Cada muestra para laboratorio llevará un registro en que se indicarán los siguientes datos:

Información mínima

- o Nombre del contrato y contratista.
- o Identificación del muestreador (nombre, entidad y/o laboratorio).
- o Tipo de material.
- o Procedencia del material.
- o Tamaño aproximado de la muestra (kg/m3).
- o Cantidad de material que representa la muestra (m3).
- o Procedimiento de extracción utilizado.
- o Empleo propuesto.
- o Ensayes requeridos.
- o Fecha de extracción.

Información Optativa

- o Ubicación y nombre del yacimiento, depósito, planta de manufacturado u obra.
- o Capacidad de producción o consumo diario estimado.
- o Procedimientos de explotación y/o manufacturado.
- o Radio de alcance (zona que abastece).
- o Cualquier información específica relativa a las características del áridos o a los requisitos de empleo.

A.2 CUARTEO DE MUESTRAS

NORMA: ASTM C 702 / AASHTO T 248

OBJETIVO. Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensaye. El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensaye que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelos y áridos en general.

PROCEDIMIENTO MANUAL

- a) Para llevar a cabo el cuarteo, el material debe estar húmedo; si está seco, humidézcalo añadiendo agua limpia con un rociador. Mezcle bien el material hasta formar una pila en forma de cono; revuelva de nuevo hasta formar un nuevo cono; repita esta operación tres veces.
- b) Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm. será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil. Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños de áridos sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad de áridos.
- c) Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal. Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes.
- d) Remueva dos cuartas partes opuestas y colóquelas a un lado, cuidando de retirar todo el material fino limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba.
- e) Repita el procedimiento indicado desde a) a d) con la porción restante de áridos, hasta que obtenga una muestra de ensaye del tamaño deseado.
- f) Si lo desea, puede guardar la porción que colocó a un lado para luego hacer un posible ensaye de comprobación.

PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO

- a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
- b) Vacíe la muestra en el cuarteador.
- c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.
- d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

A.3 GRANULOMETRÍA

NORMA : ASTM C 136 / AASHTO T 27

OBJETIVO. Tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanza: Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

- Tamices: Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la Tabla A.3.1, esta serie de tamaños numerales esta normada por IBNORCA. Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos. Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino y una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

TABLA A.3.1 SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS

Tamaños nominales de abertura	
Mm	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37,5	(1 ½")
25,0	(1")
19	(¾")
12,5	(½")
9,5	(3/8")
6,3	(¼")
4,75	(Nº 4)
2,5	(Nº 8)
2,0	(Nº 10)
1,18	(Nº 16)
0,6	(Nº 30)
0,3	(Nº 50)
0,15	(Nº 100)
0,075	(Nº 200)

- Horno: Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.
- Herramientas y accesorios: Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras: Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los ensayos A.1 y A.2

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

- Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con el Método A.2 hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en el punto "Tamaño de la muestra de ensaye".
- No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.
- Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Tamaño de la muestra de ensayo

Para el árido fino

- Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla A.3.2.

TABLA A.3.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO FINO

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75 mm	$\leq 5 \%$	500
2,36mm	$\leq 5 \%$	100

- Los tamaños de muestra indicados en la Tabla A.3.2 podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en c).
- La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a $0,6 \text{ g por cm}^3$ de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

Para los áridos gruesos.

- o Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla A.3.2

TABLA A.3.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO GRUESO

Absoluto Tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25,0	10
19	8
12,5	5
9,5	4

- o Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones.
- o Los tamaños de muestra indicados en la Tabla A.3.3 podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).
- o La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

PROCEDIMIENTO

- Preparación de tamices. Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.
- Tamizado inicial
 - o Determine la masa de la muestra de ensaye en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa.
 - o Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).
- Tamizado final
 - o Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa.
 - o Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado.
 - o Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
 - o Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.
 - o Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.
 - o Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.
 - o Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.
 - o Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.
 - o Determinación de la Masa: Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

CÁLCULO

- Suma y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13 en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos

gruesos.

- b) Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rechace el ensaye y efectúe otro con una muestra gemela.
- c) Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.
- d) Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.
- e) Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:
 - o Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.
 - o Como porcentaje parcial retenido.

EXPRESIÓN GRÁFICA. La expresión gráfica de la granulometría de un árido se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 19 y 20.

MODULO DE FINEZA. Es la caracterización de la composición granulométrica de un árido, según Abrams, que es el número que resulta de sumar los tantos por cientos retenidos en cada uno de los tamices y dividirlo entre cien. Se emplea una serie de tamices denominada serie Tyler, formada por diez tamices de malla cuadrada, siendo la mayor de tres pulgadas (76,2 mm.), y los siguientes tiene su lado mitad del anterior. Se puede emplear una serie cualquiera.

TAMAÑO	MODULO
Grava Gruesa	7,5
Grava media	6,7
Grava fina	6
Arena gruesa	3
Arena media	2,5
Arena fina	1,5

El módulo de finura disminuye a medida que disminuye el tamaño del árido; la determinación del módulo de finura (MF), se práctica según la A.S.T.M., desecando el material a temperatura no superior a 110 °C y pesando cierta cantidad, según se trate de arena ó grava y se tamiza con la serie Tyler, se pesa el retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje.

MF = % Σ Ret. (1 ½”+3/4”+3/8”+N°4+N°8+N°16+N°30+N°50+N°100) / 100 (Agregado grueso).

MF = % Σ Ret. (3/8”+N°4+N°8+N°16+N°30+N°50+N°100) / 100 (Agregado fino).

Abrams, dedujo experimentalmente que se pueden obtener hormigones de la misma resistencia y plasticidad, con igual cantidad de agua y cemento, si las mezclas de los áridos tienen el mismo módulo de finura.

El módulo de finura indica también las variaciones de la relación agua cemento para obtener la misma plasticidad con distintos áridos.

Método de la combinación de módulos de finura. Este método bastante sencillo consiste en determinar los módulos de finura de ambos agregados, y establecer que sus mezclas tengan un modulo de finura ideal, el cual puede ser el obtenido por la ley de Fuller o empíricamente basado en la experiencia.

Se calcula las proporciones de los agregados finos y gruesos en base a la siguiente expresión:

$$m = rf * mf + rg * mg$$

$$rf + rg = 1$$

Donde:

m: modulo de finura de la combinación de agregados

rf, rg: % de agregado fino y grueso respectivamente en relación al volumen absoluto total del agregado.

mf, mg: Modulo de finura del agregado fino y grueso.

A.4 MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM

NORMA: ASTM C 117 / AASHTO T11

OBJETIVO. Determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,075mm (Nº 200) en los áridos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanza. Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.
- o Tamices. Serán dos tamices, el superior de 1,18mm (Nº 16) y el inferior de 0,075mm (Nº 200).
- o Recipiente para lavado. Debe ser impermeable, estanco y de forma y tamaño tales que permitan contener la muestra de ensayo completamente cubierta por agua, y agitarla sin pérdida de partes de la muestra o del agua.
- o Horno. Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.
- o Herramientas y accesorios. Espátula, brocha, recipiente para pesaje, recipiente para secado, etc.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras. Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A.1 y A.2

Acondicionamiento de la muestra de ensaye

- a) Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo de acuerdo con el Método A.2, hasta obtener, cuando esté seca, el tamaño de muestra de ensaye que se indica en el punto Tamaño de la muestra de ensaye. No se debe reducir cuando la muestra esté en estado seco, ni tampoco reducir hasta una masa exacta predeterminada.
- b) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Tamaño de la muestra de ensaye. La muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores indicados en Tabla A.4.1, de acuerdo al tamaño máximo nominal del áridos.

TABLA A.4.1 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE

Tamaño máximo nominal del áridos (mm)	Masa mínima de la muestra seca (g)
37,5 ó más	5.000
19	2.500
9,5	2.000
4,75	500
2,36	100

PROCEDIMIENTO

- a) Determine y registre la masa inicial de la muestra de ensaye en estado seco (B), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos o integral.
- b) Coloque la muestra de ensaye en el recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrirla.
- c) Agite la muestra con agua, de modo de separar el material más fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
- d) Vacíe inmediatamente el agua con el material más fino en suspensión y en disolución, a través de los tamices dispuestos de mayor a menor.
- e) Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
- f) Reúna el material retenido en ambos tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
- g) Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- h) Pese y registre la masa de la muestra de ensaye lavado y seco (C), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos e integral.

CÁLCULO. Calcular el contenido de material fino inferior que 0,075mm (Nº 200) aproximando a 0,1%, según la fórmula siguiente:

$$A(\%) = \frac{B - C}{B} \cdot 100$$

Donde:

A: Contenido de material fino inferior que 0,075mm (%).

B: Masa inicial de la muestra de ensaye seca (g). C: Masa de la muestra de ensaye lavada y seca (g).

Cuando el árido contenga sales solubles, determine previamente su contenido según el Método correspondiente y descuéntelo del resultado obtenido de la anterior fórmula.

INFORME. El informe incluirá lo siguiente:

- o Nombre del contrato y contratista.
- o Clase de áridos.
- o Procedencia de la muestra.
- o Resultado del ensaye.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al árido.
- o Referencia a este método.

A.5 DENSIDAD APARENTE

NORMA: ASTM E 30 / ASTM C 29

OBJETIVO. Determinar la densidad aparente de los áridos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanza: De capacidad superior a la masa de la medida llena con un árido de densidad aparente de 2.000 kg/m³ y una precisión de 0,1 g.
- o Horno: Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.
- o Varilla pisón: Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.
- o Medidas: Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.
 - Dimensiones. Las dimensiones son las que se indican en la Tabla A.5.1 y podrán emplearse para áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior a los señalados en la primera columna.

TABLA A.5.1 DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS

Tamaño Máximo Nominal de áridos (mm)	Capacidad Volumétrica		Diámetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)	Espesor mínimo del	
	m ³	l			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155 ± 2	160 ± 2		2,5
25	0,010	10	205 ± 2	305 ± 2		2,5
50	0,015	15	255 ± 2	295 ± 2		3,0
100	0,030	30	355 ± 2	305 ± 2		3,0

- Refuerzos. Además de cumplir con los espesores mínimos indicados en la Tabla A.6.1, las medidas de 15 y 30 litros serán reforzadas en sus bordes por una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho, a fin de conservar su forma y dimensiones interiores en el trabajo brusco que requiera este ensaye.
- Determinación de la capacidad volumétrica de la medida. Determine el volumen de la medida con una precisión

de 0,1%, pesando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

- o Herramientas y accesorios: Palas, brocha, caja para secado, etc.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras. Extraiga y prepare las muestras de acuerdo al ensayo A.2

Tamaño de la muestra de ensayo. Será un volumen de áridos aproximadamente igual al doble de la capacidad volumétrica de la medida correspondiente.

Preparación de la muestra de ensayo

- a) Pueden emplearse áridos provenientes del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizados.
- b) Seque la muestra de ensayo hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y homogenícela cuidadosamente, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen.

PROCEDIMIENTO

Determinación de la densidad aparente compactada

- o Procedimiento por apisonado. Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50mm (2").
 - a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
 - b) Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
 - c) Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.
 - d) Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
 - e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Nota 1)
 - f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0,1 %.
- o Procedimiento por percusión. Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal o superior que 50mm (2") e igual o inferior que 100mm (4").
 - a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
 - b) Empareje cada capa.
 - c) Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm. y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón).
 - d) Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa.
 - e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.
 - f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

Determinación de la densidad aparente suelta. Procedimiento por simple vaciado Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.

- a) Llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- b) Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- c) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.
- d) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos suelto que llena la medida aproximando al 0,1%.

Determinación de huecos

- a) Efectué la determinación de densidad real seca de acuerdo con el método A.6 para los áridos gruesos y con el método A.7 para los áridos finos.

- b) efectúe la determinación de densidad aparente como se hizo anteriormente.

CÁLCULO

- o Densidad Aparente Compactada (ρ). Calcule la densidad aparente compactada para cada ensaye según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_{ac} \left(\text{kg} / \text{m}^3 \right) = \frac{mc}{V}$$

Donde:

mc : Masa de áridos compactado que llena la medida (kg/m³)
 V : Capacidad volumétrica de la medida (m³).

- o Densidad Aparente Suelta (ρ_{as}). Calcule la densidad aparente suelta (Nota 3) para cada ensaye según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³

$$\rho_{as} \left(\text{kg} / \text{m}^3 \right) = \frac{ms}{V}$$

Donde:

ms : Masa del áridos suelto que llena la medida (kg/m³).
 V : Capacidad volumétrica de la medida (m).

- o Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayes sobre muestras gemelas, aproximando a 10 kg/m³.
- o Calcule el contenido de huecos de acuerdo con la formula siguiente, aproximando al 1%

$$H(\%) = \frac{\rho_{RS} - \rho_a}{\rho_{RS}} \cdot 1.000$$

Donde

H: contenido de huecos (%)

ρ : Densidad real seca de áridos, determinado en el punto 15b del método H0109 (kg/m³)

ρ_a : Densidad aparente de áridos determinado en el punto 18 (kg/m³)

ACEPTACIÓN DE RESULTADOS

- o Acepte la determinación de cada densidad aparente cuando la diferencia entre los resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayes sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que 30 (kg/m³).
- o Ensaye dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el párrafo anterior.
- o Para el uso de los áridos finos en estado húmedo, calcule la densidad aparente suelta según la fórmula siguiente:

$$\rho_{as} \text{ húmeda} \left(\text{Kg} / \text{m}^3 \right) = \frac{ms \text{ húmeda}}{V}$$

- o Para aceptar la determinación, la diferencia entre resultados de ensaye sobre muestras gemelas deberá ser igual o inferior que 50 Kg. / m³.
- o Cuando se realice este ensaye, en el Informe deberá indicarse también el contenido de humedad de áridos expresado como porcentaje de la masa de áridos seco.

INFORME. El informe incluirá lo siguiente:

- o Nombre del contrato y contratista.

- o Clase de áridos.
- o Procedencia de la muestra.
- o Procedimiento del ensaye empleado.
- o Resultado del ensaye.
- o Fecha de ensayo.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al áridos

A.6 DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS

NORMA: ASTM C 127 AASHTO T85

OBJETIVO. Determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanza. De capacidad superior a la masa del canastillo portamuestra más la masa de la muestra de ensayo y una precisión mínima de 1 g.
- o Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.
- o Canastillo portamuestra. De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 l. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.
- o Estanque. Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo portamuestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.
- o Recipientes. Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Extracción de muestras. Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A.1 y A.2.

Tamaño de la muestra de ensaye. La cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la Tabla A.6.1, en función del tamaño máximo nominal del árido.

TABLA A.6.1 CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5 (½")	2.000
19 (¾")	3.000
25,0 (1")	4.000
37,5 (1 ½")	5.000
50 (2")	8.000

Preparación de la muestra de ensaye

- a) Puede emplear el material proveniente del ensaye de tamizado, debidamente homogeneizado.
- b) Elimine por tamizado las partículas inferiores a 4,75mm (Nº 4), en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2,36mm (Nº 8), en el caso de asfaltos.
- c) Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.
- d) Seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$).
- e) Enfríe la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.
- f) Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

PROCEDIMIENTO. Efectúe las siguientes pesadas a la muestra de ensaye:

- o Pesada al aire ambiente del pétreo saturado superficialmente seco
 - a) Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el áridos, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectúe toda la operación en el menor tiempo posible.
- b) Determine inmediatamente la masa de áridos saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_{SS} .
- o Pesada sumergida
 - a) Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra.
 - b) Sumerja el canastillo en agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$), por un período de al menos 3 min.
 - c) Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_{SUM} .
- o Pesada al aire ambiente de áridos seco.
 - a) Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
 - b) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$).
 - c) Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.
 - d) Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_S .

CÁLCULO

- o Densidad Real .
 - a) Densidad real del áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{RT} (\text{kg/m}^3) = \frac{M_{SS}}{M_{SS} - M_{SUM}} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

- b) Densidad real de áridos seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real de áridos seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg./m^3 :

$$\rho_{RS} (\text{kg/m}^3) = \frac{M_S}{M_{SS} - M_{SUM}} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

- c) Densidad neta (PN) Calcule la densidad neta según la formula siguiente, aproximado a 1 kg/m^3

$$\rho_N (\text{kg/m}^3) = \frac{M_S}{M_S - M_{SUM}} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

- d) Absorción de Agua (**ce**). Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima en porcentaje.

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SS} - M_S}{M_S} \cdot 100$$

Donde:

p: Densidad (kg/m^3)

O_i: Absorción (%)

M_{SUM} : Masa del p áridos sumergida (g).

M_{SSS}: Masa del áridos saturado superficialmente seco (g).

M_S: Masa del áridos seco (g).

Expresión de Resultados

- o Determine la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un áridos como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- o Exprese las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³ Exprese la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

PRECISIÓN. Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

- o Igual o inferior que 20 kg/m³ en la determinación de densidades.
- o Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

INFORME. El informe debe incluir lo siguiente:

- o Nombre del contrato y contratista.
- o Identificación y procedencia de la muestra.
- o Fecha de muestreo.
- o Resultado del ensaye.
- o Fecha de ensaye.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al áridos analizado.
- o Referencia a este método

A.7 DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS

NORMA: ASTM C 128 AASHTO T 84

OBJETIVO. Determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanza. De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0,1 g.
- o Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.
- o Recipientes. Limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensaye.
- o Matraz. Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensaye. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de + 0,1 ml. Dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de áridos fino. Se recomienda emplear un matraz de 500 cm³ de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.
- o Molde. Con forma tronco - cónica, de 40 + 3 mm de diámetro en la parte superior, 90+3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 + 3 mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0,8 mm.
- o Pisón. Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 + 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 + 15 g.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras. Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A.1 y A.2.

Tamaño de la muestra de ensaye. Para cada ensaye se usará una cantidad de áridos fino superior a 50 g e inferior a 500 g.

Preparación de la muestra de ensaye

- a) Corte el material retenido en tamiz de referencia (4,75mm (Nº 4) para hormigón o 2,36mm (Nº 8) para asfalto).
- b) Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material retenido sobre el tamiz de referencia, considérela como un integral y determine los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra. Ensaye la fracción retenida de acuerdo con el Método A.6 y la fracción que pasa de acuerdo con este Método de ensayo.
- c) Reduzca por cuarteo, de acuerdo con el Método A.2, la muestra de terreno o la fracción que pasa indicada en "Preparación de la muestra de ensaye" punto b), a una cantidad de áridos de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.
- d) Seque el árido en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$).
- e) Cubra el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de 24 ± 4 h.

PROCEDIMIENTO

- a) Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.
- b) Coloque el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el árido en condición suelta en una capa y enrase.
- c) Compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe deje caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm sobre la superficie del áridos. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.
- d) Remueva cuidadosamente todo material sobrante en la superficie. Levante el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono. En este caso elimine el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a intervalos frecuentes, desde a). Cuando, al retirar el molde, el árido caiga suavemente según su talud natural, será indicación que éste ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.
- e) Inmediatamente que el árido alcance la condición de saturado superficialmente seco, obtenga el tamaño de muestra de ensaye requerido, pese y registre su masa.
- f) Coloque la muestra en el matraz y cúbrala con agua a una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$), hasta alcanzar aproximadamente 2/3 del volumen del matraz.
- g) Agite el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso de áridos muy finos, se debe utilizar una bomba de vacío.
- h) Deje reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$).
- i) Llene con agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$) hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante.
- j) Mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensaye y el agua (mm). k) Saque la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$). Déjela enfriar a temperatura ambiente.
- k) Determine y registre la masa de la muestra de ensaye en condición seca (ms). l) Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$) hasta la marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua (Ma).

CÁLCULO

- o Densidad Real

- a) Densidad Real de áridos saturado superficialmente seco (p_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_{RT}(\text{kg/m}^3) = \frac{M_{SS}}{Ma + M_{SS} + M_m} \cdot 1.000(\text{kg/m}^3)$$

- b) Densidad Real de áridos Seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real del áridos seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg./m³:

$$\rho_{RS} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_{SUM}} \cdot 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- c) Densidad Neta (ρ_N). Calcule la densidad neta, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_N \text{ (kg / m}^3\text{)} = \frac{M_S}{M_a + M_S - M_m} \cdot 1000 \text{ (kg / m}^3\text{)}$$

- d) Absorción de Agua (α). Calcule la absorción de agua, según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima, en porcentaje

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \cdot 100$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m³)

α : Absorción (%)

M_S : Masa de la muestra seca (g).

M_{SSS} : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).

M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g).

M_m : Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

Expresión de Resultados

- o La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un áridos fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- o En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensaye por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\rho \text{ (kg / m}^3\text{)} = \frac{1}{100} \cdot (\rho_r \cdot P_r + \rho_p \cdot P_p)$$

$$\alpha (\%) = \frac{1}{100} \cdot (\alpha_r \times P_r + \alpha_p \times P_p)$$

Donde:

ρ : Densidad (real o neta) del integral (kg/ m³).

ρ_r : Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/ m³).

ρ_p : Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/ m³).

P_r : Porcentaje en masa de la fracción retenida (%).

P_p : Porcentaje en masa de la fracción que pasa, (%).

α : Absorción de agua del integral (%).

α_r : Absorción de agua de la fracción retenida (%).

α_p : Absorción de agua de la fracción que pasa (%).

Expresar las densidades en kg/m³ aproximando a 1 kg/m³, y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

PRECISIÓN. Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- o Igual o inferior que 20 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- o Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

INFORME. El informe debe incluir lo siguiente:

- o Nombre del contrato y contratista.
- o Identificación y procedencia de la muestra.
- o Fecha de muestreo.
- o Resultado del ensayo.
- o Fecha de ensayo.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- o Referencia a este método.

A.8 DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

NORMA: ASTM C 131 AASHTO T96

OBJETIVO. Determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,5 mm, mediante la máquina de Los Ángeles.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Máquina de Los Ángeles
 - Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz 0,3 mm (Nº 50).
 - Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.
 - La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.
- o Balanza. Con una capacidad superior a 10 kg. y una precisión de 1 g.
- o Tamices. Deben cumplir con lo especificado en el Método H0104 numeral 6.
- o Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.
- o Esferas (Carga Abrasiva). Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Muestreo y preparación

- a) Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con los Métodos A.1 y A.2.
- b) Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con el Método A.3.

Tamaño de la muestra. El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2 D_n$, en que D_n es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg. para los grados 1 al 5 y 25 kg. para los grados 6 y 7.

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

- a) Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 + 10^\circ \text{F}$).

- b) Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con el Método A.4, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75mm (3"), 63mm (2½"), 50mm (2"), 37,5mm (1½"), 25,0mm (1"), 19mm (¾"), 12,5mm (½"), 9,5mm (3/8"), 6,3mm (¼"), 4,75mm (Nº 4) y 2,36mm (Nº 8). Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.
- c) Elija de la Tabla A.8.1 el grado de ensaye que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensaye el que entregue una mayor suma.

Cuando se trate de áridos sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensaye correspondiente a dicha banda granulométrica.

PROCEDIMIENTO

- a) Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la Tabla A.8.1 Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (mi), aproximando a 1 g.
- b) Coloque la masa inicial de material en la máquina de Los Ángeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según Tabla A.8.1.
- c) Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
- d) Separe la carga abrasiva.
- e) Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).
- f) Tamice manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (Nº 12), según procedimiento de tamizado final descrito en el punto 14 del Método A.4.
- g) Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a 110 + 5 ° C (230 ±10° F) y deje enfriar a temperatura ambiente.
- h) Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (mf), aproximando a 1 g.

CÁLCULO. Calcule el desgaste de áridos como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{(mi - mf)}{mi} \cdot 100$$

Donde:

P : Pérdida de masa de la muestra (%).

mi: Masa inicial de la muestra (g)

mf: Masa final de la muestra (g).

INFORME. El Informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes: 19. Nombre del contrato y empresa contratista.

- o Identificación de la muestra (tipo de material, procedencia, lugar y fecha de muestreo).
- o Grado de ensaye elegido.
- o Resultado del ensaye.
- o Fecha del ensaye.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo analizado.
- o La referencia a este método.

TABLA A.8.1 GRADOS DE ENSAYO DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑO, EN MM

Tamaño de Partículas (mm)		1 (75-37,5) (3" - 1 1/2")	2 (50-2,36) (2" - N°8)	3 (37,5-19) (1 1/2" - 3/4")	4 (37,5-9,5) (1 1/2" - 3/8")	5 (19-9,5) (3/4" - 3/8")	6 (9,5-4,75) (3/8" - N°4)	7 (4,75-2,36) (N°4 - N°8)
(mm)	ASTM	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	3" - 2 1/2"	2.500 ± 50						
63 - 50	2 1/2" - 2"	2.500 ± 50						
50 - 37,5	2" - 1 1/2"	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25,0	1 1/2" - 1"		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25,0 - 19	1" - 3/4"			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5	3/4" - 1/2"				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5	1/2" - 3/8"				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3	3/8" - 1/4"						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75	1/4" - N°4						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36	N°4 - N°8							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (M)		10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas								
numero masa (g)		12		12		11	8	6
		5.000 ± 25		5.000 ± 25		4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones		1.000			500			

A.9 EQUIVALENTE DE ARENA

NORMA: ASTM D2419

OBJETIVO. Determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (N° 4).

EQUIPOS Y MATERIALES

- Probeta graduada. De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduado en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho
- Pisón
 - Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
 - Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
 - Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
 - Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificadas de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de 1 kg ± 5 g.
- Sifón
 - Una botella de aproximadamente 4 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
 - Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
 - Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo una pinza con tornillo).
 - Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1 mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de 0,5 ± 0,1 mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.
- Medida. Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

- o Tamiz. De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo con el Método A.3 Recipiente. Estanco y de capacidad igual o mayor que 4 l para preparar el reactivo y la solución de ensayo.
- o Agitador mecánico. Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.
- o Herramientas y accesorios. Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

Reactivos

- o Solución base
 - Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:
 - 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
 - 1.085 g de glicerina farmacéutica.
 - 25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).
 - Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.
- o Solución de ensaye. Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada. Se debe mantener la temperatura de la solución a $22 \pm 3^\circ\text{C}$ durante todo el ensayo.

CONDICIONES GENERALES. Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Muestreo. Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A.1 y A.2

Tamaño de la muestra de ensaye

- o La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 4,75mm.
- o La muestra para cada ensaye debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

Preparación de la muestra de ensaye

- a) Tamizado. Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.
- b) Reducción. Reduzca nuevamente por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.
- c) Secado. Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente.

PROCEDIMIENTO

- a) Coloque la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
- b) Sifonee la solución de ensaye en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.
- c) Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
- d) Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.
- e) Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- f) Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.
- g) Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
- h) Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:

- o Agitación manual. Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 s.
- o Agitación mecánica. Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1 s.
- i) Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- j) Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
- k) Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- l) Deje sedimentar por un periodo de $20 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$.
- m) Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla [N_t , J] aproximando al milímetro. Si después de 20 min no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe. Cuando el tiempo total exceda de 30 min, repita 3 veces el ensaye con muestras del mismo material. Registrar el [N_t , J]. Que requiera el período de sedimentación más breve.
- n) Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro. Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N , según corresponda.

CÁLCULO

- o Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA(\%) = (N_a / N_t) \cdot 100$$

Donde:

EA: Equivalente de arena (%).

N_a : Nivel superior de la arena (mm).

N_t : Nivel superior de la arcilla (mm).

- o Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

PRECISIÓN

- o Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.
- o Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 30

INFORME. El informe debe incluir lo siguiente:

- o Nombre del contrato y contratista.
- o Procedencia de la muestra.
- o Procedimiento de agitación.
- o Resultado del ensayo.
- o Fecha del ensayo.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al árido.
- o La referencia a este método.

A.10 DESINTEGRACIÓN MEDIANTE SULFATOS

NORMA: ASTM C 88 / AASHTO T 104

OBJETIVO. Determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanzas
 - Balanza para áridos finos de capacidad superior a 500 g y una precisión de 0,1 g.
 - Balanza para áridos gruesos de capacidad superior a 5.000 g y una precisión de 0,1 g.
- o Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.
- o Tamices. Emplee la misma serie de tamices especificados en el Método A.4.
- o Recipientes
 - Canastillos rígidos y químicamente inertes con las soluciones de ensaye. Las perforaciones deben permitir el libre acceso y drenaje de la solución sin pérdidas de material de la muestra. Se recomienda emplear canastillos fabricados con tela metálica de aberturas adecuadas a las fracciones de áridos en ensaye.
 - Recipientes para solución, rígidos, estancos y químicamente inertes con las soluciones de ensaye. Serán de forma y tamaño tales que permitan contener los canastillos completamente sumergidos en la solución. Deben tener un dispositivo para regular la temperatura de la solución durante la inmersión.
- o Reactivos
 - Para cada operación se debe disponer de un volumen de solución igual o mayor a 5 veces el volumen aparente de la muestra.
 - Solución de sulfato de sodio. Disuelva aproximadamente 350g de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o aproximadamente 750g de sulfato de sodio deshidratado ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) por litro de agua a una temperatura mayor a 25°C y menor a 0°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ C$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso. Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,151 y 1,174 a $20 \pm 3^\circ C$.
 - c) Solución de sulfato de magnesio. Disuelva 350 g de sulfato de magnesio anhidro ($MgSO_4$) o 1.400 g de sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) por litro de agua a una temperatura mayor que 25°C y menor que 30°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ C$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso. Al momento de empleo la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,295 y 1,308 a $20 \pm 3^\circ C$.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras. Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A.1 y A.2. Deben haberse ensayado previamente según Método A.4 a fin de determinar la granulometría.

Tamaño de la muestra de ensayo

- o Áridos fino
 - a) Pase previamente por el tamiz de 9,5mm ($\frac{3}{8}$ ") para hormigón y 4,75mm (Nº 4) para asfalto. Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.
 - b) Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 9,5mm ($\frac{3}{8}$ ") para hormigón y 4,75 mm (Nº 4) para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla A.10.1.
- o Áridos grueso
 - a) Pase previamente por el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36mm (Nº 8) para asfalto. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con 6.
 - b) Prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36 mm (Nº 8) para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla A.10.1

TABLA A.10.1. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO ÁRIDOS FINO

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción(g)
1	4,75-9,5	100
2	2,36-4,75	100
3	1,18-2,36	100
4	0,6-1,18	100
5	0,3 - 0,6	100

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para hormigón, Fracción 2, 3, 4 y 5 para asfalto

TABLA A.10.2. ÁRIDOS GRUESO

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (g)	Masa de fracción (g)
1	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
	37,5 - 50	2.000 ± 200	
2	25,0-37,5	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	19-25,0	500 ± 30	
3	12,5 -19	670 ± 10	1.000 ± 10
	9,5 - 12,5	330 ± 5	
4	4,75-9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36-4,75	100 ± 5	100 ± 5

Para tamaños mayores a 63 mm constituir fracciones de 7.000 ± 1.000 g por cada incremento del tamaño en 25 mm. La fracción 5 es sólo para asfalto.

- c) Tome los tamaños de muestra indicados en la Tabla A.10.1 considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según Método A.3, en la forma siguiente:
- Ensaye las fracciones indicadas siempre que el Ppr sea igual o mayor que 5%.
 - No ensaye las fracciones que tengan un Ppr menor que 5% .
 - Si una subfracción de áridos grueso tiene un Ppr menor que 3%, componga la fracción con la subfracción que exista, siempre que ella tenga un Ppr igual o mayor a 3%.

Acondicionamiento de la muestra de ensaye

- o Áridos fino
 - a) Lave la muestra de ensaye sobre un tamiz de 0,3mm (Nº50) o 0,15mm (Nº100), para hormigón o asfalto, respectivamente,
 - b) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
 - c) Tamice de modo de obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla A.10.1
 - d) Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 0,1 g.
 - e) Coloque cada fracción en su canastillo.
- o Áridos grueso
 - a) Lave la muestra de ensaye sobre un tamiz de 4,75mm (Nº4) o 2,36mm (Nº 8), según corresponda.
 - b) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
 - c) Tamice de modo de obtener las subfracciones de muestra especificada en la Tabla A.10.3
 - d) Pese los tamaños de muestra requeridos para cada subfracción.
 - e) Componga y pese las fracciones requeridas y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 1 g.
 - f) Cuente y registre el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor a 19mm ($^{3/4}$).

- g) Coloque cada fracción en su canastillo.

CICLOS DE INMERSIÓN Y SECADO

- a) Sumerja los canastillos con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ por un período de 17 ± 1 h, de modo que los áridos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.
- b) Retire los canastillos con las fracciones de muestra de la solución; deje escurrir durante 15 ± 5 min y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Deje enfriar a temperatura ambiente.
- c) Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.
- d) Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.
- e) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.
- f) Determine la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:
 - o Áridos fino
 - Tamice cada fracción de áridos fino en el tamiz en que fue retenida al iniciar el ensaye.
 - Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g.
 - o Áridos grueso
 - Tamice cada fracción de áridos grueso por el tamiz correspondiente.

TABLA A.10.3.SERIE DE TAMICES PARA EXAMEN CUANTITATIVO

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original (mm)	Tamices, tamaños nominales de abertura	
		ASTM	mm
1	37,5-68	1"	25,0
2	19-37,5	½"	12,5
3	9,5-19	¼"	6,3
4	4,75-9,5	Nº 8	2,36
5	2,36-4,75	Nº 10	2,0

La fracción 5 es sólo para asfalto.

- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 1g.
- Examine cualitativamente y cuantitativamente las partículas mayores que 19mm ($\frac{3}{4}$ ") como sigue:
 - Observe y registre el efecto de la acción del sulfato (desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.).
 - Cuente y registre el número final de partículas (nf).

CÁLCULO

- o Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %.

$$P_N(\%) = \frac{mi - mf}{mi} \cdot ppr$$

Donde:

P_N : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

mi: Masa inicial de la fracción (g).

mf : Masa final de la fracción (g).

ppr : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

Para las fracciones no ensayadas, considere que tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.

- Calcule la desintegración del árido fino o grueso, según corresponda, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + \dots P_n)$$

Donde:

P : Porcentaje de pérdida de masa de la muestra (%)

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%)

- Calcule el porcentaje de partículas mayores que 19mm (³/8) afectadas por la acción del sulfato, según la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$A(\%) = \frac{n_i - n_f}{n_i} \cdot 100$$

Donde:

A : Porcentaje de partículas mayores que 19 mm afectadas por la acción del sulfato (%).

n_i : Número inicial de partículas mayores que 19 mm.

n_f : Número final de partículas mayores que 19 mm.

INFORME. El informe debe incluir los siguientes datos:

- Nombre del contrato y contratista.
- Procedencia de la muestra.
- Sal con que se efectuó el ensayo.
- Resultado del ensayo.
- Fecha de ensayo.
- Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al áridos.
- La referencia a este método.

A.11 ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS

NORMA: ASTM D 3744 / AASHTO T 210

OBJETIVO. Determinar la durabilidad de áridos. El índice de durabilidad es un valor que muestra la resistencia relativa de un árido para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica que se describen.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Vaso mecánico de lavado, cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano.
- Recipiente colector, circular, de al menos 254 mm (10") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra. Tiene paredes verticales o casi verticales y está equipado con lo necesario para acoplar un tamiz, de tal forma que la malla del tamiz quede por lo menos a 76,2 mm (3") del fondo del recipiente. Puede usarse un adaptador, que evite la pérdida de finos y de agua de lavado, anidando el tamiz y el recipiente, o puede colocarse un tamiz en blanco (sin malla) bajo el otro tamiz, que repose directamente en el fondo del recipiente.
- Agitador portátil tipo Tyler de tamices, modificado y ajustado para operar a 285 ± 10 ciclos completos por minuto. Los dos períodos de agitación, especificados en los numerales del 32 al 52, se llevan a cabo con este agitador modificado.
- Todo el equipo utilizado en el Método Equivalente de Arena.

- o Tamices
- o Balanza, con capacidad mínima de 500 g y precisión de 1 g.

MATERIALES Y REACTIVOS

- o Soluciones, base y de trabajo, de cloruro de calcio, con los requisitos de el Método "Equivalente de Arena".
- o Agua destilada y/o agua desmineralizada, pues los resultados del ensayo pueden ser afectados por ciertos minerales disueltos en el agua. Sin embargo, si se demuestra que el agua usualmente disponible no afecta los resultados, se puede utilizar dicha agua, excepto en aquellas apartes del procedimiento en los que se ordene usar expresamente agua destilada o desmineralizada. Para ensayos con propósitos de referencia, en todos los pasos del ensayo se debe usar agua destilada o desmineralizada.

CONTROL DE TEMPERATURA. Este ensayo puede efectuarse normalmente sin control de temperatura; sin embargo, para propósitos de referencia, ensáyese de nuevo el material, con la temperatura del agua destilada o desmineralizada y de la solución de trabajo de cloruro de calcio a $22 \pm 3^\circ\text{C}$ ($72 \pm 5^\circ\text{F}$).

MUESTREO. Obténganse las muestras del árido a ser ensayado.

PREPARACION INICIAL DE LA MUESTRA

- a) Séquense suficientemente las muestras de árido, para permitir su completa separación de tamaños mediante el tamiz de 4,75 mm (No.4), y para desarrollar una condición de fluidez o libre movimiento de los áridos cuando pasan a través del tamiz. El secado puede efectuarse por cualquier método, siempre y cuando no se excedan los 60°C (140°F) y no se degraden las partículas. Los métodos de secado más usados son el secado al sol, al horno y el uso de corrientes de aire caliente.
- b) Si la muestra contiene una cantidad apreciable de arcilla, dñense vueltas al árido a medida que se seca, para obtener un secado uniforme y evitar la formación de terrones duros de arcilla.
- c) Rómpanse los terrones duros y remuévanse los finos que cubren los áridos gruesos, por cualquier método que no reduzca apreciablemente el tamaño natural de las partículas.
- d) Determinése la gradación de la muestra por tamizado, de acuerdo con el Método A.3, con los tamices de 19,0, 12,5, 9,5, 4,75, 2,36 y 1,18 mm ($3/4"$, $1/2"$, $3/8"$, No.4, No.8, No.16). Descátese cualquier material que sea retenido en el tamiz de 19,0 mm ($3/4"$).
- e) Determinénse los procedimientos de ensayo que se usarán para establecer el índice de durabilidad del árido, basándose en la gradación obtenida en el paso anterior:
 - o Si menos del 10% pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4), ensáyese solamente el árido grueso (procedimiento A).
 - o Si menos del 10% del árido es de tamaño mayor que el tamiz de 4,75 mm (No.4), ensáyase únicamente el árido fino (procedimiento B).
 - o Cuando ambas fracciones del árido, grueso y fino, están presentes en cantidades iguales o mayores al 10%, y el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (No.16) es mayor del 10%, úsense ambos procedimientos, A y B, a las fracciones correspondientes (procedimiento C).
 - o Si el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (No.16) es menor o igual al 10%, úsese el procedimiento A o el procedimiento C.
 - o Si la mayoría del árido (75 a 80%) se encuentra entre los tamices de 9,5 mm ($3/8"$) y 1,18 mm (No.16), úsese únicamente el procedimiento C.

PROCEDIMIENTO A - ÁRIDO GRUESO

Preparación de la muestra

- a) Prepárese una muestra preliminar de ensayo, de 2550 ± 25 g, secada al aire, usando la siguiente gradación:

Tamaño del árido	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,5 mm ($3/4"$ a $1/2"$)	1070 ± 10
12,5 a 9,5 mm ($1/2"$ a $3/8"$)	570 ± 10
9,5 a 4,75 mm ($3/8"$ a No.4)	910 ± 5
	2550 ± 25

Séquese esta muestra preliminar, hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$); déjese enfriar y pése. Regístrese el peso resultante W . Si no se requiere un ajuste al peso del espécimen o al volumen del agua de lavado y de ensayo, o a ambos, no es necesario secar la muestra al horno antes del lavado inicial.

- b) Depósitese la muestra preliminar de ensayo dentro de vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 ml de agua destilada o desmineralizada, ajústese la tapa del vaso y asegúrese el vaso en el agitador.
- c) Debido a la baja gravedad específica o a la alta tasa de absorción de ciertos áridos, las proporciones de áridos y agua pueden no permitir la abrasión deseada entre las partículas. El ensayo de estos materiales requerirá un ajuste al peso del espécimen de ensayo o al volumen del agua, tanto de lavado como de ensayo, o a ambos:
- Lávense todos los materiales que no se inundan completamente cuando se agregan 1000 ml de agua a la muestra de ensayo, y ensáyese con ajuste a los pesos del espécimen y a los volúmenes de agua.
 - Determinése el peso específico del árido secado al horno y su porcentaje de absorción, de acuerdo al Método A.6.
 - Ajústese el peso total de la muestra de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Peso ajustado de la muestra} = \frac{\text{Peso específico del agregado}}{2,65} \times W$$

- Ajústese el peso del material en cada tamaño proporcionalmente a los pesos especificados en g).
- Ajústese el volumen del agua de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Agua ajustada} = 1000 + (A \times W) - 50$$

Donde:

A = Absorción del árido, %
W = Peso de la muestra de ensayo secada al horno, g.

- d) Después de 60 ± 10 segundos de haber introducido el agua de lavado, agítese el vaso en el agitador de tamices, por un tiempo de 120 ± 5 segundos.
- e) Al terminar el período de 2 min de agitación, remuévase el vaso del agitador, destápese y cuélese su contenido por el tamiz de 4,75 mm (No.4). Lávense los finos remanentes en el vaso con la ayuda de una manguera, de forma tal que el agua de lavado pase por el tamiz y caiga en el mismo recipiente de los áridos que lo atravesaron, hasta que salga limpia el agua.
- f) Séquese la fracción retenida en el tamiz de 4,75 mm (No.4) hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y pése. Si la pérdida de peso debida al lavado efectuado según los numerales 21 a 24 es igual o menor a 75 g, una muestra para ensayos adicionales debe ser preparada y los procedimientos de los numerales 26 a 31 deben ser omitidos. Si la pérdida de peso excede los 75 g, la muestra preliminar de ensayo puede conservarse y ser usada, siempre y cuando una segunda muestra se lave mediante el mismo procedimiento y las dos muestras sean combinadas de acuerdo a los pesos especificados para proveer la muestra de ensayo deseada.
- g) Determinése la gradación a ser usada en la preparación de la muestra de ensayo preliminar como sigue: Si cada uno de los tamaños de árido listados en la siguiente tabla representa el 10% o más de la porción comprendida entre los tamices de 19,0 mm ($3/4"$) y 4,75 mm (No.4), como se determinó en los pesos registrados en el numeral 18, úsense los pesos del material (secado al horno) especificado enseguida, para preparar la muestra de ensayo preliminar.

Tamaño del árido	Peso seco al horno, g
19,0 a 12,5 mm ($3/4"$ a $1/2"$)	1050 ± 10
12,5 a 9,5 mm ($1/2"$ a $3/8"$)	550 ± 10
9,5 a 4,75 mm ($3/8"$ a No.4)	900 ± 5
	2500 ± 25

- h) Prepárense 2500 g de muestra de ensayo preliminar usando la gradación prescrita. Séquese esta muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).
- i) Lávese mecánicamente la muestra preliminar de la misma manera como se describió en b) y e).
- j) Repítanse las secciones h) y i), si es necesario, para obtener suficiente material que dé una muestra de ensayo lavada de 2500 ± 25 g, g).

- k) Después de permitir que se enfríe el material secado al horno, sepárese el árido grueso lavado, en los tamices de 12,5, 9,5 y 4,75 mm ($\frac{1}{2}$ ", 3/8", No.4). Descártese el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4).
- l) Prepárese la muestra de ensayo lavada usando los pesos especificados en g), a partir de porciones representativas de cada tamaño del material lavado. Ocasionalmente, puede ser necesario lavar una tercera muestra preliminar de ensayo para obtener el peso requerido en un tamaño específico de material.

Procedimiento para el árido grueso

- m) Colóquese el cilindro plástico (equivalente de arena) sobre una mesa de trabajo, la cual no debe estar expuesta a vibraciones durante el proceso de sedimentación del ensayo. Viértanse 7 ml (0.24 onzas) de la solución base del cloruro de calcio dentro del cilindro. Colóquense los tamices de 4,75 mm (No.4) y de 75 μ m (No.200) sobre el recipiente recolector del agua de lavado con el tamiz de 4,75 mm (No.4) arriba, el cual sirve sólo para proteger el tamiz de 75 μ m (No.200).
- n) Colóquese la muestra de ensayo lavada (como se preparó en el punto "Preparación de la muestra" del Procedimiento A) en el vaso mecánico de lavado. Añádase luego la cantidad de agua destilada o desmineralizada, determinada en el numeral c); ajústese la tapa y colóquese el vaso en el agitador. Comiencese la agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua de lavado. Agítese el vaso por 600 ± 15 segundos.
- o) Inmediatamente después de agitado, retírese el vaso del agitador y quítese la tapa. Agítese el contenido del vaso sostenido verticalmente, en forma vigorosa, con movimientos horizontales -circulares, cinco o seis veces, para poner los finos en suspensión e inmediatamente viértase este contenido en el recipiente colector de agua de lavado con los tamices mencionados en el numeral 32. Descártese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4). Recójase toda el agua de lavado y material que pasa el tamiz de 75 μ m (No.200) en el recipiente colector. Para asegurar que el material de tamaño inferior al del tamiz de 75 μ m (No.200) ciertamente pasa por dicho tamiz, deben seguirse los siguientes pasos:
 - o.1. A medida que se cuela el material por el tamiz de 75 μ m (No.200), debe golpearse repetidamente el lado del tamiz con la mano.
 - o.2. Si aún queda una concentración retenida en el tamiz, debe reciclarse el agua de lavado. Para ello debe primero dejarse reposar el agua del colector permitiendo que asienten las partículas mayores. Luego, el agua un poco más clara de la parte superior puede depositarse en otro recipiente y volverse a verter sobre los tamices, para caer de nuevo en el recipiente colector, lavando así las partículas remanentes. Debe repetirse este reciclaje hasta que todas las partículas que deben pasar por el tamiz de 75 μ m efectivamente pasen y se junten en el recipiente colector.
- p) Añádase agua destilada o desmineralizada, hasta dar el volumen de 1000 ± 5 ml de agua sucia. Transfírase el agua de lavado a otro recipiente adecuado para agitar y verter su contenido.
- q) Colóquese un embudo en el cilindro plástico graduado. Agítese manualmente el agua de lavado para poner los finos en suspensión. Estando aún en turbulencia, viértase el agua de lavado dentro del cilindro graduado, en cantidad tal, que llegue el nivel del agua a la marca de 380 mm (15").
- r) Remuévase el embudo, colóquese el tapón en el extremo del cilindro y prepárese para mezclar el contenido inmediatamente.
- s) Mézclese el contenido del cilindro mediante movimientos alternados de agitación hacia arriba y hacia abajo, o a la derecha y a la izquierda, haciendo que la burbuja atraviese completamente el cilindro 20 veces en 35 segundos aproximadamente.
- t) Al terminar el proceso de mezcla, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese reposar el contenido del cilindro por 1200 ± 15 segundos, cuidando de no perturbarlo. Exactamente al final de este tiempo léase y regístrese la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2,5 mm (0.1").

PROCEDIMIENTO B - ÁRIDO FINO

Preparación de la muestra de ensayo

- a) Cuartéese una porción representativa del material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No.4), suficiente para obtener un peso secado al horno de 500 ± 25 g.
- b) Séquese la muestra preliminar de ensayo hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Enfríese a la temperatura ambiente.
- c) Colóquese la muestra de ensayo en el vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 ml de agua destilada y desmineralizada, y tápese el vaso. Asegúrese el vaso en el agitador con suficiente tiempo para comenzar la agitación después de 600 ± 30 segundos de haber introducido el agua de lavado. Agítese el vaso por un período de 120 ± 5 segundos.
- d) Después de completar el período de agitación de 2 minutos, retírese el vaso del agitador, destápese y cuélese

cuidadosamente su contenido a través del tamiz de 75 μm (No.200), protegido con el tamiz de 4,75 mm (No.4), como se describió en el numeral 32. Enjuáguese el vaso y el tamiz con ayuda de una manguera, de manera que el agua de lavado caiga en el mismo recipiente de los áridos que pasaron el tamiz de 75 μm (No.200), hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.

- e) Puede ser necesario fluidificar aquellas muestras que sean arcillosas o limosas, antes de verterlas sobre el tamiz, para prevenir el taponamiento del tamiz de 75 μm (No.200). Se fluidifica añadiendo agua al vaso después del período de agitación. Fluidificación repetida puede ser necesaria en casos extremos, antes de que el contenido del vaso sea vertido en el tamiz.
- f) Después del lavado, transfírase el material retenido en el tamiz, a un recipiente de secado y séquese hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Es necesario lavar el material retenido en el tamiz de 75 μm (No.200) para transferirlo al recipiente de secado. Déjese el recipiente en una posición inclinada, hasta que el agua libre que drena por el lado más bajo sea clara. Luego desalójese esta agua clara. Usense recipientes grandes y pandos para extender la muestra y aumentar la velocidad de secado.
- g) Después de permitir que el material secado al horno se enfríe, tamícese la muestra de ensayo, por 20 minutos, usando los siguientes tamices: 2,36 y 1,18 mm, 600, 300, 150 y 75 μm (Nos.8, 16, 30, 50, 100 y 200).
- h) Después de averiguar la granulometría de la muestra de ensayo lavada, recombinése todo el material retenido en los diferentes tamaños, con el material que pasa el tamiz de 75 μm (No.200) que fue colectado en el recipiente colector.
- i) Cuartéese una cantidad suficiente del material lavado y tamizado, para llenar la lata de medida de 85 ml (3 oz) hasta el borde. Mientras que se llena la lata, golpéese su fondo sobre otra superficie dura para causar la consolidación del material y permitir que quepa la mayor cantidad de material en la lata. Téngase especial cuidado en este procedimiento para lograr una muestra verdaderamente representativa.

Procedimiento para el árido fino. Hágase un ensayo de equivalente de arena, con la excepción de que se debe usar un agitador mecánico para agitar continuamente el cilindro y su contenido por un tiempo de 600 ± 15 segundos.

PROCEDIMIENTO C - ÁRIDOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS FINOS

Preparación de la muestra

- a) El procedimiento C ha sido desarrollado para ensayar áridos que están contenidos principalmente entre los tamices de 9,5 mm y 1,18 mm ($3/8"$ y N° 16). Estos áridos son muy finos para ser ensayados como áridos gruesos y muy gruesos para ser ensayados como arena.
- b) Prepárese la muestra de ensayo de la misma forma que la especificada en el punto "Preparación de la muestra de ensayo" del Procedimiento B, exceptuando que se elimina el procedimiento de tamizado y de recombinación del material seco como se requería en los numerales 46 y 47.

Procedimiento

- a) Llénese el cilindro plástico hasta el nivel de $102 \pm 2,5$ mm ($4 \pm 0.1"$) con agua destilada o desmineralizada. Viértase el espécimen de ensayo preparado dentro del cilindro mediante un embudo para evitar derramamiento. Golpéese súbitamente el fondo del cilindro con la palma de la mano, para liberar cualquier burbuja y ayudar al humedecimiento total del espécimen. Permítase reposar el cilindro por 10 ± 1 minutos.
- b) Tápese el cilindro, aflójese el material del fondo, y colóquese el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena. Enciéndase el cronómetro y permítase que la máquina agite el cilindro y su contenido por 30 ± 1 minutos.
- c) Al final del período de agitación, remuévase el cilindro del agitador y transfírase el agua y el material que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) a un segundo cilindro que contiene 7 ml (0.24 oz) de solución base de cloruro de calcio. Para ello, deben anidarse los tamices de 2,36 mm y de 75 μm (N° 8 y N° 200) con un embudo que descarga al segundo cilindro, debe golpearse el fondo del primer cilindro (aún tapado) y agitarse para aflojar su contenido, luego invertirlo sobre el embudo con los tamices, quitar el tapón y dejar que se cuele el contenido a través de los tamices y que descargue el material que pase, en el segundo cilindro. Luego añádase suficiente agua fresca destilada, hasta que el nivel del líquido en el segundo cilindro sea de 380 mm (15"). Tápese el segundo cilindro y mézclese su contenido invirtiéndolo 20 veces en 35 segundos.
- d) Permítase que el cilindro repose sin disturbios, por 1200 ± 15 segundos (20 minutos) desde el momento de haber completado la operación de mezcla, luego léase la marca de la suspensión arcillosa con precisión de 2,5 mm (0.1").

CALCULOS

Procedimiento A - agregado grueso. Calcúlese el índice de durabilidad del árido grueso, aproximándolo al entero más cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Donde:

D_c = Índice de durabilidad

H = Altura de sedimentación, en pulgadas, y la cantidad $(0,29 + 0,15 H)$ en radianes.

Procedimiento B - árido fino

- o Calcúlese el índice de durabilidad del árido fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{\text{lectura de la arena}}{\text{lectura de la arcilla}} \times 100$$

- o Si se desea calcular el índice como el promedio de varios índices, cada índice se calcula al entero superior y el promedio de ellos también se aproxima al entero superior.

Procedimiento C - áridos muy finos para ser ensayados como áridos gruesos y muy gruesos para ser ensayados como áridos finos. Calcúlese el índice de durabilidad de acuerdo con el punto "Procedimiento A - árido grueso" de Cálculos.

PRECAUCIONES

- o Hágase el ensayo en un lugar libre de vibraciones, ya que las vibraciones pueden ocasionar que el material suspendido se asiente a una mayor velocidad que la normal.
- o No deben exponerse los cilindros plásticos al sol por un tiempo mayor al necesario.
- o Revísese frecuentemente el juego entre la excéntrica y la cama del agitador Tyler. Si existe tal juego, debe reemplazarse una de ellas o ambas.
- o Lubríquese el agitador al menos una vez cada tres meses.

INFORME

- o Infórmese la gradación del material a ensayar tal como fue recibido, la gradación de la muestra de árido grueso usada y la de árido fino usada. Infórmese el índice de durabilidad calculado (D_c o D_f) con la indicación del procedimiento usado (A, B o C).
- o Infórmese si hubo control de temperatura y si se usó agua común, destilada o desmineralizada.

PRECISIÓN

- o Resultados de dos (2) ensayos efectuados por el mismo operador, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 10,1.
- o Resultados de dos (2) ensayos efectuados en laboratorios diferentes, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 14,4.

A.12 REACTIVIDAD ÁRIDO / ÁLCALI (MÉTODO QUÍMICO)

NORMA: ASTM C 289

OBJETIVO. Determinar la posible reactividad de los áridos con los álcalis del cemento, y se basa en la reacción del árido con una solución valorada de hidróxido sódico. Es de aplicación a los áridos empleados en la fabricación de hormigón.

EQUIPOS Y MATERIALES**Aparatos**

- o Balanza. Se dispondrá de una que permita pesar una carga de 2.000 gramos con precisión de +2 gramos y otra analítica de precisión cuya sensibilidad sea de + 0,0005 gramos.

- o Equipo de trituración y molienda. Se utiliza cualquier equipo que permita preparar unos 4 kg de muestra, de acuerdo con lo que se indica en el "Procedimiento".
- o Tamices 300 Lim (No.50) y 150xm (No.100)
- o Estufa de desecación, capaz de mantener una temperatura de $80 \pm 1^\circ\text{C}$ ($192 \pm 2^\circ\text{F}$).
- o Recipientes de reacción, fabricados con acero inoxidable o con cualquier otro material que resista la corrosión.

El resto de los aparatos serán los de uso corriente en los laboratorios químicos.

Reactivos

- o Disolución patrón de hidróxido sódico 1 + 0,010N, que se valora utilizando una disolución patrón de ftalato ácido de potasio. En la preparación de la disolución se emplea agua destilada hervida con el fin de eliminar el anhídrido carbónico.
- o Disolución patrón de ácido clorhídrico 0,05N. Se prepara una disolución de ácido clorhídrico aproximadamente 0,05N que se valorará en el momento de su utilización hasta + 0,0001N utilizando NaOH 0,05 N.
- o Disolución alcohólica de fenoltaleína. Se prepara disolviendo 1 gramo de fenoltaleína en 100 cm³ de etanol 1:1.
- o Disolución de anaranjado de metilo. Se prepara disolviendo 0,1 gramo de anaranjado de metilo en 100 cm³ de agua, que se filtrará si es necesario.

PROCEDIMIENTO

- a) **Preparación de la muestra.** Se pulveriza para que pase por el tamiz 300 Lim (Nº 50) y quede retenida en el 150 Lim (Nº 100), tomando las precauciones necesarias en el proceso de pulverización para que se reduzca al mínimo la fracción de finos que pasen a través del tamiz 150 Lim (Nº 100).

Es recomendable el siguiente método de trituración: utilizando una trituradora de mandíbula de tritura el árido grueso hasta un tamaño máximo de 0,62 cm. Se tamiza el árido grueso, así preparado., o la arena, en caso de tratarse de árido fino, sobre el tamiz 300xm (Nº 50), recogiendo la fracción que retiene el tamiz 150 Lim (Nº 100). Se pulveriza en un molino de discos y en varias pasadas sucesivas, el material retenido por el tamiz de 300 Lim (Nº 50), recogiendo la fracción que queda en el tamiz de 150 Lim (Nº 100).

Con objeto de asegurarse de que ha eliminado el material fino que pasa por el tamiz de 150 Lim (No.100), se lava la muestra sobre dicho tamiz. No debe realizarse este lavado empleando, de una vez, una cantidad de material superior a 100 gramos. Se deseca la muestra lavada en estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10^\circ\text{F}$) durante unas veinte horas, y una vez enfriada a temperatura ambiente, el material se vuelve a tamizar por el tamiz de 150 Lim (Nº 100), reservando para el ensayo la parte retenida en dicho tamiz.

- b) **Ejecución del ensayo.** Se pesan, separadamente, tres porciones de 25 ± 0.05 gramos de la fracción seca que se va a ensayar y se coloca cada una de estas porciones en un recipiente de reacción. Se añaden 25 cm³ de disolución de NaOH, 1.000 N y, en un recipiente aparte, se ponen 25 cm³ de la misma disolución de NaOH, para realizar un ensayo en blanco. Se cierran, perfectamente, los recipientes de reacción y se agitan con suavidad para desprender las burbujas de aire que pueden haber quedado Incluidas entre la arena.

Seguidamente se colocan los recipientes en la estufa a temperatura de $80 \pm 1^\circ\text{C}$ (86°F), Pasadas veinticuatro horas se sacan los recipientes de la estufa y se enfrían, por debajo de 30°C ($172 \pm 2^\circ\text{F}$), con agua corriente durante 15+2 minutos.

Después de enfriados los recipientes de reacción, se abren y se filtra el líquido que contienen, para lo cual se utiliza un crisol de placa filtrante colocando sobre la placa un disco de papel de filtro. La operación de filtrado se realiza a vacío, colocando dentro del kitasato un tubo de ensayo seco de 35 a 50 cm³ para recoger el líquido. Conectado el vacío se vierte sobre el papel de filtro una pequeña cantidad de líquido de la disolución decantada, con el fin de conseguir una mejor adaptación del papel al crisol. Sin quitar el contenido del recipiente, se vierte en el crisol el resto del líquido separado por decantación. Cuando la decantación del líquido es completa, se interrumpe la acción del vacío y se pasa al crisol la arena del recipiente. Se vuelve a aplicar el vacío, regulándolo de manera que la velocidad de filtración sea de una gota cada diez segundos. Se anota el tiempo de aplicación de vacío, para procurar que no varíe de una a otra muestra.

El líquido del ensayo en blanco se filtra de manera análoga a la indicada antes, ajustando el vacío de tal forma que dure el proceso un tiempo igual a la medida de los tiempos de filtración de las tres muestras consideradas.

Se toman con una bureta 10 ml de filtrado perfectamente homogeneizado, y se pasan a un matraz aforado de 200 ml, llenando luego el matraz hasta enrase, con agua destilada.

- c) **Determinación gravimétrica de sílice soluble.** Se toman 10 ml de la solución diluida y se ponen en una cápsula, a ser posible de platino, con objeto de que sea más rápida la evaporación. Se añaden de 5 a 10 ml de HCl concentrado y se evapora a sequedad en baño de vapor. Al residuo se le añaden, nuevamente, de 5 a 10 ml de HCl y una cantidad igual de agua. Se pone a digestión sobre el baño de vapor durante diez minutos, cubriendo la cápsula con un vidrio de reloj.

Se diluye la disolución con 20 ml de agua destilada caliente; se filtra en caliente y se lava varias veces el anhídrido silícico formado con ácido clorhídrico diluido (1:99) y, por último, con agua hirviendo, hasta que las aguas de lavado no se enturbien cuando se añaden unas gotas de solución de nitrato de plata. El filtrado y las aguas de lavado se evaporan de nuevo hasta sequedad y, conseguido ello, se mete la cápsula en una estufa, manteniéndola una hora a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10^\circ\text{F}$). Se saca y trata el residuo con 15 ml de ácido clorhídrico 1:1, se cubre con un vidrio de reloj y se mantiene en digestión durante diez minutos. Se diluye con 15 ml de agua destilada caliente, se filtra sobre otro filtro y se lava como la porción mayor de sílice separada anteriormente.

Se pasan a un crisol de platino los dos filtros que contienen la sílice; se secan y queman los papeles a baja temperatura hasta su total incineración y, luego se calcinan a 1110°C - 1200°C (2000°F - 2200°F) hasta peso constante.

Se humedece el residuo en el crisol de platino, con unas gotas de agua y se añaden 10 ml de ácido fluorhídrico y una gota de ácido sulfúrico concentrado. Se evapora hasta sequedad en una vitrina con buen tiro. Se calcina el residuo durante cinco minutos en una mufla a temperatura comprendida entre 1110 y 1200°C (2000°F — 2200°F), se enfría y se pesa. La diferencia entre las dos últimas pesadas da el peso de la sílice soluble.

Para el ensayo en blanco se emplea la misma cantidad de disolución diluida y de reactivos, realizándose las mismas operaciones en condiciones idénticas a las expuestas en el ensayo de la muestra.

- d) **Determinación de la reducción en la alcalinidad.** Con una pipeta se toman 20 ml de la disolución diluida y se ponen en un matraz Erlenmeyer de unos 125 ml de capacidad. Se añaden dos o tres gotas de feolfaleína y se valora con HCl 0,05N hasta la desaparición total del color rosa de la feolfaleína. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico consumido en la valoración. Se añaden, a continuación, de dos a tres gotas de anaranjado de metilo y se continúa la valoración con el mismo ácido, hasta el viraje del indicador. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico utilizado desde el principio de la valoración.

OBTENCIÓN Y PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS

- o Silice soluble. La concentración de SiO_2 en la disolución de NaOH se expresa en millones por litro, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SiO}_2 = (W_1 - W_2) \times 3330$$

Donde:

W_1 son los gramos de SiO_2 hallados en 100 cm^3 de solución diluida;

W_2 son los gramos de SiO_2 encontrados en el ensayo en blanco

- o reducción de la alcalinidad. Se calculará ésta en milimoles por litro, mediante las siguientes expresiones:

$$V_2 \cdot V_3 = 2P - T$$

$$R_c = \frac{20N}{V_1} (V_3 - V_2) 1.000$$

Donde:

V_1 son los ml de la disolución diluida utilizados en el ensayo

V_2 son los ml de HCl utilizados para neutralizar el ión hidróxido en la muestra de ensayo

V_3 son los ml de HCl utilizados para neutralizar el ión hidróxido en el ensayo en blanco

P son los ml de HCl necesarios para lograr el viraje de feolfaleína

T es la cantidad total de HCl utilizada desde el principio de la valoración y necesaria para lograr el viraje de anaranjado de metilo.

N es la normalidad del HCl utilizado en la valoración.

CAPÍTULO 24 — AGLOMERANTES

YESO

23.1 PROPIEDADES

Sensoriales

- **Color:** Blanco, incoloro o ligeramente teñido.
- **Brillo** Opaco, vítreo, sedoso, plateado o apagado.

Físico.químicas

- **Densidad:** El valor medio del yeso en saco variara entre 1.05 a 1.2 gr/c.c. y del yeso colocado depende del agua de amasado como se muestra en la tabla 1.

Tabla 24.1.1. Densidad del yeso en función del agua de amasado. [1]

Agua de amasado/yeso	Densidad (gr/c.c.)
0.6	1.15
0.7	1.08
0.8	1.00
0.9	0.95
1.0	0.88
1.2	0.75

- **Sistema Cristalino** Monoclínico.
- **Estructura:** Cristales laminares, son frecuentes las maclas en formas diversas: puntas de flecha, cola de golondrina, puntas de lanza.
- **Aislamiento Térmico:** La utilización de yeso en los revestimientos interiores de las edificaciones puede aumentar en un 35% la capacidad de aislamiento térmico frente a construcciones no revestidas. El coeficiente de conductividad térmica de un revestimiento de yeso es de 0,180 W/M °C, y su coeficiente de penetración térmica es de 2,25 Kcal/H ½ M2.°C (el de la madera está entre 8,20 y 12,09); los revestimientos de yeso facilitan una regulación higrométrica del ambiente, absorbiendo el exceso de vapor de agua del habitáculo.

Tabla 24.1.2. Densidad y Coeficiente de conductividad. [1]

Tipo de yeso	Densidad (Kg/m³)	Coeficiente de conductividad Térmica (W/M °C)
Enlucido de yeso	800	0,300
Enlucido de yeso y perlita	570	0.180
Enlucido de yeso y vermiculita	600	0,163

Tabla 24.1.3. Coeficiente de penetración térmica. [1]

Material	Coeficiente de penetración térmica (Kcal/H1/2.m2.°C)
Yeso (200 kg/m³)	2.25
Yeso (1000 kg/m³)	9.82

- **Protección contra el fuego:** El yeso es un material incombustible, por tanto no hay que contabilizarlo al estudiar la carga de fuego de los edificios. Además tiene una baja conductividad térmica, lo que evita la propagación del calor producido en los incendios y contiene agua libre y agua química (de composición) que absorbe energía calorífica para evaporarla. El tiempo de protección de los materiales se expresa en minutos y se considera como el grado de resistencia al fuego (RF). A título indicativo, un ladrillo hueco de 11-12 cm sin revestir tiene un RF de 180, y revestido por 1,5 cm. de yeso por las dos caras alcanza un RF de 240.
- **Permeabilidad:** Quizá el problema más difícil de resolver, sobretodo para su uso al exterior, es el de su impermeabilización. La solubilidad se ve acentuada por el grado porosidad, y el yeso posee un grado alto. Por esto, el

agua puede penetrar cómodamente a través de la red capilar, acelerando la disolución, y consecuentemente la pérdida del material. En paredes interiores el resultado ha sido más duradero.

- o **Adherencia:** Disminuye en contacto con el agua, siendo buena en medio seco, tanto con materiales pétreos como metálicos.
- o **Regulación Higrométrica:** Por sus excelentes cualidades higrométricas el yeso es el más eficaz y natural regulador de la humedad ambiental en los interiores de las edificaciones. Absorbe la humedad excesiva y la libera cuando hay sequedad.
- o **Durabilidad:** Las acciones a las que están sometidas los revestimientos interiores de yeso, son especialmente mecánicas debidas a impactos. Los revestimientos de yeso tienen una dureza superficial de 65 Shore C para los yesos de proyección y de 80 Shore C para los yesos de alta dureza.
- o **Reflexión luminosa:** Esta propiedad depende fundamentalmente de la capa de terminación de las paredes: el yeso, únicamente cuando se deja visto, tiene una influencia en ella.
- o **Aislamiento acústico:** Debido a su elasticidad y estructura finamente porosa, el yeso ofrece una excelente capacidad de insonorización. Disminuye ecos y reverberaciones, mejorando las condiciones acústicas de las edificaciones.

Coefficiente de absorción acústica = 0.020

- o **Aislamiento eléctrico:** Es muy buen aislante eléctrico.

- o **Peso molecular:** 172,17 gm.

- o **Composición:**

Calcio	23.28 %	Ca	32.57 %	CaO
Hidrógeno	2.34 %	H	20.93 %	H ₂ O
Azufre	18.62 %	S	46.50 %	SO ₃
Oxígeno	55.76 %	O		
<hr/>				
100.00 %		100.00 %	= Total	

- o **Reactividad:** Sal poco soluble en agua. Soluble en ácido.
- o **Corrosión.** Al igual que sucede con la adherencia, en presencia de agua este material reacciona perjudicando.
- o **Solubilidad.** El yeso es poco soluble en agua dulce (10 gramos por litro a temperatura ambiente). Sin embargo, en presencia de sales su grado de solubilidad se incrementa notablemente. Desgraciadamente, la salinidad siempre aparece al contacto con el exterior. Por eso es recomendable el uso del yeso preferiblemente al interior, a menos que se pueda impermeabilizar mediante algún procedimiento.
- o **Finura del molido.** Como hemos comentado anteriormente, el yeso, una vez deshidratado debe ser molido para su utilización. La finura de molido influye en gran parte en las propiedades que adquiere el yeso al volverlo a hidratar. La posibilidad de uso del yeso para la construcción reside en que al amasarlo con agua, reacciona formando una pasta que endurece constituyendo un conjunto monolítico. Se comprende fácilmente que, cuanto mayor sea el grado de finura del yeso, más completa será la reacción y, consecuentemente, la calidad del producto obtenido. La velocidad de fraguado es proporcional al grado de disolución, con lo que podemos afirmar que el yeso *morirá antes (fraguado rápido)*. Este último factor limitará el tiempo del trabajador. Si el yeso *muere pronto* es apropiado para enlucidos, o bien para acabados rápidos.
- o **Velocidad de fraguado.** El yeso se caracteriza por fraguar con rapidez, por lo que es recomendable para su uso hidratarlo en pequeñas cantidades. Esta propiedad depende de tres factores:
 - El propio yeso (grado de finura, pureza, punto de cocido).
 - Las condiciones de hidratación (la temperatura del agua, la concentración del yeso en el agua, el modo de amasar la pasta al hidratarlo).
 - Agentes externos como la humedad o la temperatura.
 - A su vez, la rapidez de fraguado del material, nos indica el grado de resistencia con que concluirá una vez consolidado.

Mecánicas

- o **Resistencia mecánica.** Un yeso de alto grado en finura, velocidad de fraguado, concentración de yeso y temperatura del agua y de atmósfera, será también de alta resistencia mecánica.

Tabla 24.1.4. Resistencias mecánicas de acuerdo al porcentaje de agua de amasado. [1]

Clase de yeso	Agua de amasado Por 100	Resistencia en kg/cm ² a los 28 días	
		Tracción	Compresión
Fino y vaciado	75	18	50
Grueso	60	12	55
Hidráulico	60	16	60
Alúmbrico	35	40	150

- **Dureza:** 2. Se puede rayar con la uña, dando una raya blanca.

Tecnológicas

- **El grado de cocido:** también afectará a todas estas propiedades. Es necesario encontrar el punto justo de cocido, siendo perjudicial que esté tanto sobrecocido como falto. También es conveniente no emplear el yeso recién cocido, se acentuaría la rapidez de fraguado, impidiendo trabajar con comodidad.
- **Manipulación:** La facilidad de manipulación del yeso en obra es debida a que es un material moldeable, lo que hace que se adapte a diferentes paramentos, formando los guarnecidos y enlucidos.

Ecológicas

- **Toxicidad:** El yeso se obtiene a partir de mineral de sulfato de calcio dihidratado que se encuentra abundantemente en la naturaleza. Es no tóxico.
- **Biodegradabilidad:** Sus residuos son biodegradables.

CEMENTO

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

C.1 MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 183 / AASHTO T 127
C.2 FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE.....	ASTM C 204 / AASHTO T 153
C.3 FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL TURBIDIMETRO.....	ASTM C 115 / AASHTO T 98
C.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO (LE CHATELIER).....	ASTM C 188 / AASHTO T 133
C.5 EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE.....	ASTM C 151 AASHTO T 107
C.6 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (APARATO DE VICAT).....	ASTM C 191/ AASHTO T 131
C.7 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (AGUJAS DE GILLMORE).....	ASTM C 266 / AASHTO T 154
C.8 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 188 / AASHTO T 133
C.9 FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA.....	ASTM C 451 / AASHTO T 186
C.10 CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 186
C.11 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.....	ASTM C 187 / AASHTO T 129

23.2 PROPIEDADES

Físico-químicas

- **Fraguado:** Se mide mediante la aguja de Vicat.

Tabla 24.2.1. Fraguado. [1]

Resistencia del cemento.	Principio del fraguado (Mins.)	Final del fraguado (Hrs.)
Muy alta.	> 45	< 12
Alta, media, baja.	> 60	< 12

- **Expansión:** El método de ensayo que se utiliza es el de las agujas de Le Chatelier.
- **Finura de molido:** Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm. , esta característica está íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento. Se mide mediante el ensayo de La Superficie Específica Blaine.

Mecánicas. Se realizan dos ensayos, uno de flexión y uno de compresión. Primero se realiza el de flexión, así, la probeta se parte en dos mitades que se someterán a un ensayo de compresión. Este sistema permite realizar dos ensayos de compresión sobre la misma muestra y hallar la media de los dos. El tratamiento de los resultados está automatizado de manera que cada probeta está marcada con un código de barras y los resultados quedan registrados en un ordenador.

Tabla 24.2.2. Resistencia a la compresión. [1]

RESISTENCIAS DE LAS DISTINTAS CLASES DE CEMENTO							
Tipo	Resistencia	Clase	Resistencia a la compresión				
			Mínima (2 Días)	Mínima (7 Días)	Mínima (28 Días)	Máxima (28 Días)	Mínima (90 Días)
I a IV	Muy alta	55 A	30		55		
		55	25				
	Alta	45 A	20		45	65	
		45		30			
	Media	35	13,5		35	55	
		35		20			
V	Baja	25		15	25		
	Media	35					35
VI	Baja	25					25
	Muy alta	55	45		55		

Ecológicas

- **Toxicidad:** El cemento Portland, que es el mas utilizado por ser el más barato, es el más radioactivo y contaminante del mercado. Este cemento está compuesto por cenizas volátiles y escorias siderúrgicas que afectan en diversos sentidos a la sostenibilidad y a la salud.

Al elevar el potencial eléctrico y radioactivo (pues es horneado a más de 1450°C) favorece la conducción del gas radón (gas radioactivo) que asciende desde el subsuelo (sobre todo donde hay rocas y mantos graníticos) y se acumula en los espacios inferiores de las viviendas.

Los **impactos ambientales negativos** de las operaciones de cemento ocurren en las siguientes áreas del proceso: manejo y almacenamiento de los materiales (partículas), molienda (partículas), y emisiones durante el enfriamiento del horno y la escoria (partículas o "polvo del horno", gases de combustión que contienen monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos, aldehídos, cetonas, y óxidos de azufre y nitrógeno). Los contaminantes hídricos se encuentran en los derrames del material de alimentación del horno (alto pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, principalmente potasio y sulfato), y el agua de enfriamiento del proceso (calor residual). El escurrimiento y el líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales y de eliminación de los desechos puede ser una fuente de contaminantes para las aguas superficiales y freáticas.

El polvo, especialmente la **silíce** libre, constituye un riesgo importante para la salud de los empleados de la planta cuya exposición provoca la silicosis. Algunos de los impactos mencionados pueden ser evitados completamente, o atenuados más exitosamente, si se escoge el sitio de la planta con cuidado.

23.3 ENSAYOS

C.1 MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO

NOTMA: ASTM C 183 / AASHTO T 127

OBJETIVO. Determinar procedimientos para la extracción, preparación y escogencia de muestras de cementos hidráulicos para ser ensayadas con miras a la verificación de su calidad.

TOMA DE MUESTRAS

- Del transportador que alimenta los silos de material a granel. Se extraerá una muestra de ensayo, simple o continua, de por lo menos 5 kg por cada 175 toneladas llevadas por el transportador, o por cada 6 horas de producción

(funcionamiento del transportador), en el caso de que en ese período sea transportada una cantidad menor que la mencionada.

La extracción de muestras se hará ya sea por el método individual o por el compuesto. Cuando se obtenga una muestra compuesta, se formará ésta mezclando pesos iguales de cemento, extraídos a intervalos regulares; cada una de las porciones deberá representar no más de 35 toneladas.

- o En operaciones de transferencia. Pueden tomarse muestras de cemento almacenado cuando éste está siendo transferido en forma continua de un depósito a otro. En este caso, tómese una muestra individual por cada 400 toneladas de cemento o menos, pero no deberán tomarse menos de dos muestras.
- o De los silos de material a granel, en sus puntos de descarga. Extráiganse las muestras del orificio de descarga cuando el cemento se encuentre en un estado de flujo continuo.

Si el silo de donde fluye el cemento es alto y circular, tómense las muestras de un solo orificio. En caso de tratarse de depósitos rectangulares de baja altura que contengan una cantidad de cemento superior a las 1200 ton, el número de orificios de donde se tomarán las muestras será tal, que para ningún orificio el número de muestras tomadas a través suyo, representará más de la mitad del contenido del depósito, ni más de 2000 toneladas.

Durante la operación de descarga continua de un silo, la extracción se efectuará mientras fluye el cemento por las bocas de descarga, a intervalos tales que se logre una muestra de 2,5 kg por cada 85 toneladas contenidas en el silo.

- o De los silos o de los depósitos de transporte de material a granel por intermedio del sacamuestras ranurado o por tubo sacamuestras. Si la altura del cemento contenido en el depósito no sobrepasa los 2,1 m (7') las muestras se podrán extraer por medio del sacamuestras ranurado. Esta herramienta tendrá una longitud comprendida entre 1,50 y 1,85 m (5' y 6'), un diámetro exterior de 35 mm (1 3/8") y estará formado por dos tubos telescópicos de bronce pulido con ranuras de registro que se abren o cierran girando el tubo interior con respecto al exterior; este último terminará en una punta afilada para facilitar su penetración. Para profundidades mayores de 2.1 m (7') y donde sea aplicable, se utilizará un tubo sacamuestras activado por un chorro de aire que permita sacar muestras de cemento a distintas profundidades.

Con el fin de que las muestras sean representativas del cemento en consideración, éstas se obtendrán ya sea por medio del sacamuestras ranurado o por medio del tubo sacamuestras, eligiendo de antemano puntos bien distribuidos tanto en la superficie como en la altura.

- o De cemento empacado, por intermedio del tubo sacamuestras. El tubo sacamuestras se insertará diagonalmente por la válvula del saco, teniendo la precaución de taponar el agujero de respiración del tubo al realizar esta operación y luego se girará el sacamuestras. Por cada 5 toneladas o fracción se extraerá una muestra de un saco. Las muestras parciales así obtenidas, se mezclarán para formar una muestra de ensayo.
- o De volquetas o camiones de transporte de material a granel
 - Un solo cargamento. Si se trata tan sólo de una volqueta o camión, tómese una sola muestra de 5 kg (10 lb) cuando el material haya sido cargado en forma continua y provenga de la misma fuente. Si por el contrario el proceso de cargue del material es desconocido o irregular, tómense cinco porciones de muestra de puntos uniformemente distribuidos en la carga, y combínense para formar la muestra de ensayo.
 - Varios cargamentos. Cuando el muestreo deba hacerse de varias volquetas o camiones cargados de la misma fuente y en el mismo día, podrá tomarse una muestra por cada 100 toneladas de cemento o fracción, pero no deberán tomarse menos de dos muestras. El cemento representado por una de tales muestras podrá ser considerado como un lote, para propósitos de ensayo. En los casos en que el cemento haya sido cargado de forma no uniforme, se tomarán muestras de cada camión que se mezclarán para formar muestras de ensayo que en ningún caso representen más de 85 toneladas. Cuando la extracción de muestras se haga en lugares diferentes del de fabricación, éstas se tomarán de cada 2,5 ton o fracción y se mezclarán para formar muestras de ensayo.
- o Protección de las muestras. Inmediatamente después de su extracción, las muestras se depositarán en recipientes herméticos de los cuales se pueda eliminar el exceso de aire, con el fin de evitar absorción de humedad y aireación. Si se depositan en envases de hojalata, debe asegurarse el llenado total de envase y su sellado inmediato. Si se emplean bolsas impermeables de varios pliegues o bolsas de plástico, deben ser suficientemente fuertes para evitar roturas, deben poder sellarse inmediatamente después de llenarlas, de manera tal que se elimine el exceso de aire en la muestra y que se evite la absorción de humedad y aireación de la misma. Tanto las muestras simples como las compuestas, se prepararán tal como se describe en el siguiente paso.

De todas las muestras tomadas de acuerdo con las especificaciones establecidas en este método, se guardará un testigo por un término de 60 días, para efectos de resolver eventuales discrepancias entre los interesados.

- o Preparación De La Muestra. Con el fin de mezclar la muestra y de extraer todos los materiales extraños antes del ensayo, se pasará el cemento a través del tamiz de 850 µm (No.20). Se descartarán las materias extrañas y los grumos endurecidos que no se deshagan mientras se tamiza la muestra o se cepilla el tamiz. El cemento así resultante se guardará en recipientes estancos e impermeables, para evitar aireación y absorción de humedad antes del ensayo.

Las muestras compuestas se prepararán disponiéndolas en grupos, de modo que cada uno represente el peso de cemento requerido por el ensayo o los ensayos para los que la muestra compuesta ha sido destinada. De cada una de las muestras individuales de un grupo, se tomarán porciones iguales en cantidad suficiente para formar una muestra compuesta que permita realizar los ensayos requeridos. La muestra compuesta así obtenida se deberá mezclar perfectamente antes de ser ensayada.

Todas las muestras se identificarán por medio de una tarjeta que deberá contener los siguientes datos:

- Número de orden de toma de la muestra.
 - Tipo de cemento y su marca comercial.
 - Nombres y domicilios de las partes interesadas.
 - Peso del lote representado por la muestra.
 - Sitios de procedencia y de toma de la muestra.
 - Observaciones que se consideren necesarias (por ejemplo: empaque original o reempaque; empaque en buen o mal estado).
 - Firmas de las partes interesadas y fecha de toma de la muestra.
 - Nombre de la persona que tomó la muestra.
- o Cantidad De Ensayos. De todas las muestras tomadas, no todas tendrán que ser ensayadas, para la determinación y verificación de una u otra característica del cemento por medio del ensayo correspondiente. En este numeral se indica cuántas muestras, de todas las tomadas, deberán ser realmente ensayadas, esto es, la cantidad de ensayos (cantidad de veces que se repetirá un ensayo específico sobre la producción de cemento, para verificación de la propiedad que mide).

El comprador deberá especificar la cantidad de ensayos cuando se requieran las determinaciones de calor de hidratación y de falso fraguado del cemento. Incluyendo todas las muestras tomadas, deberán conformarse muestras de ensayo por composición de dos muestras consecutivas, para ser ensayadas a sanidad (expansión) en el autoclave, consistencia normal y tiempo de fraguado; cuando exista un número par de muestras, la última será ensayada aparte. Todos los demás ensayos deberán hacerse sobre muestras individuales seleccionadas según la Tabla C.1.1

- o Muestras de volquetas y camiones. Todos los ensayos solicitados deberán hacerse sobre cada muestra tomada en este caso, exceptuando lo consecuente a lo indicado en el numeral 12.
- o Muestras de lotes. La Tabla C.1.1 se aplica a todos los ensayos solicitados sobre muestras representativas de lotes, exceptuando los siguientes: sanidad (expansión) la autoclave, calor de hidratación, falso fraguado, consistencia normal y tiempo de fraguado.
- o Todos los demás casos. En aquellos casos para los cuales nada se haya especificado, una muestra de ensayo representará cualquier cantidad indicada por el comprador. Por ejemplo, una muestra de ensayo podrá representar todo el cemento de un silo o todo el producido en el transcurso de un día.

TABLA C.1.1 NÚMERO DE MUESTRAS PARA ENSAYO

Tamaño del lote (Número de muestras)	Número de ensayos
2	2
3	3
4 a 10	4
11 a 20	6
más de 20	8

- o Selección de las muestras de ensayo. Las muestras que realmente van a ser ensayadas de cada uno de los lotes deberán ser escogidas mediante algún método aleatorio. Se sugiere el método simple de elaborar papeletas, que identifiquen cada una de las muestras del lote, introducirlas dentro de una bolsa y extraer un número de papeletas igual al número de ensayos; se ensayan las muestras correspondientes a las muestras extraídas.

Muestras de ensayo teniendo en cuenta historia de control de calidad. Cuando se lleva una historia de control de calidad del cemento producido en una misma fuente, puede disminuirse el número de ensayos, tan sólo para verificar el comportamiento general de dicha producción. Consúltase la Norma ASTM C 183 o AASHTO T 127 para seguir un procedimiento de verificación de la calidad del cemento teniendo en cuenta un historial de la calidad del cemento.

C.2 FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE

NORMA: ASTM C 204 / AASHTO T 153

OBJETIVO. Determinar la finura del cemento Pórtland por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire. Dicha finura se da en términos de superficie específica expresada como área total en centímetros cuadrados por g (cm^2/g) de cemento. A pesar de que este método haya sido usado para determinaciones de la finura de otros materiales, debe entenderse que, en general, se obtiene un valor de finura relativo en lugar de uno absoluto.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Aparato Blaine. Consta de las siguientes partes: cámara de permeabilidad, disco perforado, émbolo y manómetro.

-Cámara de permeabilidad: Está formada por un cilindro rígido, de diámetro interior de $12,7 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ construido de vidrio o de metal no corrosible. La parte superior de la cámara está dispuesta en ángulo recto con respecto al eje de la misma. La parte inferior de la cámara ajusta herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior de la cámara y a $50 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ de la parte superior, se hace un reborde de $0,5 \text{ mm}$ a 1 mm , de ancho para soportar un disco metálico perforado.

-Disco perforado: Debe ser construido con un metal no corrosible; su superficie es plana y tiene un espesor de $0,9 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$; está provisto de 30 o 40 orificios de 1 mm de diámetro, distribuidos uniformemente sobre su superficie. El disco debe ajustar el reborde del tubo.

La porción central de una cara del disco deberá estar marcada o inscrita en una forma legible, de tal manera que el operador coloque siempre el lado marcado hacia abajo cuando lo inserte en la cámara. La marca o inscripción no deberá extenderse en los orificios, ni tocar la periferia del disco, ni extenderse al área del disco que descansa sobre el reborde de la cámara.

-Émbolo: Debe ser fabricado con un material indeformable e inatacable por el cemento y debe ajustar dentro del tubo con una tolerancia (holgura) máxima de $0,1 \text{ mm}$. La parte inferior del émbolo es plana, tiene bordes regulares y forma ángulo recto con su eje principal. En el centro o a un lado del émbolo hay un desfogue para el aire. La parte superior del émbolo tiene un reborde con el objeto de que cuando se coloque dentro de la cámara y el reborde toque la parte superior de la misma, la distancia entre el extremo inferior del émbolo y la parte superior del disco perforado sea de $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

-Manómetro: Es en forma de U. Para construirlo, se emplea un tubo de vidrio de 9 mm de diámetro exterior. El extremo superior de uno de los brazos del manómetro es de forma tal que hace posible un ajuste hermético con la cámara de permeabilidad. Dicho brazo tiene un sistema lateral de tubos para sacar el aire, situado a una distancia entre 250 mm y 305 mm del fondo del manómetro y tiene, además, una marca grabada a una distancia de 125 mm a 145 mm por debajo de la parte superior del sistema lateral de tubos. También, hay otras tres marcas por encima de la primera, a distancias de 15 mm , 70 mm y 110 mm respectivamente. En el sistema lateral de tubos hay una válvula, que puede hacer un cierre hermético, situada a una distancia no mayor de 50 mm del brazo. Al montarse el manómetro, debe quedar firme y con los brazos perfectamente verticales.

- o Líquido para llenar el manómetro. El manómetro debe llenarse hasta la mitad, con un aceite mineral ligero o con un líquido que no sea volátil ni higroscópico y que tenga viscosidad y densidad bajas, tal como el ftalato dibutilo (dibutil 1.2 bencendicarboxilato). Es aconsejable colorear el líquido para facilitar las lecturas.
- o Papel de filtro. Debe ser del tipo de mediana retención. Su forma tiene que ser circular, sus bordes regulares y debe tener el mismo diámetro que el interior de la cámara de permeabilidad.
- o Cronómetro. Debe permitir lecturas con aproximación de $0,5$ segundos o menos. Su tolerancia debe ser de $0,5$ segundos o menos en intervalos de tiempo hasta 60 segundos, y de $1,0\%$ ó menos para intervalos de 60 a 300 segundos.

PROCEDIMIENTO

- a) Temperatura del cemento. La muestra de cemento debe estar a la temperatura ambiente en el momento de efectuar el ensayo.
- b) Cantidad de muestra. La muestra debe tener el mismo peso que la muestra patrón utilizada para la calibración, excepto cuando se vaya a determinar la finura de un cemento de alta resistencia inicial, caso en el cual el peso de la muestra debe ser el necesario para obtener una capa con porosidad de $0,530 \pm 0,005$.
- c) Preparación de la capa de cemento.
- d) Ensayo de permeabilidad.

CÁLCULO

- o La superficie específica se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$S = \frac{S_p \sqrt{T}}{\sqrt{T_p}}$$

$$S = \frac{S_p \sqrt{N_p} \sqrt{T}}{\sqrt{T_p} \sqrt{N}}$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}}$$

$$S = \frac{S_p G_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{G (b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p}}$$

$$S = \frac{S_p G_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{G (b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}}$$

Siendo:

S = Superficie específica de la muestra de ensayo, en cm²/g

S_p = Superficie específica de la muestra patrón, en cm²/g

T = Tiempo determinado para la muestra en ensayo, en segundos, según (Nota 8)

T_p = Tiempo determinado para la muestra patrón, en segundos, según la (Nota 8)

N = Viscosidad del aire a la temperatura a que se verifica la determinación sobre la muestra en ensayo, en poises.

N_p = Viscosidad del aire a la temperatura a que se efectúa la calibración, en poises (Nota 8)

e = Porosidad de la capa de la muestra en ensayo (Nota 8)

e_p = Porosidad de la capa de la muestra patrón (Nota 8)

G = Peso específico de la muestra en ensayo (para el cemento portland: 3,15).

G_p = Peso específico de la muestra patrón (adóptese 3,15).

b = Una constante (para cemento portland deberá usarse el valor de 0,9)

- o Para calcular los valores de superficie específica en m²/Kg., multiplíquese el área superficial en cm²/g por el factor 0,1.
- o Aproxímense los valores en cm²/g a las 10 unidades más cercanas (m²/Kg. a la unidad más cercana). Ejemplo: 3447 cm²/g y se redondea a 3450 cm²/g o 345 m²/kg.

INFORME

- o Para cementos portland o materiales basados en cemento portland, infórmense los resultados de una sola determinación sobre una sola capa de cemento.
- o Para materiales de finura muy alta, con intervalos de tiempo largos, infórmese el valor promedio de finura de dos ensayos de permeabilidad, siempre y cuando los dos no difieran más del 2% entre sí. Si difieren en más, repítase el ensayo hasta obtener dos valores que cumplan este requisito.

PRECISIÓN

- o Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre una misma muestra no diferirán en más de 3,4% de su promedio.
- o Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos sobre una misma muestra no diferirán en más de 6% de su promedio.

TABLA C.2.1 PESO ESPECIFICO DEL MERCURIO, VISCOSIDAD DEL AIRE (N) Y \sqrt{n} A ALGUNAS TEMPERATURAS

Temperatura ambiente °C	Densidad mercurio g/cm	Viscosidad del aire η , en poises	\sqrt{n}
16	13,56	0,0001788	0,01337
18	13,55	0,0001798	0,01341
20	13,55	0,0001808	0,01345
22	13,54	0,0001818	0,01348
24	13,54	0,0001828	0,01352
26	13,53	0,0001837	0,01355
28	13,53	0,0001847	0,01359
30	13,52	0,0001857	0,01363
32	13,52	0,0001867	0,01366
34	13,51	0,0001876	0,01370

TABLA C.2.2 POROSIDAD DE LA CAPA DE CEMENTO

Porosidad de la capa, e	$\sqrt{(e^3)}$	Porosidad de la capa, e	$\sqrt{(e^3)}$
0,495	0,348	0,509	0,363
0,496	0,349	0,510	0,364
0,497	0,350		
0,498	0,351		
0,499	0,352	0,525	0,380
		0,526	0,381
		0,527	0,383
0,500	0,354	0,528	0,384
0,501	0,355	0,529	0,385
0,502	0,356		
0,503	0,357		
0,504	0,358	0,530	0,386
		0,531	0,387
		0,532	0,388
0,505	0,359	0,533	0,389
0,506	0,360	0,534	0,390
0,507	0,361	0,535	0,391
0,508	0,362		

C.3 FINURA DEL CEMENTO PÓRTLAND MÉTODO DEL TURBIDIMETRO

NORMA: ASTM C 115 / AASHTO T 98

OBJETIVO. Determinar la finura del cemento Portland por medio del turbidímetro de Wagner, expresando la finura como el área de la superficie total en cm²/g de cemento.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Turbidímetro de Wagner. Consiste fundamentalmente en una fuente de luz de intensidad constante, ajustada de tal manera que produce un haz de rayos paralelos que pasa a través de una muestra de cemento en suspensión y llega a una fotocelda. La corriente generada por la fotocelda se debe medir con un microamperímetro cuya lectura indica la medida de la turbidez de la suspensión.

En forma general, la turbidez es una medida del área superficial de la muestra de cemento en suspensión.

El Turbidímetro comprenderá los siguientes elementos:

- Fuente de luz
- Dispositivo absorbente de calor
- Filtro de Luz
- Tanque de sedimentación
- Fotocelda
- Limitador del haz luminoso

- Elevador

TABLA C.3.1 VALORES DE H, D Y H/D² EMPLEADOS EN LA CALIBRACIÓN DEL TUBIDIMETRO

Diámetro de las partículas, d (µm)	Profundidad de suspensión, h (cm)	h/d ²
50	15	0,00600
45	15	0,00741
40	15	0,00938
35	15	0,01224
30	15	0,01667
25	13,1	0,0210
20	10	0,0250
15	6,6	0,0293
10	3,3	0,0330
7,5	2,1	0,0373

- Microamperímetro
 - Tipo D'Arsonval. Debe tener una escala graduada de 0 a 50 µA que permita lecturas de 0,1 µA. Los microamperímetros nuevos deben tener una exactitud de $\pm 0,5\%$ del valor de la escala total en cualquier parte de la misma y a 25°C (77°F); en microamperímetros usados, la exactitud debe ser la misma de los aparatos nuevos excepto que la exactitud correspondiente a 40 y 50 µA debe ser de $\pm 1\%$ la escala total. El microamperímetro no se debe colocar sobre una superficie de hierro o acero, ni cerca a cualquier influencia magnética.
 - Microamperímetro digital.
- Fuente de energía. Puede ser una batería de automóvil de 6 voltios o una fuente de fuerza electromotriz constante para suministrar corriente a la lámpara.
- Tamices
- Agitador. Puede ser un cepillo cilíndrico de 19 mm (3/4") de diámetro y 45 mm (1 3/4") de longitud, con el extremo que se ajuste aproximadamente al contorno del fondo de un tubo de ensayo de 22 mm (7/8") de diámetro, o cualquier otro agitador que sea igualmente eficiente en la dispersión medida por la determinación de la superficie específica en una muestra patrón; el agitador debe girar aproximadamente a 3500 rpm.
- Bureta para medir el tiempo. El tiempo de asentamiento para los diferentes tamaños de partícula se debe obtener en una bureta de la cual fluya kerosén.

TABLA C.3.2. DIMENSIONES DE LA BURETA

	Dimensión (cm)	Tolerancia (cm)
Longitud del tubo mayor	38	± 4
Diámetro interior del tubo mayor	1,9	$\pm 0,2$
Longitud del capilar	17,5	$\pm 2,5$
Diámetro del capilar	0,09	$\pm 0,005$
Distancia de la parte superior de la bureta hasta la marca cero	7,0	± 1

La bureta consiste en un tubo de vidrio, con un capilar fundido en el extremo inferior y con el extremo superior ensanchado para que sirva como embudo y se facilite introducir el kerosene en él. La bureta debe cumplir con las dimensiones dadas en la Tabla C.3.2 y sus líneas de graduación deben ser círculos. Se debe usar con la bureta un filtro hecho con malla de 45 µm. Cuando la bureta no esté en uso se le debe colocar una tapa.

- Líquido de suspensión. Se debe usar kerosene transparente y claro. El kerosene utilizado no se debe volver a usar.

MUESTRA DE ENSAYO

- Tamaño de la muestra. La muestra de cemento para el ensayo se debe seleccionar para que las lecturas en el microamperímetro se presenten en la parte media de la escala.
- Las siguientes aproximaciones son útiles en muchos casos al seleccionar el tamaño de una muestra; una muestra de 0,3 g para un cemento que pase más de 85% por el tamiz de 45 µm (No.325); una muestra de 0,4 g para un cemento que pase entre 70% y el 85% y una muestra de 0,5 g para un cemento que pase menos del 70%.

PROCEDIMIENTO

- a) Tamizado. Se debe pasar por el tamiz de 45 μm (No.325) una muestra de 1 g de cemento. Después de tres determinaciones, se debe sumergir el tamiz en HCl diluido (1:10) e inmediatamente lavarse con agua para eliminar las partículas retenidas en la malla. Después de 25 determinaciones, se debe calibrar el tamiz nuevamente.
- b) Preparación de la suspensión. Se debe colocar la muestra de cemento en un tubo de ensayo con 10 a 15 ml de kerosene y 5 gotas del dispersante (ácido oléico o aceite de linaza envejecido). Se agita la muestra durante 1 minuto con el agitador y luego se lleva al tanque de sedimentación.

Se lava el cepillo y el tubo de ensayo con kerosene puro, haciendo girar el agitador y este kerosene se agrega a la suspensión; luego se adiciona kerosene puro hasta que el volumen total de la suspensión en el tanque sea 335 ml. Deben limpiarse las caras del tanque.

- c) Agitación de la suspensión. Antes de colocar el tanque en la trayectoria del haz luminoso, se debe agitar el contenido para lograr la suspensión uniforme. El tanque se debe cubrir con una tapa de vidrio esmerilado y se oscila 180° alrededor de un eje horizontal que pase a través del centro del tanque, aproximadamente 60 veces durante 1 minuto (no se deberá oscilar de otra forma), evitando la pérdida de kerosene. La suspensión estará entonces lista para colocarla en la posición adecuada en la trayectoria del haz luminoso.
- d) Operación del Turbidímetro. Se debe colocar en la trayectoria de la luz, el filtro retardador y el tanque de sedimentación con aproximadamente 100 ml de kerosene puro y se ajusta la luz a la intensidad adecuada 10; se toman lecturas a intervalos de 1 minuto hasta que se obtenga un valor constante que indique el equilibrio entre la lámpara y la fotocelda. Retírese el tanque, verifíquese y regístrese la intensidad de la lámpara.

d.1. El indicador del nivel de la plataforma se debe colocar en una posición entre 30 y 50 μm .

d.2. Se debe llenar la bureta con kerosene hasta la altura calibrada, usando éste del mismo lote y a la misma temperatura del empleado en la suspensión y se inicia la oscilación del tanque que contiene la suspensión. Se continúa la oscilación hasta que el kerosene llegue al cero de la bureta; entonces debe cesar la agitación e inmediatamente se debe colocar en posición de ensayo.

d.3. La tapa se debe ajustar de manera que el kerosene no salga del tanque.

d.4. Inmediatamente se debe retirar el filtro retardador de la trayectoria de la luz y cerrar la puerta del gabinete.

d.5. Se debe leer el microamperímetro con precisión de 0.1 μA , en el momento que el kerosene pase las marcas 50, 45, 40, 35 y 30 de la bureta.

d.6. Luego se debe levantar la plataforma sucesivamente hasta las marcas 25, 20, 15, 10 y 7.5 de la escala indicadora, leyendo el microamperímetro cuando el kerosene pase las correspondientes marcas en la bureta.

d.7. Se vuelve a colocar el filtro en la trayectoria de la luz, se retira el tanque y se comprueba la intensidad de la lámpara. Si la indicación del microamperímetro varía en más de 0.3 μA de la lectura inicial a través del filtro solo, se repite el ensayo.

CÁLCULO

- o Superficie específica. Se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{38r(2 - \log I_{50})}{1,5 + 0,75 \log I_{7,5} + \log I_{10} + \log I_{15} + \log I_{45} - 9,5 \log I_{50}}$$

Siendo:

S = Superficie específica de la muestra, en cm^2/g

r = Porcentaje corregido en peso que pasa el tamiz de 45 μm (No.325).

$I_{7,5}, I_{10}, I_{15} \dots I_{50}$ = Lectura en μA , correspondientes a partículas de diámetro 7,5; 10; 15...50 μm .

El factor constante 38 sólo se debe aplicar a un material que tenga el peso específico del cemento portland (3,15 aprox.). Para cualquier otro material se debe calcular adecuadamente el valor correspondiente para este factor, el cual derivando la fórmula, varía inversamente con la densidad de las partículas, en g/cm^3 .

- o Anotación de los datos. En este numeral se indica la forma aconsejada para Anotar los datos del ensayo del turbidímetro y el cálculo de la superficie específica.

Ejemplo

Los valores dados son solamente ilustrativos.

Identificación de la muestra	Muestra X
Pasa tamiz de 45 μm (No.325), r corregido	9.5%
Filtro de referencia (únicamente a través del filtro)	
Después del ensayo	20.5 μA
Antes del ensayo	20.5 μA
Peso de la muestra ensayada	0.3 g

TABLA C.3.3. EJEMPLO DE ANOTACIÓN DE DATOS

Tamaño de las partículas, μm	I (μA)	Log. I
50	11,1	1,045 (a)
45	11,5	1,061
40	11,7	1,063
35	12,1	1,083
30	12,6	1,100
25	13,4	1,127
20	14,4	1,158
15	15,7	1,196
10	19,1	1,281
7,5	23,0	1,362 (a)

$$\begin{aligned}
 0,75 \times 1,362 &= 1,022 \\
 &\quad \underline{1,500} \\
 \text{Suma} &= 11,591 \\
 9,5 \times 1,045 &= 9,928 \\
 \text{Diferencia} &= 1,663
 \end{aligned}$$

$$S = \frac{38 \times 89,5 \times 0,955}{1,663} = 1.953 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

(a) Por conveniencia en los cálculos, el log I50 y el log I7,5 se anotan en la columna separada.

- Cálculo de la superficie específica con base en la primera lectura I50. Este método se puede usar para determinaciones sucesivas de una misma planta, siempre que se use el mismo tamaño de muestras de ensayo y que no haya gran cambio en la finura, color y otra propiedad del cemento. Bajo estas condiciones, la superficie específica de una muestra se puede calcular con la primera lectura I50, usando la siguiente ecuación:

$$S = C(2 - \log I_{50})$$

Siendo:

S = Superficie específica de la muestra, en cm^2/g .

I50 = Lectura del microamperímetro correspondiente a una partícula de diámetro de 50 μm .

C = Constante de transmisión para la planta en particular.

La constante de la transmisión C se puede evaluar sustituyendo en la ecuación anterior los valores conocidos de S y (2 - log I50) calculados de un ensayo completo de turbidímetro. En la ecuación anterior debe usarse el promedio de no menos de cinco valores de C.

- Si la finura de la muestra, falla en cumplir los requisitos establecidos para la finura, deberá efectuarse otro ensayo.

PRECISIÓN

- Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 7,3% de su promedio.
- Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 11,5% de su promedio.

TABLA C.3.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULAS

Tamaño de las partículas, μm	I (μA)	Log I	Diferencia	Tamaño promedio de las partículas, $d1, \mu\text{m}$
50	11,1	1,045	0,016	47,5
45	11,5	1,061	0,007	42,5
40	11,7	1,063	0,015	37,5
35	12,1	1,083	0,017	32,5
30	12,6	1,100	0,027	27,5
25	13,4	1,127	0,031	22,5
20	14,4	1,158	0,038	17,5
15	15,7	1,196	0,085	12,5
10	19,1	1,281	0,081	8,8
7,5	23,0	1,362	0,638	3,8
0	(100,0)	(2,000)		

TABLA C.3.5. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULAS

d1 x Diferencia	Peso %	
	Fracción	Acumulativo
0,760	8,02	89,5
0,298	3,15	81,3
0,562	5,93	78,3
0,552	5,83	72,4
0,742	7,83	66,6
0,698	7,37	58,7
0,665	7,02	51,4
1,062	11,21	44,3
0,713	7,53	33,1
2,424	25,60	25,6
8,476		

C.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO (LE CHATELIER)

NORMA: ASTM C 188 / AASHTO T 133

OBJETIVO. Este ensayo tiene por objeto el presentar un método para la determinación de la gravedad específica del cemento; el valor que aquí se determina se usa especialmente para el diseño y el control de la producción de mezclas.

EQUIPO

- o Un matraz de Le Chatelier.
- o Kerosene (sin agua) o nafta que no sean más livianos que el grado 62 A.P.I.
- o Balanza sensible al 0,001 gr.

MUESTRA. La muestra se obtiene del material tal como se recibe, a menos que se especifique otra cosa.

PROCEDIMIENTO

- a) Se llena el matraz con cualquiera de los dos líquidos antes especificados hasta que el nivel del líquido quede entre las marcas de cero y de un milímetro.
- b) Se coloca el matraz en un baño de maría de temperatura constante manteniendo a temperatura del ambiente. Se lee en el cuello del matraz la graduación correspondiente a nivel del líquido una vez que éste se encuentre a una temperatura constante.
- c) Se toman aproximadamente 64 gr de la muestra de cemento y se van echando poco a poco en el matraz teniendo el cuidado de que estén a la misma temperatura del líquido. Se debe evitar que el líquido salpique cuando se echa el cemento.
- d) Después de que todo el cemento haya sido introducido en el matraz, se tapa éste y se hace rodar en posición inclinada con el fin de eliminar el aire del cemento. Esta operación se continua hasta que se eliminen las burbujas de aire.

- e) Se coloca de nuevo el matraz en el baño de temperatura constante, el cual debe estar aproximadamente a la temperatura del ambiente, y se hace la nueva lectura cuando se haya observado que la temperatura del líquido en el matraz es constante.
- f) Se lee en el matraz la graduación correspondiente al nuevo nivel del líquido.

Cálculo. La diferencia entre las cantidades que representan el nivel final y el nivel inicial del líquido nos da el volumen de líquido desplazado por el cemento usado en el ensayo, luego:

$$\text{Gravedad Específica del cemento} = \frac{\text{Peso de Cemento en gr}}{\text{Volumen desplazado en ml}}$$

Las determinaciones de la gravedad específica del cemento por medio de este método no deben variar entre sí en más de 0,01.

C.5 EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE

NORMA: ASTM C 151 AASHTO T107

OBJETIVO. Determinar la estabilidad del volumen de muestras de pastas de cemento puro, al ser sometidas a tratamientos en autoclave. El ensayo de expansión en el autoclave proporciona un índice de la expansión potencial demorada causada por la hidratación del CaO, o del MgO, o de ambos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Balanzas y pesas. La precisión de las balanzas bajo una carga de 1.000 g debe ser de ± 1 g.
- o Probetas graduadas. Deben tener una capacidad hasta de 250 ml. La precisión debe ser de ± 1 ml, a 20°C. La graduación de las probetas puede comenzar a partir de 5 ml.
- o Moldes. Pueden ser sencillos o dobles y deben suministrar muestras en forma de paralelepípedo, de sección cuadrada de 25,4 mm (1") de lado y longitud efectiva de 254 mm (10").

La longitud efectiva es la distancia entre los topes de medida ajustables. Al montarse los moldes, sus partes deben hacer un ajuste hermético y deben mantenerse firmemente unidas.

Los moldes deben fabricarse de acero u otro metal duro inalterable por el cemento; sus paredes deben ser suficientemente rígidas para evitar que la muestra se deforme y sus placas terminales deben construirse de modo que alojen los topes de medida. La distancia entre las caras opuestas de los moldes deben ser de $25,4 \pm 0,8$ mm ($1 \pm 0,03$ ") y su altura, medida separadamente para cada compartimiento, debe ser de $25,4 \pm 0,8$ mm ($1 \pm 0,03$ ") tanto para moldes en uso como para nuevos.

- o Topes de medida. Deben ser de acero inoxidable adecuado y su sección debe ser circular, con diámetro de 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ "). Deben colocarse de manera que su eje principal coincida con el eje principal de la muestra, que se introduzca dentro de ellas 16 mm y que la distancia entre sus extremos interiores, sea de $25,4 \pm 2,5$ mm ($1 \pm 0,1$ ").
- o Paleta de albañil. Deben usarse palustres de acero, cuyas paletas tengan de 100 a 150 mm (4 a 6") de longitud.
- o Autoclave. Está constituido por una cámara de vapor de agua a alta presión con los siguientes aditamentos: una válvula de desfogue de aire y de vapor; una unidad de calefacción; un regulador automático de presión; una válvula de seguridad o un disco de seguridad y un manómetro. Tiene, además, un receptáculo que permite introducir un termómetro para medir la temperatura del vapor saturado. La potencia de la unidad de calefacción debe ser suficiente, para elevar la presión manométrica del vapor de agua saturado a $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb. /pulg².), en un tiempo comprendido entre 45 y 75 minutos, después de ser puesta en funcionamiento, estando el autoclave con la máxima carga, o sea con el agua y las muestras. El regulador automático de presión debe ser capaz de mantener la presión manométrica por lo menos durante 3 horas, en $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb. /pulg².), que corresponde a una temperatura de vapor saturado de $215,7 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($420 \pm 3^\circ\text{F}$).

El autoclave debe ser diseñado para permitir que, una vez suprimida la calefacción, la presión descienda a menos de 0,07 MPa (10 lb. /pulg².), en un plazo de 90 minutos. La válvula de desfogue debe permitir el escape del aire cuando comienza el calentamiento e igualmente la eliminación de cualquier presión que pueda quedar al término del período de enfriamiento.

El manómetro debe tener un tablero con diámetro de 114 mm ($4\frac{1}{2}$ ") y debe estar graduado hasta por lo menos 4,1 Mpa (600 lb. /pulg².), con subdivisiones no mayores de 0,05 MPa (5 lb. /pulg².)

La precisión del manómetro no debe ser mayor de 0,02 MPa (± 3 lb. /pulg².), a la presión de trabajo de 2 MPa (295 lb. /pulg².)

- o El disco de seguridad deberá ser hecho de un material con una resistencia a la tensión que sea relativamente insensible a la temperatura, en el intervalo de 20 a 216°C (68 a 420°F); y deberá reventar a una presión de 2,4 MPa (350 lb. /pulg².) \pm 5%. En lugares donde no se permita el uso del disco de seguridad, el autoclave deberá disponer de una válvula de seguridad.
- o Comparador de longitudes. El comparador para medir cambios de longitud debe tener un diseño que reúna las siguientes condiciones:
 - Medios efectivos de contacto con los topes de medida de la muestra que aseguren la reproducción de las medidas de longitud.
 - Un micrómetro, graduado para hacer lecturas en unidades de 0,0025 mm (0.0001"), que tenga una precisión de 0,0025 mm (0.0001") dentro de variaciones de longitud de 0,025 mm (0.0010") y de 0,005 mm (0.0020") dentro de variaciones de longitud de 0,25 mm (0.0100").
 - Suficiente margen de operación para poder medir las posibles variaciones en la longitud de las muestras.
 - Facilidad para realizar las medidas rápida y cómodamente.
 - Posibilidad de controlar el aparato de medida a intervalos periódicos con un patrón de referencia.

CONDICIONES GENERALES

- o La temperatura ambiente en la sala de trabajo, así como la de las herramientas y materiales, excepto la del agua, debe ser mantenida entre 20°C y 27,5°C (68 y 81°F). La temperatura del agua de mezcla debe ser de 23°C \pm 1,7°C (73.4 \pm 3°F). La humedad relativa del ambiente no debe ser menor de 50%.
- o Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además debe mantenerse a una temperatura de 23 \pm 1,7°C (73.4 \pm 3°F) y a una humedad relativa no menor de 90%

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- o El manómetro deberá tener una capacidad máxima de 4,1 MPa (600 lb. /pulg².). Esto es importante, ya que con una capacidad muy pequeña, solamente una pequeña longitud de arco queda para indicar presiones superiores a la presión máxima de trabajo. El operador deberá estar siempre seguro de que la manecilla del manómetro no sobrepase la máxima graduación de la escala.
- o A pesar de que el manómetro se encuentre calibrado y ensayado, úsese siempre el termómetro junto con él, para detectar cualquier falla del manómetro e indicar cualquier condición inusual.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a) Cantidad de especímenes. Normalmente debe prepararse un espécimen; pero cuando se necesite repetir un ensayo, se deben preparar tres.
- b) Preparación de los moldes. Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; se arman los moldes y se recubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego se colocan los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.
- c) Preparación de la pasta de cemento. Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de unos 500 g en forma de cono y se le hace un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua limpia, suficiente para obtener una pasta de consistencia normal (ver Método H0210) y luego, con ayuda del paleta de albañil, se pasa al hoyo el cemento seco que lo rodea exteriormente, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, el cemento que aún permanece seco en el exterior del cono, debe mezclarse suavemente usando el palustre con la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continua y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso y en el siguiente, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.
- d) Llenado de los moldes. El llenado de los moldes debe hacerse tan pronto termina la operación anterior. Se colocan dos capas aproximadamente iguales, presionando la pasta con los dedos pulgares o índices para obtener el mejor llenado posible y cuidando de obtener una perfecta compactación alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde. Luego se retira la pasta sobrante pasando un palustre de bordes finos a ras del molde y, por último, se pule la superficie, deslizando suavemente el palustre.
- e) Almacenamiento y fraguado. Inmediatamente después que termina la preparación de las muestras, se colocan los moldes en la cámara húmeda donde deben permanecer no menos de 20 horas; si las muestras se sacan de los moldes antes de 24 horas, deben colocarse de nuevo en la cámara húmeda hasta el momento de ser ensayadas

PROCEDIMIENTO

- a) Después de 24 horas \pm 30 minutos de iniciado el período de almacenamiento y fraguado, deben sacarse de las muestras de la cámara húmeda e inmediatamente medir su longitud, colocándolas luego en el autoclave a temperatura ambiente, de manera que todos sus lados queden expuestos a la acción del vapor. El autoclave debe contener suficiente agua a una temperatura inicial de 20 a 28°C (68 a 82°F) para mantener una atmósfera de vapor saturado durante todo el ensayo. Ordinariamente el agua debe ocupar de 7 a 10% del volumen del autoclave.
- b) Con el fin de evacuar el aire del autoclave al iniciar su calentamiento, la válvula de desfogue debe permanecer abierta hasta que comience a salir el vapor, luego se cierra ésta y se regula la calefacción del autoclave, de tal forma, que se obtenga la presión del ensayo 2 MPa (295 lb/pulg²), entre los 45 y 75 minutos siguientes al momento en que se inició la calefacción. Durante las 3 horas siguientes, la presión debe mantenerse en $2 \pm 0,07$ MPa. Al terminar ese período se suprime la calefacción y se enfría el autoclave, de manera que al cabo de 90 minutos la presión manométrica sea inferior a 0,07 MPa (10 lb/pulg²). La presión residual se elimina lentamente dejando escapar el vapor poco a poco por la válvula de desfogue, hasta alcanzar la presión atmosférica. Se abre entonces el autoclave y se colocan inmediatamente las muestras en agua que esté a más de 90°C (194°F); luego se disminuye la temperatura de manera uniforme por adición de agua fría, de modo que descienda a 23°C (74°F) en 15 minutos. Se mantiene esta temperatura por un período adicional de 15 minutos, al cabo del cual se retiran las muestras, se secan cuidadosamente y se mide nuevamente su longitud entre los extremos libres de los topes de medida.

CÁLCULOS

- o La longitud de cada muestra se mide antes y después del ensayo para determinar la diferencia, la cual se expresa en porcentaje de la longitud efectiva con aproximación de 0,01%. En caso de que haya contracción, el resultado se indica por un número negativo.
- o Reensayos.
- o Si el ensayo da un resultado desfavorable, se puede repetir el ensayo usando muestras nuevas, dentro de los 28 días siguientes al ensayo. En este caso, se deben ensayar tres muestras distintas y el promedio de los resultados obtenidos con ellas será la expansión del cemento al autoclave.

PRECISIÓN

- o Operador individual: los resultados de dos ensayos efectuados por el mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más del 21% de su promedio.
- o Laboratorios distintos.
- o Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más del 47% de su promedio.

C.6 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DEL APARATO DE VICAT

NORMA: ASTM C 191 / AASHTO T 131

OBJETIVO. Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Balanzas. Deben cumplir con los siguientes requisitos: la precisión para las balanzas en uso de baja carga de 1.000 g puede ser hasta de ± 1 g y para balanzas nuevas puede llegar hasta la mitad de dicho valor.
- o Probetas. Para medir el agua de amasado deben tener una capacidad a 20°C, de 150 a 250 ml. La precisión debe ser de ± 1 ml. Se pueden omitir las graduaciones para los primeros 5 ml en probetas de 150 ml y para los primeros 10 ml en las de 200 ml.
- o Aparato de Vicat. Debe cumplir con los requisitos establecidos en el Método C.10. La escala graduada, comparada con una escala patrón con exactitud de 0.1 mm en todos los puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0.25 mm.
- o Reloj. Que permita lecturas en segundos.
- o Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan ser almacenadas con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

- o Mezcladora. Consta de una paleta y un recipiente. Será impulsada eléctricamente, debe ser del tipo epicíclico, que imparte a la paleta movimiento de rotación y planetario; la mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (No se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos); la velocidad primera, o baja, girará la paleta a razón de 140 ± 5 rpm y el movimiento del planetario será aproximadamente 62 rpm. La segunda o rápida, robará la paleta a razón de 285 ± 10 rpm, con movimiento del planetario de aproximadamente 125 rpm. El motor que acciona el sistema, tendrá una potencia mínima de 125 W (1/6 hp).

Cuando la mezcladora está en posición de trabajo, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.

CONDICIONES AMBIENTALES. Son las mismas establecidas en el Método C.10.

PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO. Deben mezclarse 500 g de cemento con el porcentaje de agua de amasado requerido para la consistencia normal, siguiendo el procedimiento descrito en el Método "Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica".

En los ensayos de referencia o especiales debe usarse agua destilada. El espécimen de ensayo usado para la determinación de la consistencia normal puede ser usado para la determinación adicional del tiempo de fraguado mediante el aparato de Vicat.

PROCEDIMIENTO

- a) Moldeo de la muestra de ensayo. A la pasta preparada como se describe en el numeral 6, rápidamente debe dársele forma esférica con las manos enguantadas, y lanzarse de una mano a la otra por seis veces estando éstas a una distancia de 15 cm aproximadamente. Se toma el molde en una mano y con la otra se presiona la bola hasta llenar el molde completamente por la base mayor. Quítese el exceso en esta base con un solo movimiento de la palma de la mano. El molde debe colocarse con su base mayor sobre la placa de vidrio y el exceso de pasta que aparezca en la base menor debe retirarse pasando el palustre oblicuamente de modo que forme un ángulo pequeño con el borde superior del molde. La parte superior de la muestra debe alisarse, si es necesario, con una o dos pasadas del borde del palustre. Durante las operaciones para retirar el exceso de pasta y para alisarla, debe tenerse cuidado de no ejercer presión alguna sobre ésta. Inmediatamente después de terminado el moldeo, debe colocarse la muestra en el cuarto o cámara húmeda, de donde debe sacarse únicamente para las determinaciones del tiempo de fraguado. La muestra debe permanecer en el molde, soportada por la placa de vidrio, durante todo el período de ensayo.
- b) Determinación del tiempo de fraguado. La muestra usada para determinar el tiempo de fraguado, debe mantenerse dentro de la cámara húmeda durante 30 minutos después del moldeo sin que sufra ninguna alteración. Debe determinarse la penetración de la aguja de 1 mm en ese instante y luego debe repetirse cada 15 minutos (para cementos de tipo 3 debe repetirse cada 10 minutos), hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menos. Para el ensayo de penetración debe hacerse descender la aguja D del vástago B, hasta que el extremo haga contacto con la superficie de la pasta de cemento. Debe apretarse el tornillo de sujeción E y ajustarse el índice F, en el extremo superior de la escala o anotarse una lectura inicial. Se suelta el vástago rápidamente aflojando el tornillo de sujeción E y dejando que la aguja penetre durante 30 segundos, momento en el cual debe tomarse la lectura para determinar la penetración. (Si durante las primeras lecturas la pasta se mantiene blanda, el descenso del vástago, se puede hacer lentamente para evitar la deformación de la aguja de 1 mm, pero las determinaciones de penetración para el tiempo de fraguado se deben hacer aflojando el tornillo).

Las penetraciones deben estar separadas por lo menos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") entre sí y 10 mm ($\frac{1}{4}$ ") del borde interior del molde. Se anotan los resultados de todas las penetraciones y por interpolación debe determinarse el tiempo obtenido para una penetración de 25 mm, el cual indica el Tiempo de Fraguado.

PRECAUCIONES. El aparato no debe estar sometido a vibraciones durante la penetración. La aguja, de 1 mm de diámetro, debe ser recta y estar limpia, pues la acumulación de pasta en su periferia puede retardar la penetración, así como la pasta en la punta puede aumentar la misma. Esta determinación es sólo aproximada, puesto que no sólo la temperatura y la cantidad de agua de amasado influyen en el resultado, sino también la temperatura y humedad del aire.

C.7 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILLMORE

NORMA: ASTM C 266 / AASHTO T 154

OBJETIVO. Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de pastas de cemento hidráulico, por medio de las agujas de Gillmore.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Balanzas y pesas. Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Método C.5.
- o Probetas. Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Método C.5.

- o Aparato de GillmoreConsta de los siguientes elementos:
 - Un soporte con dos brazos rígidamente unidos a él, que mantiene en posición vertical los dispositivos de penetración.
 - Un dispositivo de penetración inicial. Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $113,5 \pm 0,5$ g ($\frac{1}{4}$ lb \pm 8 granos). El diámetro de la aguja debe ser de $2,12 \pm 0,05$ mm ($1/12 \pm 0.002$ ") y su longitud de 4,8 mm ($3/16$ ").
 - Un dispositivo de penetración final. Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $453,6 \pm 0,5$ g (1 lb \pm 8 granos). El diámetro de la aguja debe ser de $1,06 \pm 0,05$ mm y su longitud de 4,8 mm ($3/16$ ").
 - Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

CONDICIONES AMBIENTALES. Son las mismas establecidas en el Método C.5.

PROCEDIMIENTO

- a) Preparación De La Pasta. Se efectúa según el Método C.5.
- b) Preparación de la muestra. Se extiende la pasta sobre una placa de vidrio; luego con ayuda del paleta de albañil, se lleva la pasta desde la periferia hacia el centro, hasta formar un tronco de cono de bases paralelas, de unos 76 mm de diámetro en la base mayor y unos 13 mm de altura. Inmediatamente después se alisa la superficie con el palustre. La placa de vidrio debe ser cuadrada, de unos 100 mm de lado, limpia y plana.
- c) Determinación de los tiempos fraguado. El conjunto constituido por la muestra y la placa, se introduce en la cámara húmeda, hasta que las determinaciones empiecen. El método que se sigue para las penetraciones consiste en colocar la muestra debajo de los dispositivos de penetración y luego bajar éstos suavemente hasta que descansen sobre ella. Se repite el método hasta que las agujas de los dispositivos de penetración no dejen huella sobre la muestra. Los extremos de las agujas deben ser planos y perpendiculares a su eje. Entre cada determinación y la siguiente, la muestra de ensayo debe permanecer en la cámara húmeda.

Se toman como tiempo inicial y final de fraguado, los transcurridos entre el momento en que se le agrega agua al cemento y aquellos en que los dispositivos de penetración inicial y final respectivamente, no dejan huella sobre la muestra.

PRECAUCIONES. Como la temperatura, cantidad de agua de amasado y humedad del aire afectan el ensayo, esta determinación es sólo aproximada.

C.8 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 188 / AASHTO T133

OBJETIVO. Determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de hormigón.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Frasco patrón de Le Chatelier. Debe cumplir con las dimensiones indicadas en la Figura H0207_1. Los requisitos con respecto a las tolerancias, inscripción y longitud, espaciamiento y uniformidad de la graduación serán tenidos en cuenta en forma estricta. Deberá existir un espacio de por lo menos 10 mm entre la marca más alta de la graduación y el punto más bajo del esmerilado hecho para el tapón de vidrio. El cuello deberá ser graduado de 0 a 1 ml y de 18 a 24 ml, con separaciones de 0,1 ml. El error de cualquier capacidad indicada, no deberá ser superior a 0,05 ml.
- o El material de construcción deberá ser vidrio de la mejor calidad y libre de estrías. El vidrio debe ser químicamente resistente y tener histéresis térmica. Todo frasco debe ser templado cuidadosamente antes de ser graduado. Deberá ser de espesor suficiente para asegurar una buena resistencia a la rotura.
- o En la determinación del peso específico se debe emplear kerosene libre de agua, o nafta con una gravedad no inferior a 62° A.P.I.
- o El uso de equipo alterno o de métodos alternos para determinar el peso específico del cemento hidráulico es permitido siempre y cuando el resultado obtenido por un operador solo, mediante el equipo o método alterno, no difiera en más de $0,03 \text{ g/cm}^3$ del resultado obtenido mediante este método.

PROCEDIMIENTO

- a) Debe determinarse el peso específico del cemento tal como se recibe, a menos que se especifique otra cosa. Si la determinación del peso específico se requiere sobre una muestra sometida previamente al ensayo de la pérdida al fuego, debe ponérsela primero en ignición como se indica en el procedimiento descrito en la Norma ASTM C 114 o AASHTO T 105.
- b) Debe llenarse el frasco con cualquiera de los líquidos especificados en el numeral 3 hasta un punto situado entre las marcas 0 y 1 ml. Se debe secar el interior del frasco por encima del nivel líquido, si es necesario, después de verterlo. Debe anotarse la primera lectura después de sumergir el frasco en el baño de agua como se indica en el numeral 7. Entonces, se debe agregar cemento Portland, aproximadamente 64 g, en pequeñas cantidades, a la misma temperatura que el líquido, procurando evitar salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco por encima del líquido. Puede usarse un vibrador para acelerar la adición del cemento dentro del frasco y evitar que éste se tranque en el cuello. Después de agregar todo el cemento, debe colocarse el tapón en el frasco y hacerse girar en posición inclinada o en círculo horizontal poco a poco, hasta que no asciendan burbujas a la superficie del líquido, para sacarle el aire. Si se ha añadido una cantidad apropiada de cemento, el nivel del líquido debe estar en su posición final en cualquier punto en la serie superior de graduaciones. Debe hacerse la lectura final una vez que el frasco se haya sumergido en el baño de agua, de acuerdo con el numeral 7.
- c) Debe sumergirse el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente durante un tiempo suficiente, antes de hacer cualquiera de las lecturas, para evitar variaciones mayores de 0,2°C en la temperatura del líquido dentro del frasco. Todas las lecturas se deben comprobar hasta obtener un valor constante para asegurarse de que los contenidos del frasco han alcanzado la temperatura del baño de agua.

CÁLCULOS. La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen líquido desplazado por el peso de cemento usado en el ensayo. El peso específico debe calcularse como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso de cemento, en g}}{\text{volumen desplazado, en ml}}$$

PRECISIÓN

- o Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,03 g/ml.
- o Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,10 g/ml.

C.9 FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA

NORMA: ASTM C 451 / ASHTO T 186

OBJETIVO. Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el falso fraguado de pastas de cemento portland.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Balanzas y Pesas. Deben cumplir con lo especificado en el Método C.2 y C.5.
- o Probetas graduadas. Deben cumplir con lo especificado en el Método C.4 o C.5.
- o Aparato de Vicat. Debe cumplir con lo especificado en el Método C.10.
- o Palustre. Debe ser de acero con longitud de 125 ± 25 mm (4 a 6") y de bordes rectos.
- o Mezcladora, recipiente y paleta. Deben cumplir con lo especificado en el Método M.1.
- o Agua. El agua potable es satisfactoria para los ensayos de rutina, pero debe tenerse especial cuidado en el tipo de agua cuando se trate de cementos tipo III y tipo IV.

CONDICIONES GENERALES

- o La temperatura ambiente, de los materiales secos, del recipiente y la paleta, del anillo tronco-cónico y de la placa de base deberán ser mantenidas entre 20 y 27.5°C (68 y 81.5°F). La temperatura del agua de mezcla deberá permanecer en el intervalo 23 ± 1.7°C (73.4 ± 3°F).
- o La humedad relativa en el laboratorio no debe ser inferior del 50%.

PROCEDIMIENTO

- a) Preparación de la pasta de cemento. Deben mezclarse 500 g de cemento con agua suficiente para obtener una pasta con una penetración inicial de 34 ± 4 mm empleando el siguiente procedimiento:
- a.1. Se colocan la paleta y el recipiente, secos, en posición de trabajo en la mezcladora.
 - a.2. Se introducen los materiales en el recipiente y se mezclan de la siguiente manera:
 - a.3. Se vierte el agua de amasado en el recipiente.
 - a.4. Se agrega el cemento y se deja 30 segundos para que absorba el agua.
 - a.5. Se pone en movimiento la mezcladora a velocidad de 140 ± 5 rpm durante 30 segundos.
 - a.6. Se detiene la mezcladora 15 segundos; durante este tiempo la pasta adherida a las paredes se coloca nuevamente en el centro del recipiente.
 - a.7. Se pone en movimiento la mezcladora a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 150 segundos.
- b) Moldeo de la muestra de ensayo. Rápidamente debe moldearse la pasta de cemento con las manos enguantadas dándole forma esférica. Con la muestra que cabe en una mano se llena completamente por la base mayor el molde G sostenido en la otra llenando completamente el molde con la pasta. Se debe quitar el exceso en esta base con un simple movimiento de la palma de la mano. Colóquese el molde sobre su base mayor en una placa de vidrio (H); quítese el exceso de pasta de la parte superior del molde, con un solo paso del palustre, el cual debe colocarse formando un pequeño ángulo con la base superior del molde. Debe alisarse la parte superior de la muestra, si es necesario, con una o dos pasadas suaves del extremo puntiagudo del palustre, o sacudiendo suavemente el conjunto. Durante estas operaciones, debe tenerse el cuidado de no comprimir la pasta.
- c) Determinación de la penetración inicial. Colóquese la pasta confinada en el molde, el cual descansa sobre la placa de vidrio (H), bajo el vástago B de tal manera que la sonda C quede en contacto con la superficie de la pasta en un punto que esté aproximadamente a un tercio del diámetro del molde a partir de su borde; por medio del tornillo de sujeción E, fíjese el vástago en la posición indicada. Colóquese el índice móvil F, marcando el cero superior de la escala y suéltese el vástago exactamente 20 segundos después de completarse la mezcla. El aparato no debe estar sometido a vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia para penetración inicial cuando la sonda penetra 34 ± 4 mm abajo de la superficie, después de 30 segundos. Háganse pastas de prueba con diferentes porcentajes de agua hasta obtenerse esta consistencia. Dicha consistencia corresponde a la penetración inicial. Durante los 30 segundos necesarios para la penetración inicial, debe ponerse el exceso de pasta en el recipiente; tápese éste y la paleta de mezclar.
- d) Determinación de la penetración final. Después de hecha la lectura inicial, retírese la sonda de la pasta y límpiese; colóquese el molde y la placa en una nueva posición. Esta operación debe llevarse a cabo alterando lo menos posible la pasta confinada en el molde Vicat. Colóquese la sonda nuevamente en contacto con la superficie de la pasta. Transcurridos 5 minutos después de terminado el período de mezcla, repítase el proceso enunciado para penetración inicial; la lectura obtenida corresponde a la penetración final.
- e) Procedimiento de remezclado. Si la penetración determinada por el procedimiento descrito, muestra endurecimiento rápido del cemento, puede obtenerse información adicional sobre su naturaleza por el siguiente ensayo: al terminar la medida de la penetración final, trasládese inmediatamente la pasta del molde al recipiente. Póngase en marcha la mezcladora, levántese el recipiente a la posición de mezcla y remézclese a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 1 minuto. Llénese el molde y determínese la penetración de la misma manera como se especifica en b).

CÁLCULO E INFORME. Se debe mostrar el porcentaje de penetración como sigue:

Penetración inicial mm

Penetración final mm

$$\% \text{ de penetración} = \frac{\text{penetración final}}{\text{penetración inicial}} \times 100$$

C.10 CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 186

OBJETIVO. Derminar el calor de hidratación del cemento hidráulico.

EQUIPO Y MATERIALES

- Calorímetro. Consiste en un vaso Dewar (vaso de boca ancha para vacío) de 500 ml de capacidad aproximadamente, provisto de un tapón de corcho, que se coloca en un recipiente adecuado para protegerlo de las variaciones de temperatura. El vaso se reviste interiormente con una película de material resistente al ácido fluorhídrico, tal como una resina fenólica o cera virgen o un forro plástico. Este revestimiento debe conservarse intacto y libre de grietas. El calorímetro debe cumplir la condición, que al llenar el vaso Dewar con 425 g del ácido especificado en el numeral 28, taparlo y dejarlo en reposo durante 30 minutos, la temperatura del ácido no debe descender más de 0.001°C por minuto y por grado centígrado de diferencia con la temperatura del laboratorio donde se realiza el ensayo. La temperatura para esta verificación deberá aproximarse a las temperaturas iniciales que se presentan cuando se hace la determinación.
- Aislante. El aislante deberá ser hecho de lámina de algodón o de material similar, el cual deberá tener por lo menos 25 mm (1") de espesor y deberá rodear el vaso en sus paredes y fondo, pero permitiendo el fácil manejo del vaso.
- Termómetros diferencial y de referencia. El termómetro diferencial debe ser del tipo Beckmann, graduado por lo menos cada 0.01°C y debe medir como mínimo, un intervalo de 6°C. El límite superior del termómetro debe ajustarse a una temperatura aproximadamente igual a la del laboratorio. La parte del termómetro que queda dentro del calorímetro se debe proteger con una película resistente al ácido fluorhídrico, análoga a la descrita en el numeral 1. El termómetro debe estar equipado con lupas que permitan leer las temperaturas con precisión.

El cero del termómetro Beckmann deberá ser determinado sumergiéndolo en un líquido y posteriormente comparándolo con el termómetro de referencia.

- Embudo. Se usa para verter la muestra en el calorímetro y debe ser de vidrio o de material plástico. Su vástago debe tener una longitud de unos 80 mm (3") y un diámetro interior no menor de 6 mm (¼").
- Dispositivo de agitación. El agitador debe ser de plástico inerte o de vidrio; en este último caso, la parte que queda dentro del líquido se debe proteger con resina fenólica, cera virgen o con cualquier material resistente al ataque del ácido fluorhídrico. La longitud debe ser tal, que su extremo llegue hasta 10 ó 20 mm del fondo del vaso. El agitador debe ser movido por un motor adecuado, provisto de los engranajes necesarios para que la velocidad de agitación sea constante y esté comprendida entre 350 y 700 rpm.

La Norma ASTM C 186 recomienda el agitador de hélices hecho de polietileno, con un diámetro de hélices de 34 mm (1 ⅜"), diámetro del eje de 6 mm (¼") y longitud del eje 457 mm (18"). Este agitador cumple una doble función: mantener una temperatura uniforme a través del líquido y proporcionar suficiente agitación para mantener los sólidos en suspensión en la mezcla de ácido. Debido a que un agitador capaz de mantener los sólidos en suspensión genera considerable calor en el calorímetro, es importante que la velocidad del agitador, y por lo tanto la tasa de generación de calor, se mantenga constante. Por ello, es indispensable utilizar un motor sincrónico y un regulador de velocidad junto al agitador.

- Batidora. Debe ser mecánica, capaz de mezclar íntimamente el agua y el cemento hasta producir una pasta uniforme.
- Cámara con temperatura constante. Debe tener dispositivos adecuados para conservar la temperatura en 23 ± 1.7°C (73.4 ± 3°F) y suficiente espacio para almacenar las muestras.
- Mortero. Debe tener 200 mm (8") de diámetro aproximadamente; se emplea para pulverizar las muestras parcialmente hidratadas.
- Tubos de vidrio o plástico. Deben tener una longitud de 100 mm (3.9") aproximadamente, un diámetro de unos 20 mm (0.8") y estar provistos de sus correspondientes tapones de corcho. Se utilizan para guardar las muestras de cemento parcialmente hidratadas cuyo calor de disolución a los 7 y 28 días va a determinarse.
- Horno. Debe mantener una temperatura entre 100 y 110°C.
- Cronómetro
- Tamices. Se utilizan los tamices 150 µm (No.100) y 850 µm (No.20).
- Crisoles. Deben ser de platino, tener unos 30 ml de capacidad y estar provistos de tapas. Se utilizan para determinar las pérdidas por calcinación.
- Horno o mufla. Debe mantener una temperatura entre 900 y 950°C.
- Balanza analítica. La balanza, lo mismo que las pesas, deben cumplir con los requisitos exigidos por las normas de ensayos químicos del cemento portland (ASTM C 114). Se utiliza para pesar las muestras antes de introducir las al calorímetro y para determinar las pérdidas por calcinación.
- Balanza. Debe estar dentro de una caja de vidrio, tener una capacidad de 1 kg y pesar con una precisión de 0.05 g. Se utiliza para pesar el ácido que se vierte al calorímetro.

- o Frascos pesasustancias

Reactivos

- o Óxido de zinc. Debe ser químicamente puro y someterse al tratamiento siguiente: en un crisol de porcelana se calcinan unos 50 g durante 1 hora, entre 900 y 950°C y se dejan enfriar en un desecador. Una vez frío el óxido de zinc se pulveriza hasta que pase íntegramente por el tamiz 150 µm (No.100) y en estas condiciones se conserva en el desecador. Inmediatamente antes de iniciar la determinación de la capacidad calorífica del sistema, 7 g de óxido de zinc así preparados, se calcinan (entre 900°C -950°C) durante 5 minutos, se enfrían hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesan para su introducción al calorímetro.
- o Ácido fluorhídrico. Se utiliza en solución al 48%. (Peso específico 1.15)
- o Ácido nítrico. Debe ser 2 N y debe prepararse en bastante cantidad, puesto que cada vez que se utiliza una nueva preparación de ácido, debe determinarse la capacidad calorífica del sistema. Opcionalmente se pueden tomar 127 ml de ácido nítrico concentrado (1.421 de peso específico), diluyéndolos hasta completar un litro de solución.
- o Parafina, o una cera apropiada para sellar los tubos de vidrio o plásticos.

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SISTEMA. El método para determinar la capacidad calorífica del sistema, o sea el calor necesario para elevar la temperatura del calorímetro y su contenido en 1°C, mediante la disolución de 7 g de óxido de zinc calcinado en una mezcla de los ácidos especificados, es el siguiente:

- Se vierten unos 400 g de ácido nítrico 2 N, enfriado a la temperatura indicada por el límite inferior del termómetro Beckmann, (que ordinariamente es de 4 a 5°C por debajo de la del laboratorio) dentro del vaso Dewar. Se pesan 8 ml de ácido fluorhídrico al 48% y se vierten dentro del vaso. Se añade luego suficiente ácido nítrico 2 N, hasta completar un peso total de mezcla de 425 g. Se coloca el calorímetro en posición de trabajo y se agita la mezcla mediante el dispositivo de agitación, durante todo el ensayo. Debe tenerse cuidado de que el dispositivo de agitación no golpee el termómetro, el vaso ni el tapón. El extremo del vástago del embudo debe quedar unos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por debajo de la cara inferior del tapón y por lo menos 12 mm ($\frac{1}{2}$ ") por encima del nivel del líquido. La parte superior del bulbo del termómetro debe quedar por lo menos 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ") por debajo del líquido y debe ser colocada a la misma profundidad en todas las determinaciones. Después de un período inicial de 20 minutos de mezclado, que permite que la temperatura del sistema sea uniforme, se lee la temperatura ambiente con aproximación de 0.1°C y la temperatura del ácido con aproximación de 0.001°C; se empieza a contar el tiempo e inmediatamente se introduce por el embudo, a una velocidad uniforme, el óxido de zinc preparado según el numeral 18. La temperatura de éste al verterlo en el vaso, se considera igual a la del laboratorio. Se debe tomar de 1 a 2 minutos en verter el óxido de zinc. Las porciones de éste que queden adheridas a las paredes del embudo, se deben empujar al calorímetro con un cepillo apropiado.
- Se lee la temperatura, a los 20 y a los 40 minutos después de iniciar la introducción del óxido al calorímetro, con una aproximación de 0.001°C. En los primeros 20 minutos se obtiene cambio de temperatura correspondiente al período de disolución. El segundo período de 20 minutos, sirve para hallar los posibles cambios de temperatura del sistema. La diferencia entre la lectura al final del primer período y la correspondiente al final del segundo período, es la corrección que debe ser sumada o restada al cambio de temperatura del primer período, ya sea que la temperatura del calorímetro suba o baje, durante el segundo período.
- El cálculo del cambio de temperatura se hace como sigue:

$$R_0 = t_{20} - t_0$$

$$R = R_0 - (t_{40} - t_{20})$$

Donde:

R_0 = Cambio de temperatura del primer período, en °C.

t_{20} = Temperatura del calorímetro al final del primer período de disolución, en °C.

t_0 = Temperatura del calorímetro al introducir el óxido de zinc, en °C.

R = Cambio de temperatura corregida, en °C.

t_{40} = Temperatura del calorímetro al final del segundo período, en °C.

- La capacidad calorífica del sistema se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = P \frac{2561,1 + 0,1 (30 - t) + 0,12 (T - t)}{R}$$

Donde:

C = Capacidad calorífica del sistema, en cal/°C.

P = Peso del óxido de zinc, en g.

t = Temperatura final del primer período en °C (t_{20} más la temperatura en °C a la cual el termómetro BECKMANN marca 0).

T = Temperatura del óxido de zinc cuando se introduce al calorímetro, en °C (temperatura del laboratorio).

R = Cambio de temperatura corregida, en °C.

- e) Si al abrir el calorímetro se encuentra una cantidad apreciable de óxido de zinc adherido al extremo del embudo o en el tapón, el ensayo se debe repetir.

- f) Se debe volver a determinar la capacidad calorífica del sistema en los siguientes casos:

f.1. Cuando se altera la posición del termómetro dentro del tapón de corcho. Cuando se aplica una nueva capa protectora al termómetro, al agitador o al vaso. Cuando se ponen en servicio un termómetro, un agitador o un vaso nuevos. Cuando se usa una nueva preparación de ácido.

f.2. Cuando el operador lo considere necesario por alguna otra causa.

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CALOR DE HIDRATACIÓN

- a) Antes del mezclado, la temperatura del agua y la del cemento deben ser de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). Con una espátula, se mezclan 150 g de cemento y 60 ml de agua destilada y se agita la mezcla en la batidora por 5 minutos. Una vez preparada la mezcla, se colocan cantidades aproximadamente iguales de pasta en cuatro o más tubos de vidrio, llenándolos hasta unos 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") del borde. Inmediatamente después de llenados los tubos, se cierran con tapones de corcho; si es necesario, séllese con parafina. Los tubos se guardan luego en posición vertical dentro de la cámara a una temperatura constante de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el momento del ensayo.
- b) Preparación de la pasta parcialmente hidratada para el ensayo. Después del tiempo especificado para el ensayo, se saca uno de los tubos que estaba en la cámara y, mientras transcurren los 20 minutos del período inicial del mezclado en el calorímetro, se rompe el tubo para sacar la muestra y rápidamente se pulveriza en el mortero hasta que pase totalmente por el tamiz de 850 μm (No.20); enseguida, se pasa a un frasco pesasustancias bien tapado. Las muestras se deben exponer al aire el menor tiempo posible, especialmente las de 7 días, para reducir a un mínimo la acción del CO_2 e impedir las pérdidas por evaporación.
- c) Determinación del calor de disolución del cemento seco. Se determina en la misma forma que la capacidad calorífica del sistema, salvo que se usan 3 g de cemento, pesados con una precisión de 0,001 g, en lugar de óxido de zinc (ver punto "Procedimiento para la determinación de la capacidad calorífica del sistema"). Los resultados se deben calcular y expresar con base en el peso del cemento calcinado. Esta determinación debe hacerse inmediatamente antes de la correspondiente a la muestra parcialmente hidratada a los 7 días.
- d) Determinación del calor de disolución del cemento parcialmente hidratado. Se determina en la misma forma que el del cemento seco, salvo que se usan $4,18 \pm 0,05$ g de muestra, pesados con una precisión de 0,001 g. Se deben calcular los resultados con base en el peso del cemento calcinado.
- e) Determinación de las pérdidas por calcinación. Cuando se pesa la muestra que va a introducirse dentro del calorímetro, se debe tomar otra aproximadamente igual, para determinar las pérdidas por calcinación. En el caso del cemento seco, se coloca la muestra en un crisol y se pone en la mufla durante 90 minutos por lo menos, a una temperatura entre 900 a 950°C. Luego se coloca el crisol en un desecador, se deja enfriar a la temperatura del laboratorio e inmediatamente se pesa.

En el caso del cemento parcialmente hidratado, la muestra pesada, se seca en un horno a una temperatura entre 100 a 110°C por 1 hora y luego se coloca en la mufla a 900 – 950°C durante toda la noche o sobre un mechero de gas por un tiempo mayores 5 horas. El peso del cemento introducido al calorímetro se expresa con base en el peso después de calcinado, por medio de la siguiente fórmula:

$$W_i = \frac{W_2}{W_1} W$$

Donde:

W_1 = Peso del cemento introducido al calorímetro, sobre la base del peso después de calcinado, g.

W_2 = Peso de la muestra calcinada, g.

W_1 = Peso de la muestra antes de la calcinación, g.

W = Peso del cemento introducido al calorímetro, g.

CÁLCULO

- o Calor de disolución del cemento seco. Se calcula el aumento corregido de temperatura debido a la disolución del cemento. Si la temperatura de la solución dentro del calorímetro al final del primer período, es distinta de la temperatura de la solución al ser introducido el cemento, debe corregirse de la siguiente manera: como el cemento seco tiene un calor específico aproximado de 0,2 cal/g. °C de cemento calcinado, si la temperatura al final del primer período excede la de la muestra de cemento en el momento de ser introducida al calorímetro, se añade el calor de disolución, 0,2 cal por gramo y por grado centígrado de diferencia entre las dos temperaturas.

El calor de disolución se calcula como sigue:

$$H_i = \frac{R \times C}{W_i} - 0,2(T - t_d)$$

Donde:

H_i = Calor de disolución, en cal/g de cemento seco.

R = Cambio de temperatura corregido, en °C.

C = Capacidad calorífica del sistema en cal/°C.

W_i = Peso del cemento introducido al calorímetro con base en el peso calcinado, en g.

T = Temperatura del cemento cuando fue introducido al calorímetro, en °C (temperatura del laboratorio).

t_d = Temperatura del calorímetro al final del primer período, sobre cemento seco, en °C (t₂₀ más la temperatura a la cual se puso en cero el termómetro Beckmann).

- o Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado. Se calcula con las siguientes correcciones:

Como en la determinación del calor de disolución del cemento parcialmente hidratado, un aumento de 1°C en la temperatura al final del primer período causa en dicho calor una disminución aproximada de 0,3 cal/g, si la mencionada temperatura excede la del final del primer período en la determinación del calor de disolución del cemento seco, debe agregarse al valor obtenido para la muestra parcialmente hidratada, 0,3 cal/g por cada °C de diferencia.

Debe corregirse también el calor de disolución, si la temperatura dentro del calorímetro al final del primer período, es distinta a la de la solución al ser introducido el cemento. Esta corrección debe hacerse en la siguiente forma: Como el cemento parcialmente hidratado tiene un calor específico de unos 0,4 cal/g, si la temperatura al final del primer período excede a la de la muestra en el momento de ser introducida al calorímetro, se añaden al calor de disolución 0,4 cal/g por cada °C de diferencia entre las dos temperaturas.

El calor de disolución se calcula como sigue:

$$H_2 = \frac{R \times C}{W_i} - 0,4(T - t_h) - 0,3(t_d - t_h)$$

Donde:

H₂ = Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado, en cal/g.

t_h = Temperatura del calorímetro al final del primer período, sobre cemento parcialmente hidratado, en °C (t₂₀ más la temperatura a la cual se puso en cero el termómetro Beckmann).

- o Calor de hidratación. Debe expresarse con base en 25°C. Una temperatura mayor de 25°C eleva el calor de hidratación aproximadamente en 0,1 calorías por °C y por gramo de cemento calcinado. Por ejemplo, si la temperatura final es de 27°C, deben sustraerse 0,2 calorías del calor de hidratación observado, con el objeto de referirlo a 25°C. En los casos extremos, deben hacerse correcciones adecuadas para determinar la temperatura final del calorímetro. El calor de hidratación se calcula con una aproximación de 1 caloría, como sigue:

$$H_h = H_2 - 0,1(t_h - 25)$$

Siendo:

H_h = Calor de hidratación, del cemento calcinado en cal/g.

H₁ = Calor de disolución del cemento seco

H₂ = Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado.

t_h = El mismo significado que en el numeral 33.

REENSAYOS. En caso de que no se cumplan los requisitos exigidos para determinar el calor de disolución a los 28 días, se puede ensayar una muestra de reserva de más de 28 días, añadiendo 0.5 cal/g por día de exceso al calor de disolución observado. El período en el cual esta corrección puede ser hecha está limitado a 4 días. En caso de que la falla se presente en la determinación a los 7 días, debe hacerse el ensayo de nuevo, incluyendo el mezclado de la pasta. No es necesario determinar nuevamente el calor de disolución del cemento seco en reensayos.

PRECISIÓN

- o Los resultados de los ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 8 cal/g para el calor de disolución, ni más de 10 cal/g para el calor de hidratación.
- o Los resultados de dos ensayos efectuados por laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 13 cal/g para el calor de disolución, ni más de 11 cal/g para el calor de hidratación.

C.11 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

NORMA: ASTM C187/AASHTO T129

OBJETIVO. Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat o determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico, de consistencia normal, para su posterior ensayo.

EQUIPO

- o Balanzas y pesas. Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Método C.4 o C.5.
- o Probetas. Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Método C.4 o C.5.
- o Aparato de Vicat. El aparato de Vicat consiste en un soporte (A) que tiene un vástago móvil (B), que pesa 300 g. Uno de sus extremos (C) el de sondeo, tiene 10 mm de diámetro y una longitud mínima de 50 mm; el otro extremo tiene una aguja (D) de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El vástago (B) es reversible; puede sostenerse en la posición deseada por medio de un tornillo (E) y tiene un índice ajustable (F) que se mueve sobre una escala graduada en milímetros, rígidamente unida al soporte.

El aparato de Vicat también puede estar construido con vástago no reversible, pero en este caso debe tener un dispositivo de compensación de su peso que permita cambiar el émbolo por la aguja. Las secciones terminales de la aguja y del émbolo deben ser planas y perpendiculares al eje del vástago.

El molde en el cual se coloca la pasta debe ser de forma tronco-cónica y su base mayor debe reposar sobre una placa de vidrio. El molde debe ser de material no absorbente que resista física y químicamente al ataque de las pastas de cemento.

El aparato de Vicat y el molde deben cumplir con los siguientes requisitos:

Peso del émbolo	300 ± 0,5 g (0.661 lb ± 8 gramos)
Diámetro del émbolo	10 ± 0,05 mm (0.394 ± 0.002")
Diámetro de la aguja	1 ± 0,05 mm (0.039 ± 0.002")
Diámetro interior de la base mayor del molde	70 ± 3 mm (2.75 ± 0.12")
Diámetro interior de la base menor del molde	60 ± 3 mm (2.36 ± 0.12")
Altura del molde	40 ± 1 mm (1.57 ± 0.04")

La escala graduada, comparada con una escala patrón de exactitud de ± 0,1 mm en todos sus puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0,25 mm.

CONDICIONES AMBIENTALES. La temperatura ambiente en la sala de trabajo, así como la de las herramientas y materiales, excepto el agua, debe mantenerse entre 20 y 27.5°C. La temperatura del agua de mezcla debe ser de 23 ± 1.7°C. La humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor de 50%.

PROCEDIMIENTO

- a) Preparación de la pasta de cemento. Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de 500 g en forma de cono y se le hace un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua destilada y luego, con ayuda del palustre, se pasa al hoyo el cemento seco que lo rodea exteriormente, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, el cemento que aún

permanece seco en el exterior del cono debe mezclarse suavemente mediante el palustre con la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continua y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso y en el siguiente, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados. De forma opcional se puede seguir el procedimiento descrito en el Método M.1 "Mezcla mecánica de pastos y morteros de consistencia plástica".

- b) Llenado de moldes. La pasta de cemento preparada se moldea con las manos dándole forma esférica y se lanza 6 veces de una mano a otra a través de una distancia de unos 150 mm (6"). Con la muestra que permanece en una mano se llena completamente por la base mayor el molde, sostenido en la otra, quitando el exceso en esta base con un solo movimiento de la palma de la mano. Se coloca la placa de vidrio (H) sobre la base mayor, se voltea el conjunto y con ayuda de un palustre se quita el exceso en la base menor. Finalmente, el conjunto se sacude suavemente. Durante estas operaciones se debe tener cuidado de no comprimir la muestra.
- c) Determinación de la consistencia normal. El conjunto constituido por la placa, la pasta y el molde se lleva al aparato y se centra debajo del vástago (B), se hace descender el mismo hasta que el extremo del émbolo (C) haga contacto con la superficie de la pasta y se fija en esta posición por medio del tornillo (E). Se lee la posición inicial del índice (F) en la escala o se desplaza el índice hasta que coincida con el cero superior; 30 segundos después de terminada la mezcla, se suelta el vástago cuidando que el aparato no esté sometido a ninguna vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando el émbolo penetra 10 ± 1 mm, 30 segundos después de haber sido soltado. Si no se obtiene la consistencia normal en el primer ensayo, debe repetirse toda la operación, variando la cantidad de agua, hasta obtenerla; cada vez hay que emplear cemento nuevo.

CÁLCULO. La cantidad de agua requerida para obtener una pasta de consistencia normal debe calcularse como un porcentaje en peso del cemento seco, con aproximación del 0.1% y reportarse con aproximación del 0.5%.

PRECISIÓN. Los resultados de dos ensayos obtenidos ya sea por un mismo operador o por distintos laboratorios, no diferirán en más de 1,10%.

CAPÍTULO 25 — MORTEROS

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

M.1 PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA.....	ASTM C 305 / AASHTO T 162
M.2 EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO.....	ASTM C 243
M.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 109
M.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 348
M.4 FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 230 / AASHTO M152
M.5 CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND.....	ASTM C 596
M.6 RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 190 / AASHTO T 132
M.7 CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 185 / AASHTO T 137
M.8 EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS.....	ASTM C452

25.1 PROPIEDADES

Físicas

- o **Consistencia:** Es la oposición que presenta el mortero fresco a deformarse.

La consistencia óptima es aquella que permite una mejor trabajabilidad siendo el asentamiento recomendado, medido en el Cono de Abrams. La consistencia está íntimamente relacionada con la plasticidad.

Habitualmente, se definen 3 tipos de consistencias distintas: **seca, plástica y fluida**, en función de la mayor o menor cantidad de agua.

Cuando la consistencia es seca, el conglomerante solo rellena los huecos entre los áridos, quedando estos en contacto, con los rozamientos subsiguientes entre partículas, que se traducen en masas ásperas e intrabajables.

Si la consistencia es plástica, una fina película de conglomerante moja la superficie de los áridos, dando buena adherencia entre estos, del tipo de la existente entre dos placas de cristales con agua entre ellos. Esa película formada actúa como lubricante entre los granos de arena, proporcionando morteros de excelente trabajabilidad.

En la consistencia fluida, las partículas de árido se hallan inmersas en el seno de la pasta conglomerante, sin cohesión interna y con tendencia a depositarse por gravedad, lo que se denomina segregación. Los granos de arena no oponen ninguna resistencia al deslizamiento, pero el mortero es tan líquido, que se desparrama sobre la base empleada, sin permitir la ejecución de ningún trabajo.

- o **Retención de agua:** Consiste en el poder de conservar el agua de amasado que posee el material ante solicitaciones externas (atmosféricas, absorción de las piezas, etc.). Una adecuada retención permite mantener la plasticidad de la pasta para que las piezas puedan ser colocadas y niveladas, lo que se relaciona directamente con su trabajabilidad. Además, la capacidad de retención permite controlar la exudación producida por el diferente peso específico de los componentes del mortero. La exudación ocasiona asentamientos por sedimentación del mortero que al ser dispuesto genera efectos contraproducentes en la película superior del tendel descritos en el apartado de la resistencia.
- o **Durabilidad:** La idoneidad de los morteros de albañilería para utilizarlos en un ambiente determinado es fundamental, ya que deben ser suficientemente duraderos para resistir las condiciones de exposición local, así como las climáticas, las de mantenimiento y/o el diseño de la construcción, con objeto de mantener su integridad estructural durante, al menos, la duración prevista. Por ello, antes de elegir un mortero se ha de conocer el grado de exposición y la agresividad del medio al que va a estar sometido.
- o **Estanqueidad:** Ensayos de lluvia realizados demostraron que la principal fuente de filtración de agua sucede a través de las microfisuras que pueden abrirse entre las piezas y el mortero debidas a una insuficiente adherencia entre estos. En muchos casos, tal deficiencia se debe a una escasa hidratación del mortero en los inicios del fraguado. Si no se ha aportado suficiente agua o las piezas de la fábrica no estaban bien humectadas, estas pueden succionar el agua del mortero deshidratándolo.

Para asegurar la estanqueidad debe lograrse un contacto absoluto entre el mortero y las piezas de lo que se deduce la interrelación de esta propiedad con la adherencia. Como sabemos, en ésta incide especialmente la capacidad de retención de agua. Este factor permite controlar el fenómeno de exudación comentado anteriormente por el que los componentes de la masa con menor peso específico se elevan y los más pesados se sedimentan en la capa inferior.

Otro aspecto para aumentar la estanqueidad en relación con la adherencia del mortero radica en aumentar la cantidad de cemento y la utilización de aditivos hidrofugantes. Sin embargo, si la cantidad de cemento es excesiva pueden

aparecer retracciones que generen fisuras apareciendo nuevamente el problema de filtraciones que queríamos evitar. La aportación de cal hidratada proporciona también una mayor estanqueidad al agua de lluvia y permeabilidad al vapor de agua. Este componente provoca que el mortero seque de dentro a fuera por lo que si existe agua sobrante se evaporará sin generar humedades.

- o **Estabilidad:** Consiste en controlar el efecto de su **retracción**. Como el resto de materiales los morteros a lo largo de su vida útil sufren cambios de volumen debidos a diferentes causas.

Habitualmente los parámetros que aumentan la **retracción** o la hacen más evidente son:

- Alto contenido en áridos muy finos.
 - Excesiva cantidad de cemento y agua.
 - Sequedad del ambiente y cambios de temperatura.
 - Espesores de junta grandes.
- o **Aislamiento térmico:** El mortero de aislamiento muestra unas propiedades aislantes térmicas muy buenas. Este contiene al menos un 70% en volumen, preferentemente al menos un 80%, en particular al menos un 85% de poliuretano duro triturado y reciclado, siendo el resto cemento y opcionalmente, materiales suplementarios, además de aguas para el fraguado.

Mecánicas

- o **Resistencias a compresión:** La resistencia mecánica a compresión del mortero para albañilería, que debe declararla el fabricante, se determina a 28 días sobre probetas prismáticas de (40 x 40 x 160 mm.).

Las resistencias a compresión se expresan en N/mm² y se designan con la letra **M**; p. ej., M 10 es un mortero de albañilería, cuya resistencia a compresión, a 28 días, es 10 N/mm².

- o **Plasticidad:** Propiedad del mortero fresco de la que depende la mayor o menor aptitud para poder tenderlos y rellenar completamente las juntas. De la plasticidad depende lograr buena unión entre los elementos constructivos cuando colocamos mampuestos así como disminuir la penetración de agua en los cerramientos terminados.

La determinación de la plasticidad se puede considerar haciendo medidas de consistencia en cono de Abrams y limitando el contenido de finos.

Consistencia media de 17 a 18 cm. y un contenido de fino < 15% en peso o 10% si se usan plastificantes.

La plasticidad de un mortero es función principalmente del porcentaje de finos de la mezcla seca, incluidos conglomerante, finos y aditivos, si los tuviese.

25.2 ENSAYOS

M.1 MEZCLA MECÁNICA DE PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA

NORMA: ASTM C 305 / AASHTO T 162

OBJETIVO. Efectuar la mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica.

EQUIPO

- o Mezcladora. Consta de una paleta y un recipiente. Será impulsada eléctricamente, debe ser del tipo epicíclico, que imparte a la paleta movimiento de rotación y planetario; la mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (No se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos); la velocidad primera, o baja, girará la paleta a razón de 140 ± 5 rpm y el movimiento del planetario será aproximadamente 62 rpm. La segunda o rápida, robará la paleta a razón de 285 ± 10 rpm, con movimiento del planetario de aproximadamente 125 rpm. El motor que acciona el sistema, tendrá una potencia mínima de 125 W (1/6 hp). Cuando la mezcladora está en posición de trabajo, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.
- o Paleta mezcladora. Será de fácil remoción, construida de acero inoxidable, sus medidas serán tales que, cuando se encuentre en funcionamiento, su contorno se adapte al del recipiente usado con la mezcladora y quede entre ambos una luz de unos 4 mm, pero no menor de 0,76 mm, en el momento de su mayor proximidad.

- o Recipiente de mezcla. Será removible, construido de acero inoxidable, tendrá una capacidad nominal de 4,75 dm³. Estará equipado con los elementos necesarios para su fijación a la base de la mezcladora. Estará provisto de una tapa de material no absorbente ni atacable por las mezclas de cemento.
- o Raspador. Es una paleta de caucho semiduro, de unos 75 mm de largo, por 50 mm de ancho y espesor que va disminuyendo hacia el borde hasta 2 mm. Lo anterior estará unido a un mango de alrededor de 150 mm de largo.
- o Equipo Suplementario. Balanzas, pesas, probetas graduadas, y cualquier otro aparato utilizado en la medición y preparación de pasta y morteros antes del mezclado, cumplirán con los requisitos especificados en las normas correspondientes sobre métodos de ensayo.

TEMPERATURA Y HUMEDAD. La temperatura en el cuarto donde se realiza el ensayo se mantendrá entre 20 y 27,5°C (68 y 81,5°F). Los materiales secos, la paleta y el recipiente mezclador, estarán dentro de los rangos anteriores, al momento del ensayo. El agua para la mezcla estará a una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$). La humedad relativa del laboratorio no será inferior al 50%.

MATERIALES. Las proporciones y calidades de los materiales, cumplirán los requisitos exigidos en el método particular para el cual se preparen la pasta o el mortero.

PROCEDIMIENTO

- a) Para mezcla de pastas. Se colocan la paleta mezcladora y el recipiente de mezcla secos, en la posición de trabajo y se procede así:
 - a.1. Se vierte la totalidad del agua de amasado en el recipiente.
 - a.2. Se agrega el cemento y se deja en reposo 30 segundos, para que absorba el agua.
 - a.3. Se mezcla a la velocidad lenta (140 ± 5 rpm) durante 30 segundos.
 - a.4. Se detiene la mezcladora por 15 segundos, durante los cuales con el raspador, se pasa la pasta que se ha adherido a las paredes, al fondo del recipiente.
 - a.5. Se mezcla a velocidad rápida (285 ± 10 rpm) durante 60 segundos.
- b) Para la mezcla de morteros Se coloca la mezcladora en posición de trabajo (secando la paleta y el recipiente) y se procede así:
 - b.1. Coloque toda el agua de amasado en el recipiente.
 - b.2. Agregar el cemento al agua y mezclar en baja velocidad por 30 segundos.
 - b.3. Agregar lentamente la totalidad de la arena en un lapso de 30 segundos, mientras la mezcladora funciona a baja velocidad.
 - b.4. Se detiene la mezcladora, se cambia a la velocidad rápida y se mezcla durante 30 segundos.
 - b.5. Se detiene la mezcladora durante 90 segundos. En los primeros 15 segundos de este intervalo, se arrastra rápidamente hacia el fondo, el mortero que se ha adherido a las paredes. Para el resto del intervalo se tapa el recipiente.
 - b.6. Finalmente se mezcla a velocidad rápida, durante 60 segundos. Al requerirse un período de mezclado adicional, lo cual se debe establecer en el método respectivo, se arrastra hacia el fondo el material adherido a las paredes, antes de iniciar el mezclado adicional.

ADVERTENCIA. La luz entre el contorno de la paleta y el recipiente, especificada en este método, es adecuada para morteros ejecutados con arena normalizada. Cuando se use arena gruesa se debe reajustar la distancia entre el borde de la paleta y el recipiente, para evitar serios desperfectos al equipo.

M.2 EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO

NORMA: ASTM C 243

OBJETIVO. Determinar la velocidad y capacidad de exudación de las pastas y morteros de cemento.

EQUIPO

- o Balanzas. Tendrán una capacidad de 5.000 g con precisión de 5 g para una carga total.

- o Pesas. Se usará un juego de las siguientes:
 $1000 \pm 0,50 \text{ g}$; $500 \pm 0,35 \text{ g}$; $300 \pm 0,30 \text{ g}$; $250 \pm 0,25 \text{ g}$; $200 \pm 0,20 \text{ g}$
- o Compactador. Construido de un material no absorbente ni abrasivo (caucho, madera dura), con una sección transversal de 12 x 25 mm y una longitud de 130 a 150 mm. La superficie de compactación debe ser plana y perpendicular a su eje longitudinal.
- o Aparato para medir la exudación. Consta de lo siguiente:
 - Recipiente para la pasta o mortero, construido de metal anticorrosivo, de 127 mm (5") de diámetro, 102 mm (4") de altura. Un anillo exterior de 152 mm (6") de diámetro, soldado al perímetro del recipiente 12.7 mm (0.5") por debajo del borde superior y que sobresalga 38 mm (1.5") por encima del borde.
 - Anillo colector. Debe ser de metal anticorrosivo, de 76 mm (3") de diámetro interior y con el borde inferior chaflanado para dirigir el ascenso del agua al embudo.
 - Bureta y embudo. El conjunto de bureta y embudo deben ser de vidrio y con unión pulida, para facilitar la subida del agua en la bureta. La capacidad de la bureta debe ser de 25 ml y su longitud máxima de 46 cm., debe estar sostenida por un soporte, para la correcta colocación del embudo sobre el anillo colector. El diámetro exterior del embudo debe tener 74 mm (2.9") y el extremo del cuello debe cortarse perpendicularmente al eje longitudinal y tener el borde redondeado.
 - Tubo capilar reducido, Llave de paso y Aspirador. Este conjunto debe colocarse en la parte superior de la bureta, por medio de un adecuado tapón de caucho.
- o Mezcladora mecánica. Debe usarse la mezcladora indicada en el Método "Mezcla Mecánica de Pastas de Cemento Hidráulico y Morteros de consistencia Plástica".
- o Mesa de Flujo. Se debe usar la mesa señalada en el Método "Método para determinar la Fluidéz de Morteros de Cemento Hidráulico".
- o Molde. Se usará el molde que se utiliza en el Método "Método para determinar la Fluidéz de Morteros de Cemento Hidráulico".

CONDICIONES AMBIENTALES. La temperatura del laboratorio y la de los componentes de la mezcla será de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa del laboratorio no debe ser menor de 50%.

ENSAYO SOBRE PASTAS. La pasta que se debe emplear, cumplirá la siguiente proporción: 2300 g de cemento y 1035 g de agua.

Al mezclar mecánicamente la pasta, deben seguirse los pasos siguientes:

- a) Colocar toda el agua en el recipiente de la mezcladora.
- b) Agregar el cemento y mezclar por 3 minutos a velocidad lenta ($140 \pm 5 \text{ rpm}$).
- c) Dejar la pasta en reposo durante 3 minutos, en los primeros 15 segundos de este período, se raspa la pasta adherida a las paredes de la mezcladora, luego se tapa durante el período restante.
- d) Repetir la operación de mezclado por 3 minutos a velocidad lenta.

Procedimiento. Una vez que se ha preparado la mezcla, se vierte cuidadosamente en el recipiente muestreador y se enrasa el borde superior por medio de una regla de acero. El enrasado debe ejecutarse en 15 segundos e inmediatamente comenzarse el ensayo. Se debe colocar el anillo colector en el centro de la superficie de la pasta e introducirlo aproximadamente 19,1 mm ($3/4$ "). Se cubre la superficie de la pasta con tetracloruro de carbono hasta una altura de 32,0 mm ($1\frac{1}{4}$ ").

ENSAYO SOBRE MORTEROS. Para la preparación del mortero, se deben emplear 930 g de cemento y 2325 g de arena natural de sílice; la cantidad de agua necesaria, medida en gramos, será tal que produzca un flujo entre 105 y 110, determinado de acuerdo con el Método M.5, y debe expresarse como un porcentaje del peso de cemento. Como guía, para el ensayo inicial, el peso de agua en porcentaje del cemento, para producir el flujo requerido, debe ser aproximadamente de 50 a 52% para cemento Portland con aire incluido y de 52 a 54% para cemento Portland sin aire incluido.

La mezcla se hará de la siguiente forma:

- a) Se coloca toda el agua en la mezcladora.
- b) Se adiciona el cemento y se inicia la mezcla durante 30 segundos a velocidad lenta ($140 \pm 5 \text{ rpm}$).

- c) Se agrega la arena lenta y cuidadosamente durante 30 segundos.
- d) Se continúa el mezclado a velocidad lenta durante un período adicional de dos (2) minutos.
- e) Se detiene la mezcladora y se deja en reposo el mortero durante tres (3) minutos; durante los primeros 15 segundos de este intervalo, se raspa el mortero adherido a las paredes, a continuación se cubre el recipiente con la tapa o con un paño húmedo.
- f) Finalmente se repite la operación de mezclado a velocidad lenta por tres (3) minutos.

Determinación del flujo. El flujo en la mezcla de mortero se determina de acuerdo al procedimiento descrito en el Método M.5 con las siguientes excepciones:

La mesa de flujo se deja caer desde una altura de 13 mm (½"), diez (10) veces en seis (6) segundos.

Cuando se haya obtenido una cantidad de mezcla (bachada) que tenga el flujo apropiado, la porción utilizada para hacer la determinación del flujo, se descarta y no se utiliza en la determinación de la pérdida de agua por exudación.

Procedimiento. Inmediatamente después del ensayo de flujo, el mortero que queda en el recipiente de mezclado, se vuelve a mezclar durante 30 segundos, dentro de un tiempo total no mayor de 2 minutos y 30 segundos, después de completar la mezcla original de mortero. Empiece colocando el mortero en el recipiente muestreador, en tres (3) capas, apisonando cada capa 40 veces con el compactador y nivelando la superficie con el borde del recipiente, alisándola con la platina de acero de borde recto. Continúe el ensayo de manera similar para la pasta (punto "Ensayo sobre la pasta"), tomando como tiempo inicial el de la terminación de la nivelación de la superficie del mortero en el recipiente.

CÁLCULOS

- o Velocidad de Exudación. Se calcula la velocidad inicial de exudación, utilizando los valores tomados durante los primeros 30 minutos del ensayo, cuando la pérdida de agua tiene velocidad uniforme.

Puesto que muchos cementos no pierden agua a velocidad uniforme durante los primeros 30 minutos del ensayo, se hace necesario dibujar un gráfico de valores de "pérdida de agua contra tiempo" para determinar la correcta pendiente inicial de la curva, la cual es la rata de exudación inicial.

$$R_B = V_1 / A \times t$$

Donde:

R_B = Velocidad de exudación, $\text{cm}^3/\text{cm}^2.\text{s}$

V_1 = Volumen de la pérdida de agua en cm^3 , medido durante el intervalo de tiempo t .

A = Area, en cm^2 , comprendida entre el anillo colector (76,2 mm (3") diámetro).

t = Tiempo, en segundos, durante el cual la pérdida de agua tiene la velocidad uniforme.

- o Capacidad de Exudación Se calcula así:

$$C_B = V_2 / V_3$$

Donde:

C_B = Capacidad de exudación, cm^3/cm^3 .

V_2 = Volumen total de la pérdida de agua, cm^3 .

V_3 = Volumen del cilindro de pasta o mortero directamente debajo del anillo colector en cm^3 .

INFORME. En el informe de cálculo y resultados, los valores de velocidad y capacidad de exudación, se expresan con aproximación de 3 cifras significativas.

PRECAUCIÓN. El aparato para la medida de exudación, deberá colocarse en un lugar donde no haya vibraciones y preferiblemente sobre una lámina de caucho o equivalente.

M.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 109

OBJETIVO. Determinar del esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50,8 mm (2") de lado. La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50,8 mm (2") compactados en dos (2) capas. Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo.

EQUIPO

- o Balanzas, con capacidad de 2.000 g y precisión de 2 g.
- o Tamices. Se requiere una serie con los siguientes:

1,18 mm (No.16)	300 μ m (No.50)
600 μ m (No.30)	150 μ m (No.100).
- o Probetas. Las probetas de vidrio, deben tener con preferencia una capacidad que permita medir el agua total de mezcla, en una sola operación; serán graduadas por lo menos cada 5 ml y tendrán una precisión de 2 ml, al indicar el volumen a 20°C (68°F).
- o Cámara húmeda. Se requiere una cámara que tenga condiciones adecuadas, para almacenar con facilidad las muestras, y mantener una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$, con una humedad relativa no menor del 90%.
- o Moldes. Para los cubos de 50,8 mm (2") se requieren moldes que no tengan más de tres (3) compartimentos, ni consten de más de dos (2) elementos separables. Estos elementos deben estar dotados de dispositivos que aseguren una perfecta y rígida unión; serán fabricados de metal duro, no atacable por las mezclas de cemento y que no vayan a producir ensanchamientos o pandeos en los especímenes. Las caras interiores, serán planas y lisas con variación máxima de 0,025 mm; la distancia entre las caras opuestas, (50,8 mm) tendrá variación máxima de 0,508 mm y la altura de 50,8 mm tendrá una variación permisible de 0,38 mm. El ángulo formado por las caras interiores adyacentes será de $90 \pm 0,5^\circ$.
- o Mezcladora. Cumplirá con los requisitos de el Método M.1.
- o Mesa de Flujo. Cumplirá con los requisitos de el Método M.5.
- o Compactador. Cumplirá con lo especificado en el Método M.5.
- o Palustre. Será de una longitud entre 100 y 150 mm (4" y 6") con hoja de acero.
- o Máquina de Ensayo. Podrá ser mecánica o hidráulica, con una abertura suficiente entre los apoyos, para que permita colocar la muestra y los aparatos de comprobación. La carga aplicada a la muestra, deberá medirse con una tolerancia de $\pm 1,0\%$. El soporte superior, tendrá una esfera metálica firmemente asegurada al centro del apoyo superior de la máquina (sistema de rótula). El centro de la esfera estará sobre la perpendicular levantada el centro de la superficie del bloque en contacto con la muestra (cubo). El bloque se colocará asentando sobre la esfera, pero podrá inclinarse libremente en cualquier dirección. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo será ligeramente mayor que la diagonal de la cara de la muestra (cubo), para facilitar su centrado. Debajo del cubo se colocará un bloque metálico para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Este bloque tendrá marcas grabadas, que permitan centrar exactamente el cubo y su dureza Rockwell no será inferior a 60 HRC. Las superficies que van a hacer contacto con los cubos, deben ser planas y con variación permisible de 0,025 mm (0.001").

MATERIALES-ARENA. La arena usada para hacer las muestras (cubos), en este ensayo, será natural de sílice; normalizada para ensayo y gradada de acuerdo con los siguientes tamices:

TABLA M.3.1. TAMICES PARA NORMALIZACIÓN Y GRADACIÓN DE ARENA

Tamices		% que pasa
	Alternativa	
1,18 mm	(No.16)	100
600 μ m	(No.30)	96 - 100
300 μ m	(No.50)	23 - 33
150 μ m	(No.100)	0 - 4

Para comprobar la gradación normalizada, se toma el contenido de un saco lleno de arena, de aproximadamente 45 kg, se extiende en una superficie plana y por cuarteo se toman unos 700 g; de esta muestra, se toman unos 100 g y se hace el tamizado, tomando las mallas en forma independiente; en 60 segundos de continuo tamizado no pasarán por el tamiz más de 0,5 g. El material retenido en cada malla estará de acuerdo con la gradación presentada antes.

CONDICIONES DE ENSAYO

- o Condiciones Ambientales. La temperatura del aire en las vecindades de la mezcladora, moldes, materiales, prensa, etc., será de 20 a 27,5°C (68 a 81.5°F).
- o El agua de mezclado tendrá una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ (73.4 $\pm 3^\circ\text{F}$).
- o La humedad relativa no será menor del 50%. Se deberá comprobar el flujo del mortero conforme lo establecido en el Método M.5.

- o Se deben hacer varios morteros de prueba con variantes en el porcentaje de adición del agua hasta obtener el flujo especificado. Cada prueba se hará con mortero nuevo.

PROCEDIMIENTO

- Preparación de los moldes. A los moldes se les aplicará en sus caras interiores una capa delgada de aceite mineral ligero. Las superficies de contacto de los elementos separables se revestirán de una capa de aceite mineral pesado, luego se unen estos elementos y se elimina el exceso de aceite en cada uno de los compartimentos. Luego se coloca el molde sobre una placa plana, no absorbente, cubierta con una delgada capa de aceite. En la parte exterior de las juntas de las partes que componen el molde, o de éstos con la placa, se aplicará una mezcla de 3 partes en peso de parafina y 5 partes de resina o cera calentada a 110 -120°C, para impermeabilizar.
- Composición del mortero. Las proporciones en peso de materiales para el mortero normal serán de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada, usando una relación agua - cemento de 0,485 para los cementos Portland y 0,460 para las que contienen aire; sin embargo, será tal que produzca un flujo de 110 ± 5 , expresada en porcentaje del cemento.

Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la bachada parra seis (6) cubos de ensayo, serán de 500 g de cemento y 1375 g de arena y 242 ml de agua, aproximadamente. Para nueve (9) cubos se requieren 740 g de cemento, 2035 g de arena y 359 ml de agua¹³. Moldeo de Especímenes.

Después de preparado el mortero, hay que dejarlo quieto en la mezcladora por 90 segundos, sin cubrirla. Durante los últimos 15 segundos de este intervalo, rápidamente se debe raspar el mortero pegado en las paredes y luego remezclar por 15 segundos a velocidad lenta. Dentro de un tiempo transcurrido no mayor de 2 minutos y 30 segundos después de completar la mezcla original de la bachada, se inicia el llenado de los compartimentos, colocando una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicarán sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una, como se ilustra en el siguiente esquema.

1	2	3	4
8	7	6	5

4	5
3	6
2	7
1	8

Los golpes de cada etapa se darán siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal, que asegure el llenado de los compartimentos. Se deben completar las cuatro (4) etapas de compactación, en cada compartimiento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenan con una segunda capa y se procede como en la primera.

Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, se introduce en el compartimiento el mortero que se ha depositado en los bordes del molde. A lo largo de estas operaciones, el operario usará guantes de caucho. Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos, deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana del palustre, retirando el mortero sobrante, con un movimiento de vaivén.

- Almacenamiento de los especímenes. Terminada la operación de llenado, el conjunto de molde y placa, se colocará en la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con la cara superior expuesta al aire húmedo, pero protegidos contra la caída de gotas. Si los cubos se retiran del molde antes de las 24 horas, se dejarán en la cámara húmeda hasta completar este tiempo. Los cubos que no se van a ensayar a las 24 horas, se sumergen en agua-cal saturada dentro del tanque de almacenamiento, construido con material no corrosivo; el agua del tanque se renovará frecuentemente para que permanezca limpia.
- Ensayo. Los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, deben sacarse del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm \frac{1}{2}$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.
- Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras están perfectamente planas.
- Colóquese cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo, debajo del centro de la parte superior de la máquina, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.

Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13,3 kN (3000 lbf), se aplica a éste una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13,3 kN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo. La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13,3 kN (3000 lbf) o la carga total en

los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80 segundos, desde el inicio de la carga. No se hará ningún ajuste a la máquina mientras se esté efectuando el ensayo.

CÁLCULOS E INFORME. Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión, siendo el área nominal de la sección del cubo de 2581 mm², la cual no debe variar de la real en ± 38 mm²; si hay variación mayor, el cálculo se hará con base en el área real. Los cubos defectuosos o los que den resistencias que difieran en más del 10% del promedio de todas las muestras hechas de la misma mezcla y ensayadas al mismo tiempo, no se tendrán en cuenta al determinar la resistencia. Cuando se trate de ensayos especiales, se fundirá un número mayor para obtener un promedio final de más de tres (3) resultados.

M.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 348

OBJETIVO. Determinar la resistencia a la flexión, de morteros de cemento hidráulico. El ensayo se ejecutará sobre prismas de 40 x 40 x 160 mm (1.575 x 1.575 x 6.3 pulg) moldeados en dos (2) capas y curados durante un 24 horas.

EQUIPO

- o Balanzas, pesas, tamices, probetas y mezcladora; deberán cumplir con lo establecido en el Método M.3.
- o Mesa de Flujo, de acuerdo al Método M.5.
- o Moldes. Serán contruidos de metal no atacable por los morteros de cemento y de espesor tal, que no presenten deformaciones al ser llenados con la muestra; constarán de tres (3) compartimentos de 40 x 40 x 160 mm (1.575 x 1.575 x 6.3 pulg) cada uno, con las siguientes tolerancias para el ancho y alto: de $\pm 0,13$ mm (0.01") para moldes nuevos, o 0,25 mm (± 0.02 ") para moldes en uso; la longitud puede variar en $\pm 2,54$ mm (± 0.10 "). Las caras interiores serán planas; los ángulos entre dos caras interiores adyacentes deben ser de $90 \pm 0.5^\circ$. El molde debe colocarse sobre una placa de unos 10 mm (3/8") de espesor, con una superficie plana de 178 mm (7") por 203 mm (8") con variación permisible de 0.025 mm (0.001").
- o Compactador. El compactador debe ser de un material no absorbente ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera curada..
- o Guía del compactador. Se construirá de un metal no atacable por el mortero, como bronce; de dureza no inferior de 55B, ésta debe acoplarse al molde en tal forma, que sus bordes inferiores no se separen de los superiores del molde, en más de 0.38 mm (0.015"). La altura total de la guía debe ser de 25,4 mm (1").
- o Paleta de albañil. constará de una hoja de acero de 112 x 254 mm (4½ x 10").
- o Dispositivos para la prueba de flexión. Serán diseñados en tal forma, que cumplan con los siguientes requisitos:
 - La muestra será cargada en su punto medio.
 - Las distancias entre los puntos de apoyo y el de aplicación de la carga, permanecerán constantes.
 - La carga será aplicada normal a la superficie de la muestra de manera que no produzca excentricidades.
 - Las direcciones de las reacciones serán paralelas a la de la carga aplicada durante el ensayo.
 - La carga será aplicada a velocidad uniforme y sin producir impacto.

MUESTRAS

- o Deben prepararse tres (3) o más muestras para cada período de ensayo.
- o Se usará arena gradada normalizada, del tipo Ottawa, o la especificada en el ensayo, Método M.7.
- o La temperatura del ensayo estará, entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F); el agua de amasado estará a $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ (73.4 \pm 3°F). La humedad relativa no será menor del 50%.
- o Las proporciones en peso para formar un mortero normal, deben ser de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada seca. Para obtener tres (3) muestras, deberán usarse 500 g de cemento y 1375 g de arena.
- o La cantidad de agua de amasado, dada en ml, será la que produzca una fluidez de 110 ± 5 , determinada de acuerdo al Método M.5. La mezcla se ejecutará mecánicamente, según el Método M.1.

PREPARACIÓN Y LLENADO DE MOLDES. A los moldes se les aplicará una capa delgada de aceite mineral. Las superficies de contacto de los elementos separables, se revestirán con una capa delgada de aceite mineral pesado o grasa ligera. Luego, se unen los elementos que componen el molde y se eliminan los excesos de aceite o grasa, y se coloca el molde en una placa plana no absorbente y cubierta con una capa delgada de aceite mineral. En la parte exterior de las juntas de los elementos, se aplicará una mezcla de tres (3) partes de parafina y cinco (5) de resina, o cera, en peso, calentadas entre 110 y 120°C (230 y 248°F), para impermeabilizarlas. Preparado el mortero y remezclado por 15 segundos a velocidad lenta, se vierte una capa de aproximadamente 20 mm (3/4") de espesor, uniformemente distribuida en cada compartimento, acoplado previamente la guía del compactador al molde y se procede a compactar el mortero en cada molde, por 12 veces, aplicadas en tres (3) etapas de 4 golpes cada una, como se muestra en el esquema. Para dar cada golpe del compactador, se coloca la cara inferior de éste en posición horizontal a unos 25 mm (1") de la superficie de la capa, y se baja verticalmente con una fuerza tal, que haga salir una pequeña cantidad de mortero debajo de la superficie de compactación. Se termina el llenado total de los compartimentos con capas de mortero uniformemente distribuidas, que se compactan en la forma utilizada con la primera capa. Se retira la guía de compactación y se alisa la superficie de la muestra; se enrasa y se elimina el exceso de mortero; se reparan las rajaduras en la cara superior y se alisa la superficie con 2 ó 3 pasadas del palustre. Las muestras se almacenan como se indica en el Método M.3.

TABLA M.4.1. ORDEN DE APISONADO DE LAS CAPAS

1	2
4	3

ENSAYO.

- Las muestras que van a ser ensayadas a las 24 horas se sacan de la cámara húmeda, se secan y limpian superficialmente y se pasan a la máquina de prueba. Si son varias las muestras que se sacan de la cámara húmeda o del tanque, se cubrirán con una toalla húmeda. Todas las muestras se probarán dentro de las siguientes tolerancias.

TABLA M.4.2. TOLERANCIAS

Edad de la muestra	Tolerancia
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

- Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras sean perfectamente planas; si tienen curvatura, se tratará de rasparlas y si no es posible, se desecharán.
- Se acoplan los dispositivos para la prueba de flexión en la máquina de ensayo. Se coloca la muestra sobre los cilindros de apoyo en tal forma, que quede sobre éstos una cara que haya estado en contacto con la pared del molde. El eje longitudinal de la muestra y los puntos medios de los cilindros en contacto con ella, deben estar en el mismo plano vertical. Se acopla a la máquina el dispositivo para la aplicación de la carga, en tal forma que el eje longitudinal del cilindro de carga, forme ángulo recto con el eje longitudinal de la muestra, sea paralelo a la cara a la que se le aplica la carga y pase por el punto medio de la longitud de la muestra. Se debe garantizar durante el ensayo, un contacto perfecto entre el cilindro de carga y la muestra.
- La carga será aplicada a una velocidad de 272 ± 12 kg/min (600 ± 25 lbf/min), la cual se leerá con aproximación de $\pm 1\%$ en un tablero graduado.
- Debe anotarse la carga de rotura, con una aproximación de 2 kg (5 lbf).

CÁLCULOS. Se anota la carga máxima de rotura y se calcula la resistencia a la flexión por la fórmula:

$$S = 0.28P$$

Siendo:

S = Resistencia a la flexibilidad, KPa
P = Carga máxima total, N

$$S = 0.278P$$

Siendo:

S = Resistencia a la flexión, en kg/cm².
P = Carga máxima aplicada en kg., ó

$$S = 1.8P$$

Siendo:

S = Resistencia a la flexión, en lb/pulg²

P = Carga máxima total en, lbf.

La resistencia del mortero a la flexión es el promedio de los resultados obtenidos con la misma muestra (bachada) y en el mismo período de ensayo. Las muestras defectuosas o las resistencias que difieran más del 10% del promedio no se tendrán en cuenta para promedio.

M.5 FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 230 AASHTO M 152

OBJETIVO. Determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico, utilizando la mesa de flujo.

EQUIPO

- o Mesa de flujo. Se trata de una mesa y consta en esencia de lo siguiente: Un soporte, un árbol y una plataforma circular.

- La plataforma o mesa será circular de $254 \pm 2,54$ mm (10 ± 0.1 ") de diámetro y 7,62 mm (0.3") de espesor; debe ser de bronce o latón de dureza Rockwell no menor de 25 B y debe tener en la cara inferior 6 nervios integrales de refuerzo, dispuestos radialmente. La cara superior debe ser plana, pulida y libre de defectos superficiales.
- El árbol es un elemento que va unido perpendicularmente al centro de la plataforma por medio de una rosca, y que a su vez se montará rígidamente en el soporte, de tal forma que pueda bajar y subir verticalmente, dentro de una altura determinada, por medio de una leva rotativa. La tolerancia para la altura es de $\pm 0,13$ mm (± 0.005 ") para mesas nuevas, y de $\pm 0,38$ mm (± 0.015 ") para mesas en uso.

La leva y el árbol deben ser de acero semiduro; el acero del árbol debe ser endurecido por templado. El árbol debe ser recto. La tolerancia entre el diámetro del cilindro del soporte y el árbol, estará comprendida entre 0,05 y 0,08 mm (0.002" y 0.003") para mesas nuevas, y entre 0,05 y 0,25 mm (0.002 y 0.010") para mesas usadas. La leva debe tener forma de espiral, con un radio que aumenta de 12,7 a 31,75 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ ") en 360 grados. El extremo del árbol no debe golpear la leva en el punto de caída, debe hacer contacto con ésta suavemente antes de 120 grados, contados a partir de dicho punto. La leva y el árbol deben diseñarse en tal forma que la plataforma no rote más de una vuelta en 25 caídas. Las superficies de la cara superior del soporte y del resalte del árbol, deben hacer contacto perfecto en el momento de la caída de la plataforma; para esto, deben mantenerse pulidas, planas y paralelas a la cara superior de la mesa.

- El soporte debe ser de hierro fundido de grano fino de alta calidad y debe tener tres (3) nervios de refuerzo integrales, a lo largo de toda la altura, separados 120° grados. Un mínimo de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") de la cara superior del soporte, debe endurecerse por templado.

La mesa de flujo debe ser accionada por un motor de 0,3 W (1/20 HP) como mínimo, conectado al eje de la leva por medio de un engranaje helicoidal blindado, que reduzca la velocidad. La velocidad de la leva debe ser de 100 r.p.m. El motor no debe montarse o soportarse en la base del soporte, ni en el árbol.

- o Montaje de la mesa de flujo. El soporte de la mesa se atornillará firmemente a una platina de hierro o acero, de 254 mm (10") de lado y 25,4 mm (1") de espesor, cuya cara superior sea fresada hasta obtener una superficie plana y pulida. La placa debe anclarse a un pedestal de hormigón por medio de cuatro (4) pernos de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro, embebidos en el pedestal un mínimo de 152,4 mm (6"). La base del pedestal y la cara inferior de la placa deben hacer contacto en todos sus puntos. El pedestal será un tronco piramidal monolítico de 635 a 762 mm (25" a 30") de altura, con sección cuadrada superior, cuyo lado sea entre 254 y 280 mm (10 y 11") y cuya base cuadrada tiene lado entre 381 y 406 mm (15 y 16").

Bajo cada esquina del pedestal debe colocarse un empaque cuadrado de corcho de 100 mm (4") de lado, por 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de espesor. Se debe controlar frecuentemente el nivel de la mesa, la firmeza del pedestal y el ajuste de los pernos de anclaje.

Una vez que ha sido montado el árbol en el pedestal, la mesa de flujo deberá nivelarse en las posiciones alta y baja, a lo largo de diámetros perpendiculares entre sí.

El árbol de la mesa de flujo, debe mantenerse limpio y cuidadosamente lubricado con aceite liviano, tipo (SAE-10), lo mismo que la leva, para disminuir el desgaste. Cuando la mesa no haya sido usada durante algún tiempo, debe levantarse y dejarse caer la plataforma por lo menos 12 veces antes de empezar los ensayos.

- o Molde. Debe ser de bronce o latón, de dureza Rockwell no inferior a 25 B, su peso no será inferior a 907 g, y su espesor mínimo de 5,1 mm (0.2"), su forma es de tronco de cono recto, con base superior de $69,8 \pm 0,5$ mm (2.75 ± 0.02 ") de diámetro para moldes nuevos y $69,8 \pm 1,3$ mm (2.75 ± 0.05 ") de diámetro para moldes usados; la base

inferior será de $100 \pm 0,5$ mm (4 ± 0.02 ") de diámetro y altura de $50 \pm 0,5$ mm (2 ± 0.02 "). La base menor estará provista de un collar integral, para facilitar su remoción; en la base inferior del molde, debe colocarse una corona de un material no atacable por el mortero y unos 254 mm de diámetro mayor y 100 mm de diámetro menor, con el objeto de evitar que el mortero que queda fuera del molde, cuando esté lleno, caiga sobre la plataforma.

- o Calibrador. Se usará uno para medir los diámetros de la base del mortero, durante el ensayo. Las divisiones de la escala deberán estar grabadas sobre la superficie metálica.
- o Compactador. Será de material no absorbente, abrasivo ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera (Roble curado). La sección transversal debe ser rectangular de unos 13 x 16 mm ($\frac{1}{2}$ x 0.6") y una longitud entre 130 y 150 mm (5" y 6").

PROCEDIMIENTO

- a) Llenado del Molde. Se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, se coloca el molde en el centro, se vierte en el molde una capa del mortero que se requiere ensayar, de unos 25 mm (1") de espesor, y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos; con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa. La presión del compactador, será la suficiente que asegure el llenado uniforme del molde. Se retira el exceso de mortero de la capa superior y se alisa la superficie por medio de un palustre.
- b) Ensayo. Lleno el molde, se limpia y se seca la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de secar el agua que está alrededor de la base del molde.

Después de un (1) minuto de terminada la operación de mezclado, se retira el molde, levantándolo e inmediatamente se deja caer la mesa de flujo desde una altura de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra, por lo menos en cuatro puntos equidistantes y se calcula el diámetro promedio.

- c) Interpretación de los resultados. La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - 101,6 \text{ mm}}{101,6 \text{ mm}} \times 100$$

M.6 CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND

NORMA: ASTM C 596

OBJETIVO. Este método establece un método para determinar el efecto producido por el cemento Portland sobre la contracción de una arena gradada sujeta a unas condiciones de temperatura, humedad relativa y tasa de evaporación establecidas para el ambiente.

EQUIPO

- o Balanzas, pesas, probetas graduadas, moldes, palustres y comparador de longitudes, todo esto conforme al Método "Expansión del cemento en el autoclave".
- o Apisonador.
Deberá ser hecho con un material no absorbente y no abrasivo, como caucho de dureza media o madera de roble con propiedad de no absorción lograda mediante inmersión en parafina a 200°C (392°F). Deberá tener una sección transversal de 13 x 25 mm ($\frac{1}{2}$ x 1") y una longitud de 150 mm (6"), aproximadamente. Su cara apisonadora deberá ser plana y perpendicular a su eje longitudinal.
- o Dispositivo para desmoldar, construido de forma adecuada para extraer los especímenes de los moldes.

TEMPERATURA Y HUMEDAD

- o Sala de trabajo. La temperatura ambiente de la sala de trabajo, así como de los materiales secos deberá ser mantenida entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F). La humedad relativa deberá ser del 50%. La temperatura del agua de mezcla no deberá variar del valor de 23°C (73.4°F) en más de 1,7°C (3°F).
- o Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7$ °C (73.4 ± 3 °F) y a una humedad relativa no menor de 90%.

- o Cuarto de secado y controles. Un cuarto de secado con bastidores apropiados deberá proporcionarse para almacenar los especímenes al aire. Los bastidores deberán ser diseñados de tal forma que permitan la circulación libre del aire alrededor de los especímenes, exceptuando en el sitio de los soportes. Los especímenes deberán estar situados con respecto a las paredes del cuarto o a cualquier otra obstrucción, de tal manera que no se restrinja la circulación de aire en el espacio entre ellos. Los soportes deberán ser horizontales y deberán componerse de dos miembros no absorbentes con una altura no mayor de 25 mm (1") y un ancho de no más de 6 mm (¼"). Deberá hacerse circular aire acondicionado hacia adentro y hacia afuera del cuarto de forma tal, que la tasa de evaporación especificada sea lograda sobre cada uno de los especímenes. El aire dentro del cuarto deberá mantenerse a una temperatura de $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3,0^{\circ}\text{F}$) y una humedad relativa de $50 \pm 4\%$. La tasa de evaporación deberá ser de 7 ± 30 ml/24 h medida con un atmómetro o de 13 ± 5 ml/24h medida con un beaker tipo Griffin de 400 ml de bajo tamaño que esté lleno hasta 20 mm (¾") por debajo de su borde superior. La tasa de evaporación se medirá a diario, mediante el uso del Atmómetro o por la pérdida de agua del frasco Griffin.

TOMA DE MUESTRAS. Efectúese la toma de muestras del cemento o los cementos, según el Método H0201 "Muestreo y aceptación del Cemento Hidráulico.

PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

- a) Cantidad de especímenes. Deben hacerse cuatro (4) especímenes de ensayo en total. Aunque el conjunto de especímenes de ensayos puede conformarse de cuatro (4) especímenes hechos con mortero de una sola bachada, es preferible hacer doce (12) especímenes hechos de tres bachadas, elaborando cuatro especímenes de cada bachada y cada bachada hecha un día distinto a las otras.
- b) Preparación de los moldes. Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; se arman los moldes y se recubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego se colocan los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.
- c) Preparación de la pasta de cemento. Una bachada de mortero deberá consistir de 750 g de cemento, 1500 g de arena gradada y una cantidad de agua suficiente para producir un flujo de $110 \pm 5\%$ Método M.5. La arena gradada deberá ser como se especifica en el Método M.3. El mezclado deberá hacerse según el Método M.1.
- d) Llenado de moldes. Colóquese el mortero en el molde, aproximadamente en dos capas iguales. Compáctese cada capa con el apisonador. Cúidese de obtener una perfecta compactación en las esquinas, alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde. Debe lograrse una compactación uniforme. Después que la capa superior haya sido compactada, enrásese el mortero con la parte superior del molde y alísese la superficie con algunos golpes de palustre. Inmediatamente después de terminado el llenado de los moldes, aflójese el dispositivo que sostiene los topes de medida en posición en cada extremo del molde, para prevenir cualquier restricción de la expansión inicial del espécimen por parte de los topes.

PROCEDIMIENTO

- a) Cúrese el espécimen de ensayo en la cámara húmeda, teniendo cuidado de evitar los goteos o escurrimientos de agua. Remuévanse los especímenes de los moldes, cuando se hayan cumplido $23\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$ horas después de la adición del agua al cemento en la operación de mezclado. Cúrese en agua por un período de 48 horas. Al cumplir una edad de 72 ± 1 horas después de la adición del agua al cemento, retírense del agua los especímenes, séquense con un trapo húmedo y midase inmediatamente su longitud.
- b) Inmediatamente después de la medición inicial tomada al final del período de curado, almacénense al aire los especímenes en el cuarto de secado por un período de 25 días. Cada espécimen deberá estar separado de cualquier otro o de cualquier sólido del cuarto de secado una distancia de por lo menos 25 mm (1"), en cualquier punto. Tómense lecturas de longitud de los especímenes a los 4, 11, 18 y 25 días de almacenamiento al aire. Tómense las lecturas preferiblemente en un ambiente con humedad relativa de $50 \pm 4\%$, mientras se mantienen los especímenes a una temperatura de $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$). Téngase especial cuidado en conservar la temperatura y la humedad dentro de las tolerancias y alrededor del promedio.

CÁLCULOS

- a) Repórtese la contracción lineal de cada espécimen basándose en la medición inicial (tomada después del período de curado a una edad de 72 horas) y las mediciones después de 4, 11, 18 y 25 días de almacenamiento al aire, como millonésima y como porcentaje de la longitud de medición efectiva.
- b) Repórtese el cambio promedio por unidad de longitud, expresado en millonésimas y como un porcentaje de la longitud de medición efectiva, de los cuatro especímenes pertenecientes a una misma bachada de mortero, como contracción por secado del mortero. Si uno de los cuatro especímenes de una bachada resulta defectuoso, pueden efectuarse los cálculos con los otros tres. Si más de un espécimen resulta defectuoso, debe repetirse el ensayo con una nueva bachada de cemento. Si se ha ensayado más de una bachada, repórtese el promedio de los resultados de las bachadas.
- c) Puede calcularse una contracción por secado última del mortero, dibujando los valores de contracción en función del recíproco del tiempo. El tiempo incluye el período de curado en húmedo.

PRECISIÓN

- a) Resultados de los ensayos (cada uno obtenido de cuatro determinaciones de la misma bachada) efectuados por un mismo operador en días diferentes no deberán diferir por más de 70 millonésimas.
- b) Los resultados del ensayo (cada uno obtenido por el promedio de las cuatro determinaciones de la misma bachada) obtenidas por dos laboratorios no deberán diferir por más del 25% de su promedio.

M.7 RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 190 AASHTO T 132

OBJETIVO. Determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Balanzas. Deben ser equipos de precisión para efectuar pesadas de 1000 g a 2000 g.
- o Tamices. Se requieren los tamices de 850 μm (No.20) y 600 μm (No.30).
- o Probetas Graduadas. Preferentemente de un tamaño tal, que permitan medir el agua de amasado en una sola operación, pueden ser de 100, 150, 200 ml etc.; la precisión debe ser de ± 1.0 ml.
- o Moldes. Estarán contruidos con un metal no atacable por los morteros de cemento, y con espesor suficiente para evitar deformaciones al verter el mortero.

Las dimensiones del molde que conforma una briqueta deberán cumplir lo siguiente: la distancia entre las caras interiores a lo largo del eje de simetría transversal será de 25,4 mm (1") con variación permisible de $\pm 0,13$ mm (± 0.005 ") para moldes nuevos y de $\pm 0,25$ mm (± 0.01 ") para moldes en uso. La altura medida en los puntos de mayor espesor de las paredes, a cada lado de la cintura, debe ser de 25,4 mm (1"), con variación permisible de $+ 0,10$ mm ($+ 0.004$ ") y $-0,05$ mm (-0.002 ") para moldes nuevos; y de 0,5 mm (-0.02 ") para moldes en uso.

- o Máquina de ensayo. Deberá poder aplicar a la muestra sin interrupción, una carga de 272 ± 12 kg/minuto (600 ± 25 lbf/min) y estará dotada de dispositivos para regular la velocidad de aplicación de la carga. Deberá cumplir los siguientes requisitos de exactitud: Para cargas no menores de 45 kg (100 lbf) no excederá $\pm 1,0\%$ para máquinas nuevas, ni de $\pm 1,5\%$ para las usadas. La máquina debe ser calibrada frecuentemente.
- o Agarraderas. Las agarraderas donde se coloca la muestra para someterla a tensión.
- o Palustre herramientas menores. El palustre tendrá una hoja de acero de 100 a 150 mm (4" a 5").
- o Arena. Debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 850 μm (No.20) y quede retenida en el tamiz de 600 μm (No.30). Se considera que cumple la condición normalizada, si al tomar una muestra de 100 g se retiene menos de 15 g en el tamiz de 850 μm (No.20) y no más de 5 g pasan el tamiz de 600 μm (No.30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

CONDICIONES AMBIENTALES. La temperatura de la sala de trabajo, herramientas, materiales estará entre 20° y $27,5^\circ\text{C}$ (68° y 81.5°F). El agua de curado y la utilizada para sumergir las muestras, estará entre $23^\circ \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4^\circ\text{F} \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa no debe ser menor del 50%. Se debe contar con cámara húmeda con suficiente espacio y con una humedad relativa no menor del 90%.

MUESTRAS PARA ENSAYO. Tres o más briquetas deben construirse para cada período de ensayo.

Las proporciones en peso para formar el mortero, deben ser de una (1) parte de cemento seco por tres (3) partes de arena seca. Las cantidades que deben mezclarse por cochada, son: para 6 muestras entre 1000 y 1200 g; para 9 muestras entre 1500 y 1800 g.

El porcentaje de agua requerido para la mezcla, dependerá del porcentaje requerido para producir una pasta normal de cemento puro, del mismo que se va a usar en el mortero y de acuerdo a la Tabla M.7.1.

Cuando se usan proporciones de cemento y arena diferentes de 1:3, la cantidad de agua de amasado se calcula con la siguiente fórmula:

$$Y = 2/3[P/n+1] + K$$

Donde:

Y = Porcentaje de agua, requerido para elaborar el mortero de arena (referido al peso de los materiales secos).

P = Porcentaje de agua necesario para producir una pasta de cemento puro, de consistencia normal.

n = Número de partes de arena, por una de cemento, en peso.

K = Constante que depende de la arena usada, para la arena normalizada de Ottawa, tiene un valor de 6.5.

TABLA M.7.1. PORCENTAJE DE AGUA PARA MORTEROS ESTÁNDAR

Porcentaje de agua para producir una pasta de consistencia normal	Porcentaje de agua para elaborar un mortero de 1 parte de cemento por 3 partes de arena normalizada
15	9,0
16	9,2
17	9,3
18	9,5
19	9,7
20	9,8
21	10,0
22	10,2
23	10,3
24	10,5
25	10,7
26	10,8
27	11,0
28	11,2
29	11,3
30	11,5

PROCEDIMIENTO

- a) 10. Preparación del Mortero. Se pesan los materiales secos, se colocan sobre una placa lisa y no absorbente; cuidadosamente se mezclan arena y cemento y se forma un cono, luego se le abre un cráter en el centro, dentro de éste se vierte la cantidad de agua determinada y con ayuda del palustre se va pasando el material seco dentro del cráter, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los próximos 30 segundos y mientras se permite la absorción de agua, se van cubriendo con mortero seco las manchas de humedad que van apareciendo por evaporación y facilitar la absorción completa. Luego se termina la operación, mezclando durante 90 segundos en forma continua y vigorosa. Durante esta operación. El operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.
- b) Llenado de los moldes. Antes de proceder a llenar los moldes, se recubren con una capa delgada de aceite mineral y se colocan sobre una placa de vidrio o metal sin aceitar. Terminada la operación de mezclado, se llena el molde con el mortero, teniendo cuidado de no compactarlo y en tal forma que sobresalga por encima de los bordes del molde. Luego el mortero debe presionarse 12 veces con los pulgares en cada briqueta en puntos distribuidos sobre la totalidad de la superficie de la muestra. La fuerza aplicada por los pulgares debe estar comprendida entre 7 y 9 kg (15 a 20 lbf) y no debe durar más tiempo que el necesario para obtenerla.

Luego se vierte más mortero sobre la superficie de la muestra, se enrasa y alisa con el palustre. Al alisar la superficie, no se debe ejercer una fuerza mayor de 2 kg (4 lbf) ni deslizarlo más veces de las necesarias. Luego se coloca en la cara inferior del molde, una placa de vidrio o metal previamente aceitada. Luego, con ayuda de las manos, se hacen girar el molde y las placas, alrededor de su eje longitudinal y se deja descansar sobre la placa que ha sido aceitada. Se retira la placa superior y sobre la superficie de la muestra se hacen las mismas operaciones de sobrellenado, presión con los pulgares y alisado, hechas a la otra superficie. No se debe compactar la muestra con pisones.

- c) Almacenamiento de muestras. Terminada la operación de llenado, el conjunto formado por las muestras, el molde y la placa, se lleva a la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con las caras superiores de las muestras expuestas al aire húmedo y protegidas contra la eventual caída de gotas. Si las muestras se retiran antes de las 24 horas, permanecerán en la cámara hasta que se complete este tiempo. Si las muestras no van a ser ensayadas a las 24 horas, deberán sumergirse en agua limpia, dentro de los tanques contruidos para tal fin. El agua del tanque deberá renovarse frecuentemente, para que siempre esté limpia.
- d) Las muestras que se van a ensayar a las 24 horas, se sacarán de la cámara e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba. Si se sacan varias muestras, deben cubrirse con una toalla húmeda hasta el momento de pasar a la máquina de prueba. En el caso de que las muestras se encuentren en el tanque, se sacarán una a una y se llevarán a la máquina de prueba. Si es necesario demorar la prueba, después de haber sacado la muestra del tanque, deberá sumergirse en agua a temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) hasta el momento del ensayo.

Las superficies de las muestras deben secarse y retirar los granos de arena desprendidos. Las superficies de las agarraderas que van a estar en contacto con la muestra, deben conservarse limpias. Los rodillos de apoyo, deben aceitarse y mantenerse en tal forma que puedan girar libremente. Los soportes de las agarraderas deben estar libres de residuos y los pivotes deben tener un ajuste correcto para que las agarraderas puedan girar libremente. Las muestras se centrarán cuidadosamente en las agarraderas y se les aplicará una carga en forma continua, a una tasa de 272 ± 12 kg/min. (600 ± 25 lbf/min.).

Todas las muestras deben ser probadas dentro de las tolerancias de tiempo establecidas en la Tabla M.7.2.

TABLA M.7.2. TOLERANCIAS

Edad de las muestras	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm \frac{1}{2}$ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

CÁLCULOS. Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la tensión en kg/cm^2 o lbf/pie^2 . La resistencia del mortero será el promedio de los resultados obtenidos con las muestras de la misma bachada y el mismo período de ensayo.

Las muestras defectuosas o resistencias que difieran en más del 15% del promedio no se tendrán en cuenta. Si una vez hecho este descarte, se dispone de un solo valor, deberá repetirse el ensayo.

M.8 CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA: ASTM C 185 AASHTO T 137

OBJETIVO. Este método describe el procedimiento que debe emplearse para la determinación del contenido de aire en un mortero de cemento hidráulico.

CONDICIONES GENERALES. La temperatura ambiente y la de los materiales secos debe mantenerse entre 20 y 27,5°C (68° y 81,5°F). La temperatura del agua de amasado debe ser de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa del laboratorio no debe ser inferior al 50%.

EQUIPOS Y MATERIALES.

- o Mesa de flujo, molde de flujo y calibrador, de conformidad con los requerimientos de el Método M.5.
- o Medidor. Debe ser un cilindro de medida con un diámetro interior de $76,2 \pm 1,6$ mm y una profundidad aproximada de 90mm, patronado para contener 400 ± 1 ml de agua a 23°C ($73,4^\circ\text{F}$). Para los fines de este ensayo, la capacidad del medidor en ml, es el peso de agua en gramos contenida en éste, dividido por 0,998, sin hacer corrección por el efecto de flotación en el aire.

Debe tener paredes de espesor uniforme, lo mismo que el fondo, y no inferiores a 2,92 mm. El peso del medidor vacío, no debe ser mayor de 900 g; se construye de un material inatacable por el mortero de cemento.
- o Mezcladora, recipiente y espátula. Deben cumplir con lo especificado en el Método M.1.
- o Regla. Debe ser recta, de acero, con una longitud no menor de 102 mm y un espesor de $2,4 \pm 0,8$ mm.
- o Espátula. Debe ser metálica, con una hoja de 150 mm de longitud y 13 mm de ancho, con bordes rectos y mango de madera.
- o Balanzas Deben tener la capacidad suficiente para pesar el mortero y el recipiente (aprox. 2 kg), la precisión en 2 kg será ± 1 g.
- o Tamices. Deben usarse los Tamices de 850 μm (No.20) y 600 μm (No.30).
- o Probeta. Deben ser de vidrio, con una capacidad de 250 ml graduadas cada 2 ml, para medir el agua de mezcla y que viertan el volumen indicado a 20°C (68°F). La precisión es ± 2 ml. Las líneas de las graduaciones principales deben ser circulares y numeradas. Las intermedias deben distinguirse por una longitud no menor de 1/5 de las principales y las menores deben tener una longitud no inferior a 1/7 de las principales. Las subdivisiones pueden ser omitidas para los primeros 10 ml.
- o Apisonador. Debe ser hecho de un material no absorbente, ni abrasivo, ni frágil, como por ejemplo un compuesto de caucho, con dureza Shore A de 80 ± 10 durómetros, o roble seco no absorbente por inmersión durante 15 min. en parafina a una temperatura aproximada de 200°C (392°F); debe tener una sección transversal de 13 x 26 mm y una longitud conveniente (130 a 150 mm). La cara apisonadora debe ser plana y normal a su eje longitudinal.
- o Barra para golpear. Debe ser de madera dura, con un diámetro de 16 mm y una longitud de 150 mm.
- o Cuchara. Debe ser metálica, ordinaria, tipo cocina, con una longitud total aproximada de 230 mm, la cavidad debe ser aproximadamente de 100 mm de largo, 63 mm de ancho y de 13 a 19 mm de profundidad.

- o Arena. La arena usada para hacer el mortero normal debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 850 μm (No.20) y que quede retenida en el tamiz de 600 μm (No.30). Se considera que cumple con la condición anterior, si al tomar una muestra de 100 g, una cantidad menor de 15 g es retenida en el tamiz de 850 μm (No.20) y no más de 5 g pasan por el tamiz de 600 μm (No.30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA. La proporción del mortero patrón debe ser de 350 g de cemento y 1400 g de arena (estándar 20-30) con agua suficiente para obtener un flujo de $87,5 \pm 7,5\%$ en la mesa de flujo, cuando se determina de acuerdo al procedimiento b)

PROCEDIMIENTO

- a) Mezcla de mortero. Debe hacerse de acuerdo con el Método M.1.
- b) Determinación del flujo. Debe secarse cuidadosamente la parte superior de la mesa de flujo y colocarse el molde de flujo en el centro de ésta. Usando la cuchara debe colocarse en el molde una capa de mortero de 25 mm de espesor aproximadamente, y golpearse 20 veces con el apisonador, ejerciendo una presión apenas suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde.
- c) Luego debe llenarse el molde con mortero y apisonarse del mismo modo como se especificó para la primera capa. A continuación debe cortarse el mortero para obtener una superficie plana y nivelarse la pasta en la parte superior del molde usando la regla con un movimiento de corte. Debe secarse y limpiarse la mesa, teniendo especial cuidado de limpiar el agua existente alrededor de los bordes del molde. Al cabo de 1 minuto de haber terminado la operación de mezcla, debe retirarse el molde del mortero e inmediatamente después golpearse la mesa, dejándola caer desde una altura de 12 mm, 10 veces en 6 segundos. El flujo es el consecuente incremento del diámetro promedio de la masa de mortero debido a los golpes y se determina usando el calibrador, midiendo en la mesa de mortero al menos cuatro diámetros, equiespaciados entre sí y expresando tales diámetros como porcentaje del diámetro original.

Se debe hacer el mismo procedimiento para distintos morteros de prueba, variando los porcentajes de agua hasta que el flujo especificado sea obtenido, usando mortero fresco en cada ocasión.

- d) Peso para 400 ml de mortero: Una vez se encuentra la cantidad de agua que produce un flujo entre 80% y 95%, inmediatamente debe determinarse el peso para 400 ml de mortero, usando la masa sobrante de la mezcla para la cual se obtuvo el flujo mencionado y no aquella que se utilizó en la determinación de éste. Usando la cuchara, se deposita suavemente el mortero dentro del medidor de 400 ml, en tres capas iguales, distribuyendo cada capa mediante el clavado de la espátula 20 veces alrededor de la superficie en el interior del medidor en una revolución completa. Debe considerarse un clavado de la espátula con un movimiento completo de ésta hacia arriba y hacia abajo, sostenida en posición vertical y penetrando en la capa de mortero. Al distribuir la primera capa, la espátula no debe tocar el fondo del medidor. Al distribuir la segunda y la última capa, la espátula debe empujarse tan sólo con la fuerza suficiente para penetrar la superficie de la capa inmediatamente anterior.
- e) Después de haber llenado el medidor y distribuido su última capa en la forma descrita, deben golpearse sus lados suavemente con el extremo de la barra para golpear una vez en 5 diferentes puntos igualmente distanciados alrededor del medidor, con el fin de liberar aire posiblemente atrapado en el mortero. Debe evitarse dejar espacios entre el mortero y las paredes como resultado de la operación de distribución. Luego se enrasa el mortero para obtener una superficie plana en la parte superior del medidor, mediante movimientos de sierra, realizando dos pasadas sobre toda la superficie, la segunda pasada en dirección tal que forme ángulo recto con la primera. Si al enrasar, granos sueltos de arena causan surcos en la superficie, tales granos deben ser removidos y debe volverse a enrasar. La operación completa de llenado y enrasado del medidor debe hacerse en un tiempo de $1\frac{1}{2}$ minutos.
- f) A continuación se limpia el mortero y el agua adherida a las paredes del medidor, y se pesa con su contenido, anotando el peso del mortero en gramos, luego de restar el peso del medidor.

CÁLCULOS

- o Fórmula Usual. Calcúlese el contenido de aire del mortero a partir de la siguiente fórmula, la cual ha sido deducida según las características del medidor, las proporciones de la mezcla y tomando como peso específico del cemento Portland 3,15 y de la arena 2,65.

Contenido de aire

$$\% \text{ por volmen} = 100 - W \frac{(182,7 + p)}{(2000 + 4p)} \quad (1)$$

Siendo:

W = Peso de 400 ml de mortero en gramos.

p = Porcentaje de agua en la mezcla basado en el peso del cemento usado.

Cuando el cemento hidráulico es diferente al Portland, el valor de su peso específico debe sustituirse por el 3.15 mostrado en la deducción de la fórmula que sigue a continuación.

- o Deducción de la fórmula

Sean:

W_a = Peso actual o real del mortero por unidad de volumen, determinado según el ensayo.

W_e = Peso teórico del mortero, por unidad de volumen, suponiendo no existencia de aire.

Entonces: Contenido de aire:

$$\% \text{ por volumen} = 100 \left(1 - \frac{W_a}{W_e} \right) \quad (2)$$

Ahora:

$$W_e = \frac{W}{400g} \text{ ml}$$

Donde:

W = Peso en g del mortero de los 400 ml

$$W_e = \frac{350 + 1400 + 350 \times p \cdot 0,01}{\frac{350}{3,15} + \frac{1400}{2,65} + \frac{350}{1}} = \frac{5 + 0,01p}{1,827 + 0,01p}$$

Donde:

p = Porcentaje de agua de mezcla basado en el peso del cemento.

Sustituyendo W_a y W_e en la ecuación (2) se obtiene la ecuación (1).

INFORME. Se reportará el contenido de aire del mortero de cemento hidráulico en porcentaje por volumen, aproximando el dato al 1%

PRECISIÓN Y TOLERANCIAS. Solamente deberá hacerse una determinación del contenido de aire en una mezcla. El contenido final de aire será el promedio de dos determinaciones.

Las dos determinaciones se harán sobre materiales (mortero, arena) similares.

En caso de realizarlos un mismo operario, ambas determinaciones del contenido de aire no variarán entre sí en más de 2%. Si las determinaciones son hechas en distintos laboratorios, no variarán entre sí en más de 3%

M.9 EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS

NORMA: ASTM C452

OBJETIVO. Este método tiene por objeto establecer el método para determinar la expansión de barras de mortero hechas con cemento Pórtland y yeso en proporciones tales que la mezcla tenga un contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3) de 7,0 por ciento en peso. Es solamente aplicable al cemento Pórtland.

EQUIPO

- o Balanzas. La precisión de las balanzas en uso debe ser de ± 1 g bajo una carga de 1.000 g y de ± 2 g bajo una carga de 2.000 g.
- o Pesas, probetas graduadas, moldes, topes de medida.- Deben cumplir con los requisitos establecidos en el M.4, "Expansión del cemento en el autoclave".
- o Mesa de Flujo. Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Método M.5 "Fluidez de morteros de cemento"

hidráulico (Mesa de flujo)".

- o Mezcladora mecánica, paleta mezcladora y recipiente de mezcla.- Deben cumplirse con los requisitos establecidos en el Método M.1 "Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica".
- o Palustre y varilla compactadora. Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Método M.3 "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico".
- o Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$) y a una humedad relativa no menor de 90%.

MATERIALES

- o La arena gradada para elaborar las muestras de ensayo debe cumplir con los requisitos establecidos en la el Método M.3 "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico".
- o En el ensayo se emplea yeso natural de alta pureza que cumpla con la granulometría especificada en la Tabla M.9.1

TABLA M.9.1. GRANULOMETRÍA PARA EL YESO A SER USADO

Tamiz	% que pasa
150 μm (No.100)	100
75 μm (No.200)	94+
45 μm (No.325)	90+

Los porcentajes de cemento y yeso requeridos para proporcionar una mezcla que contenga 7,0% de anhídrido sulfúrico (SO_3) en peso, se calculan con las siguientes expresiones:

$$\text{Cemento \%} = \frac{g - 7,0}{g - c} \times 100$$

$$\text{Yeso, \%} = \frac{7,0 - c}{g - c} \times 100$$

Siendo:

g = Contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3) en el yeso, en porcentaje.

c = Contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3) en el cemento Portland, en porcentaje.

TEMPERATURA Y HUMEDAD. La temperatura del sitio de ensayo, la de los materiales secos y la del agua de mezcla deberá mantenerse entre 20 y $27,5^\circ\text{C}$ (68 y $81,5^\circ\text{F}$) y la humedad relativa del sitio de ensayo no deberá ser menor del 50%.

NÚMERO Y DIMENSIONES DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

- o Normalmente, deben prepararse seis especímenes para cada cemento, de 25 x 25 x 285 mm (1 x 1 x 11¼"), haciendo dos mezclas separadas y tomando tres muestras de cada una.
- o En ensayos rutinarios, deben usarse especímenes de 25 x 25 x 160 mm (1 x 1 x 6¼"), pero en caso de que se encuentren discrepancias, deben regir los resultados obtenidos con las muestras descritas en el numeral 9.

PREPARACIÓN DE LOS MOLDES. Los moldes deben limpiarse perfectamente; si es necesario, sus juntas externas y las líneas de contacto de los moldes y de las placas de base deben sellarse con cera. Se arman y se recubren interiormente con una cinta plástica o una capa de aceite mineral, para que la muestra pueda retirarse fácilmente. Luego se limpian los topes y se colocan en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.

PROPORCIONES, CONSISTENCIA Y MEZCLA DEL MORTERO

- o Las cantidades de materiales secos requeridos para cada dosificación son: 400 g (cemento más yeso) y 1.100 g de arena.
- o La cantidad de agua de mezclado medida en mililitros, debe ser tal, que produzca un flujo comprendido entre 100 y 115 ml determinado por el procedimiento descrito en el Método "Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Tabla de flujo)". La ASTM recomienda: La cantidad de agua de mezclado deberá ser de 194 ml para un cemento Portland sin incorporación de aire y de 184 ml para un cemento Portland con incorporación de aire.

- o El mortero se mezcla de acuerdo con el procedimiento descrito en el Método M.1 "Mezcla de pasta y morteros de consistencia plástica", excepto que debe añadirse primero el yeso al agua, después, iniciarse el mezclado y mezclarse a velocidad de 140 ± 5 rpm, durante 15 segundos.

LLENADO DE MOLDES. Inmediatamente después de terminar el ensayo de flujo, se regresa el mortero al recipiente, se limpia el mortero de las paredes del mismo y se vuelve a mezclar a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 15 segundos. El recipiente y la paleta se remueven y luego se quita el exceso de mortero de ésta. El molde se llena en dos capas, compactando cada una de ellas con la varilla. Se compacta el mortero en las esquinas, alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde con la varilla, hasta obtener un mortero homogéneo. Después de compactada la capa superior, se enrasa y se alisa la superficie con unas pocas pasadas del palustre.

ALMACENAMIENTO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

- o Almacenamiento inicial. Las muestras deben curarse en la cámara húmeda dentro de los moldes a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 22 a 23 horas. Las muestras se remueven de los moldes y se identifican adecuadamente. Luego se sumergen en agua a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$) durante 30 minutos antes de medir la longitud inicial.
- o Almacenamiento subsiguiente. Después de medidas las barras, se almacenan horizontalmente en agua a la misma temperatura prescrita en el numeral anterior. Las barras deben almacenarse separadas entre sí a una distancia mínima de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por todos los lados y cubrirse con no menos de 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") de agua. La relación de volumen de agua al volumen de las barras no debe exceder de 5 a 1 para prevenir la excesiva acción disolvente. El agua debe renovarse cada 7 días en los primeros 28 días y después cada 28 días.

MEDIDA DE LONGITUD

- o Se miden las barras con el comparador de longitudes, una por una, secándolas previamente con una tela húmeda.
- o La primera lectura debe hacerse $24 \text{ h} \pm 15$ minutos después del mezclado del cemento y el agua; la muestra debe medirse nuevamente a los 14 días. Pueden obtenerse información adicional colocando nuevamente las barras en el agua de almacenamiento y haciendo medidas adicionales a otras edades.

CÁLCULO

- o La diferencia en longitud de la muestra a las 24 horas y a los 14 días calculada con aproximación del 0.001 por ciento de la longitud efectiva, debe interpretarse como la expansión de la muestra en ese período.
- o Todos los especímenes remanentes después de 14 días, deben conformar un conjunto de por lo menos tres especímenes con un intervalo permisible de variación en los resultados dependiendo del número de especímenes remanentes así:

TABLA M.9.2.

No. Especímenes	Máxima Variación permisible, %
3	0,008
4	0,010
5	0,011
6	0,012

Infórmese el promedio de los especímenes que conforman el conjunto, con aproximación al 0,001.

PRECISIÓN

- o Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre el mismo material, no diferirán en más de 0,009%.
- o Los resultados de dos ensayos, efectuados por laboratorios distintos, sobre un mismo material, no diferirán en más de 0,014%

CAPÍTULO 26 — HORMIGÓN

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

H.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO.....	ASTM C 172 / AASHTO T 141
H.2 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE H°.....	ASTM 192 / AASHTO T 126
H.3 REFRENTADO DE PROBETAS.....	ASTM 617 / AASHTO T 231
H.4 DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS.....	ASTM C 143 / AASHTO T 119
H.5 DENSIDAD APARENTE, RENDIMIENTO Y CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE.....	ASTM C 138 / AASHTO T 121
H.6 COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS.....	ASTM C 39 / AASHTO T 22
H.7 PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS FUTURAS A LA COMPRESIÓN.....	ASTM C 1073
H.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL H° (PORCIÓN DE VIGA ROTA).....	ASTM C 116 / AASHTO T 40
H.9 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS.....	ASTM C 78 Y 293 / AASHTO T97 Y T77
H.10 TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS.....	ASTM C 496
H.11 FLUJO PLÁSTICO DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN.....	ASTM C 512
H.12 TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS.....	ASTM C 42 / AASHTO T 24
H.13 MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN.....	ASTM C 174 / AASHTO T 148

26.1 PROPIEDADES

Físico-químicas

- **Tiempo de fraguado:** dos horas, aproximadamente, en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- **Tiempo de endurecimiento:** progresivo, en función de la temperatura, humedad y otros parámetros.

De 24 a 48 horas, la mitad de la resistencia máxima, en una semana 3/4 partes y en 4 semanas prácticamente la resistencia total.

Hay que resaltar que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, además el hormigón, recubriéndolo, protege al acero de la oxidación.

- **El coeficiente de dilatación:** Es similar al del acero, siendo despreciables las tensiones internas por cambios de temperatura.
- **Adherencia:** Cuando el hormigón fragua se contrae y presiona fuertemente las barras de acero, creando además fuerte adherencia química. Las barras, o fibras, suelen tener resaltes en su superficie, llamadas *corrugas* o *trefilado*, que favorecen la adherencia física con el hormigón.
- **Variaciones de volumen:** El hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico - químicas.

El tipo y magnitud de estas variaciones están afectados en forma importante por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura y también por los componentes presentes en la atmósfera.

La variación de volumen derivada de las condiciones de humedad se denomina retracción hidráulica, y las que tienen por causa la temperatura, retracción térmica. Por su parte, de las originadas por la composición atmosférica, la más frecuente es la producida por el anhídrido carbónico y se denomina carbonatación.

- **Retracción hidráulica:** Los parámetros preponderantes en la retracción hidráulica son:
 - **Composición química del cemento:** Influye principalmente en la variación de volumen, dado que ésta deriva del desarrollo del proceso de fraguado. En estas condiciones, si la composición del cemento favorece un fraguado rápido de la pasta, ella también será favorable para una más alta contracción inicial, si existen condiciones ambientales no saturadas de humedad.
 - **Finura del cemento:** Una mayor finura del cemento favorece también una evolución rápida de sus propiedades, en particular de su fraguado.
 - **Dosis de cemento:** Existe una relación casi directa entre la dosis de cemento y la retracción hidráulica por estas causas.

- **Dosis de agua:** Dado que un mayor contenido de agua en el interior del hormigón conducirá a una mayor cantidad de fisuras y poros saturados, desde donde se origina la tensión superficial.
- **Porosidad de los áridos:** El valor de la retracción por esta causa queda condicionado por la finura del árido, siendo mayor cuando ésta aumenta, puesto que ello implica una mayor cantidad de discontinuidades en la masa del árido.
- **Humedad:** Puesto que ella condiciona la velocidad de evaporación del agua interior del hormigón.
- **Retracción térmica:** El hormigón puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente de la temperatura ambiente como internamente de la generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Como consecuencia de lo expresado, los principales factores que condicionarán la magnitud de la retracción térmica son los siguientes:

- Variaciones derivadas de causas externas:
 - Magnitud y velocidad de las variaciones de temperatura ambiental.
- Variaciones por causas internas:
 - Características del cemento.
 - Contenido de C_3A .
 - Finura de molienda.
 - Temperatura en el momento de su incorporación en el hormigón.

La evaluación de la retracción térmica puede efectuarse a partir del valor de las temperaturas producidas y de las características de dilatación térmica del elemento. Para paliar los efectos derivados de la retracción térmica pueden tomarse algunas medidas, como las que se describen a continuación:

Para atenuar los efectos derivados de la temperatura externa, la medida más eficaz consiste en el aumento de la aislación térmica en los paramentos que limitan con el exterior. Para los efectos térmicos generados por el proceso de hidratación de la pasta de cemento pueden tomarse diversas medidas, tales como las siguientes:

- Empleo de cementos de bajo calor de hidratación, aceptándose normalmente como tales aquellos cuyo calor de hidratación a 7 días es inferior a 70 cal/g.
- Disminución de la temperatura interna del hormigón por alguno de los siguientes sistemas:
 - Reemplazo de parte del agua de amasado por hielo durante la revoltura en la hormigonera, con lo cual se logra rebajar la temperatura inicial del hormigón colocado en obra.
 - Refrigeración del hormigón colocado, por circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en su masa.
 - Planificación de las etapas de hormigonado de la obra de manera tal que sean de espesor limitado, dejando transcurrir un lapso que permita la mayor disipación posible del calor generado en ese tiempo. El procedimiento habitual es relacionar el espesor de las etapas con el tiempo de espera, de manera de dejar transcurrir un plazo de un día por cada 0.5 mm. de espesor de la etapa.
- **Permeabilidad del hormigón:** El hormigón es un material permeable, es decir que, al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa.

El grado de permeabilidad del hormigón depende de su constitución, estando normalmente comprendido su coeficiente de permeabilidad entre 10^{-6} y 10^{-10} cm./seg.

Las medidas que pueden esbozarse para lograr un mayor grado de impermeabilidad son:

- Utilizar la razón agua/cemento más baja posible, compatible con la obtención de una trabajabilidad adecuada para el uso en obra del hormigón.
- Utilizar la dosis de cemento más baja posible, compatible con la resistencia y otras condiciones que establezcan las especificaciones del proyecto.
- Emplear un contenido apropiado de granos finos, incluido los aportados por el cemento, para lograr un buen relleno del esqueleto de áridos del hormigón. La cantidad ideal de granos finos puede establecerse a partir de los

métodos de dosificación granulométricos.

La determinación del coeficiente de permeabilidad debe efectuarse necesariamente en base a ensayos de laboratorio, entre los cuales pueden mencionarse dos tipos principales:

- Los de permeabilidad radial, en los que se utiliza una probeta cilíndrica con una perforación central, desde la cual se aplica agua a presión, midiéndose el agua escurrida en un cierto tiempo. Este tipo de ensayo permite determinar el coeficiente de permeabilidad por medio de las fórmulas de escurrimiento en medios permeables.
 - Los de penetración del agua en el hormigón, en los cuales una losa de hormigón es sometida a presión de agua por un lado y se mide la penetración del agua en su masa después de un cierto tiempo. Este ensayo se utiliza generalmente en forma comparativa, aunque también permite el cálculo del coeficiente de permeabilidad en forma similar a la del ensayo radial.
- **Porosidad:** Es la proporción de huecos respecto de la masa total. Influye en la resistencia, la densidad, y la permeabilidad del Hormigón.
- **Consistencia del hormigón fresco:** La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría.

La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es *el cono de Abrams*. Consiste en rellenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se desmoldea es la medida que define la consistencia.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y y fluidos tal como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 26.1.1. Consistencia en hormigones frescos. [26]

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca	0-2	Vibrado
Plástica	3-5	Vibrado
Blanda	6-9	Picado con barra
Fluida	10-15	Picado con barra

- **Durabilidad:** Es la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

Por tanto no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y solicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc.

Para garantizar la durabilidad del hormigón y la protección de las armaduras frente a la corrosión es importante realizar un hormigón con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al hormigón.

En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales. Para prevenir la corrosión de armaduras hay que cuidar el recubrimiento mínimo de las mismas.

- **PH:** El pH alcalino del cemento produce la pasivación del acero, fenómeno que ayuda a protegerlo de la corrosión.

Mecánicas

- **Resistencia a la compresión:** de 150 a 500 kg/cm² (15 a 50 MPa).

- **Resistencia a la tracción:** proporcionalmente baja, generalmente despreciable en el cálculo global, del orden de un décimo de la resistencia a la compresión.
- **Resistencia característica de proyecto (f_{ck}):** Establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a f_{ck} , considerándose que con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

La resistencia del hormigón a compresión se obtiene en ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra.

- **Propiedades elásticas y plásticas:** El conocimiento de las propiedades elásticas del hormigón son necesarias para establecer la relación entre tensiones y deformaciones, aspecto que adquiere gran importancia en algunos problemas de tipo estructural, particularmente cuando el cálculo de deformaciones es determinante.
 - **Propiedades elásticas:** La relación entre tensiones y deformaciones se establece a través del módulo de elasticidad. Para los materiales totalmente elásticos, el módulo de elasticidad es constante e independiente de la tensión aplicada, acostumbrando a designársele con el nombre de módulo de Young. En otros materiales, designados inelásticos en cambio, el módulo de elasticidad depende del valor de la tensión aplicada.

Lo más frecuente, sin embargo, es que los materiales presenten una combinación de ambos comportamientos, inicialmente elástico y posteriormente inelásticos al aumentar la tensión aplicada.

Este es el caso del hormigón, cuya curva de relación tensión deformación tiene la forma indicada en la figura, en la cual pueden observarse tres tramos característicos:

- Un primer tramo recto, en que el comportamiento es elástico y que abarca no más de un 20 % del desarrollo total de la curva.
- Un segundo tramo curvo, ascendente hasta el valor máximo de la curva tensión - deformación.
- Un tercer tramo curvo, descendente hasta la tensión de rotura

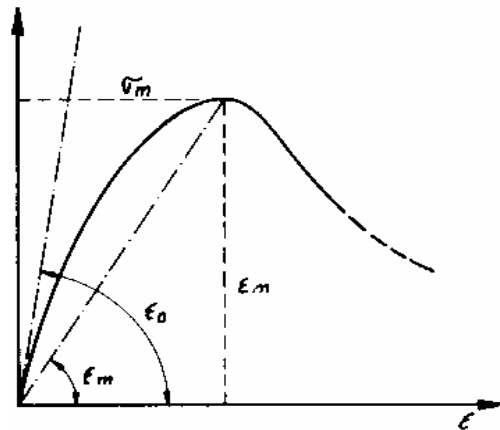


Fig. 26.1.1. Curva de relación Tensión - Deformación. [26]

- **Propiedades plásticas del hormigón:** A pesar del carácter frágil señalado para el hormigón para las cargas de velocidad normal de aplicación, éste presenta un comportamiento plástico cuando una determinada carga permanece aplicada un largo tiempo, produciéndose en este caso una deformación denominada fluencia del hormigón.

El conocimiento de la fluencia es necesario para el análisis estructural en el caso del cálculo de deformaciones en elementos de hormigón armado, determinar la pérdida de la tensión aplicada en una estructura de hormigón pretensado o para el cálculo de tensiones a partir de la medición de deformaciones.

El mecanismo que genera la fluencia en el hormigón no es bien conocido, estimándose actualmente que es causado por la combinación de dos tipos de fenómenos: uno derivado de la acomodación de la estructura cristalina de la pasta de cemento, que se denomina fluencia básica, y otro proveniente de la migración interna de la humedad, que se traduce en una retracción hidráulica adicional.

Los principales factores que condicionan la fluencia del hormigón son las características del hormigón, principalmente el tipo y la dosis de cemento, la humedad ambiente, la magnitud de la tensión aplicada y la edad

del hormigón en el momento de su aplicación.

Tecnológicas

- **Trabajabilidad:** Es la facilidad con la que puede distribuirse el Hormigón dentro de los encofrados.

Debe tener la necesaria consistencia, para lo cual afectarán: la cantidad de agua, la forma y medida de los áridos, la cantidad de Cemento, la existencia de aditivos, y la presencia de cenizas.

También la correspondiente *cohesión*, que es la resistencia del material a segregarse.
- **Homogeneidad:** Se dice del material que tiene las mismas propiedades en todos los puntos. En el hormigón se consigue mediante un buen amasado.
- **Docilidad:** Puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser empleado en una obra determinada; para que un hormigón tenga docilidad, debe poseer una consistencia y una cohesión adecuada; así, cada obra tienen un concepto de docilidad, según sus medidas y características.

25.2 ENSAYOS

H.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO

NORMA: ASTM C 172 AASHTO T 141

OBJETIVO. Extraer muestras representativas del hormigón fresco, destinadas a ser ensayadas. Se aplicará a hormigones de cemento hidráulico, confeccionado tanto en obra como en el laboratorio. Este método no especifica planes de muestreo para control estadístico u otros efectos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Recipientes de Muestreo. Deben ser de material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón, estancos al agua y de capacidad suficiente para contener la muestra o las porciones de ella. Deben encontrarse limpios y húmedos al momento de su uso. El recipiente para muestreo de hormigón debe tener una abertura de dimensiones tales que permita el remezclado de la muestra completa por medio de la pala. Comúnmente se emplean carretillas o bateas metálicas.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

Muestreo

- a) **Tamaño de la Muestra.** El tamaño de la muestra de hormigón fresco será superior a una y media vez el volumen necesario para efectuar los ensayos requeridos, y en ningún caso inferior a 30 litros.
- b) **Tiempo.** El tiempo transcurrido entre la obtención de la muestra y el moldeo de las probetas, incluidos los controles requeridos al hormigón fresco, deberá ser el mínimo posible y en ningún caso excederá de 15 min.

Extracción de Muestras: Muestras de Fabricación

- o Hormigoneras Estacionarias
 - Efectúe la extracción en uno o más intervalos regulares, cuando la hormigonera se encuentre aproximadamente en la mitad del período de descarga, sin incluir el principio ni el final de ésta y sin restringir el flujo de salida del hormigón.
 - Extraiga la muestra o las porciones de muestra necesarias pasando el recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.
- o Camiones Hormigoneras
 - Regule el flujo de descarga del hormigón mediante la velocidad de rotación del tambor, sin estrangular el flujo con la compuerta.
 - Efectúe la extracción de la muestra en uno o más intervalos regulares durante la descarga de la hormigonera, sin incluir el principio ni el final de ésta.

- Extraiga la porción de cada intervalo pasando una sola vez un recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

Extracción de Muestras: Muestras en Sitio

- Hormigón en Acopio. Extraiga por lo menos cinco porciones de muestra de diferentes puntos del acopio. Cuando el hormigón se encuentra depositado sobre el terreno, evite que la muestra se contamine por arrastre de material de la superficie de apoyo.
- Hormigón en Tolva. Extraiga la muestra retirando porciones en tres o más intervalos regulares durante la descarga de la tolva, sin incluir el principio ni el final de ésta. Se considera que el hormigón tiene la homogeneidad suficiente entre el 10% y el 90% de la descarga.
- Hormigón en Medios de Transporte. Extraiga la muestra por uno de los procedimientos descritos en Muestras de Fabricación y muestras en Sitio prefiriendo el que mejor se adapte a las condiciones prevalecientes.

PROCEDIMIENTO

- a) Transporte. Cuando sea necesario transportar el hormigón muestreado, hágalo en los recipientes de muestreo hasta el lugar donde se confeccionarán las probetas o se harán los controles de ensayos.
- b) Protección. Cubra las muestras durante el período comprendido entre su extracción y la confección de las probetas o controles requeridos de hormigón fresco, a fin de protegerlas de los agentes climáticos. Comúnmente se emplean arpilleras húmedas, lonas húmedas o láminas de polietileno.
- c) Remezclado. Antes de llenar los moldes o realizar los ensayos, remezcle la muestra con pala en el mismo recipiente de muestreo.

H.2 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN**NORMA: ASTM 192 AASHTO T 126**

OBJETIVO. Preparar mezclas de prueba de hormigón en laboratorio. Es aplicable a mezclas que se emplean en ensayos del hormigón fresco y en la confección de probetas para ensayos del hormigón endurecido con los propósitos de: verificar la calidad de los materiales componentes y su correcta dosificación, investigar procedimientos de elaboración y ensayos e investigar propiedades y características del hormigón.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Recipientes. Los recipientes que se usen para contener materiales o para saturar áridos, deberán ser limpios, impermeables y químicamente inertes respecto de los componentes del hormigón; y estarán provistos de tapas herméticas cuando sea necesario.
- Balanzas. Tendrán una capacidad mayor que la masa del recipiente más la masa del material por pesar y una precisión igual o superior al 0,1% de la pesada. En general se recomienda tener por lo menos una balanza de 60 a 100 kg de capacidad para pesar áridos y cemento y otra de 1 a 2 kg de capacidad para pesar aditivos y adiciones.
- Mezclador. Se usará un mezclador mecánico o elementos para mezclar manualmente.
- Dimensiones de las probetas
 - Moldes en general. Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Deben estar conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el cual deben ser ensayadas. Deben ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida. Un sellante apropiado como arcilla, parafina o grasa puede ser utilizado para impedir filtraciones por las uniones. Para fijar el molde a la base del mismo, éste debe tener medios adecuados para ello.
 - Moldes cilíndricos reutilizables. Deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente. El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro. La tolerancia en la medida del diámetro exigido debe ser de ± 2.0 mm y en la altura la tolerancia será de ± 6.0 mm. Los moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, deben estar de acuerdo con la especificación ASTM C-470, "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertical".
 - Vigas y moldes prismáticos. La superficie interior del molde debe ser lisa, y las caras interiores deben ser perpendiculares entre sí y libres de torceduras u ondulaciones. La tolerancia en las dimensiones nominales de la sección transversal será de ± 3.2 mm (1/16") para dimensiones mayores o iguales a 152 mm (6") y de ± 1.6 mm

(1/16") para dimensiones menores de 152 mm (6"). Excepto para muestras destinadas a ensayos de módulos de rotura, la longitud nominal de los moldes debe tener una tolerancia de 1.6 mm. Estas muestras no deberán tener una longitud inferior en 1.6 mm (1/6") con respecto a la longitud especificada, pero puede excederse dicha longitud en más del valor mencionado.

CONDICIONES GENERALES

- o Antecedentes. Registre los antecedentes disponibles sobre las características de los materiales por emplear, comprobadas en ensayos previos, cuando sea necesario.
- o Temperatura. Use los materiales solamente cuando su temperatura alcance $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ($68 \pm 5^\circ \text{F}$).
- o Agua. Mida la cantidad (masa o volumen) de agua requerida con una precisión de $\pm 0,2\%$; evite pérdidas y contaminaciones y considere las correcciones necesarias según la humedad que presenten los áridos.
- o Cemento. Tamice por el tamiz 1,18 mm (Nº 16) para eliminar posibles grumos; luego homogeneice revolviendo cuidadosamente, pese la cantidad requerida procurando hacerlo en una sola operación en un recipiente limpio y seco, evitando pérdidas y contaminaciones. Por último, almacene todo el cemento requerido para una mezcla o una serie completa de mezclas de prueba, en recipientes herméticos, preferentemente metálicos y guardados en un lugar seco. Cuando un cemento se encuentre alterado (hidratación, contaminación, etc.), se recomienda verificar y registrar su estado antes de preparar la mezcla de prueba.
- o Áridos
 - Separe los áridos según tamaños en las fracciones que sean necesarias para disminuir el peligro de segregación y constituya, con la mayor exactitud posible, la granulometría en estudio. Cuando el árido grueso es una mezcla de materiales rodados y chancados, se debe registrar la proporción entre ambos tipos de partículas según el Método "Cubicidad De Partículas".
 - Almacene las fracciones separadas en recipientes adecuados, para evitar segregaciones, pérdidas y contaminaciones.
 - Trate los áridos de acuerdo al punto 5 antes de pesarlos para asegurar una condición de humedad definida y uniforme, considerando que el agua de absorción es parte integrante del árido y que demora en ser absorbida.
 - Pese cada fracción de árido con una precisión de $\pm 0,3\%$ en la condición de humedad resultante después de tratada con algunos de los procedimientos que se han indicado en el punto anterior.
- o Tratamiento de los Áridos. Elija el tratamiento por seguir de acuerdo al objetivo de la mezcla de prueba y al estado de humedad de los áridos, de entre uno de los métodos que se indican más adelante. Cuando se desee investigar la influencia del grado de saturación de un árido, se debe determinar la curva tiempo/absorción del árido y luego preparar mezclas de prueba comparativas con el árido totalmente saturado y con distintos grados de saturación. Se entenderá por grado de saturación el cociente entre la cantidad de agua absorbida por el árido en un determinado momento y la máxima cantidad de agua de absorción de ese árido, calculada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{grado de saturación} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Donde:

α' : % de absorción del árido en un momento determinado.

α : % de absorción máxima.

- o Tratamiento de Áridos con Excedente de Agua. Aplique el siguiente procedimiento a las arenas:
 - a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con el Método A.7.
 - b) Sumerja el árido durante un período de a lo menos 24 h.
 - c) Escurra el exceso de agua, hasta dejar el árido fino en estado húmedo con una pequeña cantidad de agua excedente, suficiente para evitar pérdidas por secado. Manténgalo protegido hasta el momento de emplearlo.
 - d) Determine el porcentaje de humedad total resultante del tratamiento efectuado en c), referido a la masa del árido en estado seco.
 - e) Calcule la cantidad de agua total, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
 - f) Pese del árido húmedo resultante en c), una cantidad igual a la masa de árido seco requerido para la amasada más el valor calculado en e).

- g) Calcule el porcentaje de agua libre como la diferencia entre el porcentaje de humedad total y el porcentaje de absorción de agua.
 - h) Calcule la cantidad de agua libre, aplicando el porcentaje de agua libre a la masa de árido seco requerido para la amasada.
 - i) Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.
- o Tratamiento de Áridos Parcialmente Secos. Aplique el siguiente procedimiento a las gravas siempre que su absorción sea inferior a 1%:
 - a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con el Método H0109.
 - b) Determine el porcentaje de humedad total presente en el árido referido a la masa del árido en estado seco.
 - c) Calcule la cantidad de agua total presente en el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
 - d) Pese del árido parcialmente seco una cantidad igual a la suma de la masa de árido seco requerida para la amasada más el valor calculado en c).
 - e) Estime el porcentaje de agua que absorberá el árido durante el proceso de mezclado como el 80%
 - f) de la diferencia de los valores determinados en a) y b).
 - g) Calcule la cantidad de agua que absorberá el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje estimado en e).
 - h) Corrija el agua de amasado, sumándole la cantidad de agua calculada en f).
- o Tratamiento de Áridos Secos. Considere como árido seco al que se ha secado en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) hasta masa constante. Aplique el siguiente procedimiento a cualquier árido o fracciones de árido seco:
 - a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con los Métodos A.6 o A.7, según corresponda.
 - b) Seque los áridos en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) hasta masa constante.
 - c) Pese, en un recipiente impermeable, cada árido o fracción de árido en la condición seca, la cantidad requerida para la amasada.
 - d) Cubra los áridos con agua durante a lo menos 24 h hasta saturarlos antes de su empleo.
 - e) Después de la saturación extraiga cuidadosamente el agua sobrante de modo que la cantidad de agua libre que arrastre el árido sea menor que la de amasado.
 - f) Pese, en el mismo recipiente, los áridos saturados más el agua libre.
 - g) Calcule la cantidad de agua total en los áridos como la diferencia de las pesadas obtenidas en f) y c),
 - h) Calcule la cantidad de agua de absorción, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de absorción de agua.
 - i) Calcule la cantidad de agua libre como la diferencia de los valores obtenidos en g) y h).
 - j) Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.
- o Aditivos Solubles. Prepare una solución de los aditivos solubles en una parte del agua de amasado. Si es líquido considere su volumen como parte del agua de amasado.
- o Aditivos Insolubles. Para los aditivos insolubles, mezcle con una parte o con la totalidad del cemento o con el árido fino.
- o Adiciones. Las adiciones que se empleen en cantidad superior al 10% de la masa del cemento se deben incorporar a la amasada en la misma forma que el cemento; en dosis menores al 10%, se deben incorporar como se indica en 14.

EXTRACCIÓN Y PREPARACION DE LA MUETRAS

- o Muestras cilíndras. Puede ser de varios tamaños, siendo el mínimo de 50.0 mm (2") de diámetro por 100 mm (4") de longitud. Las muestras cilíndricas para los ensayos, exceptuando el de flujo plástico bajo carga (creep), deben ser moldeadas con el eje del cilindro vertical y dejándolo en esta posición durante el fraguado.

- o Muestras prismáticas. Las vigas para ensayos de flexión, cubos para compresión, adherencia, cambios de longitud o de volumen, deben ser elaboradas con el eje longitudinal en posición horizontal.
- o Otras muestras. Otros tipos de muestras deben ser elaborados de acuerdo con las condiciones generales especificadas en esta norma.
- o Tamaño de la muestra de acuerdo con el tamaño del agregado. El diámetro de una muestra cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular debe ser por lo menos 3 veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla. Partículas superiores al tamaño máximo deben ser retiradas de la mezcla, durante el moldeo.
- o Número de muestras. Para cada edad deben elaborarse tres o más muestras. Los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, deben ser elaborados a partir de tres batchadas separadas, mezcladas en días diferentes. En todas las batchadas debe elaborarse un número igual de especímenes. Cuando sea imposible moldear al menos un espécimen para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes debe efectuarse tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días), y una de las mezclas debe ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen cemento tipo III son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, pueden hacerse ensayos de 3 meses, 6 meses y un año. Para otros tipos de probetas pueden necesitarse otras edades.

PROCEDIMIENTO

- a) Condiciones Generales. El hormigón se debe mezclar de preferencia por medios mecánicos o, en su defecto, por medios manuales. El volumen de la amasada por preparar será superior en un 20% o más, al volumen necesario para efectuar los ensayos del hormigón fresco y/o confeccionar probetas.
- b) Mezclado Manual. Este procedimiento podrá utilizarse para mezclar hormigones sin aire incorporado y para hormigones de asentamiento en el cono de Abrams superior a 2 cm; la cantidad por mezclar debe ser inferior a 40 litros. Si para ajustar al asentamiento señalado fuera necesario añadir agua en forma fraccionada a una amasada, generándose interrupciones en el proceso, dicha amasada debe desecharse y prepararse una nueva en que se utilice la cantidad de agua determinada en el ajuste anterior.

Mezcle con paleta de albañil, en un recipiente de mezclado previamente humedecido (batea o bandeja). Tenga especial cuidado en limpiar previamente los elementos utilizados para mezclar, cuando la composición de una amasada (aditivos, adiciones, dosificación, etc.) pueda alterar la siguiente. La secuencia de mezclado será la siguiente:

- b.1. Mezcle toda la arena, el cemento, el aditivo insoluble y la adición, si se usa, hasta obtener una masa homogénea a la vista.
- b.2. Añada toda la grava y mezcle hasta obtener su distribución uniforme en la masa.
- b.3. Agregue el agua y el aditivo soluble, si se usa, y mezcle hasta que el hormigón tenga una apariencia homogénea y el asentamiento deseado.
- b.4. Efectúe el mezclado sin interrupciones.
- c) Mezclado Mecánico. El procedimiento será aplicable a todo tipo de hormigones, debiéndose prestar especial atención para evitar, en lo posible, la pérdida de mortero por adherencia a las superficies interiores del tambor del mezclador y a las paletas. La cantidad de mezcla quedará determinada por la capacidad del mezclador utilizado.

Se recomienda utilizar un mezclador de eje vertical, que permita recuperar todo el mortero adherido a las paletas. Para mezcladoras que no cumplan este requisito, se recomienda mezclar previamente una amasada de igual dosificación a la especificada para el ensayo y desecharla, para que quede una capa de mortero adherida a las superficies interiores del mezclador. Tenga especial cuidado en limpiar el mezclador y los accesorios cuando la composición de una amasada (aditivos, adiciones, dosificación, etc.) pueda alterar la siguiente.

El mezclado mecánico debe seguir las mismas etapas especificadas para el mezclado manual; una vez incorporados todos los materiales debe revolver durante 3 min, reposar la mezcla otros 3 min, y revolver nuevamente por 2 min más.

- d) Ensayo del Hormigón Fresco: Efectúe los ensayos requeridos del hormigón fresco de acuerdo con los métodos correspondientes.
- e) Vaciado del concreto Lugar del moldeo. Se deben moldear las muestras lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración. Colóquense los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Transpórtense evitando sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.

El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un badilejo o herramienta similar. Se debe seleccionar el concreto de tal manera que la muestra sea representativa de la mezcla; además, se debe mezclar continuamente la mezcla del concreto durante el llenado del molde con el objeto de prevenir la segregación. En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde. El número de capas debe ser el especificado en la Tabla H.3.1.

- f) Compactación. La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (Tabla H.3.1). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos.

TABLA H.3.1. NÚMERO DE CAPAS REQUERIDAS EN LA ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
CILINDROS			
Hasta 300(12)	Apisonado(varillado)	3 iguales	
Mayor que 300(12)	Apisonado(varillado)	Las requeridas	100(4)
Hasta 460(18)	Vibración	2 iguales	
Mayor que 460(18)	Vibración	3 ó más	200(8)
PRISMAS			
Hasta 200(8)	Apisonado(varillado)	2iguales	
Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado)	3 o más	100(4)
Hasta 200(8)	Vibración	1	
Mayor que 200(8)	Vibración	2 o más	200(8) C 172

Apisonado por varillado. Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas (Tabla H.3.1) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la Tabla H.3.2. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (½") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

- g) Vibración. Manténgase un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se debe transmitir al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en capas iguales aproximadamente. Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

g.1. Vibración interna. El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de 1/3 del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4.0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debe extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.

g.2. Vibración interna para cilindros. En cada capa se debe introducir el vibrador en tres sitios diferentes. En cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.

g.3. Vibración interna para vigas y prismas. Se debe introducir el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la muestra. Para moldes de ancho mayor

de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").

g.4. Vibración externa. Cuando se use un vibrador externo debe tenerse el cuidado de que el molde este rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante.

TABLA H.3.2. DIÁMETRO DE VARILLA Y NÚMERO DE GOLPES POR CAPA

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior De la muestra en cm ² (pulg. ²)	Diámetro de varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm ² (1 pulg. ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm ² (2 pulg. ²) de área

- h) Acabado. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debe tener depresiones o protuberancias mayores de 3.2 mm (1/8").

Acabados de cilindros. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping) (véase norma MTC E703 "Capping").

CURADO

- o Cubrimiento después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lamina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.
- o Extracción de la muestra. Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes.
- o Ambiente de curado. Se deben mantener las muestras en condiciones de humedad con temperatura de 23.0 ± 2.0 °C (73.4 ± 3 °F) desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado debe hacerse en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

INFORME. De cada mezcla de prueba, lleve un registro que indique lo siguiente:

- o Identificación de la Mezcla
 - Nombre del Contrato y del Contratista.
 - Objetivo.
 - Fecha de confección de la mezcla

- o Antecedentes del Hormigón
 - Antecedentes de los materiales (antecedentes de producción, ensayos de comprobación, posibles alteraciones, etc.)
 - Dosificación.
 - Condiciones de mezclado (tipo de mezclador, temperatura y humedad ambiente, volumen de amasada, etc.)
 - Cualquier excepción o complemento a los procedimientos establecidos en el presente método.
- o Otros Antecedentes
 - Resumen de resultados de los ensayos efectuados con la mezcla de prueba.
 - Cualquier otra información específica relativa al hormigón y a las condiciones de uso.

H.3 REFRENTADO DE PROBETAS

NORMA: ASTM 617 / AASHTO T 231

OBJETIVO. Refrentar probetas de hormigón destinadas a ensayos de compresión y tracción. Se deberá aplicar a probetas cuyas superficies de contacto con las prensas de ensaye no cumplan con los requisitos de planeidad y/o paralelismo entre caras, especificados en los Métodos H.8, H.9 y AG.1 según corresponda. Es aplicable a probetas cúbicas, cilíndricas o prismáticas, moldeadas en hormigón fresco, como también a testigos extraídos del hormigón endurecido.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Placas. Deberán ser de metal, vidrio o cualquier otro material rígido, no absorbente, químicamente inerte con los componentes del material de refrentado y cumplir con los siguientes requisitos:
 - La superficie de contacto debe ser plana con una tolerancia de planeidad de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí.
 - El largo y ancho deben ser a lo menos 30 mm mayores que las respectivas dimensiones de la superficie por refrentar.
 - El espesor de las placas de metal debe ser igual o mayor que 8 mm, y el de las de vidrio igual o mayor que 6 mm.
 - Si se requiere un rebaje en las placas metálicas, el espesor de la placa en la zona rebajada debe ser igual o mayor que 8 mm y el rebaje menor o igual que 8 mm.
- o Dispositivos para Refrentar Cilindros para Ensaye de Compresión
 - Aparato vertical, compuesto por una base provista de una placa horizontal con un rebaje circular rectificado y un perfil metálico u otro dispositivo de alineación vertical que permita asegurar la perpendicularidad del eje de la probeta.
 - Anillos metálicos, ajustables a los extremos del cilindro y que se emplean en conjunto con una placa.
 - Aparato horizontal, compuesto por una base de apoyo para colocar la probeta horizontalmente y un par de placas paralelas dispuestas verticalmente en ambos extremos. Las placas deben estar provistas de mordazas a fin de ajustarse a ambos extremos de la probeta y conformar un molde que se pueda rellenar por vaciado.
- o Dispositivo para Refrentar Cubos para Ensaye de Compresión. Estará compuesto por un juego de cuatro perfiles de acero de sección cuadrada de 25 x 25 mm y 250 mm de longitud por emplear en conjunto con una placa.
- o Dispositivo para Refrentar Testigos para Ensaye de Tracción por Hendimiento. Será un molde acanalado, compuesto por una plancha metálica curva, de espesor 5 mm, con la forma de un tercio de la pared de un cilindro y una base de apoyo, que permita mantenerla firmemente en posición horizontal.
- o Otros Dispositivos. Se podrán emplear otros dispositivos similares que permitan obtener capas de refrentado que cumplan con los requisitos.
- o Aparatos para Fusión de Mezcla de Azufre
 - Recipiente de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido. Debe estar provisto de control automático de temperatura.

- Cucharón o similar, de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido, cuya capacidad concuerde con el volumen de material por emplear en una capa de refrentado.
- Sistema de ventilación, campana con extractor de aire para eliminar los gases de la fusión.

CONDICIONES GENERALES

- Requisitos de la Capa de Refrentado. Forma. La superficie de carga deberá quedar perfectamente plana, con una tolerancia de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí y perpendicular al eje vertical de la probeta en posición de ensaye. La tolerancia será una desviación máxima equivalente a una pendiente de 1 mm en 100 mm.
- Superficie
 - En las probetas para ensaye de compresión debe ser igual o ligeramente mayor que la superficie de carga sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm.
 - En las probetas para ensaye de tracción por flexión o por hendimiento, en que las superficies de carga corresponden a una línea, deben tener una longitud igual o ligeramente mayor a dicha línea sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm y un ancho de 20 ± 5 mm.
 - El material de refrentado debe desarrollar una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensaye, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.
 - Moldee la capa de refrentado tan delgada como sea posible; en general es aconsejable un espesor de aproximadamente 3 mm, pero en ningún caso mayor que 8 mm.

PROCEDIMIENTO

- a) Refrentado de Probetas Recién Moldeadas. Es aplicable a probetas cilíndricas para ensayos a compresión y debe efectuarse de acuerdo con uno de los dos procedimientos siguientes:

a.1. Procedimiento con Pasta de Cemento

- Prepare una pasta dura de cemento de alta resistencia y con una consistencia plástica, de preferencia normal.
- Colocación:

Unte las placas de refrentado con una capa delgada de aceite mineral o cualquier otro material que evite la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.

Retire los cilindros de su curado inicial, sin desmoldarlos, a una edad de 2 a 4 h desde su moldeo.

Elimine la lechada superficial mediante raspado.

Moldee cada capa de refrentado colocando una porción del material en el centro de la superficie de carga y prensando con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del molde, eliminando el exceso de pasta.

Evite la formación de burbujas de aire.

Devuelva cada cilindro a su curado inicial, manteniendo la placa en contacto con la capa de refrentado.

a.2. Procedimiento con Mortero de Cemento

- Prepare una mezcla seca – plástica, compuesta por una parte en masa de cemento de fraguado inicial rápido y con un grado de resistencia final alta, una parte en masa de arena fina seca, que pase por el tamiz de 1,18 mm (Nº 16), y 0,45 partes de agua. Deje reposar por un período de 1 a 2 h y remezcle antes de colocar, a fin de reducir al mínimo el efecto de las retracciones.
- Coloque de acuerdo con colocación del 2º punto de a.1.

- b) Refrentado de Probetas Desmoldadas y Testigos. Es aplicable a cubos, cilindros y vigas desmoldadas o testigos de hormigón endurecido para ensayos de compresión, tracción por flexión y tracción por hendimiento. Debe efectuarse de acuerdo con uno de los procedimientos que se indican a continuación.

b.1. Procedimiento con Pasta de Azufre. Prepare el material como sigue:

- Elabore una mezcla seca compuesta de 55 a 70 partes en masa de azufre en polvo y 30 a 45 partes en

masa de material granular que pase por el tamiz de 0,3 mm (Nº 50). Emplee arcilla refractaria molida o arena silícica (pumacita) como material granular.

- Caliente la mezcla hasta su fusión a una temperatura controlada entre 130 y 145° C (266° Y 293° F) sin exponer a fuego directo que pueda inflamar la mezcla, y expulse al exterior los gases que resultan de la fusión. La mezcla puede inflamarse por sobrecalentamiento; si esto ocurre extinga la llama tapando el recipiente.
- En ningún caso recaliente el mismo material más de cinco veces; la mezcla pierde resistencia y fluidez por contaminaciones y volatilización.
- Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensaye, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa. Coloque como se indica a continuación:
 - Unte las placas y superficies de los dispositivos que entran en contacto con el material de refrentado con una delgada capa de aceite mineral o de cualquier otro material que prevenga la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
 - Retire las probetas o testigos de su curado con la antelación suficiente para que el material de refrentado desarrolle la resistencia requerida hasta el momento del ensaye.
 - Elimine la lechada superficial y partículas sueltas de las superficies de carga mediante una escobilla de alambre o similar.
 - Seque las superficies de carga (p. ej. mediante una corriente de aire caliente), cuidando de no extender el secado más de lo estrictamente necesario para asegurar la adherencia del material a la probeta.
- Moldee la capa de refrentado, según el tipo de probeta y el aparato por emplear, como se indica:
 - Placas: coloque una porción de material en el centro de la superficie de carga y prénsela con la placa, girándola suavemente y eliminando los excesos de material. En el caso de vigas, disponga maestras a ambos costado de la superficie de carga, a fin de nivelar la placa.
 - Dispositivo vertical: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material en el rebaje de la placa, apoye una generatriz del cilindro en la guía vertical y hágalo descender hasta presionar el material.
 - Anillos: nivele y ajuste cada anillo en un extremo del cilindro de modo que su borde superior sobresalga aproximadamente 3 mm sobre la superficie de carga. Distribuya uniformemente el material en el molde hasta topar el borde del anillo y prénselo uniformemente con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del anillo y elimine excesos de material.
 - Dispositivo horizontal: nivele el aparato, coloque el cilindro ajustando sus extremos con las mordazas, tapone las juntas para evitar pérdidas y rellene ambos extremos por vaciado.
 - Perfiles: nivele la placa y conforme un molde con los cuatro perfiles, con la forma de un cuadrado que deje un espacio libre menor que 3 mm entre los perfiles y las aristas del cubo. Distribuya uniformemente el material sobre la placa y presione el cubo sobre él.
 - Molde acanalado: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material a lo largo del fondo del molde, coloque el testigo horizontalmente y presiónelo sobre el material.
 - Devuelva las probetas a su curado o bien manténgalas húmedas protegiéndolas con arpilleras mojadas hasta el momento en que deban colocarse en la máquina de ensaye.

b.2. Procedimiento con Pasta de Yeso. El material se aplica como sigue:

- Prepare una pasta densa con yeso de alta resistencia y una cantidad de agua mayor que el 26% y menor que el 30% del yeso, en masa.
- Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento de ensaye, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa, verificada.

Para colocar siga el procedimiento indicado en "Pasta De Azufre" excepto que las superficies de carga deben mantenerse en estado saturado superficialmente seco y proteja al yeso del contacto directo con agua.

c) Inspección de las Capas de Refrentado

d) Adherencia. Golpee ligeramente las capas de refrentado con el mango de un cuchillo, o similar, antes de colocar en la

prensa de ensayo; si emite un sonido hueco, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar.

e) Planeidad y Perpendicularidad

- o Cuando emplee pastas de yeso o cemento, inspeccione todas las capas de refrentado.
- o Cuando emplee mezcla de azufre, para cada aparato de refrentado en uso, inspeccione al azar a lo menos una capa de refrentado por cada diez.
Emplee una escuadra de precisión con un pequeño calado para no topar el borde de la capa de refrentado.
- o Cuando una capa de refrentado no cumpla con los requisitos de forma especificados en 10, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar, e inspeccione el aparato por usar (planeidad de placas, ángulos de dispositivos de alineación).

H.4 DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS

NORMA: ASTM C 143/ AASHTO T 119

OBJETIVO. Determinar la docilidad del hormigón fresco, tanto en el laboratorio como en obra, mediante el asentamiento que experimenta en el Cono de Abrams. El procedimiento es aplicable a hormigones preparados con áridos de tamaño máximo absoluto 50mm. Es válido para establecer la docilidad de hormigones frescos con asentamientos comprendidos entre 2 y 18 cm.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Molde
 - Tendrá forma de un tronco de cono recto, abierto por ambos extremos.
 - Será metálico, de espesor igual o superior a 1,6 mm; la superficie interna será lisa y libre de rebordes y abolladuras.
 - Dimensiones:
 - Base superior: $100 \pm 1,5$ mm de diámetro.
 - Base inferior: $200 \pm 1,5$ mm de diámetro. -Altura: $300 \pm 1,5$ mm.
 - Tendrá dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afirmar el cono contra la plancha de apoyo durante el llenado.
 - Tendrá dos asas en el tercio superior de la altura, cuyo objetivo es levantar el molde después de llenado con el hormigón.
- o Varilla pisón. Será una barra cilíndrica lisa de acero, de 16mm de diámetro y 600mm de longitud, con sus extremos semiesféricos, de 16mm de diámetro.
- o Plancha de apoyo. Será rígida, no absorbente y por lo menos de 400 x 600mm.
- o Pala de llenado. Será metálica, de preferencia de fondo redondo y punta de huevo, de dimensiones adecuadas para vaciar el hormigón en el molde.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUETRAS

- a) Muestras de hormigón. El tamaño y extracción de la muestra de hormigón necesaria para efectuar el ensaye se ajustará a lo señalado en el Método H.1.
- b) Acondicionamiento del equipo
 - b.1. Antes de iniciar el ensaye verifique que tanto el molde como sus accesorios se encuentren limpios y húmedos (sólo con agua).
 - b.2. Coloque el molde sobre la plancha de apoyo horizontal.
- c) Tiempo de operación. Las operaciones de llenado del molde, seguida de su retiro, levantándolo, como se describe en c), deben efectuarse en un tiempo no superior a 3 min.
- d) Llenado del molde

d.1. El operador debe pararse sobre las pisaderas, afirmando el molde firmemente contra la plancha de apoyo, de manera de evitar cualquier movimiento durante el llenado.

d.2. Llene con el hormigón por ensayar mediante tres capas de aproximadamente igual volumen; la primera deberá alcanzar una altura aproximada de 7cm y la segunda una altura aproximada de 16cm, ambas medidas desde la base.

-Apisone cada capa con 25 golpes de la varilla pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.

-Apisone la capa inferior en toda su profundidad, cuidando de no golpear la plancha de apoyo, dé, aproximadamente, la mitad de los golpes alrededor del perímetro con la varilla pisón ligeramente inclinada; luego siga dando golpes con la varilla vertical, acercándose al centro en forma de espiral.

-Apisone las capas media y superior en todo su espesor, de modo tal que la varilla pisón penetre apenas en la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa, mantenga permanentemente un exceso de hormigón por sobre el borde superior del molde, sin sobrepasar el número de golpes estipulados.

d.3. Terminada la compactación de la capa superior, enrase la superficie con un movimiento de aserrado y rotación de la varilla pisón, apoyándola en el borde superior del molde.

d.4. Retire del área adyacente al molde todo el hormigón que se hubiere derramado.

d.5. Levantamiento del molde:

-Inmediatamente después de terminado el llenado del molde, levántelo evitando cualquier perturbación o golpe, tanto al cono como a la base, a fin de no alterar la medida.

-Para levantar, cargue las asas con las manos, dejando libres las pisaderas.

-Levante verticalmente el molde en forma suave, sin originar desplazamientos laterales ni movimientos de torsión; esta operación no debe tardar más de 5 a 10 s.

d.6. Medición del asentamiento.

-Una vez levantado el molde, colóquelo en posición invertida a un costado del hormigón moldeado.

-Inmediatamente mida la disminución de altura que ha experimentado la cara superior del hormigón respecto del borde superior del molde colocado a su costado, con aproximación de 0,5 cm. Con una huincha o regla graduada en mm, mida, aproximadamente, en el eje original de moldeo de la mezcla, con la visión del operador en dirección perpendicular a la huincha o regla de medición.

Si el hormigón moldeado se inclina decididamente hacia un lado o sufre desprendimientos parciales de su masa, repita el ensaye utilizando otra porción de hormigón de la misma muestra. En caso que por segunda vez se presenten algunos de los fenómenos descritos, informe que el hormigón no es apto para el ensaye del asentamiento, por carecer de la plasticidad y cohesión necesarias. Toda porción de una muestra de hormigón utilizada en este ensaye, deberá desecharse una vez concluida la operación.

CÁLCULO. Informe el asentamiento del Cono de Abrams como la disminución de altura determinada como se indica en 10 f), informando el resultado en cm., con aproximación a 0,5 cm.

INFORME. El Informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- o Nombre del Contrato y del Contratista que preparó el hormigón.
- o Identificación de la muestra (tipo o grado del hormigón, procedencia de la muestra).
- o Lugar y fecha de muestreo.
- o Entidad responsable del muestreo y ensaye.
- o Valor del asentamiento registrado.
- o Cualquier observación relativa al aspecto visual del hormigón.
- o Constancia si se presentó o no la situación descrita en 10g).
- o Dejar constancia que se ensayó en conformidad con este método (especificación).

H.5 DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO

NORMA: ASTM C 138 / AASHTO T 121

OBJETIVO. Determinar la densidad aparente, el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón fresco.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza. Utilice una balanza de capacidad igual o mayor que 50Kg. para la medida de 15 l e igual o mayor que 100Kg. para la medida de 30l; la precisión debe ser mínimo de 50g.
- Varilla pisón. Barra cilíndrica lisa de acero de 16mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16mm de diámetro.
- Vibradores
 - Vibradores internos. Los vibradores internos deben operar a una frecuencia de vibración igual o mayor que 100 s^{-1} (6.000 pulsaciones/min.); el diámetro externo del elemento vibrador debe estar comprendido entre 20 y 40mm.
 - Vibradores externos. Los vibradores externos serán de mesa o de placa, con una frecuencia de vibración igual o superior a 50 s^{-1} (3.000 pulsaciones/min.).
- Medidas volumétricas. Para medir el volumen utilice recipientes metálicos, impermeables, estancos, químicamente inertes con los componentes del hormigón y provistos de dos asas. El interior debe tener la forma de un cilindro recto abierto por una de sus caras planas; debe rectificarse, si corresponde, para asegurar las dimensiones interiores.
 - La capacidad nominal y dimensiones de los recipientes deben ser las que se indican en Tabla H.5.1, las que están en función del tamaño máximo nominal del árido empleado.

TABLA H.5.1. DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS VOLUMETRICAS

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad nominal (m³)	Dimensiones interiores		Espesor mínimo	
		Diámetro (mm)	Altura mínima (mm)	Base (mm)	Pared (mm)
50 o menor	0,015	255 ± 5	280	3	2
63 o mayor	0,030	355 ± 5	300	3	2

- Se deben reforzar los bordes de la medida con una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho.
- Placa de enrase. Es una placa de metal, vidrio o acrílico cuyo ancho y largo deben superar en 50 mm o más al diámetro de la medida; su espesor debe ser igual o mayor que 6 mm en placas de metal, e igual o mayor que 12 mm en placas de vidrio o acrílico.
- Calibración de la medida
 - Verificación Previa. Antes de cada ensaye verifique la tara de la medida, aproximando a 50 g.
 - Verificaciones periódicas. Periódicamente revise la capacidad volumétrica de la medida, con una precisión de 0,1%, determinando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

Muestreo. El muestreo debe ajustarse a lo dispuesto en el Método H.1.

PROCEDIMIENTO

- a) Compactación. Compacte mediante apisonado o vibrado según el procedimiento que se indica en la Tabla H0305_2, en función del asentamiento del hormigón, excepto que las especificaciones técnicas especiales establezcan un procedimiento determinado para una obra en particular.

TABLA H.5.2. PROCEDIMIENTO PARA COMPACTAR EN FUNCION DEL ASENTAMIENTO

Asentamiento "a" (cm)	Procedimiento de compactación
a < 5	Vibrado
5 ≤ a ≤ 10	Vibrado o apisonado
a > 10	Apisonado

La compactación debe ser lo más parecida posible a la usada en la obra. Si se usa otro procedimiento o no se cumple con lo especificado en Tabla H0305_2, se debe dejar constancia especial en el informe.

a.1. Apisonado:

-Coloque el hormigón fresco en la medida mediante tres capas de espesores aproximadamente iguales y de manera que la última capa exceda sobre el borde de la medida.

-Compacte cada capa con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección, a razón de 25 golpes por capa cuando se emplee la medida de 15 l y de 50 golpes por capa cuando se emplee la medida de 30 l.

-Apisone la capa inferior en toda su altura, sin golpear el fondo de la medida.

-Apisone las capas superiores de modo que la varilla pisón penetre en la capa subyacente, aproximadamente, 2 cm.

-Después de apisonar cada capa, golpee 10 o más veces los costados de la medida hasta que no continúen apareciendo burbujas grandes de aire en la superficie de la capa compactada y se cierren los vacíos dejados por la varilla pisón.

a.2. Vibrado interno:

-Coloque el hormigón fresco en la medida, en dos capas aproximadamente iguales y de manera que en la última capa quede hormigón en exceso por sobre el borde de la medida. -Compacte cada capa mediante tres inserciones del vibrador.

-Introduzca el vibrador verticalmente en la capa inferior hasta aproximadamente 2 cm del fondo de la medida; en la capa superior introduzca de modo que el vibrador penetre aproximadamente 2cm. en la capa subyacente; realice esta operación sin tocar las paredes ni el fondo del molde con el vibrador.

-Retire el vibrador tan lentamente como sea posible.

-Vibre solamente hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie del hormigón. -Durante el vibrado de la capa superior, mantenga permanentemente hormigón en exceso por sobre el borde de la medida, rellenando con hormigón fresco cuando sea necesario.

a.3. Vibrado externo:

-Fije firmemente la medida al elemento vibrador, manualmente o con algún dispositivo mecánico, de modo que ambos vibren solidariamente.

-Coloque el hormigón en una sola capa, manteniendo en todo momento hormigón en exceso sobre el borde de la medida.

-Vibre el tiempo necesario para asegurar la compactación, presionando simultáneamente la superficie del hormigón; detenga el vibrado cuando una delgada capa de lechada cubra la superficie.

b) Enrase y alisado

b.1. Al terminar la compactación deje un exceso de hormigón de aproximadamente 3 mm de espesor por sobre el borde de la medida.

b.2. Enrase y alise mediante la placa, cuidando dejar el recipiente lleno justo hasta el borde de la medida.

c) Pesada. Inmediatamente después de terminar el alisado, limpie el exterior de la medida y pésela. Reste la masa de la medida a fin de determinar y registrar la masa del hormigón que llena la medida (m) aproximando a 50 g para la medida de 15 l y a 100g para la medida de 30 l.

CÁLCULOS

o Densidad aparente. Calcule la densidad aparente del hormigón fresco, con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³.

$$\rho_a = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco, (kg/m³).

m: Masa del hormigón fresco que llena la medida, (kg).

V: Capacidad volumétrica de la medida, (m³).

- o Rendimiento de la amasada. Calcule el rendimiento de la amasada del hormigón fresco como el volumen aparente de hormigón elaborado en cada amasada, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m³/amasada.

$$V_a = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{\rho_a}$$

Donde:

V_a : Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m³).

m_c : Masa de cemento incorporado a la amasada, (kg).

m_a : Masa de arena en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada, (kg).

m_g : Masa de grava en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada, (kg).

m_w : Masa del agua incorporada a la amasada, (kg).

ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco, (kg/m³).

- o Rendimiento relativo. Calcule el rendimiento relativo del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando al 1%:

$$R_r = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

Donde:

V_a : Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m³).

V_t : Volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada, (m³) (Corresponde a V_r + volumen de aire estimado para cada amasada).

V_r : Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m³).

- o Rendimiento por saco de cemento. Calcule el rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m³/saco (l/saco):

$$R_s = \frac{V_a}{N}$$

Donde:

R_s : Rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco, (m³/saco) (l/saco).

V_a : Volumen aparente del hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m³) (l).

N : Número de sacos de cemento empleados en cada amasada.

Se debe indicar la capacidad del saco; 42,5 kg o 50 kg, según corresponda.

- o Contenido efectivo de cemento. Calcule el contenido efectivo de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg cem/m³ de hormigón elaborado:

$$C = \frac{m_c}{V_a}$$

Donde:

C : Contenido efectivo de cemento, (kg cem/m³)

m_c : Masa de cemento incorporada a la amasada, (kg).

V_a : Volumen aparente de hormigón fresco, elaborado en cada amasada, (m³).

- o Contenido estimado de aire. Calcule el contenido de aire del hormigón fresco con una de las fórmulas siguientes, aproximando al 1%.

$$A = \frac{V_a + V_r}{V_a} \times 100$$

Donde:

A: Contenido estimado de aire del hormigón fresco, (%).

V_a : Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m^3).

V_r : Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m^3),

calculado según la fórmula:

$$V_r = V_{rc} + V_{ra} + V_{rq} + V_w$$

Donde:

V_{rc} , V_{ra} , V_{rq} y V_w son los volúmenes reales de todos los materiales incorporados a la amasada, o bien

$$A = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \times 100$$

Donde:

ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco, (kg/m^3).

ρ_r : Densidad real del hormigón fresco, (kg/m^3), calculada según la fórmula:

$$\rho_r = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{V_r}$$

El volumen real de cada material corresponde a su masa dividida por su densidad real. Para los áridos se debe determinar la masa y la densidad real en condición de saturados superficialmente secos, de acuerdo con los Métodos A.8 Y A.9. La densidad real del hormigón fresco se determina en el laboratorio y se estima constante para todas las amasadas elaboradas con los mismos materiales y la misma dosificación.

INFORME. El informe debe incluir lo siguiente:

- o Nombre del contrato y del contratista.
- o Dosificación y procedencia de los materiales.
- o Fecha, hora, lugar y nombre del laboratorista que extrajo la muestra.
- o Resultados.
- o Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al hormigón.
- o Referencia a este Método.

H.6 COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS

NORMA: ASTM C 39/ AASHTO T 22

OBJETIVO. Efectuar el ensaye a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón. Se aplica al ensaye de probetas preparadas según los Métodos H.1 o H.2, según corresponda.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Prensa
 - Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensaye sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.
 - Tendrá un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta.
 - Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, y no se aceptarán desviaciones con respecto al plano superiores a 0,015 mm en 100 mm medidos en cualquier dirección.
 - La dimensión de la arista o del diámetro de las placas de carga será igual o superior a la arista o diámetro de la probeta. En caso de usar placas suplementarias para aumentar la dimensión de las placas de carga de la prensa, éstas tendrán superficies rectificadas conformes a 3 c), espesor igual o superior a 50 mm y dureza igual o

superior a la de las placas de la prensa.

- La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual al 1% de la carga máxima.
 - La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del rango utilizable de la(s) escala(s) de lectura.
 - En general el rango utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la lectura máxima en la respectiva escala de lectura.
 - Se deben contrastar las prensas de ensaye, las de uso habitual por lo menos una vez al año y las de faena al inicio de la obra.
 - La prensa contará con dispositivos de regulación de la carga según lo especificado en 9 e).
- o Regla Graduada. Estará graduada en mm, y tendrá una longitud igual o superior a 400 mm.
 - o Balanza. Tendrá una capacidad igual o superior a 25 kg y una precisión mínima de 1 g.

PROCEDIMIENTO

- a) Acondicionamiento de las Probetas. Acondicione las probetas para el ensaye según el método H.3, si corresponde.
- b) Medición de Probetas Cúbicas
 - b.1. Coloque el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador.
 - b.2. Mida los anchos de las cuatro caras laterales del cubo (a_1 , a_2 , b_1 , b_2), aproximadamente en el eje horizontal de cada cara.
 - b.3. Mida las alturas de las cuatro caras laterales (h_1 , h_2 , h_3 y h_4) aproximadamente en el eje vertical de cada cara.
 - b.4. Expresé estas medidas en mm con aproximación a 1 mm.
 - b.5. Determine la masa de la probeta con una aproximación igual o inferior a 50 g.
 - b.6. En el caso de probetas por refrentar, mida y pese antes del refrentado.
- c) Medición de Probetas Cilíndricas
 - c.1. Mida dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 y d_2), aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta
 - c.2. Mida la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2) antes de refrentar.
 - c.3. Expresé estas medidas en Mm. con aproximación a 1 mm.
 - c.4. Determine la masa de la probeta antes de refrentar con una aproximación igual o inferior a 50 g.
- d) Ensayo
 - d.1. Limpie la superficie de las placas y de las caras de ensaye de la probeta.
 - d.2. Coloque la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de esta placa.
 - d.3. Posición de las probetas.
 - Coloque las probetas cúbicas con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.
 - Coloque las probetas cilíndricas asentadas en una de sus caras planas refrentadas.
 - d.4. Asiente la placa superior sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.
 - d.5. Aplique la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme, que permita cumplir las siguientes condiciones:
 - Alcanzar una franca rotura de la probeta en un tiempo igual o superior a 100 s. Puede considerar que hay franca rotura cuando el indicador de carga retrocede bajo el 90% de la carga máxima y hay claras manifestaciones de agrietamiento de la probeta.

- No superar la velocidad de 0,35 N/mm²/s.
- d.6. Cuando se conoce aproximadamente la carga de rotura, será permisible aplicar la primera mitad de la carga a una velocidad mayor que la especificada en d.5.
- d.7. Una vez fijada la velocidad, especialmente en la segunda mitad de la carga, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensayo.
- d.8. Registre la carga máxima P, expresada en N.

CALCULO

o Resistencia a Compresión

- Calcule la sección de ensaye según las fórmulas siguientes:

-Probetas Cúbicas.

$$S = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \times \frac{(b_1 + b_2)}{2}$$

-Probetas cilíndricas.

$$S = 0,196 \times (d_1 + d_2)^2$$

La fórmula es una simplificación de:

$$S = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$$

- Calcule la resistencia a la compresión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f = \frac{P}{S}$$

Donde:

f : Tensión de rotura, (MPa)

P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensaye, (N).

S: Sección de ensaye, medida a partir de la dimensión básica real, (mm²)

- Exprese los resultados en MPa con una aproximación igual a 0,1 Mpa. Si la prensa de ensaye entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: 1 MPa = 10,1972 kgf/cm²

o Densidad Aparente

- Calcule el volumen V de la probeta según la fórmula siguiente:

$$V = S \times h$$

Donde:

S: Sección de ensaye, (mm²)

h: Altura promedio, (mm)

- Calcule la densidad aparente de la probeta como el cuociente entre masa y volumen.
- Exprese el resultado en Kg/m³, con una aproximación igual o inferior a 10 kg/m³.

Para obtener valores más exactos y comparables, se recomienda:

- Determinar la masa de la probeta por pesada al aire en el momento de desmoldar, o de recepción en laboratorio. Registrar A.
- Pesar la probeta sumergida después de 2 min de inmersión. Registrar B.

- Pesar la probeta al aire inmediatamente de retirarla de la inmersión. Registrar C.
- Calcular la densidad aparente según la fórmula siguiente:

$$\rho_a = \frac{A}{C - B} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

A: Masa de la probeta en el momento de desmoldar (g).

B: Masa de la probeta sumergida (g).

C: Masa de la probeta después de la inmersión (g).

INFORME. El informe incluirá lo siguiente:

- Antecedentes generales
- Antecedentes de Cada Probeta
 - Nombre del Contrato y Contratista.
 - Fecha y edad en el momento del ensaye.
 - Densidad aparente (kg/m³).
 - Tipo de probeta y dimensión básica.
 - Defectos exteriores en la probeta o su refrentado.
 - Tipo de curado
 - Carga de rotura de la probeta (N).
 - Resistencia a compresión, (MPa).
 - Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.).
 - Cualquier otra información específica del ensaye, útil para su mejor interpretación.

H.7 PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS FUTURAS A LA COMPRESIÓN

NORMA: ASTM C 1073

OBJETIVO. Establecer las relaciones entre la edad del hormigón y su resistencia a la compresión.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Equipo y herramientas, para fabricar especímenes y medir las características plásticas del hormigón.
- Moldes, tendrán las dimensiones y características que se señalan en el método M.3.
- Termómetro para registrar la temperatura del ambiente que rodea el espécimen durante el curado, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ (1.8°F).
- Calentadores de inmersión.- Puede utilizarse una resistencia eléctrica de 4.5 kilovatios.
- Tanque para tratamiento térmico.- Puede utilizarse una caneca de 55 galones, cortada por la mitad perpendicularmente al eje de la caneca, o un tanque de asbesto cemento.

Para evitar en parte las pérdidas de calor por radiación, basta forrar la caneca en lámina de lana de vidrio de 2,5 cm. de espesor. Es conveniente colocarle una tapa a la caneca.

PROCEDIMIENTOS**Método ASTM C-918**

- a) Moldéense y cúrense los especímenes. Continúese el proceso de curado durante al menos 24 horas.
- b) Manténgase un registro exacto de la temperatura del ambiente que rodea el espécimen durante el curado.
- c) Refrentado y Ensayo.- Remuévase el espécimen del molde tan pronto como sea posible, (la madurez m , del espécimen a temprana edad es la edad en horas en el momento del ensayo multiplicada por la temperatura ambiente ($h \times ^\circ F = m$)).
- d) Cuando se ensaye, el material de refrentado debe desarrollar a la edad de 30 minutos una resistencia igual o mayor que la resistencia de los cilindros que van a ser ensayados.
- e) No deberá ensayarse el espécimen antes de que transcurran 30 minutos desde el refrentado del mismo.
- f) Ensáyese el cilindro para determinar la resistencia a la edad de 24 horas o más,. Regístrese la edad exacta, en horas, en el momento del ensayo.

Método ASTM C-684

- a) En este método se toman las muestras de hormigón en cilindros normales, cuya única diferencia consiste en que deben estar provistos de una tapa metálica que puede sostenerse en su puesto por medio de tuercas o mariposas. Se dejan las muestras en reposo durante 23 horas.
- b) Al cabo de dicho lapso, las muestras se colocan, con todo y moldes, en un tanque con agua en ebullición. Naturalmente, al colocar los cilindros dentro del agua, la temperatura disminuye, pero debe mantenerse en las cercanías de la ebullición, sin que se produzca este fenómeno, para evitar que el agua de la mezcla eventualmente entre también en ebullición. Se mantiene la muestra en esta condición durante 3 horas y media, al final de las cuales se sacan, y se dejan enfriar durante media hora.
- c) Después del período de enfriamiento se quitan los moldes, se les hace el refrentado con azufre y transcurrida una hora (hora y media después de salir del tanque) se ensayan a compresión.

Con base en los resultados obtenidos a las 28 horas después de tomada la muestra se calculan las resistencias probables a 28 días.

CALCULO. Método ASTM C 918

- o Obténganse datos de resistencia a la compresión para diferentes edades de ensayo y los valores de madurez correspondientes en el laboratorio, para determinar la línea de proyección para cada diseño de mezcla que se utilice. Los datos incluirán ensayos a las 24 horas, 3, 7, 14 y 28 días. Prepárese una gráfica en papel semilogarítmico, de 2 ciclos por 70 divisiones. Numérese la división de 1" en incrementos de 1000 lb/pulg² (eje "Y"). La escala logarítmica representará la madurez, en grados - horas, en el momento del ensayo (eje "X"). Si los valores de madurez se desarrollan usando grados Celsius, úsese un papel semilogarítmico de 3 ciclos por 70 divisiones.
- o Gráfiquese cada uno de los valores de resistencia.
- o Dibújese la línea recta que mejor represente todos los puntos graficados comprobando que la línea pase por el punto que representa la madurez a los 28 días contra la resistencia.

Si este proceso se utiliza para determinar la resistencia a una edad diferente a 28 días, la línea recta debe pasar por el punto que representa la madurez versus la resistencia para la edad proyectada deseada. Si los datos graficados no se acomodan a una línea recta, dibújese entonces una línea que conecte el punto que señala resistencia contra madurez a los 28 días o a una edad superior con la línea que una los puntos que representan resistencia versus madurez a las 24 horas y a los tres días, en el sitio donde se logre el mejor ajuste.

Si se desea comprobar la exactitud del primer estimativo hecho de la pendiente de la línea de proyección, se deben fabricar especímenes compañeros los cuales se curarán y ensayarán a los 28 días.

El valor de la pendiente, b , puede reestimarse utilizando la ecuación:

$$b = \frac{\sum (S - S_m)}{\sum (\log M - \log m)}$$

Donde:

S = Resistencia a la compresión medida a la madurez M , y,

S_m = Resistencia a la compresión medido a la madurez m .

La pendiente b , es la distancia vertical a escala entre el intercepto sobre la línea de 10,000°F y el intercepto sobre la línea de 100,000°Fh.

Úsese la constante b así determinada para proyectar la resistencia a la compresión del hormigón de cemento Portland.

PRECISIÓN. El uso de los resultados de este método, en la proyección de resistencias a edades mayores, debe hacerse con precaución, ya que los requerimientos de resistencia de las especificaciones y códigos existentes no se basan en proyecciones de resistencias de ensayos a temprana edad. Debido a que la variabilidad de este método es la misma o menor que la del método tradicional, se puede utilizar los resultados como un método rápido para determinar la variabilidad en los procesos de control y señalar los ajustes necesarios. Por otra parte, la magnitud de los valores de resistencia está influenciada por la combinación específica de materiales, de tal forma que el uso de los resultados o correlaciones debe hacerse sólo para unas condiciones específicas de materiales, y mezcla. Los factores que influyen las relaciones entre las resistencias medias y aquellas del hormigón en su sitio, no difieren de las que afectan los ensayos convencionales de resistencia.

Los resultados de dos ensayos de resistencia a la tensión apropiadamente ejecutados por el mismo laboratorio, en dos cilindros individuales hechos con los mismos materiales, no debe diferir en más del 10% de su promedio.

Los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados consistentes del promedio de dos cilindros de la misma serie hecha en el mismo laboratorio y con los mismos materiales, no debe diferir en más del 25% de su promedio.

INFORME. El informe del ensayo debe incluir los siguientes aspectos:

- o Número de identificación de la muestra.
- o Diámetro y longitud en mm ó pulg.
- o Área de la sección transversal en cm^2 o pulg^2 .
- o Máxima carga en N o lbf.
- o Resistencia a la compresión calculada con una precisión de 69 kPa (10 lb/pulg²).
- o Tipo de fractura.
- o Edad del espécimen
- o Temperatura inicial de mezcla con precisión de 1°C (o 1°F).
- o Registros de temperatura.
- o Método de transporte utilizado para el envío del espécimen al laboratorio.
- o Madurez del espécimen en el momento del ensayo temprano, con precisión de 1°F·h o 1°C·h.
- o El número de días al cual se proyectará la edad.
- o La resistencia proyectada con una precisión de 69 kPa (10 lb/pulg²).

H.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN USANDO UNA PORCIÓN DE VIGA ROTA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN

NOEMA: ASTM C 116 / AASHTO T 40

OBJETIVO. Determinar de la resistencia a la compresión del hormigón, usando porciones de vigas rotas en el ensayo de flexión.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o La máquina de ensayo puede ser de cualquier tipo, siempre y cuando tenga la suficiente capacidad para suministrar la tasa de carga. La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con superficies endurecidas, uno de los cuales se apoyará sobre una rótula que estará en contacto con el plato; y el otro, un bloque rígido y plano que soportará el plato de carga inferior. El diámetro del bloque con apoyo esférico tendrá al menos el 75% del ancho de la muestra, B . La superficie de apoyo no se debe desviar del plano en más de 0.025 mm (0.001") por cada 152 mm (6") para un bloque de 152 mm (6") de diámetro, o mayores, ni más de 0.025 mm en el

diámetro de cualquier bloque más pequeño. Se recomienda que la cara de carga de los bloques utilizados para el ensayo de compresión del hormigón tenga una dureza Rockwell no menor a C 60.

- o Sobre las superficies de carga de la muestra se montarán platos de carga maquinados o pulidos con un espesor mayor o igual a 19 mm, que cumplan con los requerimientos de aplanamiento de las superficies de carga de las muestras y los requerimientos de dureza para los bloques de carga especificados anteriormente. Los platos de carga deben ser de tales dimensiones que las caras de contacto sean primordialmente cuadradas, y tengan las mismas dimensiones que el ancho nominal de la viga ensayada. El plato de carga superior debe colocarse directamente sobre el plato inferior.

CONDICIONES GENERALES. La longitud de la porción rota de las vigas seleccionadas para el ensayo a la compresión deben ser al menos 50 mm (2") más larga que el ancho. Las muestras seleccionadas para el ensayo deben estar libres de grietas, superficies imperfectas, u otros defectos obvios.

Preparación de las muestras

- o La superficie de carga de las muestras, no tendrá desviaciones del plano en más de 0.05 mm (0.002"); las que no estén planas deben pulirse o recubrirse para satisfacer la tolerancia anterior. Los procedimientos de recubrimiento deben cumplir con los requisitos señalados en el Método H0303. El recubrimiento debe cubrir el ancho completo de la viga y debe tener tal longitud, que permita que el plato de carga superior pueda colocarse directamente sobre el plato de carga inferior.
- o Durante el período que transcurre entre el ensayo de las muestras a la flexión, o después del recubrimiento, y el rompimiento de las porciones a compresión, la muestra debe mantenerse en las mismas condiciones indicadas en el Método H.2.

PROCEDIMIENTO La orientación de las muestras debe ser tal que el ancho "B", debe ser igual o menor que la altura "D". Si la viga tiene una sección transversal cuadrada, las superficies de carga pueden ser los lados de la viga, como originalmente se fundió.

- a) Céntrense los platos de carga en la máquina de ensayo de tal forma, que el punto de apoyo del bloque con rótula esté alineado con el centro de los platos de carga. Aplíquese la carga a los platos por medio de una cabeza ajustable.
- b) Velocidad de carga. Aplíquese la carga en forma continua, sin impactos o interrupciones. La cabeza móvil de la máquina de ensayo tipo tornillo, deberá desplazarse a una velocidad aproximada de 1.3 mm/min (0.05"/min), cuando la máquina de ensayo esté moviéndose sin transmitir esfuerzo. En las máquinas hidráulicas, ajústese la carga, a una relación constante entre los límites 241 + 104 kPa/s (35 + 15 psi/s).
- c) Ensáyense los especímenes hasta que se produzca la falla. Regístrese la carga total señalada por la máquina en el momento de la falla de la muestra ensayada.

CALCULOS. Calcúlese la resistencia a la compresión unitaria, con una precisión de 69 kPa (10 psi). Determínese el área de la sección transversal de la muestra, como el promedio de al menos dos medidas de la dimensión "B", tanto del plato de carga superior como de la inferior, determinadas con una precisión de 0.25 mm (0.01").

$$\text{Resistencia a la compresión unitaria} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área de la sección transversal de la muestra}}$$

INFORME. El informe de los resultados debe incluir lo siguiente:

- o El método utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión, y su valor.
- o El número de identificación de la muestra.
- o Las dimensiones "B" y "D" en mm (ó pulg).
- o Área de la sección transversal en cm^2 (ó pulg^2).
- o Carga Máxima, N (lbf).
- o Edad de las muestras y detalles del curado.
- o Tipo de falla y aspecto del hormigón.
- o Orientación de la muestra con respecto a la parte superior de la viga fundida.
- o Condiciones de curado de las muestras y condiciones de humedad durante el ensayo.

H.9 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS

NORMA: ASTM C 78 Y C 293 / AASHTO T 97 Y T 77

OBJETIVO. Efectuar el ensaye de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas, se aplicará al ensaye de tracción por flexión de probetas y se ajustará al procedimiento correspondiente, según la dimensión básica de la probeta. Tenga presente que los dos procedimientos que se describen a continuación no son alternativos y sus resultados no son comparables

Para probetas de dimensión básica 150 mm, aplique cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz de ensaye.

Para probetas de dimensión básica 100 mm aplique la carga P en el centro de la luz de ensaye.

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Prensa
 - Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensaye sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.
 - La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual al 1% de la carga máxima.
 - La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del intervalo utilizable de la(s) escala(s) de lectura.
 - En general, el intervalo utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la respectiva escala de lectura.
 - Se deben contrastar las prensas de ensaye de uso habitual por lo menos una vez al año, y las de faena al inicio de la obra.
- o Dispositivo de tracción por flexión. Deberá tener piezas para apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga, con sus correspondientes accesorios los que deberán cumplir con los siguientes requisitos:
 - Los elementos de contacto con la probeta tendrán la superficie cilíndrica (de este modo se logra un contacto rectilíneo).
 - Se aplicarán la carga y sus reacciones en forma vertical y estarán dispuestas de modo que las líneas de contacto sean paralelas entre sí y perpendiculares a la luz de ensaye.
 - Contarán con accesorios que permitan fijar y mantener la luz de ensayo.
 - Tendrán rótulas regulables, a fin de evitar excentricidades.
 - Tendrán una longitud igual o mayor que el ancho "b" de las probetas.
- o Regla rectificadora. Tendrá una longitud igual o mayor que 500 mm.
- o Regla graduada o huincha. Deberá ser graduada en milímetros y de una longitud igual o mayor que 1m.

PROCEDIMIENTO

- a) Retiro de las probetas curadas. Las probetas que estaban sumergidas en agua por 24 h. para su curado final según se indica en los Métodos H.1 o H.2, retírelas de ésta inmediatamente antes de ensayar, protéjalas con arpilleras húmedas hasta el momento de colocarlas en la máquina de ensaye, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.
- b) Aplicación de la carga. La luz de ensaye debe cumplir con las siguientes condiciones, según la forma de aplicación de la carga:
 - b.1. Cargas P/2 aplicadas en los límites del tercio central:

$$L \geq 3h$$

Donde:

L: Luz de ensaye.

h: Altura de la probeta.

b.2. Carga P centrada:

$$L \geq 2h$$

b.3. La distancia "x" entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta será igual o mayor que 2,5 cm.

- c) Trace rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble y que no alteren el tamaño, forma o características estructurales de las probetas. Al realizar el trazado, verifique la rectitud de los contactos con la regla rectificadora; no debe pasar luz entre la cara de la probeta y la regla.
- d) Verifique y registre la luz de ensaye, expresándola en milímetros con aproximación a 1 mm, medida en la cara inferior de la probeta en la posición para ensayar.
- e) Limpie la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.
- f) Coloque la probeta en la prensa de ensaye, dejando la cara de llenado en un plano vertical, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
- g) El contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga debe ser total, con las tolerancias y condiciones siguientes:
 - g.1. Acepte una separación igual o menor que 0,05 mm.
 - g.2. Si la separación es mayor que 0,05 mm y menor que 0,5 mm, use láminas de cuero natural o sintético interpuestas en el contacto. Esas láminas tendrán un espesor uniforme igual o mayor que 5 mm, un ancho igual o mayor que 25 mm y un largo igual o mayor que el ancho de la probeta. Deseche las láminas que presenten deformaciones apreciables a simple vista.
 - g.3. Si la separación es igual o mayor que 0,5 mm y menor que 2 mm, proceda a refrentar.
 - g.4. Si la separación es mayor que 2 mm, deseche la probeta.
- h) Antes de aplicar la carga verifique que:
 - h.1. Todos los contactos cumplen con lo indicado en el punto anterior.
 - h.2. Las distancias entre las piezas de apoyo y de carga se mantienen constantes, con una tolerancia de ± 1 mm.
- i) Aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques. La velocidad de tensión. deberá estar comprendida entre 0,015 y 0,02 N/mm²/s).
- j) Una vez fijada la velocidad, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensaye.
- k) Registre la carga máxima P expresada en N.
- l) Mida el ancho (b) y la altura (h) medios de la probeta en la sección de rotura con aproximación a 1mm. Registre b y h.

CALCULOS

- o Ensaye con cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz de ensaye
 - Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensaye, calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

Donde:

ft: Tensión de rotura, (MPa).

P: Carga máxima aplicada, (N).

L: Luz de ensayo de la probeta, (mm).

b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm).

h: Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm) .

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y una distancia de 0,05 L de esa línea, calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2}$$

Donde:

a: distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta, (mm).

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo y más allá de la zona indicada en anteriormente, deseche los resultados del ensayo.
- Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

o Ensaye con Carga P en el Punto Medio de la Luz de Ensaye

- Calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de la rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

Donde:

f_t : Tensión de rotura, (MPa).

P: Carga máxima aplicada, (N).

L: Luz de ensayo de la probeta, (mm).

b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm).

h: Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm).

- Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa. Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: 1 MPa = 10,1972 kgf/cm²

INFORME. En el informe incluya lo siguiente:

- o Antecedentes generales. El registro de los antecedentes generales de las probetas de acuerdo con lo que se indica en los Métodos H.1 o H.2, según corresponda.
- o Antecedentes de cada probeta.
 - Nombre del contrato y del contratista.
 - Fecha y edad de la probeta en el momento del ensayo.
 - Dimensión básica de la probeta, (mm).
 - Procedimiento de aplicación de la carga.
 - Luz de ensayo (mm).
 - Defectos exteriores de la probeta, indicando si fue refrentada o si se usaron láminas para ajuste de piezas de carga.
 - Tipo de curado.
 - Carga de rotura de la probeta, (N).
 - Resistencia a la tracción por flexión (calculada de acuerdo con el cálculo efectuado anteriormente).
 - (MPa).

- Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.)
- Cualquier otra información específica del ensaye, útil para su mejor interpretación.
- Referencia a este método.

H.10 TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS

NORMA: ASTM C 496

OBJETIVO. Efectuar el ensayo de tracción por hendimiento a la rotura de probetas cilíndricas de hormigón. El método se aplica a probetas preparadas según los Métodos H.1 o H.2, según corresponda.

EQUIPOS Y MATERIALES

- Prensa de ensaye. La prensa deberá cumplir con lo dispuesto en el Método H.6.
- Placa suplementaria. Si el diámetro o la mayor dimensión de las piezas de carga o de apoyo de la prensa de ensaye es inferior a la longitud del cilindro por ensayar, emplee una placa suplementaria de acero, de ancho igual o superior a 50mm, largo igual o superior a la longitud del cilindro y espesor igual o superior a 50mm. Rectifique las caras de modo de obtener una superficie plana con una tolerancia de $\pm 0,25\text{mm}$.
- Tablillas de apoyo. Serán de madera contrachapada de 4 ± 1 mm de espesor, de 15 ± 5 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente mayor que la de la probeta.
- Regla graduada. Estará graduada en milímetros (mm) y tendrá una longitud igual o mayor que 400 mm.
- Balanza. Tendrá una capacidad superior a 20kg y una precisión mínima de 1 g.

PROCEDIMIENTO

- a) Curado. Cure las probetas de acuerdo con los Métodos H.1 o H.2, según corresponda.
- b) Trazado. Trace con línea fina un diámetro en cada una de las bases del cilindro; ambos deberán estar dentro de un mismo plano. Una ambas rectas mediante el trazado de dos generatrices que definan claramente las líneas de contacto con las tablillas de apoyo. Se recomienda emplear dispositivo de trazado.
- c) Medición de las probetas
 - c.1. Determine y registre el diámetro de la probeta como el promedio aritmético de 3 diámetros medidos sobre las líneas de contacto en el centro y cerca de ambos extremos de la probeta, aproximando a 1mm.
 - c.2. Determine y registre la longitud de la probeta como el promedio aritmético de las longitudes medidas sobre las dos líneas de contacto, aproximando a 1 mm.
 - c.3. Determine y registre la masa de la probeta en condición húmeda, con una aproximación igual o inferior a 20g.
 - c.4. Calcule y registre la densidad aparente de la probeta, expresada en kg/m^3 , con una aproximación igual o inferior a 10 kg/m^3 .
- d) Ensaye
 - d.1. Limpie las superficies de las placas y de las líneas de contacto de la probeta.
 - d.2. Coloque una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la prensa.
 - d.3. Coloque la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinéela de modo que las líneas de trazado diametral queden verticales y centradas sobre la tablilla.
 - d.4. Coloque la segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta. Se recomienda emplear un dispositivo de alineación.
 - d.5. Antes de aplicar la carga verifique, que las líneas de trazado diametral se mantengan verticales y centradas respecto de las tablillas y piezas de apoyo y carga.
 - d.6. Realizada la verificación, aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques, a una velocidad entre $0,01$ y $0,02 \text{ N/mm}^2/\text{s}$ hasta la rotura.

d.7. Registre la carga máxima P expresada en N.

CÁLCULOS. Calcule la resistencia a la tracción por hendimiento como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_h = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d}$$

Donde:

f_h : Resistencia a tracción por hendimiento, (MPa).

P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensaye, (N).

l: Longitud de la probeta, (mm).

d: Diámetro de la probeta, (mm).

Si la prensa de ensaye entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente

equivalencia: 1 MPa = 10,1972 kgf/cm²

Expresar el resultado con una aproximación igual a 0,1 MPa.

INFORME. El informe debe incluir lo siguiente:

- o Nombre del contrato y del contratista.
- o El registro de antecedentes de las probetas, de acuerdo con los Métodos H.1 o H.2, según corresponda.
- o Fecha y edad de la probeta al momento del ensaye.
- o Dimensiones de la probeta.
- o Masa de la probeta, (kg).
- o Densidad aparente de la probeta, (kg/m³).
- o Defectos exteriores en la probeta.
- o Tipo de curado de la probeta.
- o Carga de rotura máxima registrada, (N).
- o Resistencia a la tracción por hendimiento, (MPa).
- o Cualquier información específica sobre el ensaye o la probeta, útil para su mejor interpretación.

H.11 FLUJO PLÁSTICO DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN

NORMA: ASTM C 512

OBJETIVO. Determinar del flujo plástico (creep) de cilindros moldeados de hormigón, que se someten a la acción de una carga longitudinal compresiva. El método se limita a hormigones con tamaño máximo de árido no mayor de 50 mm (2").

EQUIPOS Y MATERIALES

- o Moldes. Serán cilíndricos y cumpliendo los requerimientos de el Método H.2.
- o Dispositivo de carga. Capaz de aplicar y mantener la carga requerida sobre el espécimen sin importar cualquier cambio en las dimensiones del mismo. En su forma más simple, el dispositivo de carga consistirá en cabezales planos de apoyo sobre los extremos del espécimen, un elemento para mantener la carga, que puede ser: un resorte, una cápsula hidráulica o ambos y varillas con roscas, para tomar las reacciones del sistema cargado. Las superficies de carga se desviarán del plano no más de 0,025mm (0.001"). En un dispositivo de carga, se pueden apilar varios especímenes para ensayarlos simultáneamente.

Cuando se utiliza un elemento hidráulico para mantener la carga, se pueden atender simultáneamente varios dispositivos de carga, por medio de una unidad central hidráulica de regulación de presión, que la integran: un acumulador, un regulador, manómetros y una fuente de alta presión tal como un cilindro de nitrógeno o una bomba de alta presión.

Pueden utilizarse resortes como los del sistema amortiguador de ferrocarriles, para mantener la carga sobre dispositivos similares a los que se describieron antes. La compresión inicial se aplicará por medio de un gato portátil o una máquina de ensayo. Cuando se usen resortes, deberá cuidarse que se disponga de una cabeza apoyada sobre una rótula y que la placa de apoyo esté suficientemente bien agarrada para asegurar una carga uniformemente aplicada a los cilindros. Se dispondrá de medios adecuados para medir la carga con una aproximación del 2% de la carga total aplicada. Puede ser un manómetro con instalación fija o un gato hidráulico con celdas de carga que se colocan en el dispositivo, a medida que la carga se aplica o ajusta.

- o Dispositivos medidores de deformación. Los aparatos utilizados deberán tener dispositivos para medir la deformación longitudinal en el espécimen, con aproximación a las diezmillonésimas. El dispositivo puede estar integrado al aparato, puede ser instalado o ser portátil. Si se utilizan los portátiles, los puntos de contacto deberán marcarse sobre el espécimen en forma notoria. No se permitirá el uso de deformímetros que dependen de contacto por fricción. Si se utiliza un medidor integrado, deberá estar situado en forma que su movimiento de deformación ocurra a lo largo del eje longitudinal del cilindro.

Si se utilizan aparatos externos, las deformaciones serán medidas por lo menos sobre dos líneas medidoras espaciadas uniformemente alrededor de la periferia del espécimen. Los medidores pueden ser instrumentados para que la deformación media sobre todas las líneas del medidor puedan leerse directamente. La línea de medida efectiva será al menos tres veces el tamaño máximo del árido del hormigón.

Los aparatos de medir deformaciones, deberán ser capaces de medir por lo menos durante un año, sin cambios en la calibración.

EXTRACCIÓN Y PREPARACION DE LA MUESTRA

- a) Tamaño del espécimen. El diámetro de cada espécimen será de $150 \pm 1,6$ mm ($6 \pm 1/16$ ") y la longitud será de 292 mm ($11\frac{1}{2}$ "), por lo menos. Cuando los extremos del espécimen están en contacto con los platos de carga de acero, la longitud del espécimen será igual a la longitud del aparato medidor de deformaciones más el diámetro del espécimen. Si los extremos del espécimen están en contacto con otros especímenes de hormigón similares al que se está ensayando, la longitud del espécimen será, por lo menos, igual a la del medidor de longitudes del dispositivo de medición de deformaciones, más 38 mm ($1\frac{1}{2}$ "). Entre el espécimen de ensayo y el plato de carga de acero, en cada extremo de una pila, deberá instalarse un cilindro adicional no instrumentado cuyo diámetro sea igual al del cilindro que se ensaya, y cuya longitud sea al menos igual a la mitad de su diámetro.
- b) Fabricación de especímenes. El tamaño máximo del árido que se vaya a utilizar no deberá exceder de 50 mm (2"). Los cilindros fundidos verticalmente se fabricarán conforme a lo indicado en el Método H.2; los extremos de cada cilindro cumplirán los requisitos del Método H.3.

Los cilindros fundidos horizontalmente se consolidarán por métodos apropiados para la consistencia del hormigón. Deberá ponerse mucha atención para que la varilla o el vibrador no golpeen el medidor de deformación. Cuando se utilice vibración, el hormigón se colocará en una capa y el elemento vibrador no tendrá más de 32 mm ($1\frac{1}{4}$ ") de diámetro. Si la compactación se hace por apisonado, el hormigón se colocará en dos capas aproximadamente iguales y cada capa recibirá 25 golpes de varilla uniformemente distribuidos a cada lado del medidor de deformación.

Después de la consolidación, el hormigón será nivelado con un palustre o llana, manipulándolo lo menos posible para conformar el hormigón en la apertura. Una plantilla curvada con el radio del espécimen puede utilizarse como un emparejador para darle forma y acabado más precisos al hormigón en la abertura.

Las exigencias de aplanamiento de los extremos de los especímenes cilíndricos pueden lograrse por refrentado, recubrimiento, o al momento de fundir, fijando los extremos con platos de apoyo normales al eje del cilindro.

- c) Número de especímenes. Para cada condición de ensayo se harán no menos de seis (6) especímenes de una batchada de hormigón dada. Se ensayarán dos por resistencia a la compresión, dos se cargarán y se observarán para la deformación total, y dos permanecerán sin carga para usarlos como controles para indicar deformaciones debidas a causas distintas a las cargas. Cada uno de los especímenes para deformación y control estará sometido a los mismos tratamientos de almacenamiento y curado, que el espécimen cargado.
- d) Curado normal. Antes de desmoldarlos, los especímenes serán almacenados a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 3^{\circ}\text{F}$) y cubiertos para evitar la evaporación. Los especímenes se extraerán de los moldes no antes de 20 horas ni después de 48 horas de su fabricación, y se almacenarán bajo condiciones húmedas a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 3^{\circ}\text{F}$) hasta los 7 días. La condición húmeda, es cuando se mantiene agua libre sobre toda la superficie de los especímenes, permanentemente. No se someterán a chorros de agua corriente, ni serán almacenados dentro de depósitos llenos de agua. Después de terminado el curado húmedo, los especímenes se almacenarán a temperatura de $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 2^{\circ}\text{F}$) y con una humedad relativa del $50 \pm 4\%$, hasta la terminación del ensayo.
- e) Curado básico para flujo plástico. Si se desea evitar la pérdida o ganancia de agua durante el almacenamiento y el período de ensayo, los especímenes en el momento de su fabricación o desmolde, serán encerrados y sellados dentro de cubiertas impermeables para evitar pérdidas de humedad por evaporación y permanecerán sellados durante el período de almacenamiento y curado.

- f) Otras condiciones de curado. Otras condiciones sobre ambientes de curado y edad para el ensayo pueden ser utilizadas, sustituyendo las fijadas, cuando se requiera esta información para aplicaciones específicas. En este caso, se incluirán en el reporte del ensayo dichas condiciones, cuidadosamente detalladas.

PROCEDIMIENTO

- a) Edad para el ensayo. Cuando el propósito del ensayo, es comparar el potencial de flujo plástico de diferentes hormigones, inicialmente se cargan los especímenes a una edad de 28 días. Cuando se quiere conocer el comportamiento completo del flujo plástico de un hormigón dado, se deberán preparar especímenes para carga inicial a los 2, 7, 28 y 90 días, y un año. Si se necesita la información para otras edades de carga, señálense esas edades en el informe.
- b) Detalles de carga. Inmediatamente antes de cargar los especímenes de flujo plástico, determínese la resistencia a la compresión de los cilindros de resistencia. En el momento que los especímenes de flujo no sellados son colocados en el dispositivo de carga, cúbranse los extremos de los cilindros de control para evitar la pérdida de humedad.

Cárguese el espécimen con una intensidad de carga no mayor que el 40% de la resistencia a la compresión a la edad de carga.

Tómense lecturas de deformación en forma inmediata, antes y después de la carga, 2 y 6 horas más tarde, después diariamente, durante 1 semana, semanalmente durante 1 mes y mensualmente durante 1 año. Antes de tomar cada lectura de deformación, mídase la carga. Si la carga varía más del 2% del valor correcto, deberá ajustarse. Tómense lecturas de deformación sobre los especímenes de control para el mismo calendario de los especímenes cargados.

CALCULO. Calcúlese la deformación total inducida por la carga unitaria, en cualquier momento, como la diferencia entre el valor de deformación promedio del espécimen cargado y el espécimen de control, dividido por el esfuerzo promedio. Para determinar la deformación por flujo plástico, por kPa (lb/pulg²) para cualquier edad, réstese de la deformación inducida por la carga unitaria para esa edad, por kPa (lb/pulg²), la deformación por kilo Pascal (lb/pulg²) inmediatamente después de cargado.

Si se desea, puede, graficarse la deformación total por kPa (lb/pulg²) sobre un sistema de coordenadas semilogarítmico, en el cual el eje logarítmico representa el tiempo, para determinar las constantes 1/E y F(k), para la siguiente ecuación:

$$\epsilon = (1/E + F(k)\ln(t+1))$$

Donde:

e = Deformación total por kPa (lb/pulg²)

E = Módulo elástico instantáneo kPa (lb/pulg²)

F(k)= Tasa de flujo plástico, calculada como la pendiente de la recta que representa la curvade flujo plástico en un gráfico semilogarítmico.

t = Tiempo después de la carga, días

El valor 1/E es la deformación inicial elástica por kPa (lb/pulg²) y se determina de las lecturas de deformaciones, tomadas inmediatamente antes y después de la carga del espécimen. Si la carga no se desarrolló rápidamente, puede ocurrir algo de flujo antes de que la deformación después de la carga haya sido observada, en cuyo caso, la extrapolación al tiempo cero puede hacerse por el método de los mínimos cuadrados, para determinar este valor.

INFORME. El informe deberá incluir lo siguiente:

- o Contenido de cemento, relación agua cemento, tamaño máximo del árido, asentamiento.
- o Posición del cilindro cuando fue fundido.
- o Tipo y origen del cemento, mezcla de áridos y agua de mezclado.
- o Condiciones de almacenamiento antes y después de la carga.
- o Edad y duración de la carga.
- o Resistencia a la compresión a la edad de carga.
- o Tipo de aparato para medir esfuerzos.
- o Magnitud de cualquier precarga.
- o Intensidad de la carga aplicada.
- o Esfuerzo elástico inicial.

- o Esfuerzo de flujo plástico en kPa (lb/pulg²) a las edades indicadas y a un año.
- o Tasa de flujo plástico, F (k), si se determina.

H.12 TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS

NORMA: ASTM C 42 / AASHTO T 24

OBJETO. Se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de (a) núcleos extraídos de estructuras de hormigón para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción indirecta, y (b) vigas aserradas de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la flexión.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Sacanúcleos. Para obtener probetas cilíndricas. Si las probetas deben ser extraídas por taladrado perpendicular a una superficie horizontal, resulta satisfactorio un taladro de percusión; pero si las probetas deben ser taladradas en otra dirección o si su diámetro se debe determinar con exactitud para un cálculo más preciso de la resistencia a la compresión, se emplearán brocas de diamante.
- o Sierra. Para obtener probetas en forma de viga del tamaño adecuado para efectuar ensayos de resistencia a la flexión. La sierra deberá tener un borde cortante de diamante o carburo de silicio y deberá poder cortar las probetas con las dimensiones prescritas, sin calor excesivo o impacto.

CONDICIONES GENERALES

- o Generalidades. Las muestras de hormigón endurecido para uso en la preparación de probetas para ensayos de resistencia, no se deberán tomar hasta que el hormigón haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción de la muestra sin perturbar la adhesión entre el mortero y el árido grueso. En general, el hormigón deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de las probetas. Cuando se preparen probetas para ensayos de resistencia de muestras de hormigón endurecido, se deberán descartar aquellas que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción.

Las probetas que contengan acero de refuerzo no se deberán usar para determinar la resistencia a la tracción indirecta. En caso de ensayos para determinar la resistencia a la flexión, no se usarán probetas que tengan refuerzo en la porción sometida a tensión.

Los núcleos que contengan refuerzo y estén destinados a la determinación de la resistencia a la compresión, pueden dar resultados mayores o menores que los núcleos sin acero embebido y, en lo posible, se deben evitar o recortar para eliminar el refuerzo, proporcionando simultáneamente una relación L/D de 1.0 o mayor.

- o Extracción de núcleos. Siempre que sea posible, los núcleos se extraerán perpendicularmente a una superficie horizontal, de manera que su eje sea perpendicular a la capa de hormigón tal como se colocó originalmente y cuidando de no hacerlo en vecindades de juntas o bordes obvios del elemento construido. Las probetas tomadas en dirección perpendicular a una superficie vertical o a una superficie irregular, se deberán extraer lo más cerca que sea posible del centro de la pieza y nunca cerca de juntas o bordes de ella.
- o Remoción de losas. Se deberá remover una losa de tamaño suficiente para asegurar las probetas de ensayo deseadas, excluyendo todo hormigón agrietado, astillado, mal cortado o con cualquier otra irregularidad.

NÚCLEOS

- o Probetas para determinación de longitud- Deberán tener un diámetro de cuando menos cien (100) milímetros. La medida de la longitud de los núcleos se hará conforme se describe en el Método H.5.
- o Resistencia a compresión

Probetas de Ensayo. Los diámetros de los núcleos para la determinación de la resistencia a compresión deberán ser, como mínimo, iguales a tres (3) veces el tamaño máximo nominal del árido grueso del hormigón. Su longitud, luego del refrentado, deberá ser lo más aproximada posible al doble del diámetro. No se deberán ensayar núcleos cuya altura sea inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de su diámetro antes del refrentado o menor de su diámetro después dicha operación.

Preparación de las bases. Las bases de los núcleos que van a ser ensayados a la compresión, deberán ser sensiblemente lisas, perpendiculares a su eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del núcleo. De ser necesario, las bases se deberán aserrar o maquinar hasta cumplir los siguientes requisitos:

- o Las salientes, si las hay, no se deberán extender más allá de 0.2 pulgadas (5mm) de la superficie de la base.

- o Las superficies de las bases no se podrán apartar de la perpendicularidad al eje longitudinal en más de 5°.
- o El diámetro de las bases no deberá diferir en más de 0.1 pulgadas (2,5mm) del diámetro medio del núcleo.

Acondicionamiento en humedad. Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a 23+1,7°C (73.4+3.0°F) por un período no inferior a 40 horas, antes someterlas al ensayo de resistencia a la compresión. Durante el lapso transcurrido entre el retiro de las probetas del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, los núcleos se podrán ensayar en una condición de humedad diferente a la alcanzada por la inmersión durante un mínimo de 40 horas. Los factores de corrección por la relación longitud/diámetro que se muestran en el numeral 5.7, son aplicables tanto al hormigón seco, como al sometido a inmersión en agua. Instrucciones para la consideración del ensayo en condiciones diferentes a las alcanzadas por inmersión por 40 horas o más, se pueden hallar en el capítulo 17 del documento ACI-301 y en el capítulo 4 del ACI-318.

Refrentado. Las bases de los núcleos se deberán refrentar antes del ensayo de acuerdo con el procedimiento prescrito en la sección pertinente de la norma del Método H.3. Las superficies refrentadas deberán cumplir los requisitos de uniformidad exigidos en la misma norma.

Medida. Antes del ensayo, se deberá medir la longitud del núcleo refrentado con aproximación a la décima de pulgada (2.5mm), longitud que se empleará para el cálculo de la relación longitud/diámetro. El diámetro se determinará promediando dos (2) medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, aproximadamente en la mitad de la probeta. Siempre que sea posible, la medida del diámetro se realizará con aproximación a la centésima de pulgada (0.25mm), pero como mínimo a la décima de pulgada (2.5mm).

La mayoría de los núcleos no tienen la lisura suficiente para justificar medidas del diámetro con aproximación mayor a la décima de pulgada (2,5mm).

Ensayo. El ensayo a compresión de los núcleos se efectuará tal como se describe en el Método H0307, "Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón".

CALCULO. El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio determinado según se indicó en 11. Si la relación longitud/diámetro es apreciablemente inferior a dos (2), la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica a continuación:

Relación L/D	Factor de corrección de resistencia
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Estos factores de corrección se aplicarán a hormigón liviano (1.600 a 1.920 kg/m³) y a hormigón normal, y son aplicables tanto a hormigón seco como húmedo en el momento del ensayo.

Los valores que no estén indicados en la tabla, se obtendrán por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales a la compresión entre 13,8 a 41,4 MPa (2000 y 6000 libras por pulgada cuadrada). (Los factores de corrección dependen de diferentes condiciones, tales como la resistencia y el módulo elástico. Los valores que se dan en la tabla son promedio).

INFORME. Los resultados se informarán como lo exige el Método H.6, adicionando los siguientes datos: Longitud de la probeta antes y después del refrentado.

Resistencia a la compresión aproximada a 68,9 kPa (10 libras/pulgada cuadrada) cuando el diámetro se haya medido con aproximación a 0,25mm (centésima de pulgada), y a 344,5 kPa cuando el diámetro se haya medido con aproximación a 2,5mm (la décima de pulgada), luego de la corrección longitud/diámetro, si ella se requiere.

Dirección de aplicación de la carga en la probeta con respecto al plano horizontal del hormigón.

Condición de humedad en el momento del ensayo y tamaño máximo nominal del árido del hormigón.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

- o Probetas para ensayo. Estarán de acuerdo con los requisitos sobre dimensiones, indicados en el punto 8. Las bases no se deberán refrentar.

- Condiciones de humedad Antes de ensayarlos, los núcleos deberán ser acondicionados como se describe en el punto de acondicionamiento de humedad.
- Superficies de soporte. La línea de contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo deberá ser recta y libre de salientes o depresiones mayores de 0.01 pulgadas (0,25mm). En caso contrario, la probeta deberá ser rectificada o refrentada de manera de producir líneas de apoyo que cumplan estos requisitos. No se usarán probetas con salientes o depresiones superiores a 0.1 pulgadas (2,5mm). Cuando se emplee refrentado, la capa deberá ser tan delgada como sea posible y deberá estar formada de pasta de yeso de alta resistencia.
- Ensayo Las probetas se ensayarán de acuerdo con lo indicado en el Método H.6.
- Cálculos e informe. El cálculo de la resistencia y el informe se harán conforme lo indica el Método H.6. Cuando se haya requerido rectificación o refrentado de las probetas, el diámetro se deberá medir entre las superficies terminadas. Se deberá indicar que la probeta es un núcleo y su condición de humedad en el momento del ensayo.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

- Probetas para ensayo. Una viga para el ensayo de resistencia a la flexión deberá tener, en general, una sección de 150mm X 150mm (6X6 pulgadas). El espécimen deberá tener, cuando menos, 533mm (21 pulgadas) de longitud, pero cuando se vayan a realizar dos ensayos de resistencia a la flexión sobre un espécimen, éste deberá tener no menos de 838mm (33 pulgadas) de longitud. La operación de aserrado se deberá efectuar de manera que el hormigón no se vea debilitado por golpes o por calor. Las superficies aserradas deberán ser lisas, planas, paralelas y libres de huellas, salientes y ranuras. Se deberá tener cuidado durante el manejo de las vigas aserradas, con el fin de evitar astillamientos o agrietamientos.
- Acondicionamiento en humedad. Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a 23+1.7°C (73.4+3.0°F) por un período no inferior a 40 horas antes de efectuar el ensayo a flexión. El ensayo se deberá efectuar con la mayor prontitud luego de sacar las probetas del agua. Durante el lapso transcurrido entre la remoción del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.
- Ensayo. Las probetas se ensayarán de acuerdo con las disposiciones del Método H.9. Las resistencias a compresión de porciones de vigas rotas a la flexión, se pueden determinar ensayando dichas porciones como cubos modificados, de acuerdo con el Método H.10. El aserrado puede producir reducciones sustanciales de la resistencia a la flexión; por lo tanto, las vigas se deberán ensayar con una superficie moldeada en tensión siempre que sea posible. Deberá indicarse la ubicación de la cara de tensión respecto a la posición del hormigón como fue colocado, así como la posición de las superficies aserradas.

INFORME. Los resultados se deberán informar de acuerdo con lo que resulte aplicable del Método H.9 y los requerimientos de este método, incluyendo la condición de humedad de las vigas en el momento de ensayo.

H.13 MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN

NORMA: ASTM C 174 / AASHTO T 148

OBJETIVO. Determinar la longitud de un núcleo extraído de una estructura de hormigón, en particular de un pavimento rígido.

EQUIPOS Y MATERIALES

- El aparato será un calibrador que servirá para medir la longitud de los elementos axiales del núcleo. Los detalles de su diseño mecánico no se encuentran prescritos, pero deberá cumplir los requerimientos indicados en los puntos 3° a 7°.
- El aparato deberá tener un diseño tal, que el núcleo pueda ser sostenido con su eje axial en posición vertical por tres (3) soportes simétricamente colocados descansando contra el extremo inferior.
- El calibrador deberá permitir el acomodo de núcleos de diferente longitud, en un rango de 100 a 250 milímetros, cuando menos.
- El calibrador deberá estar diseñado de manera que sea posible hacer una medida de longitud en el centro del extremo superior de la probeta y en ocho (8) puntos adicionales espaciados a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia de un círculo cuyo centro coincida con el del área de la base de la probeta y cuyo radio no sea menor de un medio (1/2) ni mayor de tres cuartos (3/4) del radio de la probeta.
- La vara de medida u otro dispositivo que haga contacto con la superficie de la base del núcleo deberá doblarse con un radio de 3,2mm (1/8pg). La escala en la cual se medirán las longitudes deberá marcarse con graduaciones claras, definidas y espaciadas a intervalos exactos.
- El aparato deberá ser estable y suficientemente rígido para mantener su forma y alineamiento sin distorsión o deflexión mayor a 0,25mm durante las operaciones normales de medida.

- o Los núcleos usados como probetas para la medida de la longitud, deberán ser representativos del hormigón en la estructura de la cual se han extraído. El núcleo deberá ser taladrado con el eje en posición normal a la superficie de la estructura, y las bases deberán encontrarse libres de condiciones que no sean características de las superficies de la estructura. No se deberán emplear núcleos que presenten defectos importantes o que se hayan dañado considerablemente durante el barrenado.

PROCEDIMIENTO

- a) Antes de medir la longitud del núcleo, se deberá calibrar el aparato, de manera que se conozcan los errores debidos a sus imperfecciones mecánicas. Cuando los errores excedan de 0,25mm, se deberán aplicar correcciones adecuadas a las medidas de longitud.
- b) La probeta se colocará en el aparato de medida con el extremo liso del núcleo, es decir, el extremo que representa la superficie superior de una losa de pavimento o la superficie conformada en el caso de otras estructuras, colocado hacia abajo para que quede apoyado contra los tres soportes de acero endurecido. La probeta deberá quedar colocada sobre los soportes de manera que la posición central de medida del aparato quede directamente sobre el punto medio de la base superior de la probeta.
- c) Se deberán efectuar nueve (9) medidas de longitud en cada probeta, una en la posición central y una en cada una de las ocho (8) posiciones adicionales espaciadas a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia del círculo de medida descrito en 5. Cada una de estas nueve (9) medidas deberá leerse directamente con aproximación de 2,5mm (0.1pg) y 1,27mm (0.05pg).

INFORME. Las medidas individuales se deben registrar al 1,27mm (0.05pg) más cercano y el promedio de las nueve (9) medidas, aproximado a los 2,5mm (0.1pg) más cercanos, se informará como longitud del núcleo de hormigón.

CAPÍTULO 27 — PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

VIGUETAS

27.1 PROPIEDADES

Físicas

- **Área de sección transversal:** 69 cm² (constante).
- **Área de sección de armadura:** Varía según la serie de las viguetas.

Mecánicas

- **Hormigón :** Resistencia característica
 - 350 Kg / cm² (tipos 1,2,3)
 - 370 Kg/cm² (Tipos 4,5,6)
 - 400 Kg /cm² (tipos 7,8)
- **Tensión de rotura del acero:** 18000 Kg / cm² , la norma Boliviana admite como máximo de tensado hasta 7 trenzas para la fabricación de viguetas pretensadas.
- **Módulo de elasticidad del acero:** 191GPa
- **Carga a rotura:** 19000Kg/cm²
- **Área de sección de armadura :** varia según la serie de las viguetas.

LOSETAS

27.2 PROPIEDADES

Sensoriales

- **Forma:** Por ser los elementos de un mismo tamaño inducen un sentido de orden en la vía. Son de formas agradables a la vista.
- **Color:** Plomos, otros colores mediante aplicación de aditivos. Debe poseer una distribución pareja de áridos en toda su superficie.
- **Textura:** Acabado Liso, sin fisuras, ni descascaramiento, saltaduras o cualquier otra irregularidad que pueda interferir con su correcta colocación. Sus aristas deben ser lisas y regulares en toda su longitud.
- **Brillo:** Opaco.
- **Sonido:** Debido a que las losetas forman un pavimento articulado el sonido se propaga fácilmente a través de ellas sin causar molestias. Al ser golpeada con un martillo deben emitir un sonido agudo.

Físicas

- **Peso unitario:** No debe ser inferior a 2200 Kg./m³.
- **Conductividad Térmica:** No transmiten el calor.

Mecánicas

- **Resistencia a la compresión:** Se definen dos niveles de resistencias características a la compresión: 350 y 450 kgf/cm². La selección de resistencia se hará conforme al diseño del pavimento.
- **Tracción:** Es resistente a la tracción.
- **Resistencia a la flexión:** Mínimo individual: 260 Kg. , promedio:300 Kg.
- **Dureza:** 280 Kg./cm³ .
- **Tenacidad Y Fragilidad:** Es Duro.
- **Elasticidad y Plasticidad:** Pueden ser elásticos o plásticos.
- **Resistencia al desgaste:** Mínimo individual: 0,48 g/cm², promedio: 0,38 g/cm².
- **Resistencia al desgaste:** Se acepta un desgaste de 15 cm3 / 50 cm2, correspondiente a una pérdida de espesor inferior a 3 mm.

Ecológicas

- **Toxicidad:** No es nocivo para el medio ambiente.
- **Reciclabilidad:** No es reciclable.
- **Biodegradabilidad:** No se degrada rápidamente, su vida útil es casi ilimitada, puede durar unos 40 años.

HORMIGÓN SECO**27.3 PROPIEDADES**

- **Composición.** Árido calizo hasta 10 mm.
- **Agua de amasado (l).** $8 \pm 1\%$
- **Densidad aparente en fresco.** $2,0 \pm 0,1$ Kg/l
- **Temperatura de aplicación.** 5° C - 35° C
- **Consistencia.** 6 - 9 mm
- **Resistencia a compresión. (a 28 días)** HA-25 > 25 N/mm2

CAPÍTULO 28 — LADRILLO

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

L.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	NB 1211001
L.2 ABSORCIÓN DE AGUA.....	NB 1211001
L.3 DIMENSIONES.....	NB 1211001 - NB 1211003
L.4 HELACIDAD.....	NB 1211001

28.1 PROPIEDADES

Sensoriales

- **Color:** Generalmente anaranjado y de color variante en la cara superior por el esmalte.
- **Brillo:** Depende del esmalte en la cara superior y opaca en la inferior.
- **Forma:** Ortoédrica alargada.

Físicas

- **Densidad:** 1.5 – 2 g/2.
- **Conductividad térmica:** 0.47-1.05 (λ).
- **Coefficiente de dilatación lineal:** $3 \cdot 10^{-6} (^{\circ}\text{C}^{-1})$.
- **Tensión superficial:** 250 kg/cm2.

Mecánicas

- **Tracción:** 14 Kg/ cm2.
- **Corte:** 0.5 Mpa.
- **Flexión:** 260 kg/cm2.
- **Torsión:** 58(Kg*M).
- **Dureza:** > 4 en la escala de Mohs.
- **Tenacidad y fragilidad:** ($Pf= 0,1- 10^{-8}$).
- **Elasticidad y plasticidad:** 45 (MPa).

Ecológicas

- **Toxicidad:** Existe un gran nivel de toxicidad en las cerámicas esmaltadas por presentar en su composición: plomo, zinc y boro.
- **Biodegradabilidad:** Al no ser un material con compuestos orgánicos no presenta biodegradabilidad pero el tiempo de destrucción del material se podría estimar según a las condiciones que este expuesto el material.

Tecnológicas

- **Fusibilidad:** A altas temperaturas mayores a 1150°C.

28.2 ENSAYO

L.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NORMA: NB 1211001

OBJETIVO. Determinar la resistencia a la compresión que puede presentar un ladrillo.

EQUIPO. Puede usarse cualquier máquina de compresión provista de plato con rotula de segmento esferico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos, sean iguales o mayores que las de las muestras de ensayo.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO. Las muestras de ensayo serán ejemplares enteros para ladrillos perforados, huecos y macizos. El numero de ladrillos a ensayar esta determinado en la NB 1211001.

Los ladrillos serán previamente secados en horno a temperatura de 110 °C - 115°C, hasta el peso constante.

Todas las muestras se ensayaran colocando el ladrillo de plano, es decir aplicando la carga en la dirección normal a la cara mayor o cara de carga.

Las caras mayores de las muestras deben ser refrentadas con caaing de azufre como se describe a continuación:

La superficie del vaciado debe ser plana, con una tolerancia de 0.1mm en 400mm de superficie rígida; debe estar apoyada, de tal manera que no se flexione considerablemente durante la operación de refrentado. Formar un molde de tamaño adecuado con una plancha y cuatro barras de acero, formando los bordes de un molde, aplicar una capa de aceite sobre toda la superficie del molde. Se clienta la mezcla de azufre en un recipiente controlado termostáticamente, a una temperatura suficiente para mantener la fluidez durante un periodo de tiempo razonable después del contacto con la superficie que se esta recubriendo. Se debe evitar el sobrecalentamiento y se debe resolver el liquido del recipiente antes de su uso se llena el molde a una profundidad de 6mm con material de azufre derretido.

Rapidamente se coloca sobre el líquido la superficie de la unidad que se va a refrentar y se sostiene el ladrillo de manera que su eje vertical este en ángulo recto sobre la superficie del refrentado.

Antes del refrentado se debe humedecer la superficie de la probeta. El espesor de los refrentados debe ser aproximadamente el mismo. No se debe efectuar el ensayo antes de 2 horas de concluido el refrentado. Como alternativa se puede utilizar refrentado a base de mortero de cemento.

Se sugiere una mezcla de azufre con alguno de los materiales:

- o 30% en peso de arena silícea
- o 15% en peso de puzolana.
- o 10% en peso de arcilla.

La mezcla de azufre y material inerte se puede reutilizar hasta 5 veces.

PROCEDIMIENTO. Las muestras se ensayaran de manera que la carga se aplique normalmente a las caras mayores. Hasta la mitad de la carga máxima supuesta se aplicara esta a cualquier velocidad, la carga restante se aplicara en forma progresiva y sin golpes, en un tiempo no inferior a 1 minuto ni superior a 2 minutos.

CÁLCULO. La resistencia a la compresión se calcula con la siguiente fórmula.

$$R_c = P/A$$

Donde:

R_c = resistencia a la compresión en MPa

P = carga de rotura en N

A = promedio de las areas brutas superior e inferior de la muestra en mm².

EXPRESIÓN DE RESULTADOS. Se toma como resultado del ensayo la media aritmetica de la resistencia a la compresión de las piezas ensayadas

L.2 ABSORCIÓN DE AGUA

NORMA: NB 1211001

OBJETIVO. Determinar la capacidad de absorción del agua que puede presentar tn ladrillo.

EQUIPO.

- o Balanza que permita lecturas por lo menos del 0.5% del peso de la muestra.
- o Horno con libre circulación de aire que permita mantener una temperatura comprendida entre 110 °C - 115°C.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO. Se desecan las muestras según NB 1211001 en un horno a temperatura entre 110 °C - 115°C, se registra dicho peso.

PROCEDIMIENTO. Una vez determinado el peso seco se procede a enfriar las probetas colocándolas separadamente, sin agruparlas, en una camara ventilada durante 4 horas haciendo pasar sobre ellas, una corriente de aire producido por un ventilador eléctrico, durante 2 horas para llevarlos a temperatura ambiente. Se sumergen luego, completamente en agua destilada a una temperatura de 15 a 30°C durante 24 horas

A las 24 horas de comenzar la inmersión, se retira el agua cada probeta se seca con un paño húmedo y se pesa, la última pesada es el peso después de la absorción.

CÁLCULO. El contenido de agua absorbido, se calcula con la siguiente fórmula.

$$h = \frac{P_1 - P}{P} \cdot 100$$

Donde:

h= contenido de agua absorbido, en %

p= peso de la muestra desecada, en g.

P1= peso de la muestra saturada luego de sumergida en agua, en g.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS. Se toma como resultado del ensayo la media aritmética de los resultados obtenidos.

L.3 DIMENSIONES

NORMA: NB 1211001 - NB 1211003

OBJETIVO. Determinar las dimensiones de los ladrillos.

EQUIPO. Para la medicion se emplea una regla de acero inoxidable de 30 cm. De longitud graduada al milimetro o de calibre de mordazas paralelas provisto de una escala graduada entre 1 x 30 cm. Y divisiones correspondientes a 1 mm.

PROCEDIMIENTO.

- a) El fabricante indica las dimensiones nominales en cm. Se admiten tolerancias tanto en el valor nominal como en la dispersión.
- b) Se toman 6 ladrillos enteros y se miden las diferentes aristas (soga, tizón, grueso) con una regla graduada y con precisión de 1 mm:

EXPRESIÓN DE RESULTADOS. Con los valores obtenidos, se calcula, para cada dimensión, el promedio general correspondiente al grupo de los ladrillos de la muestra.

L.4 HELACIDAD

NORMA: NB 1211001

OBJETIVO. Determinar la resistencia a la compresión que puede presentar un ladrillo.

EQUIPO

- o Cámara frigorífica capas de mantener la temperatura de $-15^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- o Durante el tiempo de duración del ensayo.
- o Tanque de deshielo con las medidas necesarias para permitir la inmersión completa de las probetas.

TOMA DE MUESTRAS

- a) Tomar seis (6) ladrillos de partidas de diez mil (10000) piezas.
- b) Cortar por lamitad cada ladrillo. Denominando A y B a la zona de las mitades correspondientes a un mismo ladrillo.
- c) Los seis (6) medios ladrillos A seran sometidos a ensayos de Helacidad.
- d) Los otros seis (6) medios ladrillos B se reservaran para el ensayo comparativo de resistencia a la compresión.

PROCEDIMIENTO

- a) Se introducen los seis (6) medios ladrillos A en el tanque de deshielo durante cuarenta y ocho(48)h a una temperatura de $15^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de forma que la inmersión completa de las probetas se produzcan gradualmente en un tiempo mínimo de tres horas. Transcurridas las 48 horas se sacan del agua, se dejan escurrir durante un (1) min. Y se introducen en la cámara frigorífica de forma tal que no exista contacto entre ellos ni con las paredes de la cámara.
- b) Se mantienen en la camara frigorifica durante (18) h.
- c) Seguidamente se introducen en el tanque de deshielo durante seis (6) h.
- d) Este ciclo de hielo – deshielo se repite (25) veces.

EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS. Completando los veinticinco (25) ciclos de hielo y deshielo, se procede a la inspección ocular de las piezas, comprobando que durante el ensayo no se han producido exfoliaciones, fisuras o cráteres.

En caso de duda o de no observación de estos defectos, se procedera a realizar el ensayo comparativo de resistencia a la compresión.

En caso de aparecer exfoliaciones, cráteres, fisuras, antes de completar los veinticinco (25) ciclos, interrumpir el ensayo y calificar el ladrillo como heladizo.

Obtenidos los resultados del ensayo de resistencia a la compresión se calificara el ladrillo según los siguientes valores del coeficiente K:

$K \geq 0.8$	no heladizo
$0.7 \leq K < 0.8$	parcialmente heladizo
$K < 0.7$	heladizo

$$\text{Siendo } K = \frac{R_A}{R_B}$$

Donde

RA = Valor medio de la resistencia de las probetas de la serie A, en MPa

RB = Valor medio de la resistencia de las probetas de la serie B, en MPa

CAPÍTULO 29 — ACERO

29.1 PROPIEDADES

Físico-químicas

- **Densidad:** 7850 kg/m³.
- **Conductividad eléctrica:** Posee una alta conductividad eléctrica. Aunque depende de su composición es aproximadamente de $3 \cdot 10^6 \text{ S m}^{-1}$.
- **Conductividad térmica:** El acero laminado dejar pasar a través de él una cantidad de calor. El coeficiente de conductividad térmica k nos da la cantidad de calor que pasaría a través de un determinado metal en función de su espesor y sección.
- **Temperatura:** Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $\delta L = \alpha \delta t^\circ L$, siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente $1,2 \cdot 10^{-5}$ (es decir $\alpha = 0,000012$).

Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta. El acero se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, formando un material compuesto que se denomina **hormigón armado**. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.

- **Punto de fusión:** el acero depende del tipo de aleación. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1510 °C, sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1375 °C (2500 °F). Por otra parte el acero rápido funde a 1650 °C.
- **Punto de ebullición:** es de alrededor de 3000 °C (5400°F).
- **Transparencia:** Es completamente opaco.
- **Corrosión:** Es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos. Si bien existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada como los aceros de construcción «corten» aptos para intemperie (en ciertos ambientes) o los aceros inoxidables^{2,17} gm.

Mecánicas

- **Dureza:** La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles.

Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.

- **Elasticidad:** las deformaciones desaparecen cuando se anula el esfuerzo que las provoca.
- **Plasticidad:** Permite que el material tenga deformación permanente sin llegar a la rotura.
- **Tenacidad:** Energía requerida para producir la rotura.
- **Resiliencia:** Energía absorbida por el material en un régimen elástico.
- **Fragilidad:** Opuesta a la ductilidad, el material se rompe con deformación nula o despreciable.

Tecnológicas

- **Ductilidad :** Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.

- **Maleabilidad** : Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lamina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño.

Ecológicas

- **Reciclabilidad**: Todos los metales, y el acero entre ellos, tienen una propiedad que desde el punto de vista medioambiental es muy buena pueden ser reciclados una vez que su uso inicial ha llegado a su término.

De esta manera todas las máquinas, estructuras, barcos, automóviles, trenes, etc., se desguazan al final de su vida útil y se separan los diferentes materiales que los componen, originando unos desechos seleccionados que se conocen con el nombre de chatarra.

Esta chatarra se prensa y se hacen grandes compactos en las zonas de desguace que se envían nuevamente a las acerías, donde se consiguen de nuevo nuevos productos siderúrgicos, tanto aceros como fundiciones. Se estima que la chatarra reciclada cubre el 40% de las necesidades mundiales de acero.

29.2 ENSAYO

AC.1 TRACCIÓN

NORMA: ASTM E 8-81

ACEROS ORDINARIOS

OBJETIVO. Medir la tenacidad y plasticidad del material.

PROCEDIMIENTO. Consiste en el estiramiento de una probeta normalizado mediante carga axial y conjuntamente se va dibujando una gráfica llamada diagrama de tensiones. Se destacan en el ensayo para barra lisa y acero ordinario tres etapas definidas:

- Límite de proporcionalidad (comportamiento elástico).
- Límite de fluencia (cadencia).
- Límite de tenacidad (estricción y rotura).

CÁLCULO

La plasticidad del material se manifiesta en el alargamiento relativo (d) y en la estricción del área (e).

Alargamiento de rotura $dr = \frac{L1 - L0}{L0} \times 100$

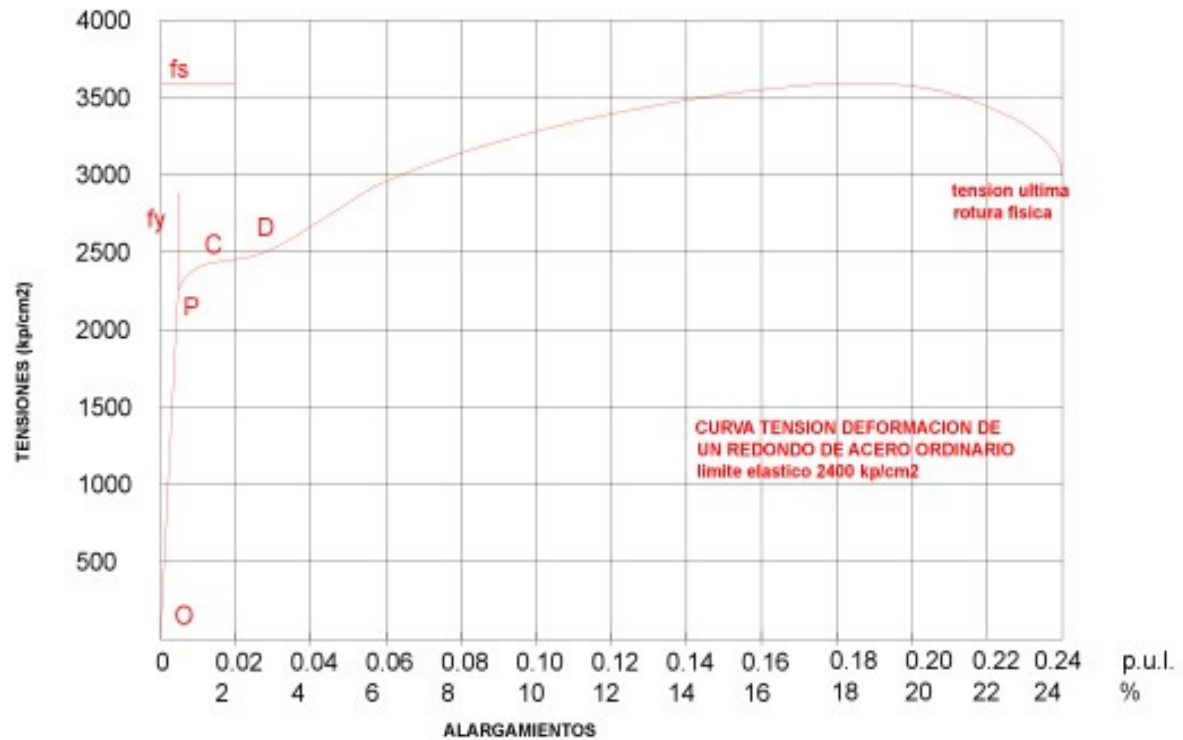
Estricción de rotura $er = \frac{F0 - F1}{F0} \times 100$

L0 y F0 = dimensiones iniciales.

L1 y F1 = dimensiones después de la rotura.

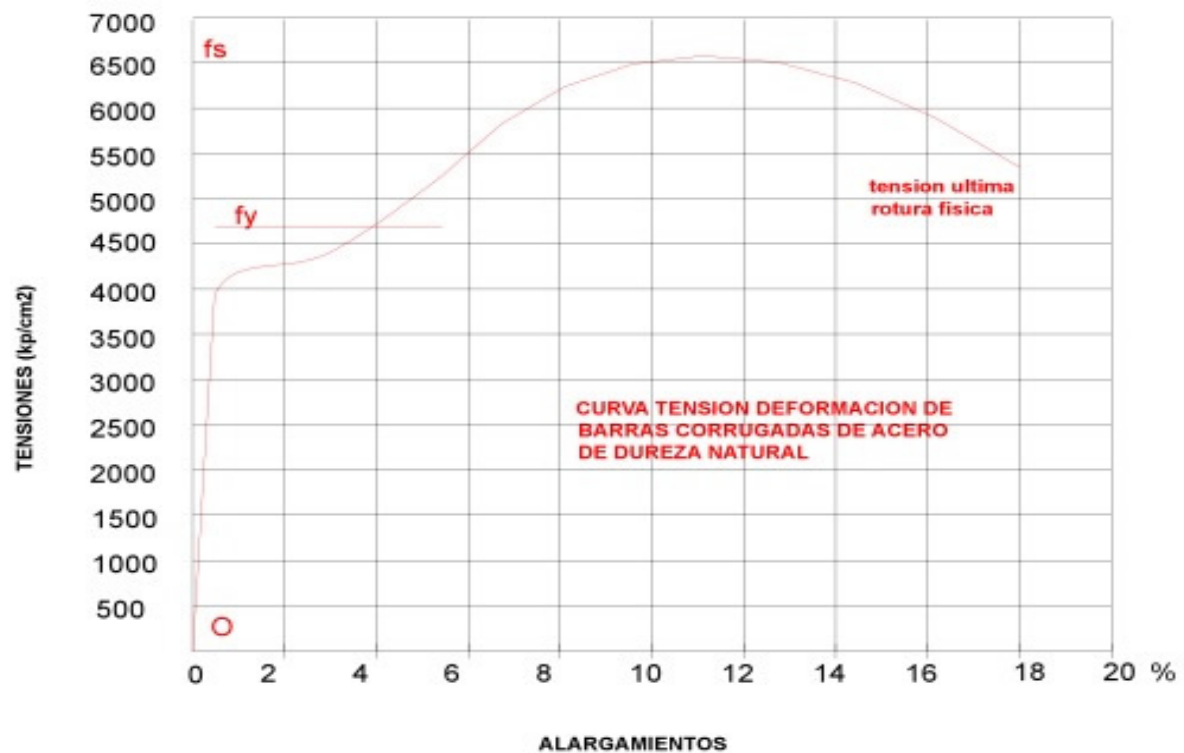
La relación $f = P / F0$ nos indica los valores tensionales en los puntos relevantes del diagrama.

La capacidad del material de oponerse a su deformación por acciones externas se denomina módulo de elasticidad y se representa por la letra E. Su valor es el del ángulo (a) que forma la gráfica en su período elástico con el eje de los alargamientos y se expresa en Kg. /cm². Cada material tiene un valor determinado de E que lo caracteriza.



ACEROS DE ALTA RESISTENCIA. Consiste en procedimientos destinados a la elevación del límite elástico.

Aceros de dureza natural. En este tipo de acero se observa aún cierta distorsión de la gráfica en la etapa última del período lineal con la aparición del escalón de plasticidad en el cual se ubica el límite elástico aparente (f_y). La tensión de rotura (f_s) se produce con una menor deformación que la exhibida en los aceros ordinarios como también sucede en la rotura física del material (tensión última).



Aceros endurecidos en frío. En este ensayo también se observa la disminución de las propiedades de alargamiento como asimismo la pérdida del escalón de plasticidad, lo cual lleva al diagrama a presentar un recorrido curvilíneo. El límite elástico aparente en este caso pasa a ser un límite elástico convencional (f_y) obtenido a partir del punto de deformación remanente propio del proceso de producción.



CAPÍTULO 30 — MADERA

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

MA.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.....	ASTM D 143
MA.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO.....	ASTM D 143
MA.3 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.....	ASTM D 143
MA.4 COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.....	ASTM D 143
MA.5 TRACCIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.....	ASTM D 143
MA.6 FLEXIÓN DE LA MADERA.....	ASTM D 143
MA.7 DUREZA.....	ASTM D 143

30.1 PROPIEDADES (Pacto Andino)

Sensoriales

- **Color:** El color de la madera es una consecuencia de las sustancias que se infiltran en las paredes de sus células, y es característico de cada especie. Esta propiedad puede ser de importancia a la hora de emplear una determinada madera con fines decorativos. el color también son consecuencia de las sustancias que impregna la madera, y son de especial interés a la hora de emplear una determinada madera en la fabricación de recipientes de conservación de alimentos (toneles de vino).
- **Textura:** Se denomina textura al tamaño de los elementos anatómicos de la madera.

Hablaremos entonces de textura gruesa, mediana y fina. La textura gruesa será cuando los elementos de la madera son muy grandes y se ven fácilmente, mientras que en la textura fina, estos elementos casi no se diferencian, dando una apariencia homogénea, y por último, la textura mediana será una situación intermedia entre las dos anteriores.

Físico-químicas

- **Defectos de crecimiento.** Existen algunas características en la madera que han sido adquiridas o desarrolladas por el árbol durante su crecimiento, y por afectar el comportamiento o aspecto de la madera se les llama defectos de crecimiento. Los principales son: nudos, inclinación del grano, fallas de compresión, perforaciones y medula excéntrica.

Los nudos son discontinuidades en la parte leñosa del tronco producida por el nacimiento y posterior desarrollo de las ramas. La influencia de los nudos en el comportamiento de. Elementos estructurales depende de la ubicación que estos tengan con respecto a la distribución de los esfuerzos. En zonas en tracción su influencia es muy importante, no así en zonas en compresión, los nudos producen inclinaciones en la dirección del grano y son zonas débiles de la madera. Existen tolerancias en las dimensiones de los nudos, que dan criterios de rechazo o aceptación de los elementos estructurales.

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene marcada influencia el comportamiento de los elementos estructurales, la inclinación del grano puede tener dos causas principales: una inclinación constante y que sigue la forma de espiral según la dirección longitudinal del tronco, o trozas que por su mal aserrado presentan un grano inclinado, la resistencia que presenta una pieza con grano inclinado puede estimarse según la formula de Hankinson. La cual es función de la resistencia paralela, la resistencia perpendicular y la función del ángulo θ

- **Densidad.** La densidad es una medida de la cantidad del material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de esta. En pequeñas probetas libres de defectos puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad mayor resistencia. Los ensayos de laboratorio con estas probetas indican que existe buen nivel de correlación entre todas y cada una de las propiedades mecánicas y la densidad del material.

Como la densidad aparente comprende el volumen de los huecos y los macizos, cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus elementos resistentes y menor el de sus poros. Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

- Pesadas, si es mayor de 0.8.
- Ligeras, si esta comprendida entre 0.5 y 0.7.
- Muy ligeras, las menores de 0.5.

La densidad aparente de las maderas más corrientes, secadas al aire, son:

Tabla 30.1.1. Densidad. [9]

Pino Común.	0.32 – 0.76	Kg/dm ³
Pino Negro.	0.38 – 0.74	Kg/dm ³
Pino- tea.	0.83 – 0.85	Kg/dm ³
Albeto.	0.32 – 0.62	Kg/dm ³
Pinabette.	0.37 – 0.75	Kg/dm ³
Alerce.	0.44 – 0.80	Kg/dm ³
Roble.	0.71 – 1.07	Kg/dm ³
Encina.	0.95 – 1.20	Kg/dm ³
Haya.	0.60 – 0.90	Kg/dm ³
Álamo.	0.45 – 0.70	Kg/dm ³
Olmo.	0.56 – 0.82	Kg/dm ³
Nogal.	0.60 – 0.81	Kg/dm ³

- **Humedad.** Se define como la relación entre la cantidad de agua y el peso seco o anhidro de la madera y expresado en % , es decir,

$$H = \frac{P - P_s}{P_s} \times 100$$

donde:

H = contenido de humedad en %.

Ph = Peso húmedo de la madera.

P s = Peso anhidro de la madera (al 0% de contenido de humedad).

Por ejemplo, si una pieza de madera pesa en estado húmedo 36 g y después de secarla en estufa (estado anhidro) pesa 30 g, su contenido de humedad será:

$$H\% = ((36-30)/30) \times 100 = 20 \% \text{ de humedad.}$$

Según el contenido de humedad de la madera se suelen emplear las siguientes denominaciones:

Madera verde: para contenidos de humedad comprendidos entre el 30 % (punto de saturación de la pared celular) hasta la humedad del árbol vivo (del 70 al 150 % según las especies).

Madera húmeda: para contenidos de humedad entre el 20 y el 30 %.

Madera seca al aire: cuando el contenido de humedad se encuentra en el entorno del 13 al 18 % que es límite para este tipo de secado.

Madera seca en cámara: para contenidos de humedad por debajo del 12 %, que solo se pueden alcanzar mediante secado artificial en cámara. Este entorno de humedad es el aplicable a los pavimentos de madera.

La madera contiene **agua de constitución**, inerte a su naturaleza orgánica, **agua de saturación**, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y **agua libre**, absorbida por capilaridad por los vasos y traqueidas.

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento.

La humedad de las maderas se aprecia, además del procedimiento de pesadas, de probetas, húmedas y desecadas, y el colorimétrico, por la conductividad eléctrica, empleando girómetros eléctricos. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad.

- **Contracción e Hinchamiento:** La madera cambia de volumen según la humedad que contiene.

Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial.

La contracción es mayor en la albura que en el núcleo, originando tensiones por desecación que agrietan y alabea la madera.

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 por ciento de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra.

- **Influencia de la temperatura.** En general, las propiedades mecánicas de la madera disminuyen con el aumento de temperatura y aumentan con la disminución de esta. Estos efectos son inmediatos porque cuando la madera es expuesta un tiempo prolongado a altas temperaturas se producen cambios irreversibles en sus propiedades. A un contenido de humedad constante y una variación en la temperatura de alrededor de 200 °C la variación de las propiedades (con la temperatura) es aproximadamente lineal y los efectos reversibles, es decir que la propiedad regresa a su valor original si el cambio de temperatura es rápido.

- **Dilatación térmica:** El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado.

- **Conductividad calórica:** Mal conductor de calor cuando esta seca. Esta cualidad esta relacionada con su estructura, fibrosa, con poros y alvéolos. La madera húmeda y ligera transmite mejor el calor. Tiene un coeficiente de conductividad muy bajo.

Comparando con la fábrica de ladrillo, una pared de madera de 10 cm. de espesor, tiene el mismo poder aislante que un muro de asta y media de ladrillo macizo enfoscado al exterior y lucido al interior.

- **Durabilidad:** a duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad: el roble dura 100 años: álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años.

- **Conductividad eléctrica:** La madera seca es mala conductora de la electricidad, no así cuando esta húmeda.

- **Aislamiento acústico:** La madera es un excelente aislante acústico en concreto es 15 veces más aislante que el cemento, 400 más que el acero y casi 2000 más que el aluminio.

- **Ataques químicos.** El efecto de las sustancias químicas en la madera es altamente dependiente del tipo específico de compuesto. Líquidos que no producen hinchamiento de la madera como aceites de petróleo o creosota, no tienen efectos apreciables, mientras que líquidos que hinchan la madera tales como el agua o el alcohol pueden tener algún efecto aún cuando produzcan degradación química. Esta pérdida en las propiedades dependen del hinchamiento y este es un proceso reversible. Por otro lado, soluciones químicas que descomponen las sustancias constituidas de la madera tienen un efecto permanente. Se pueden hacer las siguientes generalizaciones

Algunas especies son bastante resistentes al ataque de minerales diluidos y ácidos orgánicos

Ácidos oxidantes degradan la madera más que ácidos no oxidantes

Soluciones alcalinas son más destructivas que soluciones acidas

La protección ala madera contra el ataque de insectos o contra el fuego se logra mediante tratamientos con preservantes o con sales retardadas del fuego. Las propiedades mecánicas prácticamente no cambian con los preservantes, pero son afectadas algo con la combinación de los métodos de tratamiento y el secado al horno, comúnmente la resistencia a la flexión se reduce en alrededor del 10% sin embargo, la rapidez no es afectada apreciablemente

- **Degradación.** La madera por ser un material orgánico y natural, constituido principalmente por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno puede ser degradada. La degradación de la

madera se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos que a dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera y si no son detectados a tiempo, destruyen las células que las componen, afectando sus propiedades físicas y químicas y reduciendo severamente su resistencia estructural.

El ataque de hongos xilófagos provoca lo que se conoce como pudrición de la madera y esta según el tipo de hongo puede ser: pudrición suave o blanda cuando se destruye la celulosa y se caracteriza por ser superficial, degradando la madera hasta adquirir una consistencia grasosa, de color oscuro.

Pudrición blanca: cuando se destruyen todos los componentes de la madera (lignina y carbohidratos), el material residual semeja un esqueleto de madera sin coloración oscura "pudrición parda" cuando se descompone la celulosa y sus pentosas asociadas afectando poco o nada a la lignina. La parte atacada se contrae agrietándose perpendicularmente a las fibras tomando conformaciones cúbicas.

Otro tipo de ataque es el ocasionado por mohos y hongos cromógenos. Estos organismos no destruyen las células sino se alimentan de las sustancias que contienen en su interior. Atacan la madera con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras.

Los mohos requieren abundante humedad constituyendo formaciones algodonosas en la superficie. En la madera seca se eliminan fácilmente mediante el cepillado. Los hongos cromógenos penetran en la madera oscureciéndola por zonas como el ataque conocido como la mancha azul.

Para evitar el ataque de organismos biológicos degradantes, la madera sin durabilidad natural, puede ser tratada mediante la impregnación de sustancias preservantes.

La durabilidad natural de la madera depende principalmente de la especie y de la zona del tronco de donde a sido extraída. Generalmente el duramen contiene sustancias tóxicas como las fenólicas por ejemplo, que rechazan a los agentes biológicos que quieran invadirla. En su estado natural la albura se considera no durable.

- **Ataque de insectos.** La madera atacada por insectos es fácilmente destruida por lo que es necesario protegerla adecuadamente. Protección adicional contra este ataque puede suministrarse mediante un diseño apropiado.

Por lo general se consideran dos tipos de insectos que atacan la madera: unos los que atacan la madera antes de su puesta en servicio y los otros, que son los más importantes desde el punto de vista del usuario, que la atacan después de su puesta en servicio. Dentro de estos figuran: los termites subterráneos y los de madera seca- que son los más dañinos y los de nido aéreo; los escarabajos tipo lyctus y las hormigas carpinteras o comejenes. Los termites se alimentan de la madera y la utilizan como vivienda, perforando túneles dentro de ellas que la debilitan seriamente. Los escarabajos depositan sus huevos en los poros de la madera, de donde nace la larva que perfora túneles en el interior. Las hormigas carpinteras aunque no se alimentan de madera, la perforan con el objeto de fabricar galerías para vivir.

Mecánicas

- **Resistencia a la compresión paralela.** La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras.

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. Cuando se trata de elementos a escala natural como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud / ancho) menor que 10 desarrollan toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad. Para elementos más esbeltos, que son los más comunes, la resistencia está determinada por su capacidad al resistir el pandeo lateral, que depende mayormente de la geometría de la pieza más que de la capacidad resistente de la madera que la constituye.

La resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente limitada que su resistencia a la tracción.

Valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos con probetas de laboratorio varían entre 100 y 900 kg./cm²

Para maderas tropicales. Esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.8) el esfuerzo en el límite proporcional es aproximadamente el 75% de esfuerzo máximo y la deformación es del orden del 60% de la máxima.

- **Resistencia a la compresión perpendicular.** Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que se manejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga.

La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Esta varilla entre ¼ a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela. Cuando las fibras reciben una carga a un ángulo intermedio entre 0 grados

(paralela a las fibras) y 90 grados(perpendicular a las fibras) la resistencia alcanza valores intermedios que siguen aproximadamente la formula de hankinson

- **Resistencia a la tracción.** La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. Se puede observar el comportamiento lineal elástico en la curva esfuerzo – deformación, se observa también la naturaleza explosiva y violenta con la que se produce la falla. El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía entre 500 y 1500 kg./cm². la resistencia a tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano. Por ejemplo. Para una inclinación de 1 en 8 (7 grados) el esfuerzo de rotura es el 75% del esfuerzo de rotura paralelo al grano, para una inclinación de 1 en 4 (14 grados) el esfuerzo de rotura es solo el 45%. El esfuerzo de rotura perpendicular al grano (90 grados) es del 2 al 5% del esfuerzo de rotura paralelo al grano. Para efectos prácticos a la resistencia a la tracción perpendicular es nula. La influencia de otros defectos característicos de la madera hacen que la resistencia de elementos a escala real puede ser tan bajo como un 15% de esfuerzo de rotura en tracción en probetas.
- **Resistencia al corte.** En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a la largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza presenta distinta resistencia al corte en estas direcciones. La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del “cementante” de las fibras – la lignina – a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de 3 a 4 veces mayor que en la dirección paralela. El esfuerzo de rotura en probetas sometidas a corte paralelo varía entre 25 y 200kg/cm² en promedio. Es mayor en la dirección radial que en la tangencial. Aumenta con la densidad aunque en menor proporción que la resistencia a la compresión.

En elementos a escala natural hay una disminución por la presencia de defectos como por la influencia del tamaño de las piezas. Por otro lado este esfuerzo casi siempre se presenta combinado con otros lo que puede resultar en menores valores.

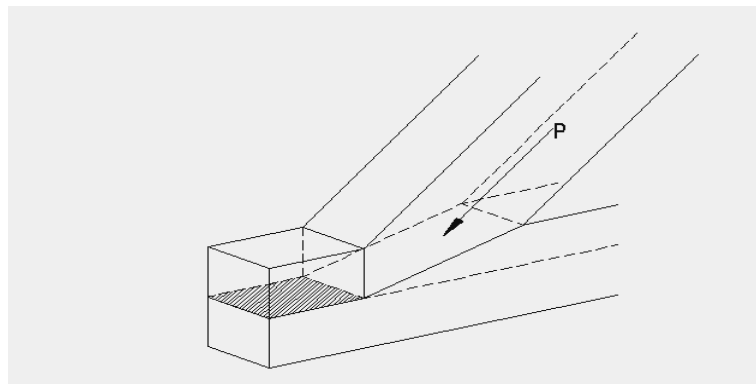


Fig. 30.1.1. Esquema de corte. [41]

- **Resistencia a la flexión paralela el grano.** La diferencia entre la resistencia a la tracción y la compresión paralela resulta en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión como la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ellos se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza a la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción.
- **Duración de la carga.** Cuando un elemento de madera se carga por primera vez se deforma elásticamente. Si la carga se mantiene, se presenta una deformación adicional dependiente del tiempo.

Este fenómeno se denomina flojo plástico. Para algunas especies latifoliadas se ha encontrado que este incremento de deformación puede llegar a hacer en promedio, de dos a tres veces la deformación elástica inicial.

Descargando el elemento la deformación inicial elástica se recupera totalmente y solo una fracción de la deformación plástica se recupera tardando un tiempo en hacerlo.

Si en vez de controlar la carga se aplica una deformación constante y mantenida el esfuerzo inicial decrece a un 60% de su valor inicial luego de unos meses esta reducción de esfuerzos se denomina relajación.

Además del flojo plástico y de la relajación se presenta un efecto dependiente del tiempo en la resistencia de la madera. Investigaciones llevadas a cabo en probetas pequeñas libres de defectos en el laboratorio indicaban que la carga requerida para producir la falla después de un periodo de 10 años es aproximadamente en 60% de la carga que se hubiera requerido en un ensayo de 5 minutos de duración. Por otro lado la carga que una madera puede resistir a una carga de impacto es mayor que la predicha por el mismo ensayo mencionado. Sin embargo a los niveles de esfuerzo que un elemento estructural de tamaño natural está sometido, esa reducción de la resistencia no es tan dramática y menos evidente.

Debe recordarse que los elementos reales se diseñan con esfuerzos admisibles que se basan en la resistencia mínima y están afectados por coeficientes de seguridad que los reducen a un más.

- **Dureza:** Cuanto más fibrosa sea la madera, más dura. Y esto es debido a que el árbol es más duro en su interior (duramen) y más blando en el exterior (albura).

Las maderas pueden ser duras y blandas según el árbol del que se obtienen. La madera de los árboles de hoja caduca se llama madera dura y la madera de coníferas se llama blanda, con independencia de su dureza. Así, muchas maderas blandas son más duras que las llamadas maderas duras. Las maderas duras tienen vasos largos y continuos a lo largo del tronco y las blandas no. Los elementos extraídos del suelo se transportan de célula a célula. Los nudos son áreas del tronco en las que se ha formado la base de una rama. Cuando la madera se corta en planchas los nudos son discontinuidades o irregularidades circulares que aparecen en las ventanillas. Estos suelen debilitar las tablas y dejar agujeros, por eso no es deseado; a menos que resulten vistosas para uso decorativo, revestimiento o fabricación de muebles.

- **Modulo de elasticidad (MOE).** El modulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo-deformación. Un ensayo de compresión paralela. Puede ser hallado también por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. Según los resultados obtenidos en maderas tropicales el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento.
- **Modulo de corte o rigidez (G).** El modulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con. Los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen, $\tau = G\gamma$ existen diferentes valores para este modulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo el mas usual es el que sigue la dirección de las fibras.
- **Modulo de poisson.** Se conoce como modulo de poisson a la relación que existe entre la deformación lateral y la deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial.

La madera presenta diferentes valores según las direcciones que se consideren, se han reportado para maderas coníferas valores del orden de 0.325 a 0.40 para dimensiones de 0.5gs./cm³

- **Plasticidad:** Es la facultad de algunos cuerpos en dejarse modelar, es decir, cuando se puede doblar, y al desaparecer la fuerza que provoca la presión no recupera su forma original. La madera húmeda se dobla mejor que la dura.
- **Hendibilidad:** Se llama también facilidad a la raja y es la aptitud de las maderas a dividirse en el sentido longitudinal bajo la acción de una cuña. El rajado es más fácil, en sentido de los radios.

Como madera muy hendible se acostumbra citar el castaño, como madera hendible, el roble, y como madera poco hendible, el carpe.

Ecológicas. La madera es un producto 100% ecológico, pues viene directamente de la naturaleza es **100% renovable, reciclable, reutilizable y biodegradable**, además toda la madera utilizada proviene de la tala controlada de bosques plantados para tal fin.

30.2 ENSAYOS

MA.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

NORMA: ASTM D 143

MÉTODO DE SECADO EN ESTUFA

OBJETIVO. Este método es aplicable a maderas con cualquier contenido de humedad. Sirve para determinar el contenido de humedad de lotes de piezas de madera y de probetas destinadas a ensayos de laboratorio.

El método de secado en estufa no es conveniente para maderas con gran cantidad de sustancias volátiles y para maderas impregnadas con productos químicos, sean éstos volátiles o no, por lo que se recomienda usar el método de destilación.

Determinación por pesada de la pérdida de masa de la probeta cuando se seca hasta masa constante y cálculo de la pérdida de masa en porcentaje de la masa de la probeta después del secado.

EQUIPO.

- o Balanza, capaz de pesar con una precisión de 0,1 g.
- o Estufa de secado, con circulación de aire, regulable a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

- o Desecador, provisto de un deshidratante adecuado.
- o Recipientes de vidrio, de 2 a 3 dm³ de capacidad, preferentemente provistos de tapas herméticas.

OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS

- o **De lotes de piezas de madera.** De cada pieza que compone la muestra, extraer dos probetas para ensayo, abarcando la sección transversal completa y ubicadas a 1/3 de cada extremo, pero en todo caso a no menos de 50 cm del extremo. La probeta debe tener como mínimo 25 mm de longitud y debe estar libre de corteza y defectos. En piezas pequeñas de madera, en las que no se pueden cumplir las condiciones anteriores, se tomará como probetas la pieza entera o la parte central de ella.
- o **Para ensayos físicos.** Las probetas deben tener preferentemente forma de prismas rectos, de sección cuadrada de 25 mm por lado y una longitud de 100 mm \pm 5 mm medida a lo largo de las fibras. El contenido de humedad se puede determinar sobre probetas preparadas para otros ensayos o cortarse de ellas.
- o **Observación general.** Si no es posible pesar las probetas inmediatamente después de cortadas, envolverlas con una lámina a prueba de humedad previamente tarada o colocarlas en un recipiente de vidrio, de cierre hermético, previamente tarado, para evitar cambios en el contenido de humedad. En este caso la probeta debe pesarse conjuntamente con la lámina o recipiente. En todo caso no deben transcurrir más de 2 h desde que se cortan las probetas hasta el momento de pesarlas.

Pueden usarse las mismas probetas para la determinación de humedad, densidad y contracción.

PROCEDIMIENTO

- a) Pesar la probeta con una precisión de 0,5% de su masa. Secar hasta masa constante en la estufa a una temperatura de 103°C \pm 2°C.
- b) Se considera masa constante cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas efectuadas a un intervalo de 2 h a 4 h, según la especie y el tamaño de la probeta, es igual o menor a 0,5% de la masa de la probeta. En general, es suficiente secar durante 24 h para lograr masa constante, con excepción de las especies cuya densidad es mayor de 0,65 g/cm³ que pueden requerir un tiempo mayor.
- c) Enfriar la probeta hasta temperatura ambiente en un desecador y pesar rápidamente para evitar variaciones mayores a 0,1% en el contenido de humedad. La precisión de la pesada debe ser de 0,1 g.

CÁLCULO

Calcular el contenido de humedad, w, de cada probeta, expresado en porcentaje, con una aproximación de 0,1% según la fórmula:

$$w = \frac{m1 - m2}{m2} \cdot 100$$

Donde:

m1: es la masa, en gramos, de la probeta antes del secado.

m2: es la masa, en gramos, de la probeta después del secado.

Calcular el promedio aritmético de los resultados obtenidos para las probetas individuales e informarlo como el valor promedio del contenido de humedad de las probetas, o del lote. Redondear los resultados al entero porcentual más próximo.

MÉTODO DE DESTILACIÓN

OBJETIVO. Este método se aplica a maderas con cualquier contenido de humedad y cualquier contenido de sustancias volátiles.

El método de destilación es apropiado para determinar humedad en maderas impregnadas con productos solubles en el solvente que se use (tolueno, xileno, benceno) y especialmente con preservantes creosotados u oleosos.

Remoción del agua de la madera mediante un solvente y recolección por condensación en una trampa de agua, que permite medir su volumen.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Matraz de vidrio: Termorresistente para extracción, de 250 ml de capacidad.

- o Tubo colector : Consistente en un tubo graduado de vidrio, con o sin llave, de una capacidad de 10 ml; las graduaciones más pequeñas deben ser no mayores de 0,1 ml.
- o Refrigerante a reflujo.
- o Manto calefactor.
- o Balanza. De sensibilidad de 0,01 g.

Reactivos. Solvente, grado analítico (tolueno, xileno, benceno).

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Obtener las probetas siguiendo las mismas indicaciones que para el método de secado en estufa.

Reducir la probeta a astillas, con cuchilla u otro instrumento cortante, teniendo la precaución de no producir calor, para evitar pérdida de humedad. Efectuar esta operación inmediatamente antes del ensayo.

PROCEDIMIENTO

- a) Pesar las astillas con una precisión de 0,01 g, introducirlas en el matraz de extracción, agregar 100 ml de solvente, armar el aparato y calentar, regulando el calor de modo que el condensado caiga dentro del tubo colector.
- b) Continuar destilando, disminuyendo el calor a medida que se realiza el ensayo, hasta que no se vean gotas de agua en el tubo refrigerante ni en el codo del tubo colector.
- c) Aumentar el calor durante algunos minutos si se observan gotas que persisten adheridas al tubo interior del refrigerante.
- d) Enfriar el tubo colector a temperatura ambiente y registrar el volumen de agua recogida.

CÁLCULOS

Calcular el contenido de humedad, w, mediante la fórmula siguiente:

$$w = \frac{V}{M - V} \cdot 100$$

Donde:

v = volumen de agua recogida, en mililitros
m = masa original de las astillas, en gramos.

Precisión. Dos determinaciones sobre la misma muestra en condiciones de repetibilidad no deben diferir en más de $\pm 3\%$ del valor promedio.

MÉTODO DEL XILOHIGRÓMETRO

OBJETIVO. Este método es aplicable a madera con un contenido de humedad entre 7% y 28% y no requiere cortar probetas. Sirve para determinar el contenido de humedad de un lote o de piezas de madera. Este método es apto para determinaciones en terreno. Este método no es aplicable en casos de arbitraje.

El método del xilohigrómetro presenta grandes errores cuando se usa en madera impregnada con sales u otros electrolitos. No es conveniente su uso cuando la madera ha sido tratada con sales preservantes o retardadores de fuego, así como tampoco cuando la madera ha estado en contacto prolongado con agua de mar. Cuando el contenido de humedad es menor de 8% estas alteraciones son despreciables. Las sales retenidas dan valores aumentados de humedad, pero aun así el xilohigrómetro podría usarse para establecer los límites superiores de humedad en maderas tratadas con sales.

Medición de las propiedades eléctricas de piezas de madera, usando un medidor que relaciona dichas propiedades con el contenido de humedad de la madera.

EQUIPO

- o Xilohigrómetro : calibrado para la especie correspondiente y capaz de hacer una medición individual con un error no mayor de $\pm 2\%$, a contenidos de humedad entre 7% y 28%.
- o Electrodo: consistentes en agujas cubiertas con material aislante en toda su longitud con excepción de la punta.

MUESTRAS

- o **Para lotes de piezas de madera.** Tomar al azar del lote el número de piezas correspondientes
- o **Para piezas individuales.** Efectuar las mediciones de humedad con el xilohigrómetro sobre cada una de las piezas.

PROCEDIMIENTO

- a) Medir el contenido de humedad en áreas exentas de defectos visibles, humedad superficial y suciedad. Orientar los electrodos en la madera de modo que la línea que une las puntas esté en la dirección de las fibras, a menos que por el diseño del instrumento se especifique lo contrario.
- b) El número de puntos de medición debe ser: dos para piezas de más de 1,5 m y hasta 2,5 m de largo; tres como mínimo para piezas de más de 2,5 m y hasta 4 m de largo y cuatro como mínimo para piezas de más de 4 m de largo.
- c) Los puntos en que se efectúen las mediciones deben estar ubicados a una distancia no menor de 50 cm de cada extremo, equidistantes uno del otro y ubicados en el centro del ancho de cada cara.
- d) Insertar los electrodos en forma perpendicular a la superficie y a una profundidad entre 1/4 y 1/5 del espesor de la pieza, en el caso de piezas de sección rectangular y entre 1/6 y 1/7 en piezas circulares.

Esta profundidad corresponde a la humedad promedio de la sección transversal. Si se quiere conocer el gradiente de humedad, las mediciones se harán a diferentes profundidades.

Efectuar las correcciones para especies y temperaturas cuando corresponda.

CÁLCULO Y RESULTADOS. Calcular el promedio de las mediciones en cada pieza de madera que compone la muestra, para obtener los valores individuales de contenido de humedad, en porcentaje en masa, redondeado al 1 %. Obtener el valor promedio del contenido de humedad del lote, en porcentaje en masa redondeado al 1 %.

MA.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO

NORMA: ASTM D 143

OBJETIVO. Determinar de la masa de la probeta por pesada y de su volumen por medición de sus dimensiones u otro método. Cálculo de la masa por unidad de volumen de la madera.

EQUIPO

- o Instrumento de medición: capaz de determinar las dimensiones de las probetas al 0,1 mm.
- o Balanza: capaz de pesar al 0,01 g.
- o Equipo para determinar el contenido de humedad de acuerdo con NCh176/1. (Determinación de humedad. Método de secado en estufa o método de destilación).

Preparación de las probetas

- o Cortar las probetas en forma de prismas rectos que tengan una sección cuadrada de 25 mm de lado y una longitud en la dirección de la fibra de 100 ± 5 mm. Los anillos de crecimiento deben ser paralelos a dos caras opuestas.
- o Cuando se trate de determinar la relación entre una característica mecánica y la densidad, se recomienda que la densidad se determine sobre probetas preparadas para los ensayos mecánicos en particular o sobre probetas cortadas de ellas que tengan forma cúbica de 20 mm por lado.

Pueden usarse las mismas probetas para la determinación de humedad, densidad y contracción.

PROCEDIMIENTO**Determinación de la densidad.**

- a) Determinar la masa de la probeta con una precisión de 0,01g. Determinar el volumen por alguno de los métodos.
- b) Determinar el contenido de humedad de la probeta según NCh176/1, tomando la probeta completa.

Determinación de la densidad anhidra. Secar las probetas gradualmente hasta masa constante, evitando su deformación y resquebrajamiento. Determinar la masa y el volumen, una vez enfriadas a temperatura ambiente.

Determinación de la densidad básica. Determinar el volumen máximo de la madera al estado verde (lo más cercano posible al contenido de humedad máxima que corresponde al volteo del árbol). Secar las probetas hasta masa constante y pesar con una precisión de 0,01 g.

Determinación del volumen. El volumen de la probeta puede determinarse por alguno de los métodos siguientes:

A.- Por medición directa. Este método es aplicable a probetas de cualquier tamaño, de forma regular, cuyas esquinas presenten ángulos rectos, y cuyas superficies sean lisas. Medir la longitud l , el ancho a y el espesor e , con una precisión de $\pm 0,3\%$. Efectuar por lo menos tres mediciones en cada dirección, aunque en probetas pequeñas es suficiente una o dos mediciones.

B.- Por inmersión en agua. Estos métodos son aplicables a probetas de forma irregular o de superficie rugosa. La madera seca debe sellarse previamente sumergiendo la probeta en cera de parafina caliente. En madera verde no es necesario este sellado.

Colocar la probeta en un recipiente de volumen conocido y agregar agua hasta llenar el recipiente. Sacar la probeta del agua y determinar el volumen remanente. El volumen del recipiente lleno menos el volumen de agua remanente corresponde al volumen de la probeta.

Llenar con agua una probeta hasta una de las graduaciones principales y registrar este volumen. Colocar la probeta en el cilindro y hundirla con ayuda de una varilla delgada. Registrar el nuevo volumen. La diferencia entre los dos volúmenes corresponde al volumen de la probeta.

C.- Por inmersión en mercurio. Este método es aplicable a probetas de tamaño reducido, de cualquier forma, densidad y contenido de humedad. No es necesario sellar la probeta con parafina, excepto si presenta poros o huecos muy abiertos en los cuales podría quedar atrapado mercurio, provocando una medición errónea.

El procedimiento empleado es igual al de inmersión en agua.

CÁLCULO Y RESULTADOS

La densidad, ρ_H de cada probeta, en kg/m³ (o g/cm³) está dada por la fórmula:

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H}$$

Donde:

m_H : es la masa, en kg. (ó g) de la probeta al contenido de humedad H

V_H : es el volumen, en m³ (ó cm³) H de la probeta al contenido de humedad H.

La densidad básica, ρ_b de cada probeta, en kg/m³ (g/cm³) está dada por la fórmula:

$$\rho_b = \frac{m_o}{V_{\max}}$$

Donde:

m_o : es la masa, en kg (ó g) de la probeta en la condición anhidra

V_{\max} : es el volumen, en m³ (ó cm³) máximo de la probeta al contenido de humedad máximo.

La densidad anhidra, ρ_o de cada probeta, en kg/m³ (ó g/cm³) esta dada por la fórmula:

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o}$$

Donde:

V_0 : es el volumen, en m³ (ó cm³) o de la probeta en la condición anhidra.

La densidad de referencia, de cada probeta en kilogramos por metro cúbico (o g/cm³) está dada por la fórmula:

$$\rho_r = \frac{m_o}{V_H}$$

En este caso la medición del volumen se hace generalmente a un contenido de humedad de 12%.

PRECISIÓN. Expresar los resultados individuales de cada probeta con una aproximación de 5 kg/m³(ó 0,005 g/cm³).

Calcular con una precisión de 10 kg/m³ (ó 0,01 g/cm³) el promedio aritmético de los resultados obtenidos en las probetas individuales e informar este valor como el promedio de densidad de las probetas.

MA.3 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS

NORMA: ASTM D 143

OBJETIVO. Realizar los ensayos de compresión y obtener sus características y propiedades mecánicas, así como observar el comportamiento esfuerzo- deformación.

EQUIPO

- o Máquina universal de pruebas.
- o Calibrador vernier.
- o Graficador (opcional).
- o Plato de compresión para aplicación de carga, platos de compresión para centrar la pieza.

CONDICIONES PARA REALIZAR EL ENSAYO

- o Que el material sea homogéneo.
- o Que la carga se aplique axialmente.
- o Que la sección longitudinal sea recta.
- o Que se comporte puramente a compresión, (relación de esbeltez menor que 60).
- o Velocidad del ensayo constante.
- o Los extremos de las probetas de compresión deben ser planos.

PROCEDIMIENTO

- a) Primeramente antes de colocar la probeta en la máquina universal, se medirán con el calibrador vernier sus dimensiones iniciales (longitud y diámetro).
- b) Enseguida y después de cerciorarse que las superficies de los extremos de las probeta así como las caras de los bloques de apoyo estén completamente libres de grasa, aceite o cualquier otra clase de partículas que pudieran influir en la restricción friccional de las superficies de los extremos, se coloca la probeta en la máquina, debe tenerse mucho cuidado para lograr el centrado, la alineación de la probeta y de los platos de apoyo (o de compresión) en la máquina, se baja el cabezal fijo de la máquina hasta hacer contacto con los platos de apoyo y en seguida haremos lecturas de carga contra deformación o desplazamiento en la pantalla si la máquina es digital, si es de lectura caratular de carga se tendrá que colocar el extensómetro en la mesa de prueba para leer la deformación (o desplazamiento) y se procede a aplicar la carga con una velocidad conveniente al material de que se trate.

Existen varias limitaciones del ensayo estático de compresión:

- o La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.
- o La fricción entre los puentes de la máquina o los platos de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta, esto ocasiona esfuerzos flexionantes en la probeta y tienden a “pandear” o “flambear” a esta.
- o A medida que la longitud de la probeta disminuye el efecto de fricción entre los apoyos y la máquina se vuelve más significativo.

Es importante que la probeta trabaje puramente a compresión y no como un miembro estructural tipo columna, de modo que la acción se limita aquí al bloque de compresión corto.

La selección de la relación entre la longitud y la sección de la probeta de compresión es importante. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no-uniforme de esfuerzos combinados axial y de flexión, sobre una sección recta.

CÁLCULO. Se sugiere una relación entre altura y sección transversal de la probeta, conocida como “esbeltez” y está dada por el cociente entre la longitud o altura, al radio de giro de la probeta; es decir:

$$\text{Relacion de esbeltez} = \frac{L}{r_g}$$

En donde el radio de giro (r_g) se obtiene como la raíz cuadrada del momento de inercia (I) entre el área (A) de la probeta, esto es:

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Para poder considerar una probeta como bloque a compresión, es necesario que la “**relación de esbeltez**” sea menor o igual que **60**. Esto dependerá de las recomendaciones que hagan las agencias de ensayos e inspección en cuanto a su valor.

$$\text{BLOQUE A COMPRESIÓN} = \frac{L}{r_g} \leq 60$$

Para una probeta cilíndrica el radio de giro es la cuarta parte del diámetro.

$$\text{PROBETA CILÍNDRICA} = r_g = \frac{d}{4}$$

Por lo que su relación de esbeltez será:

$$\begin{aligned} \text{R. ESBELTEZ} &= \frac{L}{r_g} = \frac{L}{\left(\frac{d}{4}\right)} \\ \text{R. ESBELTEZ} &= \frac{4L}{d} \end{aligned}$$

MA.4 COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

NORMA: ASTM D 143

OBJETIVO. Aplicar, sobre una sección transversal extrema de la probeta, una carga continua de dirección paralela a las fibras de la madera, midiendo las deformaciones producidas por la aplicación de dicha carga hasta llegar al punto de falla de la probeta.

EQUIPO

- o Máquina de ensayo para compresión, con dispositivo para regular la velocidad de ensayo y con cabezal rotulado de modo que permita una distribución uniforme de la carga sobre la probeta.
- o Extensómetro, con sensibilidad de 0,002 mm.
- o Aparatos para medir humedad y densidad.

Probetas. Las probetas deben ser paralelepípedos rectos de 50 x 50 x 200 mm medidos con una precisión de $\pm 0,3\%$. No deben presentar fallas ni defectos. Las secciones transversales extremas de la probeta deben ser paralelas entre sí y perpendiculares a su eje longitudinal. La probeta debe tener su eje longitudinal paralelo a la dirección de la fibra con dos de sus caras opuestas paralelas a los anillos de crecimiento.

PROCEDIMIENTO

- a) Medir el ancho, **a**, y el espesor, **e**, de la probeta en ambos extremos y en el centro de ella.
- b) Aplicar la carga en forma continua con una velocidad del cabezal de la máquina de 0,6 mm/min, no variando más allá de un 25%.
- c) Medir las deformaciones por compresión paralela, **a**, que se producen en el tramo central ($L = 150$ mm) de la probeta.
- d) Medir las deformaciones con una precisión de 0,002 mm, para cargas progresivas, con intervalos de carga convenientemente elegidos, de modo que las lecturas que así se obtengan permitan efectuar la determinación del límite de proporcionalidad, **P_{lp}**, en el gráfico carga - deformación.
- e) Anotar la carga máxima, **Q**, obtenida durante el ensayo de la probeta.
- f) Para obtener resultados uniformes y satisfactorios es necesario que las roturas no se produzcan en los extremos de la probeta.
- g) Después del ensayo, extraer de las cercanías de la zona de falla de la probeta, una muestra de 25 mm de longitud y de la misma sección transversal de la probeta, a fin de determinar en ella el contenido de humedad y la densidad.

CÁLCULO.

Con las cargas, **P**, y las deformaciones, **a**, dibujar un gráfico carga (ordenada) versus deformación (abscisa) en el cual se determina el límite de proporcionalidad de la curva conjuntamente con la carga, **P_{lp}**, y la deformación, **σ_{lp}**, que a él le corresponda.

Determinar para cada probeta la tensión de compresión paralela en el límite de proporcionalidad, **f_{c,lp}**, mediante la fórmula:

$$f_{c,lp} = \frac{P_{lp}}{a \cdot e}$$

Donde:

P_{lp} = carga en el límite de proporcionalidad;

a = promedio de los anchos medidos;

e = promedio de los espesores medidos.

En las fórmulas no se señalan unidades con el fin de usar aquellas que más acomoden y, posteriormente, hacer las conversiones.

Determinar para cada probeta la tensión máxima o de rotura de compresión paralela, mediante la fórmula:

$$R_c = \frac{Q}{a \cdot e}$$

Donde:

Q = carga máxima aplicada;

Determinar para cada probeta el módulo de elasticidad de compresión paralela, **Ec**, mediante la fórmula:

$$E_c = \frac{P_{lp} \cdot L}{\sigma_{lp} \cdot a \cdot e}$$

Donde:

L = tramo central de la probeta, de 150 mm de longitud, en el cual se han medido las deformaciones;

σ_{lp} = deformación en el límite de proporcionalidad.

MA.5 TRACCIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS

NORMA: ASTM D 143

OBJETIVO. Aplicar una carga continua de tracción de dirección perpendicular a las fibras de la madera hasta llegar al punto de falla de la probeta.

EQUIPO

- o Máquina de ensayo para tracción, con dispositivo para regular la velocidad de ensayo.
- o Accesorio para tracción, que consta de dos mordazas para tomar la probeta.
- o Aparatos para medir humedad y densidad.

Probetas. Deben ser paralelepípedos rectos de 50 x 50 x 63 mm medidos con una precisión de $\pm 0,3\%$ y perforados en la forma señalada en la figura 3.30, con el propósito de producir un plano de falla por tracción de 25 mm x 50 mm.

No deben presentar fallas ni defectos. La probeta debe tener su eje longitudinal paralelo a la dirección de la fibra con dos caras opuestas paralelas a los anillos de crecimiento.

Las perforaciones se deben confeccionar en la forma indicada en la figura 3.20 para los tipos de falla.

PROCEDIMIENTO

- a) Medir el largo, *l* y el ancho *a* de la menor superficie que se debe someter a tracción con un mínimo de dos medidas tomadas en los extremos de dicha superficie.
- b) Aplicar la carga mediante el dispositivo, en forma continua y con una velocidad del cabezal de la máquina de 2,5 mm/min, no variando más allá de un 25%.
- c) Registrar como carga máxima, **Q**, la carga para la cual se obtiene la falla de la probeta.
- d) Después del ensayo, extraer de las cercanías de la zona de falla de la probeta, una muestra de 25 mm de longitud y de la misma sección transversal de la probeta, a fin de determinar en ella el contenido de humedad y la densidad.

RESULTADOS. Determinar para cada probeta la tensión máxima de tracción perpendicular a las fibras, **RTN** mediante la fórmula:

$$RTN = \frac{Q}{L \cdot A}$$

Donde:

Q = carga para la cual se obtiene la falla de la probeta

L = promedio de las medidas de altura del plano de falla de la probeta

A = promedio de las medidas del ancho del plano de falla de la probeta.

MA.6 FLEXIÓN DE LA MADERA

NORMA: ASTM D 143

OBJETIVO. Determinar las propiedades mecánicas de diferentes tipos de maderas, sometidas a flexión, tales como: Raulí, eucalipto, mañío, álamo, pino, etc.

- o Ensayar una viga simplemente apoyada, de sección rectangular, sometida a una fuerza central, simétrica, respecto de sus apoyos.
- o Verificar la hipótesis de Navier para vigas rectas.
- o Comprobar experimentalmente la ecuación de la elástica.
- o Determinar, a través del ensayo experimental, el módulo de Young o módulo de elasticidad de las diferentes maderas.
- o Medir el porcentaje de agua en la madera.

EQUIPO Y MATERIALES

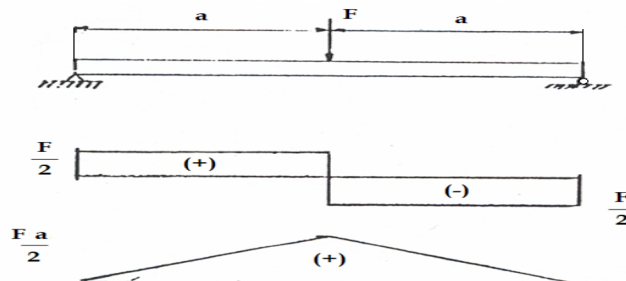
- o Máquina de ensayo universal, capacidad 10.000 kgf.
- o Probetas normalizadas para ensayo de flexión. Normalmente, la sección transversal de la probeta es cuadrada, de 30 mm por lado y la distancia entre apoyos es de 30 cm.
- o Higrómetro para medir el porcentaje de agua en las maderas.
- o Pié de metro.
- o Palpador de carátula para medir las deflexiones en centésimas de milímetro.
- o Higrómetro para medir el porcentaje de agua en la madera

PROCEDIMIENTO

- a) Medición de base y altura de la sección transversal de las diferentes probetas de madera.
- b) Reconocer los componentes constitutivos de la máquina universal de ensayos utilizada para el ensayo de flexión.
- c) Calibración de la máquina y variables a controlar: Fuerza F , proporcionada por la máquina y deflexión medida a través de un palpador de carátula.
- d) Ejecución del ensayo de flexión.
- e) Obtención del diagrama fuerza versus deflexión. La fuerza F se mide en kgf y la deflexión δ se mide en centésimas de mm.
- f) Medición del porcentaje de agua de las maderas.

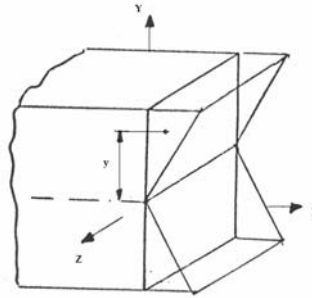
Si las fuerzas que actúan sobre un cuerpo tienden a inducir una sollicitación de tracción en una parte de su sección transversal, y una sollicitación de compresión en la sección restante, entonces el cuerpo está sometido a flexión.

En la figura . parte superior, se indica una probeta de sección rectangular sometida a una fuerza en el centro. En la parte central de dicha figura, se indica el diagrama de fuerzas cortantes y, a continuación, en la parte inferior, se indica el diagrama de momento flector correspondiente.



CÁLCULO

Probeta solicitada con una fuerza central, con los diagramas de fuerza cortante y momento flector respectivos.



Distribución del esfuerzo normal por flexión en una sección transversal.

La madera, aproximadamente, se comporta en forma similar, es decir, su respuesta es lineal, ya sea que las fibras de la probeta estén sometidas a tracción o sometidas a compresión. La figura, indica la distribución de esfuerzos por flexión, en una sección transversal cualquiera, de una probeta de sección rectangular sometida a momento flector. En este caso, el valor del esfuerzo por flexión es igual a:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Siendo M el momento flector y W el módulo resistente a la flexión. El valor máximo de M es igual a:

$$M = \frac{FL}{4}$$

Siendo P la fuerza aplicada y L la distancia entre apoyos, es decir $L=2a$.

El valor del módulo resistente a la flexión es igual a:

$$W = \frac{1}{h} I_{\text{ecuatorial}}$$

Donde corresponde al momento de inercia ecuatorial de la sección transversal de la probeta. El momento de inercia, en este caso, es igual a:

$$I_{\text{Ecuatorial}} = \frac{1}{12} bh^3$$

Por lo tanto, el esfuerzo por flexión en la fibra más alejada de la probeta es:

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2}$$

La ecuación diferencial de la elástica para una viga sometida a flexión, en general, se expresa de la siguiente manera:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \pm M(x)$$

Donde, EI es la rigidez a la flexión, y es la deflexión, x es la variable independiente y M(x) es el momento flector, el cual depende de la variable x. El signo se elige de acuerdo a la curvatura que presenta la viga en su configuración de equilibrio.

Resolviendo la ecuación diferencial de segundo orden, de acuerdo a las condiciones de borde, se obtiene la deflexión δ_{max} dada por la siguiente expresión:

$$\delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

El módulo de elasticidad E, se puede obtener de la ecuación anterior, esto es:

$$E = \frac{PL^3}{48I\delta_{\max}}$$

MA.7 DUREZA

NORMA: ASTM D 143

OBJETIVO. El método se basa en aplicar una carga continua sobre las caras de la probeta con el propósito de hacer penetrar en la madera una esfera de acero de 11,3 mm de diámetro, hasta la mitad de su diámetro

EQUIPO

Máquina de ensayo para compresión, con dispositivo para regular la velocidad de ensayo y un cabezal especialmente diseñado y asegurado a la cruceta superior móvil de la máquina. El cabezal consta esencialmente de: un vástago cilíndrico, el cual lleva en su parte inferior una esfera de acero de 11,3 mm de diámetro ubicada de modo que gire sin desplazarse vertical o lateralmente y un anillo metálico cuya base inferior es coplanar con el círculo máximo de la semi-esfera. Este anillo debe tener, sobre su superficie lateral una pequeña perilla que facilite su movimiento alrededor del vástago

Probetas. Las probetas deben ser paralelepípedos rectos de 50 x 50 x 150 mm medidos con una precisión de $\pm 0,3\%$. No deben presentar fallas ni defectos.

La probeta debe tener su eje longitudinal paralelo a la dirección de las fibras, con dos de sus caras opuestas paralelas a los anillos de crecimiento.

PROCEDIMIENTO

- a) Aplicar la carga en forma continua con una velocidad del cabezal de la máquina de 6 mm/min, no variando más allá de un 25%.
- b) Aplicar la carga en los extremos y en las caras de la probeta de modo que se obtengan las siguientes aplicaciones:
 - o cuatro en dirección perpendicular a la fibra, una en cada cara; y
 - o dos en dirección paralela a las fibras, una en cada extremo de la probeta.
- c) Hacer las penetraciones lo suficientemente alejadas de los cantos a fin de evitar la aparición de rajaduras o de astillas en la probeta.
- d) Registrar como carga máxima, **Q**, la carga necesaria para hacer penetrar en la madera la esfera metálica, hasta la mitad de su diámetro.
- e) Después del ensayo extraer, de la mitad central de la longitud de la probeta, una muestra de 25 mm de largo y de la misma sección transversal de la probeta a fin de determinar en ella el contenido de humedad y la densidad.

RESULTADOS. Determinar en cada probeta:

- o El valor de la dureza perpendicular, **Qp**, mediante el promedio de los cuatro valores obtenidos para el conjunto de penetraciones efectuadas en dirección perpendicular a las fibras de la madera; y
- o El valor de la dureza paralela, **Q**, mediante el promedio de los dos valores obtenidos en penetraciones efectuadas en dirección paralela a las fibras de la madera.

Si es de interés, las resistencias obtenidas en las penetraciones efectuadas en dirección perpendicular a las fibras pueden dividirse en:

- o Valor de dureza perpendicular radial, **Qpr**, expresándolo mediante el promedio de los dos valores obtenidos en las penetraciones efectuadas en dirección radial; y
- o Valor de dureza perpendicular tangencial, **Qpt**, expresándolo mediante el promedio de los dos valores obtenidos en las penetraciones efectuadas en dirección tangencial.

CAPÍTULO 31 — VIDRIO

31.1 PROPIEDADES

Sensoriales

- **Textura:** La superficie de los vidrios puede variar en cuestiones de brillo, esto depende del proceso de fundido en el que se haya quedado. Un vidrio completamente fundido presenta un brillo, porque el vidrio se nivela y aplanar cuando se funde, formando una superficie extremadamente lisa, dicha homogeneidad es una muy buena característica del material pues lo hace mas fácil de limpiar.

Cuando un vidrio no se funde completamente en el proceso de cocción o en su defecto su viscosidad es todavía alta, la superficie resulta ser rugosa y por lo tanto con tendencia a *mate*; el vidrio *mate* es a la vez opaco por el defecto en la aspereza de su superficie haciendo que no haya transparencia.

El vidrio *mate* puede hacerse a propósito si se somete al vidrio a un enfriado lento. Los vidrios *mate* son muy atractivos para usos artesanales, con la única ventaja que son difíciles de limpiar.

- **Color:** En cuestiones del color en los vidrios, el color es originado por los elementos que se agregan en el proceso de fusión, llamados colorantes.

Tabla 31.1.1. Colores de los vidrios de acuerdo a su composición. [43]

Elemento	Color
Óxido de cobalto	Rojo azulado
Óxido ferroso	Azul
Óxido férrico	Amarillo
Óxido de cromo	Verde grisáceo
Trióxido de cromo	Amarillo
Óxido de cobre	Verde azulado
Óxido de uranio	Verde amarillento fosforescente
Selenio elemental	Rosa
Sulfuro de cadmio coloidal	Amarillo

Físico-químicas

- **Densidad:** Varía según su composición, en un vidrio comercial es del orden 2,5Kg./cm².

Debido a los distintos tipos de vidrios que pueden ser fabricados, las densidades varían de acuerdo a la sustancia con la que sean complementados; normalmente un vidrio puede tener densidades relativas (con respecto al agua) de 2 a 8, lo cual significa que hay vidrios que pueden ser mas ligeros que el aluminio y vidrios que puedan ser mas pesados que el acero.

La densidad en un vidrio aumenta al incrementar la concentración de óxido de calcio y óxido de titanio. En cambio si se eleva la cantidad de alúmina (Al₂O₃) o de magnesia (MgO) la densidad disminuye.

- **Viscosidad:** La viscosidad es definida como la propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas; generalmente un material viscoso es aquel que es muy denso y pegajoso.

La viscosidad en materia de vidrios es muy importante porque esta determinará la velocidad de fusión.

La viscosidad es una propiedad de los líquidos, lo cual parecerá confuso para el estudio del vidrio, pero la realidad es que un vidrio es realmente un líquido sobre enfriado, lo cual significa es un líquido que llega a mayores temperaturas que la de solidificación. La viscosidad va variando dependiendo de los componentes del vidrio. Para lograr una mayor dureza, la viscosidad debe ser invariable, que no baje ni suba, así sus moléculas tienen una atracción fija y por lo tanto dureza.

- **Resistividad eléctrica superficial:** Es la resistencia que presenta el vidrio al paso de la corriente eléctrica, la cual es muy alta en este material, 108 veces más alta que en el cobre, lo cual hace al vidrio muy popular en el diseño de partes y máquinas eléctricas.

- **Constante dieléctrica:** Es la capacidad de almacenar energía eléctrica, la *opacidad* y la constante dieléctrica están relacionadas de manera inversamente proporcional, siendo que mientras más transparente sea el vidrio, mayor será su capacidad para almacenar energía.
- **Óptica:** Las propiedades ópticas se pueden decir de manera concisa, que una parte de la luz es "refractada", una parte es "absorbida", y otra es "transmitida".

Cada una de ellas llevara un porcentaje de la totalidad del rayo de luz que hizo contacto con el vidrio. El prisma de color que se crea del otro lado del vidrio va del color rojo al color violeta, de los cuales los extremos dan lugar también a las luces no perceptibles por el ojo humano, infrarrojo y la ultravioleta. Es el color de la luz que "sale" del vidrio la cual pasa a través de este, y todos los demás colores del prisma son absorbidos por el vidrio, claro que, son vidrios muy particulares los cuales logran solamente dejar pasar la luz ultravioleta o la infrarroja, pero gracias a la tecnología actual se han logrado las condiciones precisas para lograr esto.

- **Aislamiento acústico:** Por efecto de masa, un vidrio grueso presenta un índice de aislamiento acústico mayor que uno de poco espesor. EL vidrio de fuerte espesor es muy efectivo para aislar el ruido del tránsito automotor, caracterizado por presentar una baja frecuencia promedio.

No obstante, ciertos ruidos como los producidos por las aspas de un helicóptero, de muy baja frecuencia requieren soluciones más sofisticadas para alcanzar los niveles de aislamiento deseados. Siempre debe tenerse presente que el valor final de aislamiento acústico de una abertura depende también de su cierre hermético al paso del aire.

En obras de reemplazo de vidrios y/o renovación de aberturas, con exigencias de aislamiento contra el ruido, deberá tenerse en cuenta que para que el usuario perciba una mejora respecto de la situación anterior, el incremento de aislamiento acústico deberá ser no menor de 5 a 7 dB. L

En casos de áreas muy ruidosas, el nivel de aislamiento deberá ser mayor para alcanzar el confort acústico deseado.

- **Componentes.**

Tabla 31.1.2. Composición en porcentaje de distintos tipos de vidrios. [43]

Vidrios	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	B ₂ O ₃	MgO	PbO	Otros
Sílice Fundido	99							
Vycor	96				4			
Pyrex	81	2		4	12			
Jarras de vidrio	74	1	5	15		4		
Vidrio para ventana	72	1	10	14		2		
Vidrio Plano	73	1	13	13				
Focos	74	1	5	16		4		
Fibras	54	14	16		10	4		
Termómetro	73	6		10	10			
Vidrio de Plomo	67			6			17	10% K ₂ O
Cristal óptico	50			1			19	13% BaO, 8% K ₂ O, ZnO
Vidrio óptico	70			8	10			2% BaO, 8% K ₂ O
Fibras de vidrio - F	55	15	20		10			
Fibras de vidrio -S	65	25				10		

- **Corrosión:** El vidrio tiene como característica muy importante la resistencia a la corrosión, en el medio ambiente son muy resistentes y no desisten ante el desgaste, he ahí por lo cual los vidrios son utilizados incluso para los experimentos químicos. Aunque su resistencia a la corrosión es muy buena no quiere decir que sea indestructible ante la corrosión, existen cuatro sustancias que logran esta excepción.
 - Ácido Hidrofluorídrico.

- Ácido fosfórico de alta concentración.
- Concentraciones alcalinas a altas temperaturas.
- Agua "super calentada".

Mecánicas

- **Compresión:** El vidrio tiene una resistencia a la compresión muy alta, su resistencia promedio a la compresión es de 1000 MPa; lo que quiere decir que para romper un cubo de vidrio de 1 cm por lado es necesaria una carga de aproximadamente 10 toneladas. La figura indica los distintos porcentajes de compresibilidad para los distintos vidrios dependiendo de las temperaturas.
- **Tensión:** Durante el proceso de fabricación del vidrio comercial, el vidrio va adquiriendo imperfecciones (grietas), no visibles, las cuales cuando se les aplica presión acumulan en esfuerzo de tensión en dichos puntos, aumentando al doble la tensión aplicada. Los vidrios generalmente presentan una resistencia a la tensión entre 3000 y 5500 N/cm², aunque pueden llegar a sobrepasar los 70000 N/cm² si el vidrio ha sido especialmente tratado.
- **Flexión:** La flexión de los vidrios es distinta para cada composición del vidrio. Un vidrio sometido a flexión presenta en una de sus caras esfuerzos de compresión, y en la otra cara presenta esfuerzos de tensión (Ver figura 8). La resistencia a la ruptura de flexión es casi de 40 Mpa (N/mm²) para un vidrio pulido y recocido de 120 a 200 Mpa (N/mm²) para un vidrio templado (según el espesor, forma de los bordes y tipos de esfuerzo aplicado). El elevado valor de la resistencia del vidrio templado se debe a que sus caras están situadas fuertemente comprimidas, gracias al tratamiento al que se le somete.
- **Torsión:** La resistencia a la torsión de un material se define como su capacidad para oponerse a la aplicación de una fuerza que le provoque un giro o doblez en su sección transversal. Los vidrios en su estado sólido tienen resistencia a la torsión, en cambio en su estado fundido son como una pasta que acepta un grado de torsión que depende de los elementos que el sean adicionados.
- **Dureza:** En la escala de Mohs resiste el rayado de 5 a 7.

Tecnológicas

- **Maleabilidad:** Los vidrios presentan maleabilidad cuando se encuentran en su etapa de fundición pues pueden ser moldeados y es la etapa de maleabilidad del vidrio, pues es donde se les da las formas deseadas ya sea por moldes o por cualquier otro método. Los principales métodos empleados para moldear el vidrio son el colado, el soplado, el prensado, el estirado y el laminado.

Ecológicas

- **Toxicidad:** No contiene sustancias nocivas para el medio ambiente.

Los vidrios en sí no son comunes de encontrarse en la naturaleza por sí solos, ya que para que exista un vidrio, tiene que existir un proceso de fabricación.

Sin embargo sus materias primas, como lo son las arcillas son encontradas en mucha proporción en la tierra pues como anteriormente se mencionó, es el resultado del desgaste con el tiempo de la tierra, e incluso en algunos segmentos la arcilla estorba para procesos.

31.2 ENSAYO

V.1 ENSAYO DEL PÉNDULO

NORMA: UNE EN 12600

OBJETIVO. Determinar el comportamiento del vidrio bajo un impacto humano simulado.

EQUIPO

- El impactador. Constituido por dos cubiertas unidas entre sí, infladas a una presión de 3,5 bar con un peso adicional de 50 kg. es el más representativo al impacto humano.

ÁREAS CONSIDERADAS DE RIESGO. Las áreas que han sido determinadas de riesgo tienen un mínimo de recomendaciones en cuanto al vidrio a usar, teniendo en cuenta el comportamiento habitual del usuario, la posición y el tipo de sujeción.

Dichas áreas comprenden los siguientes puntos:

- o Puertas.
- o Paneles laterales a una puerta.
- o Áreas vidriadas de baja altura.
- o Áreas en baños y natatorios (mamparas, barandas, etc.).
- o Puertas, paños laterales a una puerta y áreas vidriadas de nivel bajo con espejo.
- o Áreas de riesgo especial (gimnasios, lugares donde las actividades realizadas generen mucho movimiento).
- o Áreas con divisiones vidriadas al mismo nivel (frentes donde el vidriado transparente no pueda percibirse con facilidad).

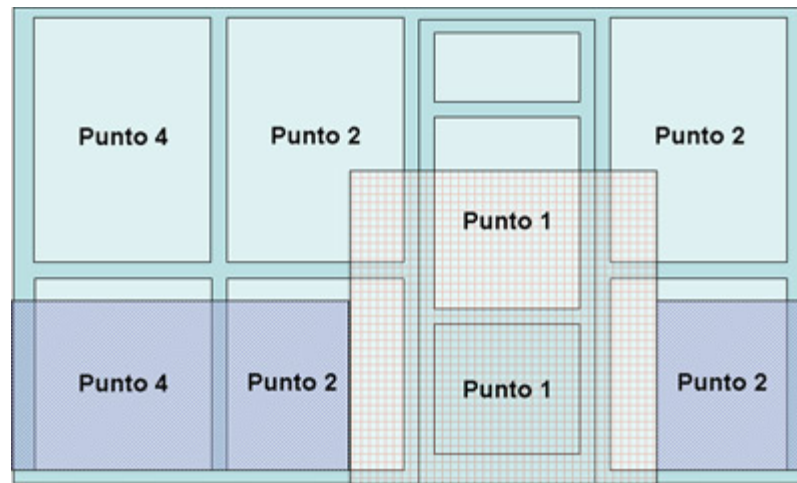


Fig. V.1.1. Áreas sometidas a esfuerzos. [43]

CONDICIONES GENERALES PARA EL ENSAYO. Los distintos tipos de vidrio que pueden ser sometidos a este ensayo son los siguientes:

- o **Vidrio Plano:** producto de vidrio en forma de lámina o placa transparente, translúcida u opaca, incolora o de color, que se obtiene por los procesos de estirado, colado, laminado o flotado.
- o **Vidrio de seguridad:** el fabricado o tratado de manera tal que el riesgo, en caso de rotura por accidente, se reduce notablemente.
- o **Vidrio laminado:** está constituido por dos o más capas unidas entre sí por una capa de polivinil-butiral o resinas, que en caso de rotura se fragmenta en trozos no cortantes ni filosos que quedan adheridos a la intercapa.
- o **Vidrio laminado antibalas:** está constituido por varias capas de vidrio unidas entre sí por capas de polivinil-butiral o resinas que resisten el impacto de balas.
- o **Vidrios de seguridad templado:** está sometido a un tratamiento térmico que consiste en un calentamiento seguido de un enfriamiento rápido, aumentando de este modo su aptitud para resistir esfuerzos exteriores y que en caso de rotura se fragmenta en trozos pequeños sin bordes cortantes.
- o **Vidrio asimétrico:** presenta diferentes espesores o condiciones mecánicas en una cara con respecto a la otra (ejemplos: vidrio laminado en dos espesores diferentes, vidrio templado, pintado en una de sus caras).

PROBETAS. Las probetas para el ensayo deben ser rectangulares de $865\text{mm} \pm 3\text{ mm} \times 1930\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$ y la cantidad necesaria a evaluar no debe ser menor a cuatro. En caso que la aplicación en obra sea de un tamaño menor al requerido en la norma, se ensayarán las muestras a escala real, constando en el informe que los resultados indicados son válidos únicamente para ese tamaño.

PROCEDIMIENTO. Se toma una probeta y se coloca en el marco porta probetas. Se iza el impactador a la primera altura de caída requerida por la norma verificando que quede centrado con respecto al ancho de la probeta y se libera formando un arco pendular golpeando la probeta.

RESULTADOS. El vidrio plano de seguridad se clasifica en tres clases (A, B, C), según su comportamiento al impacto realizado según la norma IRAM 12559. El vidrio, según su clase, no deberá romperse, y si lo hace deberá romperse en forma segura durante el ensayo de impacto, es decir que los fragmentos resultantes de la rotura no resulten peligrosos, cuando la altura de caída es:

- o Clase A: 300mm, 450mm y 1200mm
- o Clase B: 300mm y 450mm
- o Clase C: 300 mm

Tabla V.1.1. Requisitos necesarios para ser clasificados de acuerdo a la altura de caída del impactador. [43]

Resistencia al impacto			
Clase	Altura de caída 300mm	Altura de caída 450mm	Altura de caída 1200mm
A	No se rompe, o se rompe en forma segura		
B	No se rompe, o se rompe en forma segura		Ningún requisito
C	No se rompe o se rompe en forma segura	Ningún requisito	Ningún requisito

Tabla V.1.2. Los vidrios planos templados de seguridad, ensayados cumplirán con lo indicado en la siguiente tabla. [43]

Fragmentación			
Espesor nominal	Ancho(mm)	Largo máximo(mm)	Masa máxima de cada uno de los fragmentos (g)
6	= 6	40	9
	> 6	60	
10	= 10	50	14
	> 10	70	

CAPÍTULO 32 — PLÁSTICO

32.1 PROPIEDADES

Físico-químicas

- **Densidad:** 1,37 a 1,42 Kg/dm.³
- **Impermeabilidad:** Totalmente impermeable.
- **Conductividad térmica:** Buen aislante térmico.
- **Conductividad térmica:** Buen aislante térmico.
- **Coefficiente de dilatación lineal:** 0,000.060 a 0.000.080 m/°C/m.

Tabla 32.1.1. Propiedad, norma y unidades. [45]

PROPIEDAD	NORMA	UNIDADES
Peso específico	D 792	1.42 gr./cm ³ a 25°C
Absorción del agua	NTP 399.004	< 40 g/m ²
Estabilidad dimensional	NTP 399.086	A 150 C < 5%
Coefficiente de dilatación térmica	D 696	0.08 MM / M / °C
Inflamabilidad	NTP 399.007	AUTOEXTINGUIBLE
Coefficiente de fricción		nManning = 0.009 ; CHazen-williams =150
Punto vicat	NTP ISO 2507	> 80°C
Constante dieléctrica	D 150	A 103 - 106 Mz:3.0 - 3.8

Aun cuando los polímeros son intrínsecamente malos conductores de la electricidad (aislantes), esta propiedad puede ser alterada agregando ciertos aditivos. Esto se logra en determinados plásticos agregando grafito finamente pulverizado, mientras que en otros la conductividad se consigue tratando el polímero con radiaciones gamma.

- **Ópticas:** Los plásticos presentan una gama muy amplia de propiedades ópticas. Así, en cuanto a la refracción de la luz, los polímeros pueden ser opacos, translucidos o transparentes. Algunos son muy brillantes, otros no la reflejan y sus superficies son de tipo mate. Las propiedades ópticas mencionadas anteriormente, combinadas con la adición de colorantes, le proporcionan a los objetos de plástico una apariencia muy atractiva.
- **Aislamiento acústico:** Es un buen aislante acústico.
- Resisten a los disolventes, ácido y bases débiles.
- Son atacados por ácidos y bases fuertes (sobre todo).
- Completamente inocuo.
- PVC (Cloruro de polivinilo), para cables, cuerina, indumentaria, caños.

Desde el punto de vista químico, los plásticos, a bajas temperaturas, son generalmente más resistentes a los ambientes que atacan a los metales, al concreto y a la madera.

En general, los plásticos resisten los ataques del agua, pero son muy sensibles a la luz solar (rayos ultravioletas) y soportan bien los ataques atmosféricos.

Mecánicas En la tabla 32.2 se pueden observar los valores de resistencias.

Tabla 32.1.2. Propiedad, norma y unidades. [45]

PROPIEDADES	NORMA	UNIDADES
Resistencia a la compresión	D 695	610-650 Kg/cm ²
Resistencia a la tracción	D 638	560 Kg/cm ²
Resistencia a la flexión	D 790	750-780 Kg/cm ²
Tensión de diseño		100 Kg./cm ³
Dureza BRINELL	D 676	1200
Módulo de elasticidad	D 638	30000 Kg/cm ²

Ecológicas

- **Toxicidad:** La producción de plástico es altamente contaminante. Repercuten negativamente en el ambiente porque ocupan en los rellenos sanitarios espacios innecesarios. La búsqueda de nuevos tipos de plásticos está a la vanguardia de la investigación y el desarrollo tecnológico.
- **Reciclabilidad:** Algunos plásticos son completamente reciclables. Todos los plásticos, háganse como se hagan tienen la propiedad común de maleabilidad.

Utilizando la tecnología apropiada, la producción de plástico es totalmente eficiente, pues no hay desperdicios. Los restos de plástico regresan nuevamente al proceso productivo. Los gases emitidos en su producción también se aprovechan.

CAPÍTULO 33 — PINTURA

LISTA DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES

P.1 NIEBLA SALINA.....	ASTM B 117 - 90
P.2 HUMEDAD.....	ASTM D 1735 - 87

33.1 PROPIEDADES

Físico-químicas

- **Permeabilidad:** velocidad con la que puede migrar el agua a través de la película. La velocidad disminuye al aumentar el espesor de la película.

Influye en la formulación de las pinturas, siendo importante seleccionar el material menos permeable.

- **Adherencia:** Íntimo contacto a nivel molecular o atómico de dos productos importantes para que la corrosión no progrese por debajo del sustrato y se mantenga en un ambiente corrosivo.

Depende de la relación entre el recubrimiento y el sustrato.

El agua constituye una fuente de fallas cuando penetra a través del recubrimiento. Debido a un proceso químico llamado ósmosis la penetración se acelera.

Las fuerzas térmicas también atacan la adherencia, especialmente cuando se han formado películas muy gruesas a lo largo de varios años (desconchamiento)

- **Corrosión:** Una pintura debe proporcionar al sustrato una protección frente a la corrosión. Muchos recubrimientos son resistentes al agua y productos químicos, pero pueden fallar por discontinuidad de la película. Los agentes químicos presentes en el medio ambiente son: ácidos, álcalis, sales, agua e intemperie:

- **Ácidos:** Por lo general su corrosividad aumenta con la concentración y la temperatura. Suelen afectar bastante al acero.

Para proteger al sustrato se recomienda:

- **Para inmersión:** revestimientos sólidos de resinas vinílicas.
- **Para no inmersión:** pinturas vinílicas de elevado espesor.

- **Álcalis:** gran variedad (sosa cáustica, cal...).

- **Sales:** se comportan como ácidos o álcalis.

- **Sales ácidas:**

- **Para inmersión** se recomiendan revestimientos sólidos vinílicos.
- **Para no inmersión**, habrá que eliminar los cristales de sal depositados en la superficie, seguido de un lavado con agua dulce y con un chorreado abrasivo.

- **Sales neutras:** fuerte corrosividad para el acero.

- **Para inmersión** se recomienda silicato inorgánico de zinc, recubierto con resina epoxi. En ocasiones recubrimientos sólidos.

- **Para no inmersión**, recubrimientos inorgánicos de zinc.

- **Sales alcalinas:** tienen el mismo comportamiento que las anteriores.

Mecánicas

- **Dureza:** Es la conjunción de varias cualidades físicas. Los ensayos que se realizan son la resistencia al rayado y la dureza del péndulo.

- **Flexibilidad:** Se requiere cierto grado para que el recubrimiento pueda soportar vibraciones, cambios de temperatura y deformaciones de las estructuras. Es fundamental la resistencia al impacto.
- **Resistencia a la abrasión:** cuando la pintura se aplica sobre superficies que soportan un intenso tráfico: arrastre de objetos pesados o superficies expuestas al flujo de un líquido que contiene materias sólidas en suspensión.

33.2 ENSAYO

P.1 NIEBLA SALINA

NORMA: ASTM B 117 - 90

MATERIALES. Se efectuarán sobre probetas de ensayo del mismo material que el tablero a pintar, paneles de aproximadamente 76x127x0, 8 Mm., las cuales deben ser preparadas con la misma tecnología y productos usados para el tablero por el laboratorio certificador de los ensayos.

PROCEDIMIENTO.

- Con una lámina cortante se realizan dos cortes de la capa de pintura hasta la base metálica de modo de formar una "X" sobre la superficie de los paneles a ensayar.
- Se someten estos paneles a 480 horas de exposición en cámara de niebla salina (Solución al 5 % de NaCl en agua), manteniéndolos en posición vertical y con la superficie cortada hacia el atomizador.

RESULTADOS. No deben aparecer ampollamientos y la penetración máxima en los cortes trazados será de 2 mm.

P.2 HUMEDAD

NORMA: ASTM D 1735 – 87

MATERIALES. Se efectuarán sobre probetas de ensayo del mismo material que el tablero a pintar, paneles de aproximadamente 76x127x0, 8 Mm., las cuales deben ser preparadas con la misma tecnología y productos usados para el tablero por el laboratorio certificador de los ensayos.

PROCEDIMIENTO. Se colocan las probetas de ensayo, paneles, en posición vertical, en una cámara de Atmósfera controlada a:

- Humedad Relativa: 99% \pm 1%
- Temperatura: 38°C \pm 1°C
- Tiempo de exposición: 240 horas
- Luego del ensayo no deben observarse:
 - Cambios de color
 - Ampollas
 - Pérdida de adhesión
 - Ablandamiento
 - Resquebrajamiento
- Las probetas son evaluadas al salir de la cámara, sin dejar transcurrir tiempo de recuperación.

CAPÍTULO 34 — ASFALTOS Y MATERIALES BITUMINOSOS

ÍNDICE DE DESIGNACIONES

AS.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS.....	ASTM D 70 / AASHTO T 228
AS.2 PUNTO DE LLAMA Y PUNTO DE FUEGO (CLEVELAND).....	ASTM D 92 / AASHTO T 48
AS.3 PUNTO DE LLAMA (TAGLIBUE).....	ASTM D 3143
AS.4 VISCOSIDAD SAYLBOLT FUROL.....	ASTM D 244 AASHTO T59-97
AS.5 PENETRACIÓN.....	ASTM D 5 / AASHTO T 49
AS.6 ENSAYO DE LA MANCHA.....	AASHTO T 102-83
AS.7 DUCTILIDAD.....	ASTM D 113 / AASHTO T 51
AS.8 AGUA EN PRODUCTOS BITUMINOSOS.....	ASTM D 1461
AS.9 DESTILACIÓN.....	ASTM D6997 AASHTO T59-97
AS.10 PELÍCULA DELGADA.....	ASTM D 1754 / AASHTO T 179-05

34.1 PROPIEDADES

Físico-químicas

➤ Densidad típica de los asfaltos (g./cm³):

Tabla 34.1.1. Densidad típica. [48]

Asfalto	Temperatura °C					
	15	25	50	100	150	200
280/320	1.01	1.00	0.99	0.96	0.94	0.91
180/200	1.02	1.01	1.00	0.97	0.95	0.92
80/100	1.03	1.02	1.01	0.98	0.96	0.93
60/70	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93
20/30	1.05	1.04	1.03	1.00	0.97	0.94
Oxid. 85/25	1.03	1.02	1.01	0.98	0.95	0.93
Oxid. 85/40	1.02	1.01	1.00	0.97	0.94	0.92
Oxid. 115/15	1.03	1.02	1.01	0.98	0.95	0.93

➤ Viscosidad:

Tabla 34.1.2. Viscosidad. [48]

Rango penetracion en	Viscosidad en cst						
	20.000	5.000	2.000	1.000	200	100	50
180/200	70	85	100	110	140	155	175
80/100	80	95	105	120	150	170	190
60/70	85	100	115	125	155	175	195
50/60	90	105	115	125	160	175	200
40/50	90	110	120	130	165	180	200
30/40	95	110	125	135	170	185	210
20/30	100	120	130	145	175	195	220
10/20	115	130	140	155	190	205	230
Rango en pen / P.A.							
85/25	125	145	160	170	205	225	250
85/40	130	145	160	170	200	220	245
115/15	165	185	205	215	255	-	

- **Adhesividad:** Es un material muy adhesivo, eso se puede comprobar al tacto.
- **Impermeabilidad:** Es un material de bastante impermeabilidad, es por este motivo que es utilizado en impermeabilizaciones.
- **Consistencia:** sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.
- **Conductividad térmica** es alrededor de 0.16 W/metro.°C (0.14 kcal/metro.hora.°C).
- **Coefficiente de expansion cúbica:** del asfalto es alrededor de 0.0006 /°C.
- **Aislamiento térmico:** El asfalto es moderadamente un buen material **aislante térmico**.
- Puede **fluir** bajo la acción del calor.
- **Resistividad / Conductividad Eléctrica:** El asfalto tiene una alta resistencia (o una baja conductividad) y es en consecuencia un buen material aislante. La resistencia de todos grados comerciales decrece con el incremento de la temperatura.

Tabla 34.1.3. Resistividad. [48]

Temp. °C	Resistencia (ohm/cm)
30	10^{14}
50	10^{13}
80	10^{12}

- **Resistencia Dieléctrica:** Depende de las condiciones del ensayo y el Angulo de los electrodos. Asfaltos duros tienen una resistencia dieléctrica más alta que la de asfaltos menos viscosos; la resistencia dieléctrica decrece con el aumento de la temperatura.

Tabla 34.1.4. Resistencia dieléctrica. [48]

Temp. °C	Rigidez Dieléctrica (Kv/mm)
20	20-30
50	10

- **Constante Dieléctrica:** Es alrededor de 2.7 a 20°C, llegando a 3.0 a 30°C. La pérdida dieléctrica aumenta con el incremento de la temperatura, pero decrece con la frecuencia.

Tabla 34.1.5. Pérdida Dieléctrica. [48]

Pérdida Dieléctrica			
temperatura °C	tangente delta (50 ciclos/seg)	frecuencia (ciclos/seg)	tangente delta (20°C)
20	0.015	50	0.015
50	0.017	10^5	0.006
80	0.029	10^6	0.003
100	0.045	10^7	0.001

- **Resistencia del asfalto a los químicos:** El asfalto es generalmente considerado con alta y buena resistencia al ataque a los químicos tales como **ácidos, sales, álcalis**, etc. Información general sobre la resistencia a las propiedades es como sigue:
 - Resistencia al ataque se incrementa con la dureza del asfalto.
 - Asfaltos oxidados son mas resistentes que los asfaltos directos de penetración.
 - Asfaltos desasfaltizados con propano tienen una buena resistencia al ataque químico.
 - Agregando un 5% de una parafina dura (punto de fusión por encima de 60°C) al asfalto pueden mejorar la resistencia al ataque de ácidos.
 - El ataque químico sobre el asfalto es peor cuando se incrementa la temperatura, se incrementa el tiempo y se incrementa la concentración del químico.

- El ataque sobre un asfalto inmerso en un químico líquido es más severo que si el ataque se realiza con el mismo químico en forma de gas o vapor.

Mecánicas

- **Resistencia mecánica:** Es capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de cargas permanentes.
- **Plasticidad:** Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente.

Tecnológicas

- **Almacenamiento y manipuleo del asfalto caliente:** Las costras o formación de pieles en tanques de asfalto es causado por el sobre calentamiento en una atmósfera oxidante. Esto puede ser minimizado reduciendo la temperatura de almacenamiento o evitando picos temporarios de temperatura causado por controles deficientes de la temperatura. El asfalto no debe ser almacenado a granel a altas temperaturas. Si la temperatura de aplicación está por encima de los 160°C, se deberá utilizar un pequeño tanque calentador para llegar a esa temperatura y la temperatura en el tanque de estar 50°C por encima del punto de ablandamiento del asfalto en cuestión. Gas inerte como el nitrógeno o el dióxido de carbono puede ser utilizado para reducir la formación de "pieles" en la superficie del asfalto.

Tabla 34.1.6. Límites de temperaturas recomendadas. [48]

Grado	Almacenamiento Prolongado	Tanques de Despacho	Máximas Condiciones de Operatividad
Asfalto de penetración			
penetración > 200	105	155	190
100-200	115	165	200
40-100	125	175	200
penetración <40	140	190	220
Asfalto Oxidados			
Punto Ab. <80	150	175	200
Punto Ab. 80-90	160	190	
Punto Ab. 90-100	175	200	
Punto Ab. >100	200		

34.2 ENSAYOS

AS.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

NORMA: ASTM D 70 / AASHTO T 228

OBJETIVO. Determinar la gravedad específica de un material la relación de su peso en aire a una temperatura dada al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, generalmente a los 25°C y se expresa:

Gravedad específica 25/25°C

Además de dar una indicación de la calidad y origen del material, la gravedad específica es útil para determinar el peso por unidad de volumen de un ligante calentado a la temperatura de aplicación.

MÉTODO DEL PICNÓMETRO. Se usa para bitúmenes simi-sólidos y para emulsiones.

Equipo

- Picnómetro.
- Balanza analítica.
- Termómetro.
- Agua destilada.

Procedimiento y cálculo: Antes de hacer cualquier determinación, el picnómetro y su tapón se deben limpiar bien, secar y pasar en la misma balanza analítica. Este peso es llamado peso "a".

Después se llena el picnómetro con agua destilada hervida, a 25°C, se inserta el tapón firmemente, se seca bien exteriormente y se pesa. Este peso es llamado peso "b". Si el ensayo se está haciendo con asfaltos o alquitranes de curado lento (road oils o rad tras), el material se calienta hasta 25°C y se vierte en el picnómetro hasta llenarlo teniendo cuidado en evitar burbujas de aire. Luego se inserta firmemente el tapón y se limpia el picnómetro de todo exceso de agua. Se pesa y el peso así obtenido es llamado "c". La gravedad específica se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{c - a}{b - a}$$

Si el ensayo se está haciendo con alquitranes y productos asfálticos, los cuales son demasiado viscosos para que se pueda usar el método anterior, deberá derretirse una pequeña cantidad de material por aplicación lenta de calor, teniendo el cuidado de evitar pérdidas por evaporación. Cuando esté suficientemente fluido, se vierte en el picnómetro bastante material para llenarlo hasta la mitad. Se debe tener la precaución de evitar que el líquido se adhiera a las paredes del tubo sobre su nivel final y de impedir la inclusión de burbujas de aire. El tubo deberá calentarse un poco antes de ser llenado.

El picnómetro y su contenido deben enfriarse después a la temperatura del ambiente y pesarse junto con el tapón. Este peso es llamado "c". Luego se llena el picnómetro con agua destilada recientemente hervida y se ajusta el tapón firmemente. Se sumerge completamente por no menos de 30 minutos dentro de un evaporador de vidrio con agua destilada a 25°C, para removerlo después, limpiarlo bien y pesarlo inmediatamente. El peso así obtenido es llamado "d". La gravedad específica se obtiene por medio de la fórmula:

$$\frac{c - a}{(b - a) - (d - c)}$$

Precauciones. Al hacer este ensayo debe tenerse muy en cuenta lo siguiente:

- Úsese solamente agua destilada puara, hervida recientemente.
- La temperatura de los contenidos del picnómetro deberá estar comprendida entre 24° y 26°C.
- Se deben tomar precauciones para impedir la expansión y el derrame de los contenidos debido al calor de las manos cuando se limpia el picnómetro.
- Las burbujas de aire se eliminan al llenar el picnómetro y ajustar el tapón.
- Las pesadas se harán rápidamente y con aproximaciones de 0,001 gr.
- Este ensayo debe hacerse varias veces para asegurarse de la exactitud de los resultados.

Método de Desplazamiento: Para semi-sólidos y sólidos.

Procedimiento: Se pesa un crisol de sílice en aire y luego en agua; el peso obtenido en aire es llamado "a" y el obtenido en agua "b". Se llena el crisol aproximadamente hasta los dos tercios con el material que se quiere examinar. Se eliminan las burbujas de la muestra calentándola en una estufa. Se enfría luego y se pesa. Este peso es llamado peso "c". El crisol con su contenido se sumerge en agua a 25°C por un periodo aproximado de media hora y luego se pesa en agua a 25°C. Este peso es llamado peso "d".

Cálculo: La gravedad específica se calcula por medio de la formula siguiente:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{c - a}{(c - a) - (d - b)}$$

Para bitúmenes sólidos y duros se emplea el siguiente procedimiento:

Con el material que se va ensayar se prepara un cubo con una arista aproximada de media pulgada. Para ello, se calienta la muestra aplicando calor lentamente, evitando pérdidas por evaporación. Cuando la muestra esté suficientemente fluida se vacía en el cubo de bronce de media pulgada de arista, el cual ha sido previamente amalgamado con mercurio, evitando la formación de burbujas. La muestra se retira del molde una vez que éste se encuentre a la temperatura ambiente. El espécimen deberá ser pesado convenientemente primero en aire (peso "a") y luego en agua destilada a 25°C, recientemente hervida (peso "b"), teniendo cuidado en remover las burbujas de aire que se formen. Las pesadas deben hacerse con una aproximación de 0,1 mg.

La gravedad específica será calculada por medio de la fórmula:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{a}{a - b}$$

AS.2 PUNTO DE LLAMA Y PUNTO DE FUEGO (CLEVELAND)

Norma: ASTM D 92 / AASHTO T 48.

OBJETIVO. Determinar el punto de llama y el punto de fuego de todos los productos derivados del petróleo, exceptuando los que tienen un punto de llama inferior a 79°C.

EQUIPO

- o Taza de Cleveland.
- o Calentador eléctrico.
- o Termómetro graduado de -6° a + 400°C.
- o Llama para el ensayo.

PROCEDIMIENTO

- a) Se suspende el termómetro verticalmente, con su extremidad inferior a 0,63 cm del fondo de la taza y a una distancia media entre el centro y la pared de la taza.
- b) Se llena la taza con el material que se va a ensayar hasta que el menisco coincida con la línea de aforo a la temperatura del ambiente. Cuando el ensayo se hace con asfalto y otro producto bituminoso sólido, el material se deberá calentar a una temperatura no menor de 148,9°C, ni mayor de 176,7°C, para tornarlo suficientemente fluido. La taza se llena entonces con el material derretido de la misma manera indicada anteriormente. No se deberán formar burbujas en la superficie del material. Las paredes de la taza, encima de la línea de aforo, deberán estar limpias de material derretido.
- c) La llama de ensayo deberá tener aproximadamente 0,4 cm de diámetro.
- d) El material se calienta en el calentador eléctrico, elevando la temperatura gradualmente a una rata no mayor de 16,7°C por minuto hasta alcanzar una temperatura aproximada de 55,6°C debajo del punto de llama aprobado. De aquí en adelante la muestra se deberá calentar a una rata no mayor de 6,1°C ni menor de 5°C por minuto.
- e) La llama de ensayo se aplicará cada vez que el termómetro registre un aumento de temperatura de 2,8°C.

La llama deberá pasar sobre la muestra en línea recta a través del centro de la taza formando un ángulo recto con el diámetro que pasa a través del termómetro y deberá estar en el plano superior de la taza. Es conveniente que el ensayo se haga en un cuarto un poco oscuro para que la llama pueda observarse claramente.

- f) El punto de llama será la temperatura a la cual la llama aparezca por primera vez en la superficie de la muestra.
- g) Después de que haya determinado el punto de llama, se continua calentando la muestra de la manera indicada anteriormente (5° a 6,1°C por minuto) hasta que la muestra arda continuamente por un periodo no menor de 5 segundos. La temperatura a la cual la muestra arde continuamente durante 5 segundos o más, es el punto de fuego.

AS.3 PUNTO DE LLAMA (TAGLIBUE)

NORMA: ASTM D 3143

OBJETIVO. Determinar el punto de llama de materiales bituminosos que tengan un punto de llama inferior a 175°F.

EQUIPO

- o Aparato de Tagliabue.
- o Termómetros.
- o Llama apropiada.
- o Estufa eléctrica.

PROCEDIMIENTO

- a) Instálase el aparato firmemente, nivelándolo luego.
- b) Llénese la copa metálica con agua a una temperatura mínima de 20°F (11°C), menor que la temperatura probable del punto de llama, teniendo el cuidado de dejar espacio suficiente para la copa de vidrio.
- c) Colóquese la copa de vidrio en el baño de maría. Llénese la copa de vidrio con el material que va a ser ensayado hasta un nivel 5/16 de pulgada debajo de su borde. Asegúrese que no haya material bituminoso en la superficie exterior de la copa ni en la superficie interior sobre la superficie de la muestra. Úsese papel blando para limpiar la copa.
- d) Ajústese el alambre de guía de la llama y suspéndase el termómetro con su bulbo sumergido en la muestra. Calientese luego el baño de manera que la rata de aumento de temperatura sea de 2 ½°F por minuto.
- e) Con líquidos muy viscosos será necesario evitar la muestra continuamente durante el ensayo.
- f) Elimínese las burbujas de aire de la superficie de la muestra antes de empezar el ensayo con la llama.
- g) A las temperaturas de prueba, dadas a continuación, efectúese ensayos con una llama de un diámetro máximo de 1/8 de pulgada, pasándola rápidamente y sin parar a través del alambre guía, en sentido horizontal de izquierda a la derecha.
- h) El punto de llama será la temperatura a la cual la llama aparece por primera vez en la superficie de la muestra.
- i) Temperatura de prueba: Para materiales con un punto de llama de cerca de 80°F (26,7°C), hágase el ensayo a 70°F (21,1°C), después a 75°, 77°, 79°, 81° y 85°F; para otros materiales, efectúese el ensayo inicial a una temperatura aproximada de 20°F (11°C) debajo de su probable punto de llama y luego repítase cada vez que la temperatura suba 5°F (2,8°C).

AS.4 VISCOSIDAD SAYLBOLT FUROL**NORMA: ASTM D 244 AASHTO T59-97**

OBJETIVO. Este ensayo se emplea normalmente para cut backs, emulsiones y road oils, y sirve para determinar el tiempo en segundos necesario para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a cada una de las temperaturas dadas, a través de un tubo de dimensiones estándar. Es necesario dar una serie de temperaturas, porque los asfaltos más viscosos no fluyen con rapidez a través del tubo a la temperatura normal de 77° F (25° C).

EQUIPO

- o Viscosímetro Saybolt Furol.
- o Baño.
- o Frasco calibrado para recibir la muestra de 60 cm3.
- o Termómetros: 19° - 27°C
34° - 42°C
49° - 57°C
57° - 65°C
79° - 87°C
95° - 103°C, 0,2° de precisión.
- o Cronómetro.
- o Pipeta de 2 ml de diámetro interior.
- o Las determinaciones de la viscosidad se deben hacer a 25°, 37,8°, 50°, 60°, 82,2° o 98,9°C.

PROCEDIMIENTO

- a) Las determinaciones de viscosidad se harán en un lugar que no esté sujeto a corrientes de aire ni a variaciones bruscas de temperatura. La Temperatura del ambiente puede variar entre 68 y 86°F pero la temperatura real durante el ensayo deberá ser registrada.
- b) Una vez que el tubo del ensayo haya sido limpiado bien con benzol, ser retira todo exceso de solvente del cilindro de rebase.

- c) La muestra que se va a ensayar se pasa a través de un tamiz de malla N° 100; después se vierte en el tubo una cantidad pequeña de la muestra, suficiente para mojar completamente la superficie del tubo, y se deja drenar. El tapón de corcho se introduce en la parte inferior del tubo no menos de ¼ de pulgada y no más de 3/8 de pulgada y se aprieta firmemente para evitar el escape de aire.
- d) Si la temperatura del ensayo es más alta que la temperatura ambiente, se deberá calentar la muestra hasta no más de 3°F por encima de la temperatura del ensayo y si la temperatura es menor que la del ambiente, la muestra se deberá enfriar hasta no más de 3°F por debajo de la temperatura del ensayo. En ningún caso se calentará la muestra hasta 50°F o menos por debajo de su punto de llama.

La muestra se vierte en el tubo hasta que deje de rebosar dentro del cilindro de rebose, tras lo cual se mantendrá bien revuelta por medio del termómetro. La temperatura del baño se debe graduar hasta que la temperatura de la muestra dentro del tubo sea constante.

- e) Cuando la temperatura haya permanecido constante durante un periodo de un minuto de agitación continua con una variación permisible de 0,2°F, se saca el termómetro y se limpia el exceso de muestra del cilindro de rebose por medio de la pipeta, pero teniendo el cuidado de no golpear el rebosadero. En caso de que éste sea golpeado, se deberá repetir el ensayo.
- f) El frasco de 60 ml se coloca en una posición tal que la muestra que sale del tubo caiga directamente en el cuello del frasco. La marca de calibración del frasco debe estar a una distancia del fondo del baño que puede variar entre 10 y 13 cm.

El ensayo se empieza sacando muy rápidamente el tapón de corcho del tubo. El tiempo transcurrido entre el instante en el cual se saca el corcho y el instante en que el menisco de la muestra alcanza la marca de calibración, en segundos, es la viscosidad Saybolt Furol a la temperatura del ensayo.

La aproximación requerida es de 0,1 seg para viscosidades menores de 200 gr y de 1 seg para viscosidades mayores de 200 segundos.

AS.5 PENETRACIÓN

NORMA: ASTM D 5 / AASHTO T 49

OBJETIVO. Determinar la consistencia de un material bituminoso, expresada por la distancia que una aguja estándar penetra verticalmente en una muestra del material a condiciones de peso, tiempo y temperatura conocidas. Si las condiciones del ensayo no son especificadas, se entiende que el peso total de la aguja y accesorios, el tiempo y la temperatura son respectivamente 100 gr, 5 segundos y 25°C. La penetración se indica en centésimos de centímetro.

EQUIPO

- o Penetrómetro.
- o Recipiente para la muestra.
- o Recipiente grande, capaz de contener el recipiente de la muestra.
- o Aguja estándar.
- o Baño de maría.
- o Termómetro.
- o Soporte para termómetro.
- o Cronómetro.
- o Varilla de vidrio.

PROCEDIMIENTO

- a) La muestra se derrite a la más baja temperatura posible, tras lo cual se revuelve con la varilla de vidrio para expulsar completamente las burbujas de aire y hacerla homogénea. Se vierte luego en el recipiente para la muestra hasta una altura mínima de 15 mm; se deja enfriar durante una hora en un medio ambiente con una temperatura por lo menos de 18° C pero no mayor de 29,5°C evitando que le caiga polvo. Después de enfriada, el recipiente y la muestra deben ser colocados dentro del recipiente auxiliar el cual se sumerge en baño de maría durante una hora. La temperatura del baño de maría debe ser 25°C.

- b) El conjunto formado por la muestra, los dos recipientes y el agua a 25°C contenida en el recipiente auxiliar se coloca en la base del penetrómetro y se pone la aguja en contacto con la superficie de la muestra. El indicador de penetración deberá graduarse en cero o se deberá registrar la lectura inicial, antes de que se suelte por el tiempo especificado.

Deben hacerse por lo menos 3 ensayos a una distancia del borde del recipiente de la muestra no menor de 1 cm y con una separación mínima entre puntos de ensayo de 1 cm. Después de cada ensayo, el conjunto formado por la muestra y los dos recipientes se colocará de nuevo en baño de maría.

CÁLCULO. La penetración se calculará como el promedio de por lo menos tres ensayos con la condición de que la diferencia entre los resultados máximos y mínimo no debe exceder el valor:

$$\frac{\text{Penetración (promedio)}}{100} + 1$$

AS.6 ENSAYO DE LA MANCHA

NORMA: AASHTOT 102-83

OBJETIVO. Este método es aplicable solamente a productos asfálticos derivados del petróleo; no debe aplicarse a asfaltos naturales que contienen materias no bituminosas insolubles en xileno. A los materiales que mediante el uso del solvente normal se clasifican como positivos, se le puede determinar su grado de positividad por medio del "Equivalente de Xileno". El equivalente de xileno será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta normal oxileno y heptano normal, como se especifique, el cual produce una mancha "negativa" para el material en cuestión. Este se conoce como equivalente nafta xileno y heptano xileno, respectivamente. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5% respecto de la mezcla. Cuando no se especifica equivalente xileno, se usa solamente el solvente nafta normal.

EQUIPOS Y MATERIALES

Reactivos

- o La nafta normal es el producto del primer destilado libre de cualquier clase de productos craqueados y que cumpla con los siguientes requerimientos:

Gravedad A.P.I.: 49 – 50

Punto de ebullición inicial: + 149 °C

50% sobre: 168 – 179 °C

Punto final bajo: 210 °C

Nº Anilina: 50 a 63 °C

El Nº Anilina del solvente será determinado como se describe en la norma ASTM D 611.

- o Cuando se especifica el equivalente xileno, será químicamente puro, con un rango de temperaturas de ebullición entre 137– 140°C cuando destila de acuerdo con el método de la norma AASHTO T 115. Ensaye para destilación de gasolina, nafta, kerosene y productos similares del petróleo.

- o El heptano normal debe cumplir con los siguientes requerimientos:

ASTM Motor Octone Number: 0,0 ± 0,2

Densidad a 20 °C (g/ml): 0,68375 ± 0,00015

Índice refracción N_d a 20 °C: 1,38775 ± 0,00015

Punto de congelamiento (°C): - 90,72 mínimo

50% recuperado (°C): 98,43 ± 0,05

Incremento de 20 a 80%

Recuperado (°C): 0,20 máximo

Accesorios

- o Frascos de 50 ml capacidad, cualquiera de los dos modelos, Florence de boca ancha y fondo plano o modelo Soxhlet de aproximadamente 45 mm de diámetro por 60 mm de alto.
- o Corcho para frasco provisto con un tubo de vidrio de 200 mm de largo por 6 mm de diámetro.
- o Papel filtro Whatman N° 50 de 70 mm de diámetro.
- o Placa de vidrio. Limpie una placa lisa de vidrio claro, primeramente con tetracloruro de carbono, enseguida lave con jabón y agua, seque frotando, limpie con un limpia vidrio adecuado, seque frotando y deje libre de polvo e hilos. Después de este tratamiento de limpieza aplique una gota de la mezcla de asfalto sobre el vidrio, déjelo fluir hasta que se forme una mancha elíptica. Si la mancha es dentada y de contorno quebrado, nuevamente limpie el vidrio con un limpia vidrio adecuado hasta que una gota de la mezcla de asfalto fluya sin las características descritas.
- o Pipeta o bureta con 0,1 ml de graduación.
- o Termómetro de precisión ASTM 64 C que cumpla con los requerimientos de la norma ASTM E 1.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRA. Para asfaltos sólidos o semisólidos haga el ensaye al material original; para asfaltos líquidos del tipo curado lento que tengan menos del 15% de volumen destilado bajo 360°C según metodo A0402: Método de Ensaye de Destilación de Asfaltos Cortados; el ensaye puede hacerse sobre el material original excepto en casos de discusión, cuando se ha ejecutado en el residuo de la destilación especificado anteriormente. Para el resto de los asfaltos líquidos el ensaye en todos los casos se ejecuta sobre el residuo proveniente de la destilación.

PROCEDIMIENTO

- a) Pese una muestra de $2 \pm 0,02$ g e introdúzcala en el frasco; si no fluye fácilmente a la temperatura ambiente caliente el frasco con la muestra cuidadosamente, hasta que pueda extenderse en una película delgada que cubra el fondo del frasco y permita que enfríe a temperatura ambiente.
 - a.1 Con la pipeta o bureta introduzca en el frasco 10,2 ml del solvente especificado; ponga rápidamente el corcho con el tubo de 200 mm de largo, tome el frasco del cuello, y dé vueltas en forma de remolino, con un movimiento rápido durante 5 s. Introduzca lentamente el frasco en un baño de agua hirviendo por un lapso de 55 s (menos el caso de una muestra de un líquido delgado el cual no es necesario calentar).
 - b.1 Retire el frasco del baño y gírelo en su eje durante 5 seg., introdúzcalo nuevamente por otros 55 seg.; repita el procedimiento minuto a minuto, hasta que obtenga la dispersión total, observada inclinando el frasco y girándolo.
- b) Una vez completa la dispersión, baje el tubo de vidrio hasta sumergirlo en la solución y déjelo enfriar durante 30 min. a temperatura ambiente. La mezcla solvente asfalto se calienta por 15 min. en un baño de agua y se mantiene a la temperatura de $32 \pm 0,5^\circ\text{C}$; luego se agita completamente por medio de una varilla de vidrio limpia y con ésta se deja caer una gota de la mezcla caliente sobre el papel filtro Whatman N° 50. Después de 5 min. se examina la mancha caliente del papel con el brazo estirado, con el plano del papel aproximadamente en ángulo recto a la línea de visión y con una buena fuente de poder (luz día difusa) a la espalda del observador. Si la gota forma una mancha circular café o amarilla – café, con un sólido oscuro o núcleo anular en el centro, el ensaye se reporta como positivo.
- c) Si, de cualquier modo, la gota forma una mancha circular uniforme café, el resultado deberá reservarse y la mezcla con solvente asfáltico dejarse a un lado en el frasco bien tapado y a temperatura ambiente con luz tenue para ser reensayada 24 h después de su primer examen. La mezcla calentada a $32 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 15 min. como antes, debe ser vigorosamente agitada hasta que sea uniforme; coloque una gota nuevamente en el papel filtro. Si la gota de la mezcla de las 24 h aún forma una mancha circular café, el ensaye debe informarse como negativo, pero si un sólido oscuro o núcleo anular como el descrito en el párrafo anterior se forma en el centro de la mancha, el ensaye debe informarse como positivo.

Procedimiento en el caso discutible

- a) En caso de discusión, el ensaye completo debe repetirse. Cualquier pérdida en la masa del solvente durante la dispersión debe completarse con solvente adicional y el frasco, después de la dispersión completa, debe mantenerse con luz tenue y a la temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 h, hasta efectuar el ensaye. Una gota de mezcla con solvente asfáltico calentada por 15 min. a $32 \pm 0,5^\circ\text{C}$ debe colocarse sobre el papel filtro y sobre la placa de vidrio. Si la aparición de la gota en el papel filtro, ya sea con la mezcla preparada fresca o con la de 24 h, sigue en discusión, entonces el ensaye hecho en la placa de vidrio de la manera que se especifica más abajo será definitivo.
- b) La gota de la mezcla de 24 h debe colocarse sobre la placa de vidrio manteniéndola en un ángulo de 45° sobre la horizontal. Si a medida que la gota fluye, ésta desarrolla en el centro de su trayectoria una línea mate sin punta, el exterior de la cual está bien definida contra lo suave, limpio y café lustroso de la zona exterior, cuando el vidrio se examina por luz reflejada contra un fondo oscuro, el ensaye debe informarse como positivo.
- c) Si una gota de la mezcla de las 24 h fluye uniformemente en una película café lustrosa y limpia, sin la línea central que

se describió en el párrafo anterior, el ensaye se informará como negativo.

Método equivalente de xileno

- a) Cuando el método usado es por "equivalente de xileno", el ensaye es el mismo especificado antes, excepto que el solvente deberá estar compuesto ya sea por xileno y la nafta normal o por xileno y un heptano normal, según se especifique.
- b) Para determinar el xileno equivalente, dos o más muestras de lasfalto por examinar deben dispersarse en la mezcla del solvente prescrito. El porcentaje de xileno se hace variar mediante incrementos sucesivos de 5% en volumen con respecto de la mezcla, hasta que se encuentren dos soluciones con asfalto, una de las cuales muestre una mancha positiva, mientras que la siguiente (en la cual el solvente contenga 5% más de xileno) muestre una mancha negativa. El xileno equivalente puede informarse como el porcentaje de xileno en los dos solventes usados en estas dos soluciones, por ejemplo: 10 – 15% de nafta xileno equivalente o 20 – 25% heptano xileno equivalente, según sea el caso.
- c) Cuando la aceptación de un material se basa en el xileno equivalente especificado, el porcentaje más bajo exacto de xileno que produce una mancha negativa no necesita determinarse. La muestra puede ensayarse con solvente compuesto de los porcentajes especificados de xileno y nafta normal o xileno y heptano normal, según se requiera, y cualquier material que muestre mancha negativa para este solvente debe informarse como menor que el xileno equivalente particular para el cual ha sido diseñado, por ejemplo: menor que 20% de nafta xileno equivalente o menor que 35% Heptano xileno equivalente.

AS.7 DUCTILIDAD**NORMA: ASTM D 113 / AASHTO T 51**

OBJETIVO. Determinar la distancia en centímetros que una muestra normalizada de un producto asfáltico puede alargarse antes de romperse. Este ensayo se realiza con los cementos asfálticos y con los residuos destilación de los "cut backs", "road oils" y emulsiones. Este ensayo se hace con una briqueta moldeada del material que se va a probar, desgarrando las dos extremidades de la briqueta a una velocidad de 5 cm (\pm 5%) por minuto, a una temperatura de $25^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

EQUIPO

- o Aparato de ductilidad.
- o Moldes para Briquetas.
- o Platinas de bronce.
- o Termómetro.
- o Baño maría.

PROCEDIMIENTO:

- a) El material bituminoso que se va ensayar se derrite completamente a la mínima temperatura posible, luego se pasa por un tamiz de malla N° 50 y después de haber sido revuelto cuidadosamente, se vierte en el molde.

El molde y la platina deberán amalgamarse interiormente antes de echar la muestra. Además la platina deberá estar bien nivelada para que haya contacto completo entre ésta y el fondo del molde. Mientras se está llenando el molde, se deberá tener el cuidado de no tocarlo pues esto podría deformarse la briqueta.

Después de vertido, se deja enfriar el material 30 o 40 minutos a la temperatura ambiente y luego se sumerge en baño de maría a la temperatura de ensayo especificada durante otros 30 minutos, después de los cuales, se extrae el exceso de material con una espátula caliente de manera que el molde quede exactamente lleno hasta su borde superior.

- b) La platina de bronce y el molde con la muestra se sumergen de nuevo en baño de maría por un periodo de 85 y 95 minutos; después se saca la briqueta de la platina, y se quitan las partes laterales del molde. El ensayo se empezará inmediatamente.
- c) Los huecos circulares de las extremidades de los moldes se conectan con los pasadores del aparato de ductilidad y se pone a funcionar el motor. La distancia que la muestra puede alargarse antes de romperse es la medida de la ductilidad y se expresa en centímetros.

Mientras se hace la prueba, el agua en el tanque del aparato de ductilidad deberá cubrir la muestra, tanto por encima como por debajo, no menos de 2,5 cm y estar siempre a la temperatura especificada $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Un ensayo normal se define como aquel en que la muestra se alarga hasta que el área sea solamente un punto o línea y se rompe exactamente en el lugar en que el área es mínima. La ductilidad de la muestra será el promedio de tres ensayos normales.

Si la muestra en el tiempo de la prueba toca el fondo del baño o la superficie del agua, el ensayo no será considerado normal, la gravedad del baño se puede ajustar con alcohol metílico o con cloruro de sodio, para evitar así la condición anterior.

Si no se puede obtener un ensayo normal después de tres ensayos consecutivos, se dice que la ductilidad no es determinable a las condiciones especificadas para el ensayo.

AS.8 AGUA EN PRODUCTOS BITUMINOSOS

NORMA: ASTM D 1461

OBJETIVO. Determinar el porcentaje de agua en un producto bituminoso, destilando la muestra junto con un solvente volátil.

EQUIPO

- o Frasco de vidrio.
- o Calentador eléctrico.
- o Condensador de vidrio y accesorios.

Solventes:

- o Si la muestra es un producto derivado del petróleo, el solvente será gasolina pura.
- o Si la muestra es un producto derivado del alquitrán, el solvente será nafta derivada de alquitrán.

PROCEDIMIENTO

- a) Cuando la muestra contiene menos de 10% de agua, se ponen exactamente 100 ml de la muestra en el frasco de vidrio y luego se mezclan bien con un volumen igual de solvente. Si el material se mide por volumen, se debe usar un cilindro graduado de 100 ml transfiriendo luego la muestra al frasco de calentamiento, usando el solvente para lavar todo el residuo de muestra del cilindro. Esto se debe hacer por medio de 50 ml de solvente permitiendo que el cilindro quede bien drenado y luego por dos veces consecutivas usando 25 ml de solvente. Se debe permitir el drenaje completo después de cada operación de lavado. Si la muestra que se va ensayar contiene más de 10 por ciento de agua, el volumen de la muestra se debe disminuir para que el volumen de agua destilado sea menor que 10 ml (que es la capacidad del tubo graduado que recibe el producto de la destilación).
- b) Se calienta la muestra después de haber montado todo el aparato, regulando el calor de modo que el producto de condensación caiga a razón de 2 a 5 gotas por segundo.

Se continua la destilación de la manera indicada, hasta que no haya agua visible en ninguna parte del aparato excepto en el tubo que recibe el producto de la destilación. El volumen de agua condensada, medido a la temperatura de ambiente, multiplicado por 100 y dividido por el volumen original de la muestra, es el porcentaje de agua en volumen del material bituminoso.

AS.9 DESTILACIÓN

NORMA: ASTM D6997 AASHTO T59-97

OBJETIVO. Determinar la cantidad de sustancias volátiles que se desprenden de un material bituminoso a una determinada temperatura.

El ensayo consiste en calentar 200 ml del material en un frasco de 500 ml y medir las cantidades de sustancias volátiles que se desprenden al destilar la muestra a las distintas temperaturas especificadas. El residuo obtenido a una temperatura de 360°C se usa en otros ensayos.

EQUIPO

- o Frasco de 500 ml..

- o Condensador y accesorios.
- o Recipientes para el residuo.
- o Termómetro graduado de 0 a 400°C.

PROCEDIMIENTO

- a) Si la muestra original contiene más de 2% de agua, extraíga-se el agua por medio del aparato usado en el ensayo, "Agua en Productos Bituminosos".
- b) Se pesan 200 ml de la muestra usando la gravedad específica del material a 15,5°C y se vierten en el frasco de 500 ml. Se monta el aparato y se calienta la muestra de manera que la primera gota de productos de destilación caiga en el cilindro graduado en un tiempo que puede variar entre 5 y 15 minutos.

- c) La destilación debe hacerse a las ratas siguientes:

De 50 a 70 gotas por minuto hasta 260°C; de 20 a 70 gotas por minuto entre 260 y 316°C.
El tiempo necesario para completar la destilación entre 316° y 360°, no deberá exceder 10 minutos.

En caso de formarse espuma en la muestra, se debe disminuir la velocidad de destilación pero se deberá reasumir la velocidad especificada lo más rápidamente posible. Si la espuma persiste, se controlará la destilación aplicando la llama al borde exterior del frasco en vez de aplicarla al centro del número. Se debe registrar el volumen de volátiles destilados a las temperatura especificadas.

- d) Cuando el termómetro indique 360°C, se apagará el mechero e inmediatamente se vertirá el residuo en un recipiente especial. El tiempo transcurrido entre el momento en que se apaga el mechero y el momento en que se vierte el residuo no debe exceder 10 segundos.
- e) Mientras dura el ensayo, la extremidad inferior del termómetro deberá estar a 6,5 mm del fondo del frasco. Manténgase el cilindro graduado de 100 ml en baño de maría entre 12,8° y 18,3°C, con el agua el nivel de la graduación de 100 ml.
- f) El volumen del residuo a 360°C será calculado como la diferencia entre el volumen de la muestra original y el volumen del producto de destilación hasta 360°C. También se deben registrar los porcentajes en volumen de los productos de destilación a las siguientes temperaturas:

190°C, 225°C, 260°C y 316°C.

Expresados como porcentajes del producto total de destilación a los 360°C.

AS.10 PELÍCULA DELGADA

NORMA: ASTM D 1754 / AASHTO T 179-05

OBJETIVO. Determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este tratamiento son determinados para la medida de las propiedades asfálticas antes y después del ensayo (AASHTO T 179-94).

Este método indica la susceptibilidad aproximada de la dureza o pérdida de la ductilidad del cemento asfáltico, durante el mezclado en una mezcladora a una temperatura cercana a los 150°C. Si esta temperatura es apreciablemente menor que 150°C, el endurecimiento en el mezclador y el cambio en la ductilidad, deben ser menores que el cambio en el horno; si se usa una mayor temperatura de mezclado, cambios mayores pueden ocurrir en la dureza y ductilidad.

EQUIPO Y MATERIALES

- o Horno. Utilice un horno eléctrico que cumple con los requerimientos de la norma ASTM E 145 de Hornos tipo IB, para operarlo a temperaturas superiores a 180° C; tendrá un plato perfectamente centrado como se describe en 4, montado sobre el eje en el que debe girar.
 - Construcción. El horno debe ser rectangular con dimensiones interiores (excluyendo el espacio ocupado por los elementos de calor) no menores que 330 mm en cada dirección; tendrá al frente una puerta herméticamente ajustada con bisagra, la que debe permitir una visión completa del interior. La puerta debe tener la ventana de dimensiones no menores que 100 x 100 mm y dos planchas de vidrio separadas por un espacio de aire; debe permitir observar un termómetro vertical que debe leerse sin abrir la puerta; puede también estar provisto con una puerta de vidrio interior, por entre la cual el termómetro puede ser observado abriendo la puerta exterior momentáneamente. El horno estará adecuadamente ventilado por corrientes de aire por convección y, para este propósito, estará provisto de aberturas para la entrada y salida del aire caliente y vapores. Las aberturas pueden ser de cualquier tamaño y su distribución estará de acuerdo con los requisitos de ASTM E 145, Tipo IV.
 - Plato giratorio. El horno debe estar provisto de un platillo metálico circular de diámetro mínimo de 250 mm y de una

superficie lisa para apoyar los platillos, sin obstaculizar el aire circulante a través del plato, cuando en su superficie son colocados los platillos. El plato estará suspendido por un eje vertical y centrado con respecto a las dimensiones horizontales interiores cuando en su superficie son colocados los platillos del horno y se le aplicará, con un medio mecánico de rotación, una velocidad de $5,5 \pm 1$ rpm. El plato estará verticalmente localizado cerca del centro del horno, según lo permitido de acuerdo con 8, para observar la ubicación del termómetro.

- o Termómetro. Un termómetro ASTM para pérdidas por calentamiento, que tenga un rango de 155 a 170°C y cumpla con los requisitos para termómetros 13C de la norma ASTM E 1.
- o Platillos. Un receptor cilíndrico de 140 mm de diámetro interior y 9,5 mm de profundidad, con el fondo plano. Una muestra de 50 mi en un platillo de este tamaño da una película con un espesor de 3,2 mm. El platillo debe ser de aluminio o acero inoxidable; los platillos de aluminio tendrán un espesor de aproximadamente 0,75 mm y los platillos de acero inoxidable un espesor de, aproximadamente, 0,60 mm.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- a) Coloque suficiente material para el ensaye en el recipiente adecuado y caliente hasta la condición de fluido. Sea muy cuidadoso de modo que no se produzcan calentamientos locales en la muestra y que la más alta temperatura llegue a estar entre 80 y 100° C, por sobre el Punto de Ablandamiento esperado. Revuelva la mezcla con el termómetro para este fin, durante el período de calentamiento, pero evite incorporarle burbujas de aire. Con la densidad a 25°C, calcule la masa del material equivalente a 50 mi; pese esta cantidad $\pm 0,5$ g en dos recipientes tarados, reuniendo los requisitos de "Equipos y Materiales".

Cuando se desean otros ensayos sobre el residuo como penetración y ductilidad pueden necesitarse más de dos recipientes para proveer el material suficiente para los ensayos.

- b) Simultáneamente, vierta una porción de la muestra dentro del recipiente especificado para determinar la penetración.
- c) Si se desean los valores cuantitativos de la pérdida o ganancia de masa de la muestra, enfríe la muestra ensayada en el horno, a la temperatura ambiente y pese cada muestra separadamente, aproximando a 0,001 g. Si el cambio en la masa no se necesita, enfríe la muestra a la temperatura ambiente antes de ubicarla en el horno como se dispone en el procedimiento b).

PROCEDIMIENTO

- a) Ajuste el horno de modo que el plato rote en un plano horizontal; la máxima inclinación durante la rotación, no será mayor que 3° con la horizontal. Determine la temperatura del horno por medio del termómetro especificado, mantenido al lado del plato circular en posición vertical en un punto equidistante del centro y del borde saliente del plato. Por el extremo del termómetro, el bulbo, debe estar a 6,5 mm sobre la parte superior del plato.
- b) Con el horno a 163°C, rápidamente coloque los platillos con la muestra sobre el plato circular, cierre el horno y comience la rotación del plato. Mantenga la temperatura a $163 \pm 1^\circ\text{C}$ por 5 h después que la muestra ha sido introducida y el horno ha alcanzado la temperatura. El período de 5 h comienza cuando la temperatura alcanza 162°C; en ningún caso el tiempo total que la muestra esté dentro del horno debe ser mayor que 5 h y 15 min. Al concluir el período de calentamiento, quite las muestras del horno. Si el cambio de masa no se está determinando, proceda de acuerdo con 11; si el cambio de la masa se está determinando, enfríe a temperatura ambiente, pese aproximando a 0,001 g y calcule el cambio de la masa sobre la base asfáltica en cada recipiente.

Bajo ninguna circunstancia los materiales asfálticos de diferentes grados deben ensayarse en el horno al mismo tiempo.

Cuando el ensayo completo no puede hacerse en el mismo día y si la pérdida o ganancia en la masa de la muestra está siendo determinada, pese el residuo y almacénelo toda la noche antes de recalentarlo. Si el cambio de masa no está siendo determinado, transfiera el residuo a un recipiente de 240 mi como se describió en 11, antes de almacenarlo toda la noche.

- c) Después de pesar los platillos con el residuo, colóquelos sobre una tabla(s) de cemento asbesto. Coloque la tabla(s) y los platillos sobre el plano circular del horno, mantenido a 163°C. Cierre el horno y rote el plato por 15 min; quite la muestra y las tabla(s) e inmediatamente proceda como se describe
- d) Vierta ambas muestras en un recipiente metálico impregnado en vaselina. Quite todo el material del platillo de 140 mm, raspándolo con una espátula adecuada o un cuchillo con punta. Revuelva la combinación de residuo enteramente, colocándola en un recipiente de 240 mi sobre una placa de calentamiento, manteniendo el material en una condición fluida si es necesario. Vierta el material dentro del recipiente apropiado o molde para la penetración, ductilidad u otro ensaye, si se requiere. Complete los ensayos sobre el residuo por medio de los métodos correspondientes.
- e) Determine la penetración del material vertido dentro de los recipientes normales.

PRECISIÓN

- El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad a 60°C y 135 °C, razón de viscosidad a 60°C, cambio de penetración a 25°C, y cambio de masa obtenidos por este método se dañen la Tabla AS.10.1.

La tabla entrega en la segunda columna la desviación estándar (normal) que han sido encontradas apropiadas para los materiales y condiciones de ensaye descritos en la columna 1.

La tabla entrega en la tercera columna los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos ensayos.

La tabla entrega en la cuarta columna los coeficientes de variación estándar (normal) (como % de la media) que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descrito en la primera columna.

La tabla entrega en la quinta columna los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos propiedades de ensayo expresados en porcentaje de la media.

- Criterios de juicio para otros resultados no han sido evaluados.
- Los criterios para juzgar la variabilidad de otros resultados de ensayo no están disponibles.

TABLA AS.10.1 PRECISIÓN

Material e Índice tipo	Desviación Normal (1S)	Rango aceptable de dos resultados (D2S)	Coefficiente de variación (% media) (1S%)	Rango aceptable de 2 resultados (% media) (D2S%)
Precisión de un solo operador	1,43	4		
Porcentaje de penetración retenida				
Cambio de masa en %			2,9	
No más de 0,4%.(máx.)	0,014	0,04	3,3	8
Mayor que 0,4%.			2	9,3
Viscosidad a 60 °C (140 °F)			5,6	5,7
Viscosidad a 135 °C (275 °F)				
Razón de:				
Viscosidad a 60 °C después del ensaye				16
Viscosidad a 60 °C antes del ensaye				
Precisión entre laboratorios,		8		
Porcentaje de penetración retenida..				
Cambio de masa en %		0,16	14	
No más de 0,4%.(máx)	2,9		11,6	40
Mayor que 0,4%.	0,055		6,4	33
Viscosidad a 60 °C (140 °F)			9,1	18
Viscosidad a 135 °C (275 °F)				
Razón de:				
Viscosidad a 60 °C después del ensaye ⁽¹⁾				26
Viscosidad a 60 °C antes del ensaye				

⁽¹⁾ Precisión entre laboratorios aplicable a cementos asfálticos que tienen razones de viscosidad inferiores a 3.

INFORME

- Informe el valor de la penetración original, la penetración del residuo y la penetración del residuo expresado como el porcentaje de la penetración original.
- Informe la ductilidad u otro resultado de ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo apropiados.
- Cuando se determine, informe el promedio del cambio de masa del material en todos los recipientes usados en los ensayos como el porcentaje de masa del material original.

CONTENIDO**PARTE 3 – DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN**

CAPÍTULO 35 — MÉTODO NORMA ACI.....	1
CAPÍTULO 36 — MÉTODO NORMA ESPAÑOLA.....	5

PARTE 3 – DOSIFICACIÓN

CAPÍTULO 35 — MÉTODO NORMA ACI

PROCEDIMIENTO. Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

1. El primer paso contempla la selección del revenimiento, cuando este no se especifica el informe del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros.
2. La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.
3. Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido.
4. Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. En una segunda tabla aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa.
5. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.
6. Para el sexto paso del procedimiento el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.
7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia. Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.
8. El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.
9. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto el informe ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

EJEMPLO: Para la fundación de un puente se requiere un hormigón que estará expuesto a agua dulce en un clima severo. Se requiere que el hormigón tenga una resistencia f'_{cr} de 21MPa a los 28 días. Las Condiciones dadas de puesta en obra permiten un revenimiento de 25 a 50mm (consistencia plástica, consolidación por vibrado) y el uso de agregados grandes, pero el único agregado grueso, económicamente disponible, de calidad satisfactoria tiene un tamaño máximo de 25mm (1"), proviene de un río cercano, y este será utilizado.

Según ensayos de laboratorio, sobre el agregado, se obtuvieron los siguientes resultados:

	ARENA	GRAVA
Modulo de finura	2.8	7.32
Peso Unitario Varillado (kg/m^3)	-	1522
Gravedad Específica	2.64	2.68
% Absorción	0.7	0.5

Se utilizara cemento Tipo I con una gravedad específica de 3.15.

A continuación se calcularán los materiales por m3 de hormigón:

Paso 1. Revenimiento de 25 a 50 mm.

Paso 2. El agregado tiene una gradación de 25mm (1") a 4.75mm (tamiz N°4)

Paso 3. Se usará hormigón sin aire incluido. De la tabla se obtiene que la cantidad aproximada de agua de mezclado para producir un revenimiento de de 25 a 50mm, para un hormigón con aire incluido y un agregado con un tamaño máximo de 25mm, es 179Kg/m3.

REQUERIMIENTOS DE AGUA DE MEZCLADO Y AIRE INCLUIDO PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

	Agua, Kg/m^3 de hormigón según el tamaño máximo de agregado							
	9.5mm* (3/8")	12.5mm* (1/2")	19mm* (3/4")	25mm* (1")	37.5mm* (1 1/2")	50mm*† (2")	75mm† (3")	150mm† (6")
Revenimiento, mm	Hormigón sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire, en hormigón sin aire incluido [%]	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Hormigón con aire incluido							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
	Contenido promedio de aire en porcentaje según el nivel de exposición							
Exposición Suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5††	1.0††
Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5††	3.0††
Expo. Severa††	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5††	4.0††

* Las cantidades de agua de mezclado que se dan para los hormigones con aire incluido, están basadas en requisitos totales típicos de contenido de aire, como se indica para la "exposición moderada" en esta tabla. Estas cantidades de agua de mezclado son para usarse en el cálculo de los contenidos de cemento para cargas de prueba. Son máximas para agregados angulares que tengan gradaciones aceptables dentro de las especificaciones de la ASTM. Los agregados bien redondeados requerirán aproximadamente 18kg menos de agua para el hormigón con aire incluido. Los aditivos reductores de las cantidades de agua reducirán los requisitos de agua de mezclado en un 5% o más.

† Los valores de revenimiento para hormigón que contiene agregados mayores a 37.5mm (1 1/2") están basados en ensayos de revenimiento después de remover las partículas mayores a 37.5mm (1 1/2") por tamizado.

†† Cuando se usen agregados grandes en hormigones con bajo contenido de cemento, el aire incluido no debe ser dañino a la resistencia. En la mayoría de los casos los requerimientos de agua de mezclado se reducen lo suficiente para mejorar la relación agua cemento y de esa forma compensar el efecto de reducción de resistencia del aire incluido. Generalmente por este motivo para estos agregados grandes los contenidos de aire recomendados para exposiciones extremas deben ser considerados aunque no exista exposición a la humedad ni congelación.

‡‡ Estos valores se basan en la premisa de que se requiere 9% de aire en el mortero de hormigón.

Paso 4. De la tabla, se obtiene que la relación A/C necesaria para producir una resistencia de 21MPa, para un hormigón sin aire incluido, mediante la interpolación entre los datos conocidos es:

**RELACIONES ENTRE LA
RELACIÓN A/C Y LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**

Resistencia a la compresión a los 28 días, MPa	Relación A/C, por peso	
	Hormigón sin aire incluido*	Hormigón con aire incluido**
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

* Los valores se estimaron para hormigón con un contenido de aire menor al 2%.

** Los valores se estimaron para hormigón con un contenido de aire menor al 6%.

$$A/C_{requerido} = \frac{(f'_{cr} - f'_{cr superior}) \cdot (A/C_{superior} - A/C_{inferior})}{f'_{cr superior} - f'_{cr inferior}} + A/C_{superior}$$

$$A/C_{21MPa} = \frac{(21 - 25) \cdot (0.61 - 0.69)}{25 - 20} + 0.61 = 0.67$$

Paso 5. De la información obtenida en los pasos 3 y 4, el contenido requerido de cemento, despejando de la relación A/C, será:

$$\frac{179 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}{0.67} = 267 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Paso 6. La cantidad de agregado grueso es obtenida de la tabla siguiente Para un agregado fino con un modulo de finura de 2.8 y un tamaño máximo de agregado de 25mm, la tabla indica 0.67m³ de volumen varillado seco de agregado grueso, para ser usado en cada m³ de hormigón. Por tanto el peso seco requerido de agregado grueso es:

$$0.67 [m^3] \times 1522 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] = 1020 Kg$$

**VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE
VOLUMEN DE HORMIGÓN**

Tamaño máximo de agregado en mm	Volumen varillado seco de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena *			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Paso 7. Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso establecidas, el material restante para completar 1m³ de hormigón será agregado fino y aire. El requerimiento del agregado fino puede ser determinado bajo el concepto de peso o volumen absoluto como se mostrará a continuación: Por Peso.- De la siguiente tabla se asume que el peso de 1m³ de hormigón con aire incluido, hecho con agregado con un tamaño máximo de 25mm es 2380Kg (Para un primer tanteo, la exactitud de este valor no es relevante). Pesos que ya son conocidos:

Agua de Mezclado	179 Kg
Cemento	267 Kg
Agregado grueso	1020 Kg
parcial	1466 Kg
agregado fino = 2380 - 1466	= 914 Kg

**PRIMERA ESTIMACIÓN DEL PESO DEL
HORMIGÓN FRESCO**

Tamaño máximo de agregado en mm	Primera estimación del peso del hormigón, kg/m ³ *	
	Hormigón sin aire incluido*	Hormigón con aire incluido**
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Por Volumen Absoluto. Con las cantidades de cemento, agua, aire y agregado grueso ya establecidas, el contenido de agregado fino será la diferencia de 1m³ de hormigón menos el volumen ocupado por el resto de los componentes, como se muestra a continuación:

Material	Gravedad Específica, G _s	Densidad (ρ) [Kg/m ³]	Peso calculado de los Materiales [Kg]	Volumen Peso Mat./ρ [m ³]
Agua	1	1000	179	0.179
Cemento	3.15	G _s × γ _w = 3150	267	0.085
Agregado Grueso	2.68	G _s × γ _w = 2680	1020	0.381
Volumen Total de ingredientes, sin el agregado fino				0.645
Volumen de Agregado Fino				1 - 0.645 = <u>0.355</u>
Agregado Fino	2.64	G _s × γ _w = 2640	0.355*2640 = <u>937</u>	

G_s = Gravedad específica de cada material.

γ_w = Peso específico del agua.

El resumen de cantidades de cada material por m³ de hormigón es:

Materiales	Peso [Kg]
Agua de mezclado	179
Cemento	267
Agregado Grueso seco	1020
Arena seca:	
Calculada por peso	914
Calculada por volumen	937

CAPÍTULO 36 — MÉTODO NORMA ESPAÑOLA

PROCEDIMIENTO. Al dosificar un hormigón deben tenerse en cuenta tres factores fundamentales la resistencia la consistencia y el tamaño máximo del árido, que son los datos a partir de los cuales hay que determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos disponibles para obtener el deseado al mas bajo coste posible.

En la siguiente figura se presenta un esquema de la marcha a seguir para dosificar un hormigón.

Condiciones previstas para la ejecución de la obra	Valor aproximado de la resistencia media fcm necesaria en laboratorio para obtener en obra una resistencia característica fck
Medias	$f_{cm} = 1.50 f_{ck} + 20 \text{ kp/cm}^2$
Buenas	$f_{cm} = 1.35 f_{ck} + 15 \text{ kp/cm}^2$
Muy buenas	$f_{cm} = 1.20 f_{ck} + 10 \text{ kp/cm}^2$

Como puede verse en dicho esquema, el orden en que se procede es el siguiente:

1. Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las necesidades de la obra y determinar la resistencia media correspondiente.
2. Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.
3. Determinar la relación Agua/Cemento que corresponde a la resistencia media del hormigón , según el tipo de cemento y áridos empleados.
4. Determinar el tamaño máximo del árido, en función de las características de los distintos elementos de la obra.
5. Estudiar la consistencia más conveniente del hormigón. Según la forma de compactación en obra y, como consecuencia fijar, la cantidad aproximada de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.
6. Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles, para que la curva granulométrica del árido total sea la mas conveniente al hormigón en estudio.
7. Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarios para obtener un metro cúbico de hormigón
8. Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas y, en caso contrario, hacer las correcciones necesarias.

EJEMPLO. Una estructura de hormigón armado. En la que se va a emplear cemento Pórtland I/35 esta calculada a partir de una resistencia característica del hormigón de 200 kg./cm². La compactación se efectuara mediante vibrado, condiciones de ejecución buenas. Dosificar el hormigón.

- 1- RESISTENCIA MEDIA NECESARIA EN LABORATORIO. Aplicando la formula resulta:

$$f_{cm} = 1.35 \cdot 200 + 15 = 285 \text{ kp/cm}^2$$

- 2- RELACION AGUA/CEMENTO. La formula es:

$$C/A = k \cdot f_{cm} + 0.5$$

$$C/A = 0.0054 \cdot 285 + 0.5 = 2.04$$

$$A/C = 1/2.04 = 0.49$$

Valores orientativos de k

Cemento	Aridos rodados	Aridos machacados
Pórtland normal (I/35)	0.0054	0.0035
Pórtland de calida (I/45)	0.0045	0.0030
Pórtland alta resistencia (I/55)	0.0038	0.0026

- 3- TAMAÑO MAXIMO DEL ARIDO. De acuerdo con las dimensiones y armaduras se escoge como valor de la serie de tyler el de 38 mm.

- 4- CANTIDADES DE AGUA Y CEMENTO. Para una compactacion por vibrado con condiciones de ejecución buenas y supuesto que existe una cierta densidad de armaduras, se adopta una consistencia plastico-blanda según la siguiente tabla:

CONSISTENCIA Y FORMAS DE COMPACTACION

Consistencias	Asentamiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactacion
Seca Plástica Blanda Fluida liquida	0 a 2 3 a 5 6 a 9 10 a 15 ≥ 16	Vibrado energético en taller Vibrado energético en obra Vibrado o apisonado Picado con barra No apta para elementos resistentes

Al entrar en la siguiente tabla columna de arido rodado de tamaño maximo 40mm. se encuentran los valores de 170 y 185 litros, escopgiendose como el valor de 170 litros de agua por metro cubico de hormigón

LITROS DE AGUA POR METRO CÚBICO*

Consistencia del hormigón.	Forma de compactación	Asentamiento en el cono de Abrams (cm)	Áridos rodados			Piedra partida y arena de machaqueo		
			80mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	Vibrado energético en taller	0-2	135	155	175	155	175	195
Plástica	Vibrado energético en obra	3-5	150	170	190	170	190	210
Blanda	Vibrado o apisonado	6-9	165	185	205	185	205	225
Fluida	Picado con barra	10-15	180	200	220	200	220	240

El contenido de cemento será:

$170/0.49 = 350$ kg. Por metro cúbico de hormigón

- 5- COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL ÁRIDO TOTAL

OBTENCION DEL MÓDULO GRANULOMÉTRICO

Tamiz mm	Grava % acumulado	Arena % acumulado
76	0	0
38	2.64	0
19	26.48	0
9.5	57.12	0
4.76	69.13	16.2
2.38	100	33.6
1.19	100	51.8
0.59	100	74.2
0.297	100	81.2
0.149	100	100

Módulo granulométrico (grava) = 6.55

Módulo granulométrico (arena) = 3.57

Determinados los modulos anteriores, se encuentra en la tabla el correspondiente a la parabola de fuller para el tamaño maximo del arido de 38mm que es de 5.8

MÓDULO DE FINURA DE ÁRIDOS QUE SIGUEN LA PARÁBOLA DE FULLER

Tamaño máximo del árido en mm	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Módulo de finura	5.21	5.45	5.64	5.82	6.00	6.16	6.29	6.40	6.51	6.60

Se tiene entonces según las formulas

$$3.57(X/100) + 6.55 (Y/100) = 5.8$$

$$X+Y = 100$$

Por tanto:

$$X = 24.59\% \text{ de arena}$$

$$Y = 75.4\% \text{ de grava}$$

CANTIDAD EN PESO

$$170 + \frac{350}{3.1} + \frac{\text{Arena}}{2.6} + \frac{\text{Grava}}{2.6} = 1025$$

$$\text{Arena} = 688 \text{ kg.}$$

$$\Rightarrow \text{Grava} = 1279 \text{ kg.}$$

$$\text{Arena/Grava} = 24.59/75.4$$

DOSIFICACION EN PESO DE UN METRO CUBICO DE HORMIGÓN

Cemento 350 kg.

Agua 170 Lt.

Arena 688 kg.

Grava 1279 kg.

2487 kg./m³ de hormigón.

CONTENIDO

APÉNDICES

APÉNDICE A — MUESTRARIO GRÁFICO

APÉNDICE B — PLANILLAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

PROYECTO

APÉNDICES

APÉNDICE A — MUESTRARIO GRÁFICO

PARTE 1 – GENERALIDADES

CAPÍTULO 2 — AGUA



Fig. A.1. Ciclo hidrológico. [6]



Fig. A.2. Composición de una roca. [9]

CAPÍTULO 3 — ROCA Y AGREGADOS

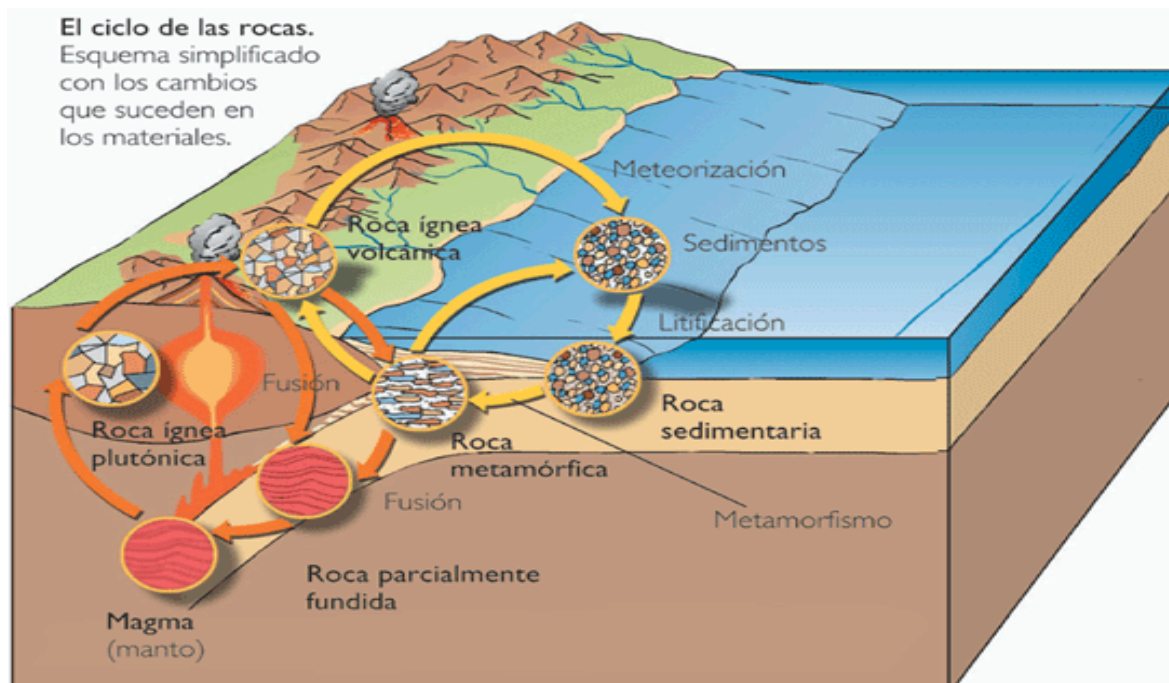


Fig. A.3. Ciclo de formación de las rocas. [9]



Fig. A.4. Rocas sedimentarias detríticas [13].



Fig. A.5. Rocas sedimentarias químicas carbonatadas. [13]



Fig. A.6. Rocas sedimentarias químicas evaporíticas. [13]



Fig. A.7. Rocas metamórficas. [13]



Fig. A.8. Rocas ígneas plutónicas. [13]



Fig. A.9. Rocas ígneas volcánicas. [13]



Fig. A.10. Grava redondeada y chancada. [13]

CAPÍTULO 4 — AGLOMERANTES

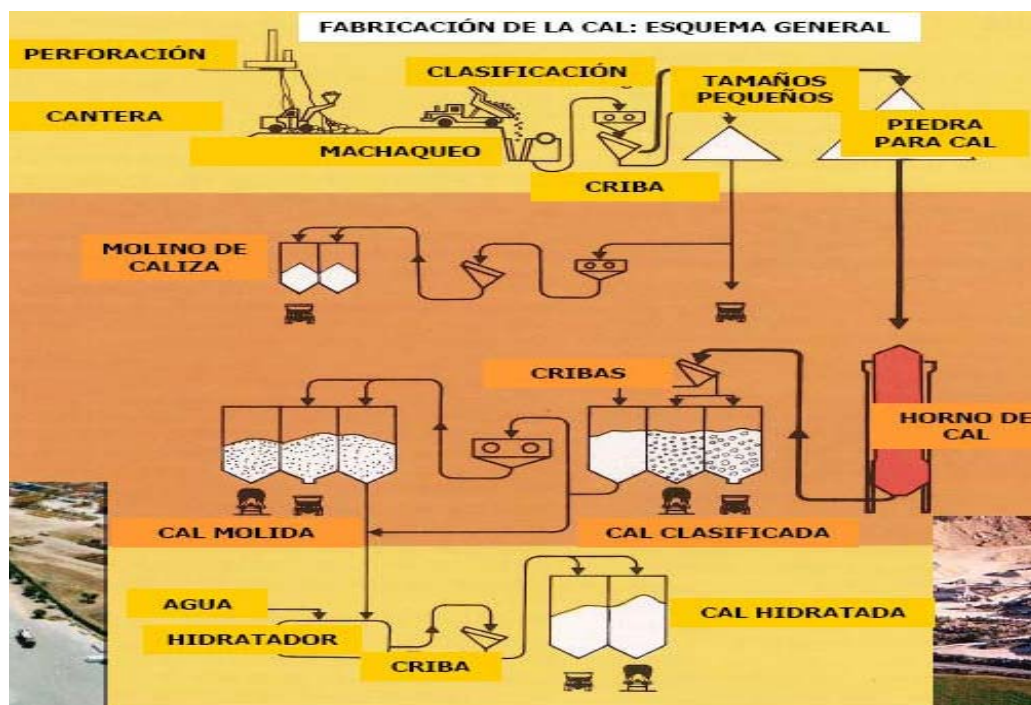


Fig.A.11. Esquema de fabricación de la cal. [17]



Fig.A.12. Yeso Cola[19]



Fig.A.13. Cristal de yeso.[19]



fig.A.14. Yeso Flor del desierto[19]



Fig.A.15. Yeso Selenita [19]

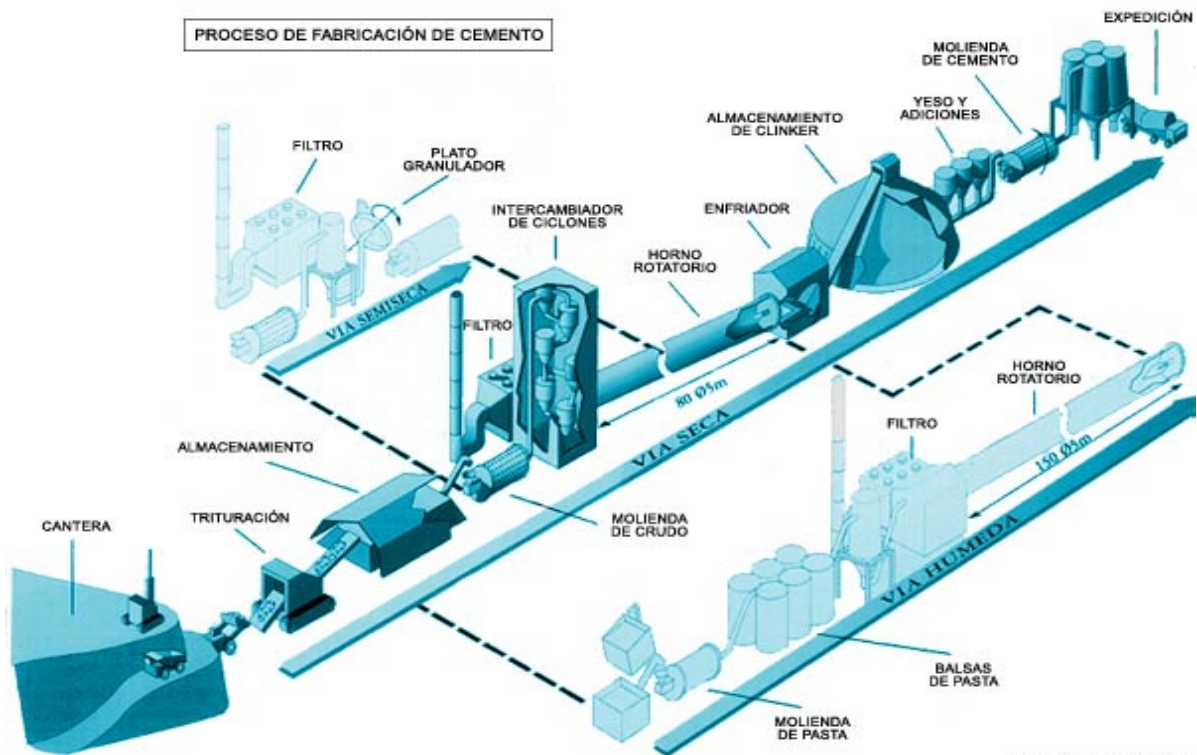


Fig.A.16. Esquema del proceso de fabricación del cemento. [21]

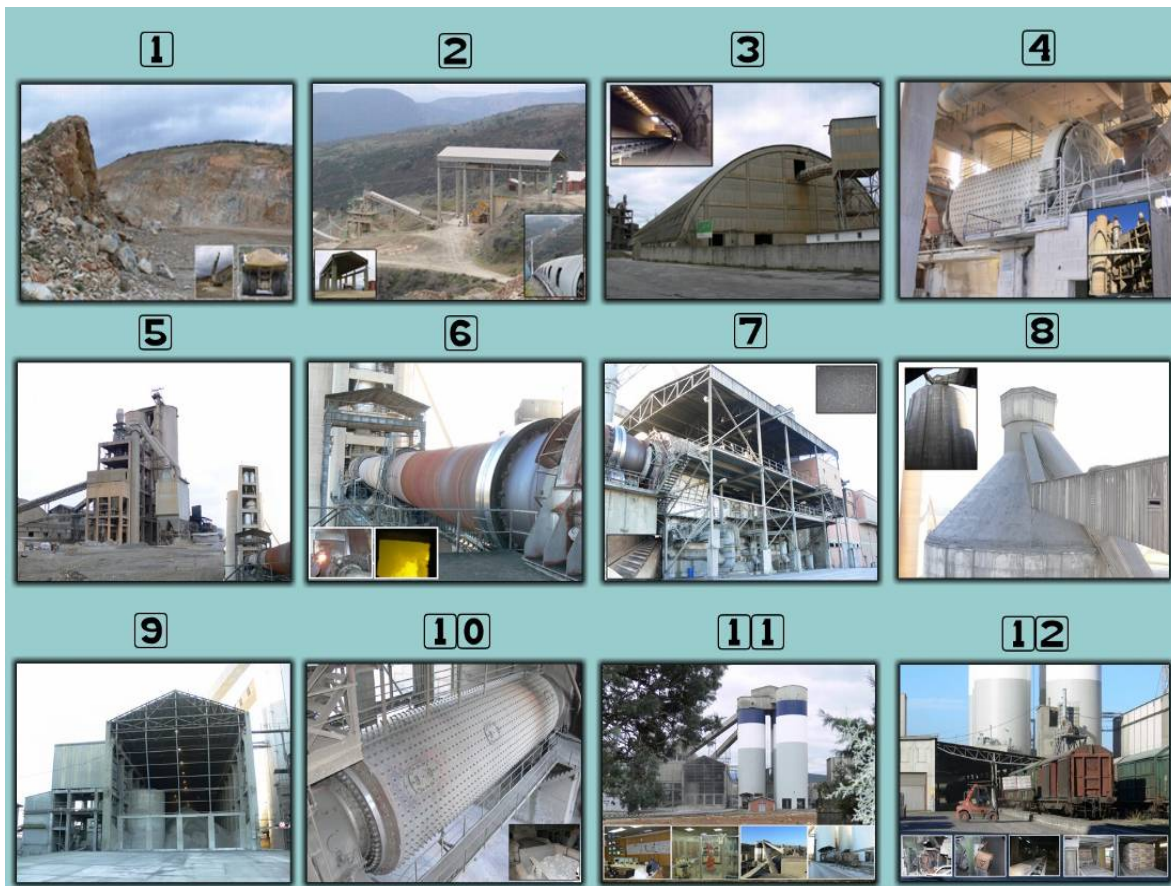


Fig.A.17. Proceso de fabricación. [21]

CAPÍTULO 8 — PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

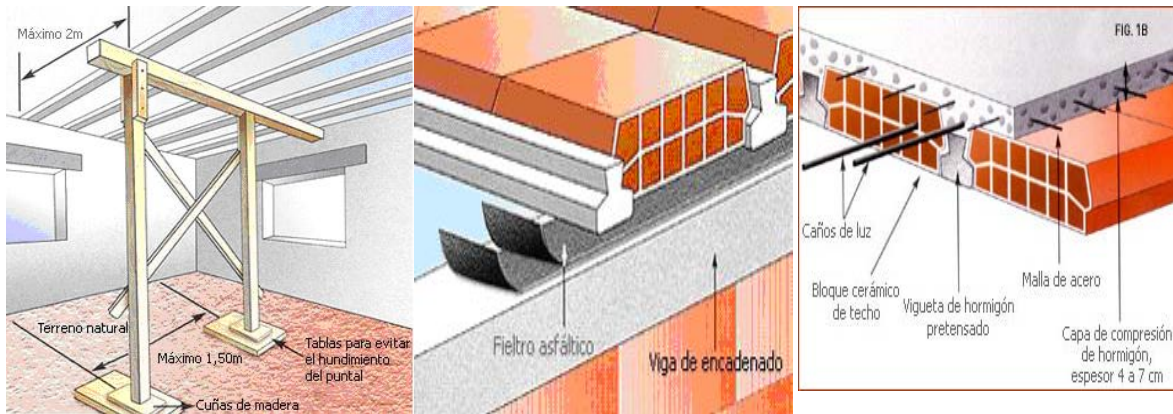


Fig.A.18. Esquema de un apuntalamiento. [29] Fig.A.19. Esquema de montaje. [29] Fig.A.20. Vaciado de la capa. [29]

CAPÍTULO 9 — MATERIALES CERÁMICOS

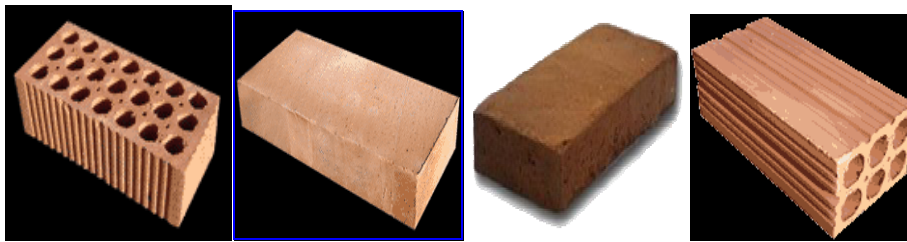


Fig.A.21. Perforado. [34] Fig.A.22. Gambote. [34] Fig.A.23. Tejar. [34] Fig.A.24. Hueco. [34]



Fig.A.25. Tipos de ladrillos / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].

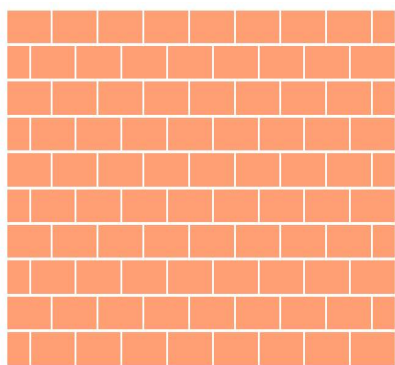


Fig.A.26. Muro tabique. [34]

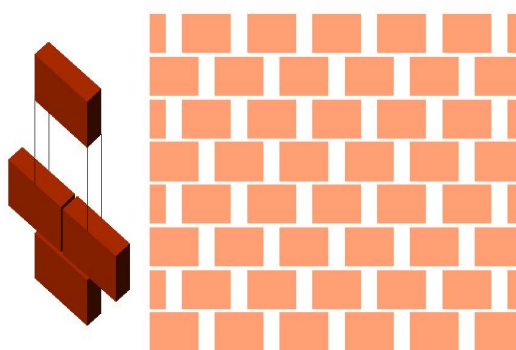


Fig.A.27. Muro palomero. [34]

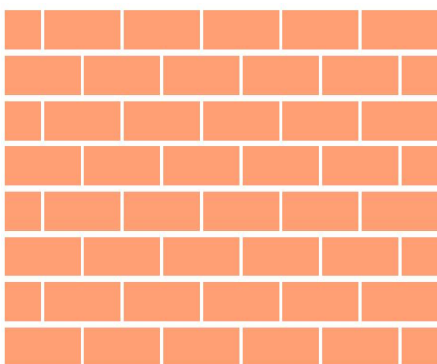
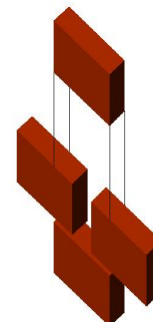


Fig.A.28. Muro soguilla. [34]

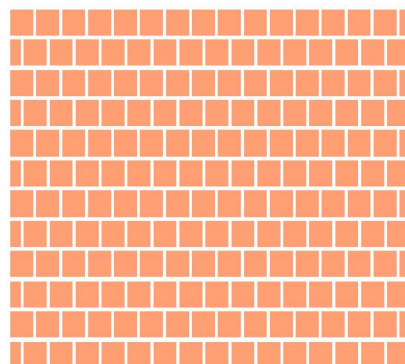


Fig. A.29. Muro semicarga. [34]

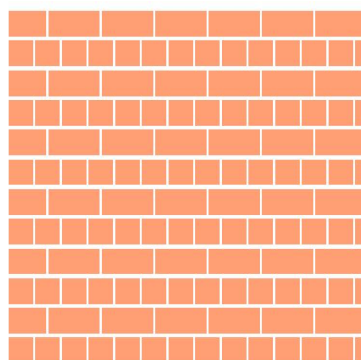
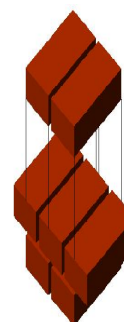


Fig.A.30. Muro semicarga. [34]

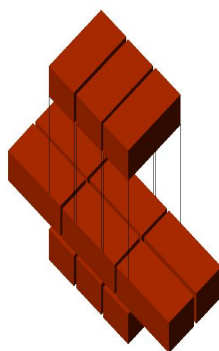


Tabla 1. Aplicaciones y usos de distintos tipos de tejas. [36]

Descripción	Código	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	Peso (Kg)	Rend. Pzas.X ml
	TR	22	5	40	3	16

	CUM	18 cm.	8cm.	40 cm.	3.1	16
	TE	22	5.5	41	3	16
	TC	18	8	50	3	22

CAPÍTULO 10 — MATERIALES METÁLICOS

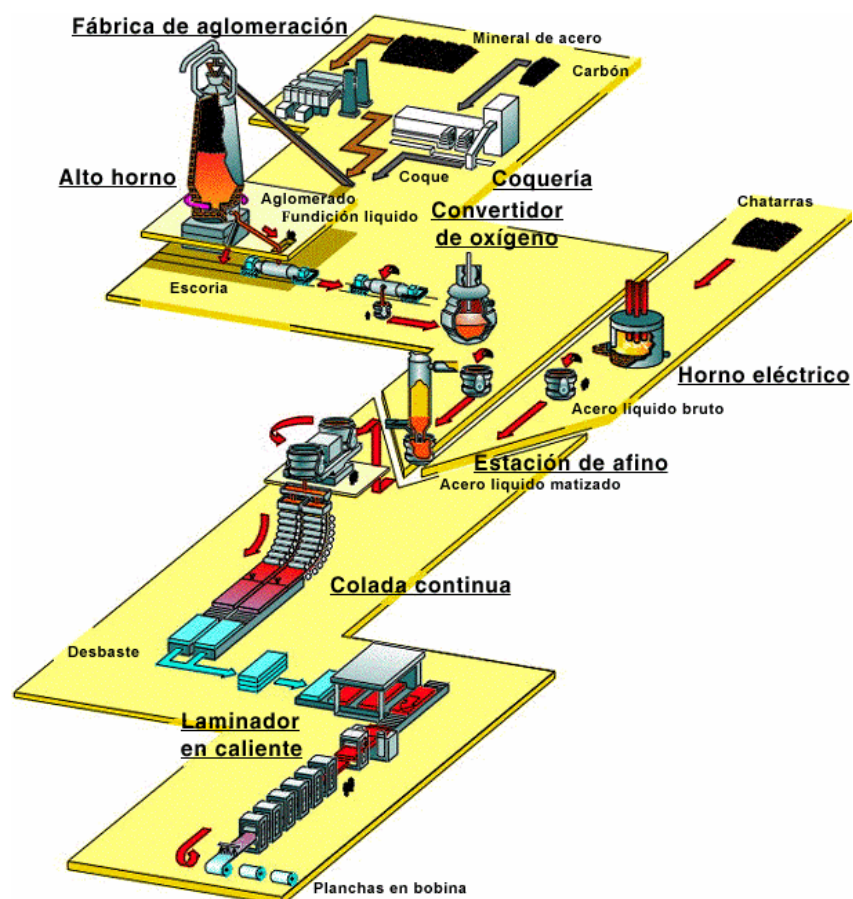


Fig.A.31. Esquema del proceso de fabricación del acero. [40]



Fig.A.32. Ejemplos de materiales metálicos no ferrosos. [40]

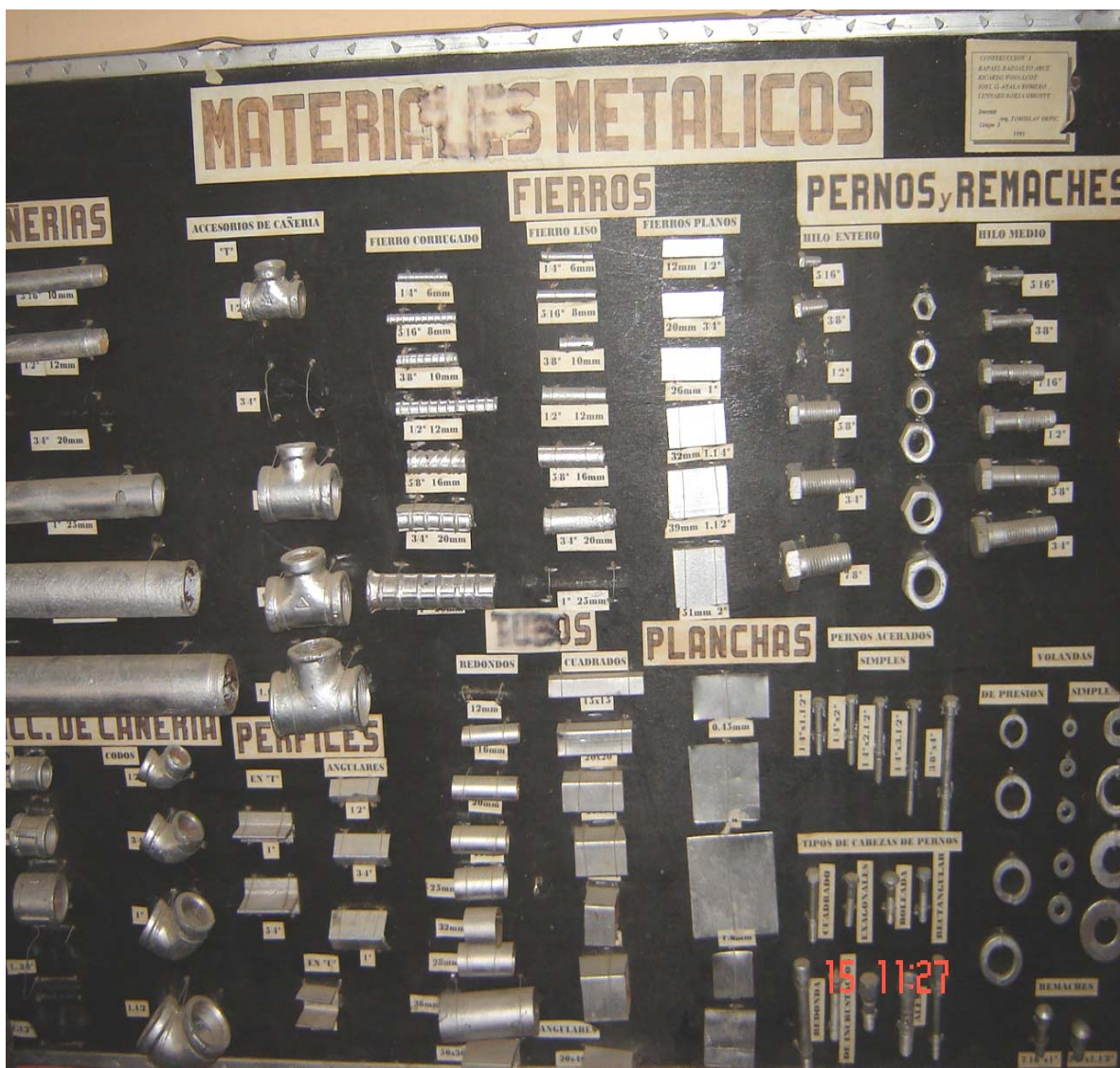


Fig.A.33. Tipos de materiales metálicos / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].

CAPÍTULO 11 — MADERA

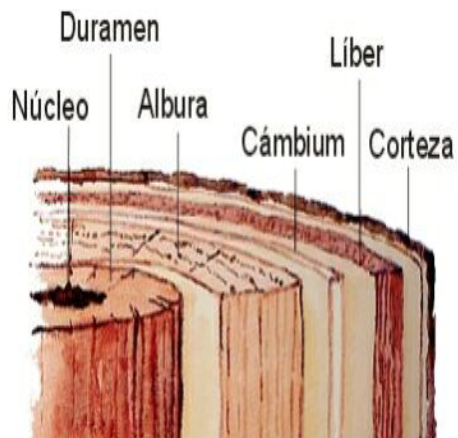


Fig.A.34. Partes de la madera. [42]

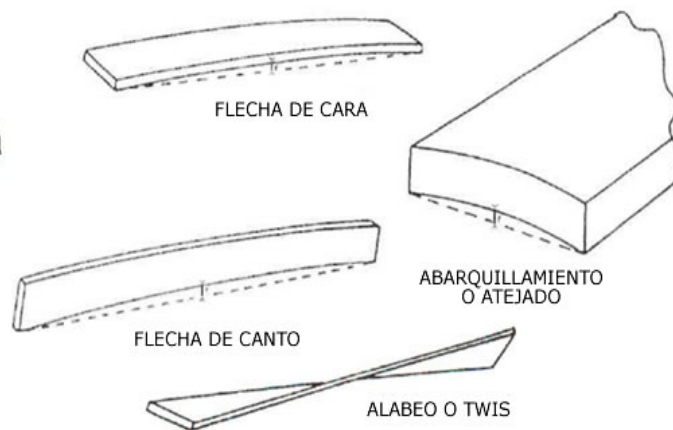


Fig. A.35. Deformaciones de la madera. [42]



Fig.A.36. Tipos de maderas de construcción / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].

CAPÍTULO 12 — VIDRIO



Fig.A.37. Tipos de vidrios / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].

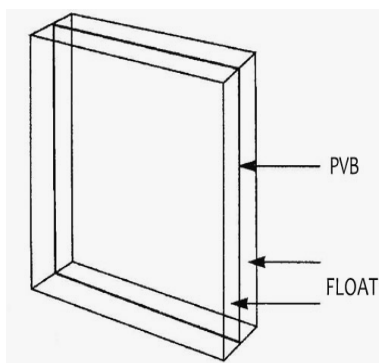


Fig.A.38. Vidrio laminado. [44]

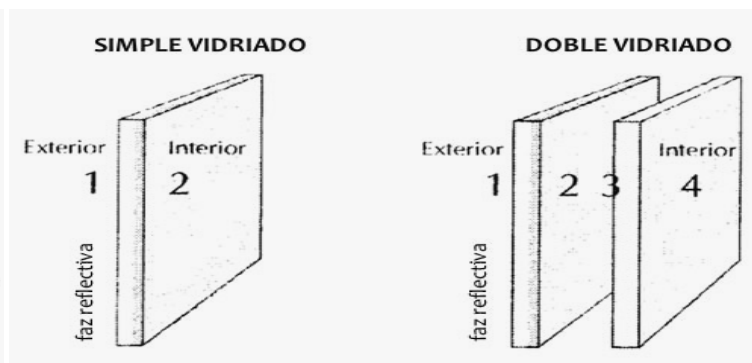


Fig.A.39. Simple y doble vidriado. [44]

CAPÍTULO 13 — PLÁSTICO






Fig.A.40. Los 7 símbolos. [45]



Fig.A.41. Plastoformo / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].






CAPÍTULO 14 — PINTURA

Tabla 1. Tipos de pintura. [47]

	<p>A-05 SINTETICA CON BRILLO PINTURA SINTETICA DE ACABADO BRILLOSO. IDEAL PARA MADERA, METAL Y PAREDES. LAVABLE Y RESISTENTE A LA INTEMPERIE.</p>
	<p>A-06 PINTOLEO PINTURA AL OLEO, ECONOMICA, DE ACABADO BRILLOSO Y DE BUENA RESISTENCIA.</p>
	<p>A-10 SINTETICA MATE PINTURA SINTETICA DE ACABADO MATE. IDEAL PARA MADERA, METAL Y PAREDES. LAVABLE Y RESISTENTE A LA INTEMPERIE.</p>

	A-15 SUPERLATEX PINTURA AL AGUA. ACRILICO PURO, DE ACABADO SEMIMATE ATERCIOPELADO PARA INTERIORES, EXTERIORES Y TECHOS. EXCELENTE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE Y LAVABLE.
	A-16 SATINADA PINTURA AL AGUA DE ACABADO SATINADO SEMIBRILLOSO, PARA LA DECORACION DE INTERIORES Y EXTERIORES.
	A-20 LATEX TRADICIONAL PINTURA AL AGUA PARA INTERIORES Y EXTERIORES, DE ACABADO MATE. EXTRA RESISTENCIA A LA INTEMPERIE Y SUPER LAVABLE.
	A-20 LATEX TROPICAL VERSION PARA CLIMAS TROPICALES DE LA PINTURA LATEX TRADICIONAL. REFORZADA CONTRA MOHO Y HONGOS.
	A-21 BASE LATEX PARA TONOS INTENSOS BASE AL AGUA MATE PARA INTERIORES Y EXTERIORES. ESPECIALMENTE FORMULADA PARA OBTENER TONOS INTENSOS CON TINTES LATEX.
	A-30 LATEX 2000 PINTURA AL AGUA DE ACABADO MATE PARA PINTADO DE INTERIORES Y EXTERIORES. FORMULA REFORZADA.
	A-30 LATEX 2000 TROPICAL VERSION PARA CLIMAS TROPICALES DE LA PINTURA LATEX 2000. REFORZADA CONTRA MOHO Y HONGOS.
	A-35 LATEX TEXTURADO PROPORCIONA UN ACABADO DECORATIVO EN ALTO RELIEVE (TEXTURADO) DE EXCELENTE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE.
	A-37 LATEX IDEAL PINTURA ECONOMICA AL AGUA, ESPECIALMENTE FORMULADA PARA INTERIORES. FORMULA REFORZADA PARA MEJOR CUBRIMIENTO.
	A-38 LATEX ENLUCIDO REVESTIMIENTO RUSTICO AL AGUA FACIL DE MOLDEAR. EXCELENTE PARA DECORACIONES TANTO EN INTERIORES COMO EN EXTERIORES.
	A-40 SELLADOR DE PAREDES SELLA LOS POROS, PROTEGE Y GARANTIZA UNA MEJOR ADHERENCIA DE LA PINTURA DE ACABADO, ADEMAS DE AUMENTAR SU RENDIMIENTO.

	A-42 ELASTOMERICA PINTURA ELASTICA IMPERMEABILIZANTE PROTECTORA DE CONCRETO EN GENERAL (MACETAS, TERRAZAS, TECHOS, ETC.)
	A-50 ESMALTE SINTETICO EXTRA INTEMPERIE PINTURA SINTETICA EXTRARESISTENTE A LA INTEMPERIE CON PROTECTOR DE RAYOS UV DE BRILLO INTENSO Y PERDURABLE.
	A-55 ESMALTE MARTILLADO METALIZADO PINTURA PARA ARTEFACTOS ELECTRICOS, ESTUFAS, MUEBLES METALICOS Y PIEZAS FUNDIDAS. DE SECADO RAPIDO.
	A-60 MONOLAC PINTURA SINTETICA DE RAPIDO SECADO Y BUENA DUREZA, ESPECIAL PARA PLANCHAS METALICAS Y MAQUINARIA.
	A-65 IMPRIMANTE VINILICO IMPRIMANTE AL SOLVENTE PARA ASFALTO, CEMENTO, LOSETAS, ETC. PRIMERA MANO PARA LA PINTURA DE DEMARCACION DE CALLES, ALPEX Y OTRAS.
	A-70 ALPEX PINTURA AL SOLVENTE PARA MUROS, PISCINAS Y/O TUBOS. EVITA LA FORMACION DE ALGAS Y HONGOS.
	A-72 PINTURA PARA PISCINAS PINTURA AL AGUA FORMULADA PARA PISCINAS Y/O FUENTES DE AGUA. NO TOXICA.
	A-75 PINTURA DEMARCACION DE CALLES PINTURA DE DEMARCACION AL SOLVENTE DE ALTA DURABILIDAD, GRAN ADHERENCIA, RAPIDO SECADO Y ALTA VISIBILIDAD, EXCELENTE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE.
	A-76 DEMARCACION DE CALLES TERMOFUNDIBLE PINTURA DE DEMARCACION DE CALLES APLICADA A ALTA TEMPERATURA DE MAYOR ESPESOR Y DURABILIDAD. 100% SOLIDOS.
	A-77 PINTURA PARA PVC PINTURA PARA PINTAR ESPECIALMENTE SOBRE EL MATERIAL PVC.
	A-79 PINTURA DEPORTIVA PINTURA AL AGUA, PARA PATIOS, CANCHAS DEPORTIVAS DE CONCRETO, ETC. MUY BUENA RESISTENCIA A LA ABRASION.

	A-80 PINTURA PARA PIZARRAS PINTURA MATE. ELIMINA LA REFLECCION DE LA LUZ, PERMITE BORRAR SIN DEJAR HUELLA. DE RAPIDO SECADO, INSOLUBLE EN AGUA.
	A-85 PINTURA REFLECTIVA PINTURA DECORATIVA ADECUADA PARA SUPERFICIES DE METAL O MADERA. IDEAL PARA LLAMAR LA ATENCION CON COLORES REFLECTIVOS.
	A-90 ANTIALGA PINTURA PARA LA ZONA INFERIOR DE FLOTACION DE BARCOS DE NAVEGACION EN AGUA DULCE.
	A-95 KIT EPOXI PARA ARREGLOS DE TINAS, LAVAMANOS, INODOROS, CERAMICA, ETC.
	PARA PROTEGER SUPERFICIES DE MADERA EN EXTERIORES, TALES COMO: CASAS, MUROS, MUEBLES, BARANDAS, PERSIANAS VENECIANAS, VIGAS, EN INTERIOR Y EXTERIOR.

CAPÍTULO 15 — ASFALTO Y MATERIALES BITUMINOSOS

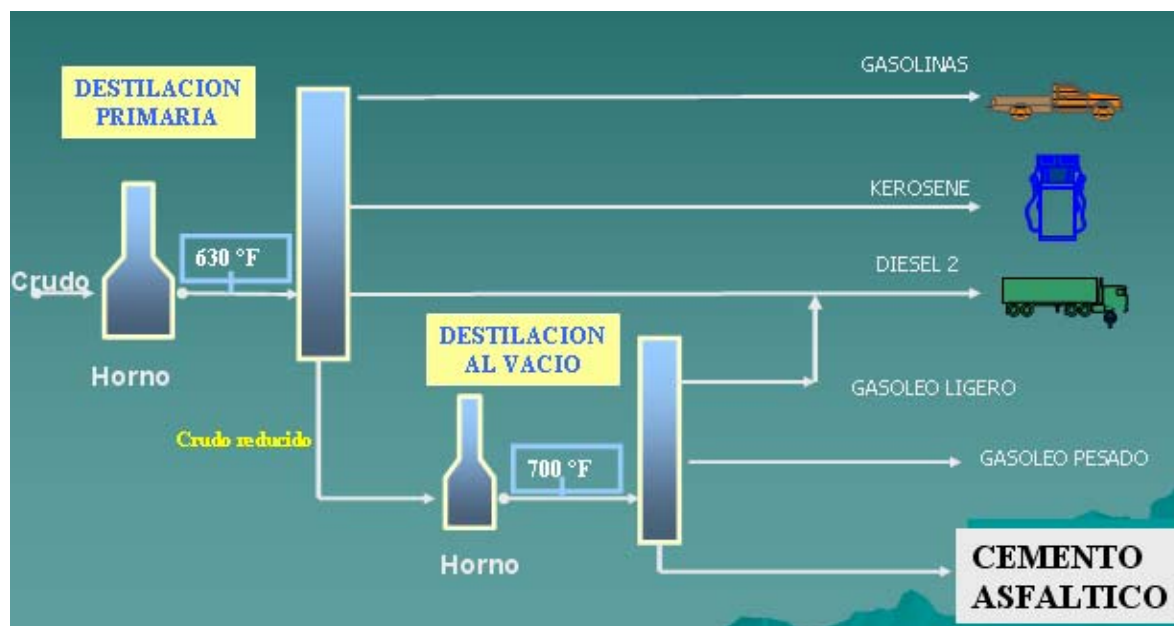


Fig.A.42. Proceso de obtención del cemento asfáltico. [50]

CAPÍTULO 16 — MAT. PARA INS. SANITARIA, TÉRMICA Y ACÚSTICA

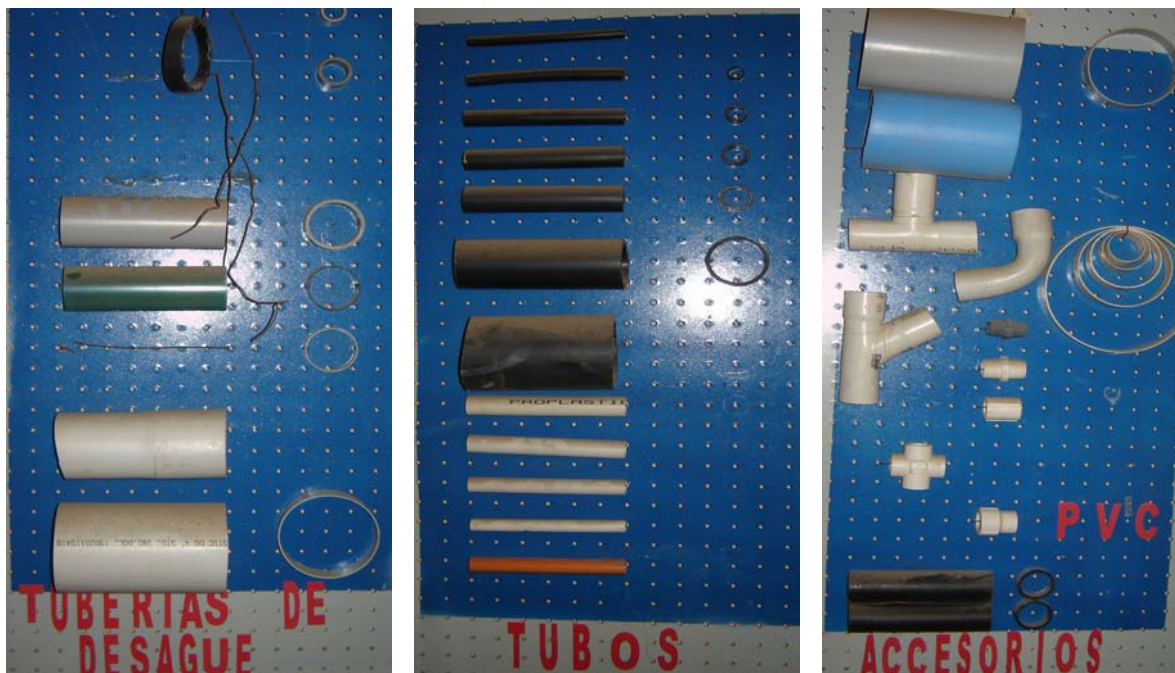


Fig.A.43. Tuberías y accesorios / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.44. Calentador de agua moderno [55]



Fig.A.45. Calentador de paso eléctrico. [55]



Fig.A.46. Calentador de paso a gas. [55]



Fig.A.47. Calentador de tanque eléctrico. [55]



Fig.A.48. Calefón solar. [55]



Fig.A.49. Calefón solar con colector de tubos de vidrio a vacío. [55]

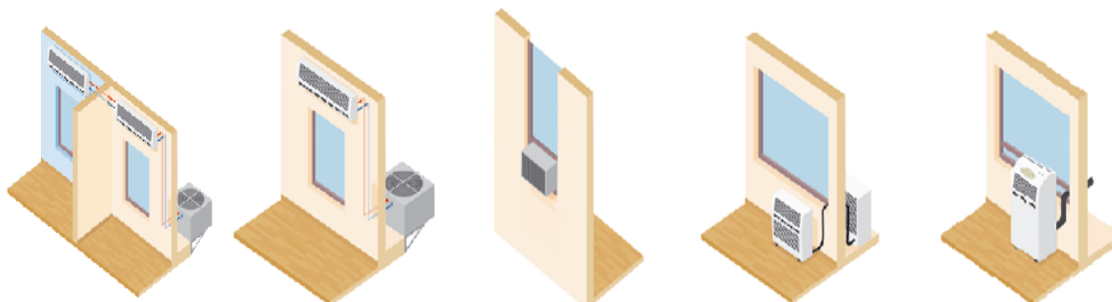


Fig.A.50. Aire acondicionado. [57] Fig.A.51.Split (partido). [57] Fig.A.52 Climatizador de ventana. [57] Fig.A.53 Split portátil. [57] Fig.A.54 portátil. [57]



Fig.A.55. Cuadro eléctrico. [60] Fig.A.56 Fusible industrial. [60] Fig.A.57. Toma a tierra. [60]

CAPÍTULO 17 — MAT. PARA INS. ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN



Fig.A.58. Diferentes tipos de elementos de automatización y control. [62]



Fig.A.59 Video. [62]



Fig.A.60Control de Accesos. [62]



Fig.A.61. Puerta riel. [62]



Fig.A.62. Instalaciones de rociadores automáticos. [62]



Fig.A.63 Pantalla Touchscreen 1. [62]



Fig.A.64. Pantalla Touchscreen 2. [62]



Fig.A.65. Central Telefónica. [62]

CAPÍTULO 19 — MÁQUINAS LIV., HERRAMIENTAS Y EQUIPO DE SEG



Fig.A.66. Distintos tipos de máquinas. [72]



Fig.A.67. mezcladora. [72]



Fig.A.68. Vibradora para hormigón. [72]



Fig.A.69. Bomba de agua. [72]



Fig.A.70. Una sierra de hormigón en plena actividad. [72]



Fig. A.71. Guinche. [72]



Fig.A.72. Flexómetro. [73]



Fig.A.73. Nivel de burbuja. [73]



Fig.A.74. Escuadra. [73]



Fig.A.75. Serrucho. [73]



Fig.A.76. Cincel. [73]



Fig.A.77. Rascador de aluminio. [73]



Fig.A.78. Papel para lijar. [73]



Fig.A.79. palas. [73]



Fig.A.80. Picota. [73]

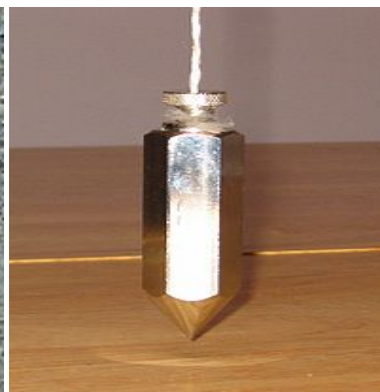


Fig. A.81. Plomada. [73]



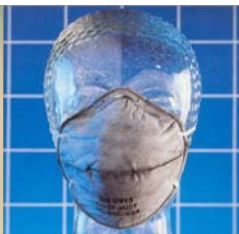
Fig.A.82. Paletas. [73]



Fig. A.83. Llanas. [73]



Fig. A.84. Fratases. [73]

Fig.A.84. Protectores de
oído. [73]Fig.A.85 Protectores de
ojos y cara. [73]Fig.A.86. Protección de
vías respiratorias. [73]Fig.A.87. Protectores de
manos y brazos. [73]Fig.A.88. Protección total
del cuerpo. [73]

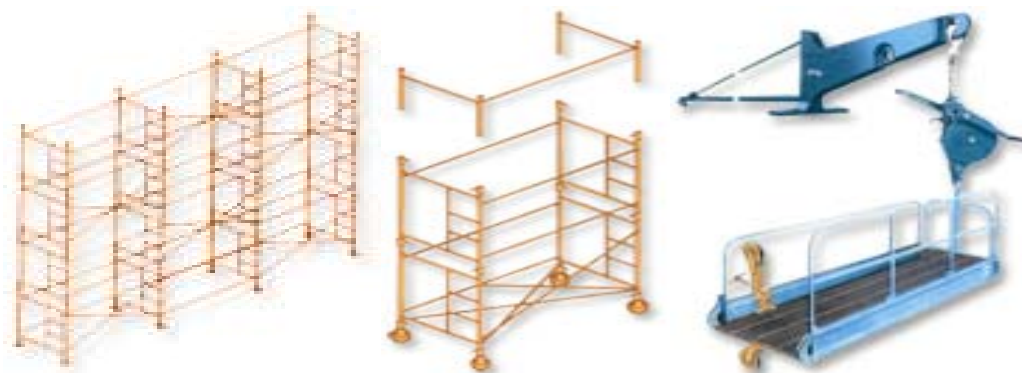


Fig.A.89. Andamio pre armado. [73] Fig.A.90. Andamio con ruedas.[73] Fig.A.91. Andamio colgante. [73]

PARTE 2 – PROPIEDADES Y ENSAYOS

CAPÍTULO 23 — ROCA Y AGREGADOS



Fig.A.93. Equipo de medición de ondas. [8]



Fig. A.94. Prensa hidraulica. [8]



Fig. A.95. Máquina de carga puntual. [9]



]Fig.A.96. Gata hidraulica [9]



Fig. A.97. Marco computarizado Celda triaxial. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig. A.98. Aparato de cizalladura. Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].

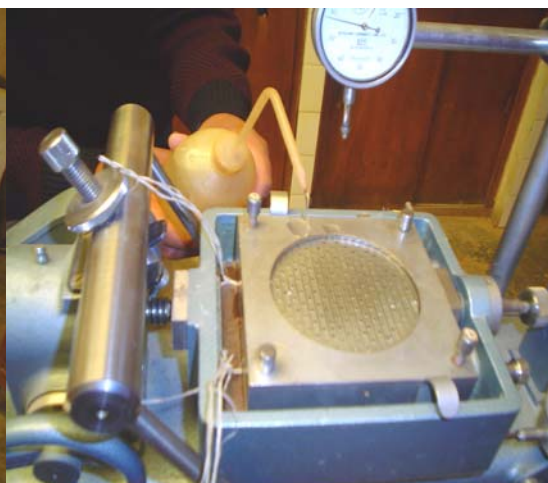


Fig. A.99. Aparato de cizalladura. Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].

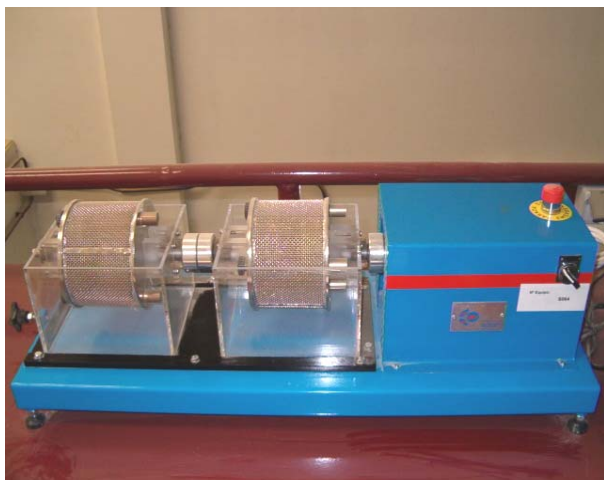


Fig.A.100. Equipo de durabilidad .[8]



Fig. A.101. Muestreo de los agregados / Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.102. Cuarteador. [8]



Fig. A.103. Cuarteo / Lab. ABC.La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.104. Tamizadora electromagnética.[8]



Fig. A.105. Tamizado. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig. A.106. Juego de tamices / Lab. ABC
La Paz. Bolivia. Fuente:[Elaboración propia].



Fig. A.107. Tamizado. / Lab. ABC. Fuente: [Elaboración propia].





Fig.A.108. Muestras de granulometría de los agregados / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.109. Juego de tamices y balanzas mecánica y electrónica / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.110. Aparato para rotura de cilindros. / Lab. Arquitectura. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.111. Horno.[8]



Fig. A.112. Muestras en horno. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].

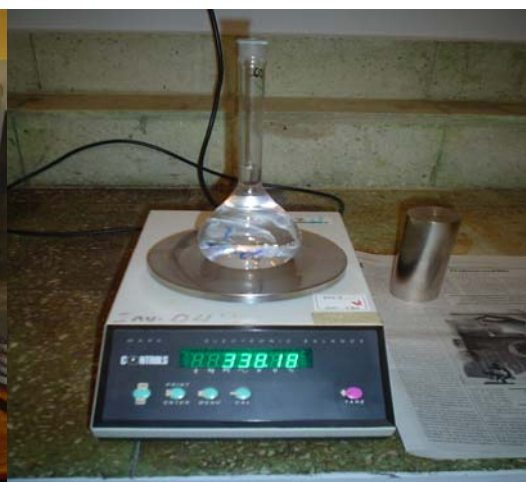


Fig. A.113. Balanza electrónica. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig. A.114. – A. 115 Baño María. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig. A.116. Inmersión de los agregados. / Lab. ABC.
La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig. A.117. Máquina De Los Ángeles. / Lab. ABC.
La Paz. Bolivia. Fuente: [Elaboración propia].



Fig.A.118. Canastos para inmersión. [11]



Fig.A.119. Cono y Pisón. [11]



Fig.A.120. Máquina de los Ángeles. [11]



Fig.A.121. Juego de tubos de ensayos y accesorios.[11]



Fig.A.122. Agitador con motor.[11]



Fig.A.123. Equipo para de determinación de impurezas. [11]

CAPÍTULO 4 — AGLOMERANTES



Fig. A.124. Aparato de Cleveland. [11]



Fig. A.25. Aguja de Vicat. [11]



Fig. A.126. Aparato de autoclave. [11]



Fig. A.127. Aparato de Blaine. [11]



Fig. A.128. Molde cónico, bandeja, varilla. [11]

CAPÍTULO 30 — MADERA

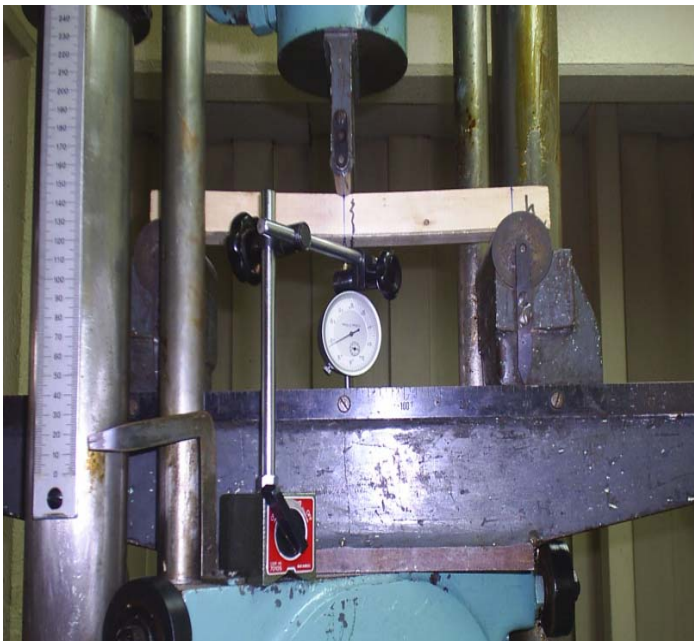


Fig. A.129. Máquina universal de ensayos. Ensayo de flexión. [76]



Fig. A.130. Higrómetro para medir el porcentaje de agua en la madera. [76]

LABORATORIO	ENSAYO DE DESGASTE "LOS ANGELES"			
	DISTRITO:		PROY:	
	MUESTRA:			
	PROCEDENCIA:			
	COORDENADAS:			
	DESGASTE LOS ANGELES GRADACION "A" 500 rpm AASTHO T-96			
	Laboratoristas:			
	Lugar y Fecha:			

ENSAYO:
GRADACION
CARGA ABRASIVA CON:

("A")
("12")

("B")
("11")

("C")
("8")

("D")
("6")

ESFERAS.

PORCIONES DE LA MUESTRA:

TAMIZ PASA	TAMIZ RETIENE	CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS
1 1/2"	1"	1,250.000
1"	3/4"	1,250.000
3/4"	1/2"	1,250.000
1/2"	3/8"	1,250.000

CANTIDAD TOTAL DE MATERIAL TOMADO	5,000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE Nº 12 (1.70 mm).	3,515
DIFERENCIA	1,485

CALCULO :
DESGASTE =

1,485
5,000

X 100 =

29.7

OBSERVACIONES:

LABORATORIO	TRITURACIÓN DE MATERIAL	
	DISTRITO	PROY:
	MUESTRA	BP- 02, 10
	PROCEDENCIA:	
	MATERIAL:ROCA FRACTURADA	
	TRITURACIÓN TIPO A	
	Laboratoristas:	
	Lugar y Fecha:	

AGREGADO TRITURADO DE 11/2" GRADACIÓN TIPO "A"

PORCEDENCIA DEL MATERIAL	MUESTRA TOTAL Kg
BP-02 Cantera Khara Estancia	35.50
BP-10 Rio Huankollu	46.60

OBSERVACIONES:

LABORATORIO	GRANULOMETRÍA DE MATERIALES GRUESOS Y FINOS		AASHTO T-27 - 82
	Distrito La Paz	Proyecto Diseño Carreteras - San Buena Aventura - Exiamas	
	Ubicación:		Fecha Muestreo:
	Muestra N° 1 Material: Granular		Procedencia: Pozo N° 5
	Ref.:		Coordenadas:
	Obs.:		Fecha

HUMEDAD HIGROSCOPICA

MUESTRA TOTAL

Suelo húmedo + cápsula	*	306.60	Muestra total húmeda	2,205.00
Suelo seco + cápsula	*	297.00	Agregado grueso (Ref. No. 10)	16.90
Peso del agua		9.60	Muestra pasa No. 10 húmedo *	2,188.10
Peso de la cápsula	*	106.00	Muestra pasa No. 10 seco	2,083.39
Peso del suelo seco		191.00	Muestra total seca	2,100.29
Porcentaje de humedad		5.03		

ANÁLISIS POR TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

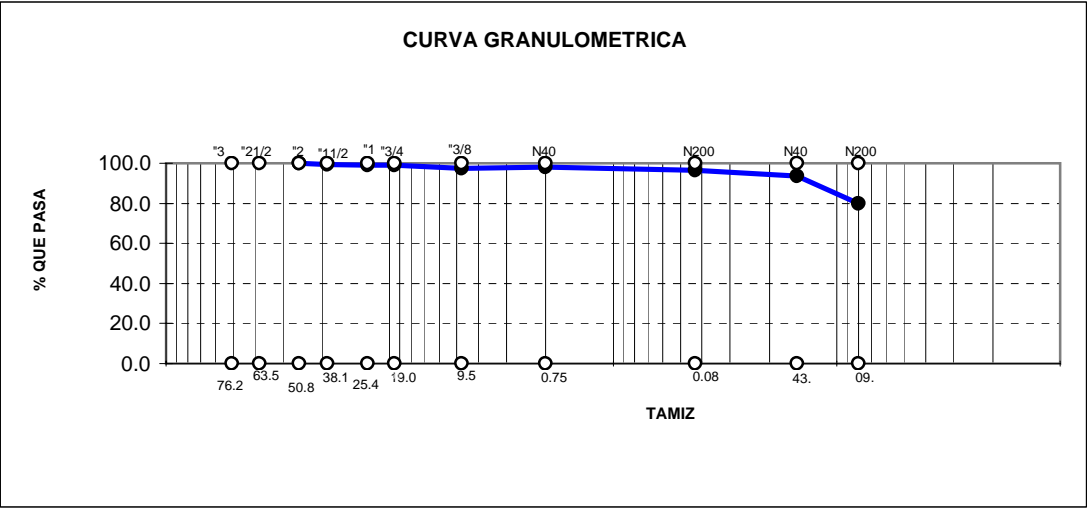
Tamices ASTM	Tamaño en mm	Peso Ret. En gr.	Retenido acumulado		% que pasa del total	Especificaciones
			gr.	%		
2"	50.80					
1 1/2"	38.10					
1"	25.40				100.0	
3/4"	19.00	12.7	12.7	0.6	99.4	
1/2"	12.50	4.5	17.2	0.8	99.2	
3/8"	9.50	5.6	22.8	1.1	98.9	
No. 4	4.75	14.0	36.8	1.8	98.2	
No. 10	2.00	16.9	53.7	2.6	97.4	

PESO DEL MORTERO DE SUELO

Pasa T. No. 10 húmedo *	200.00	gr.	Pasa T. No. 10 seco, en gr.	190.43
-------------------------	--------	-----	-----------------------------	--------

ANÁLISIS POR MORTERO DE SUELO

Tamices ASTM	Tamaño en mm	Peso Ret. En gr.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
			gr.	%		
No. 40	0.43	1.6	1.6	0.8	99.2	96.6
No. 100	0.15	6	7.6	4.0	96.0	93.5
No. 200	0.08	26.9	34.5	18.1	81.9	79.8



Laboratorista:

Lugar:

Fecha:

OBSERVACIONES:

LABORATORIO	AASHTO T - 85			
	DETERMINACION DE PESOS ESPECIFICOS DE AGREGADOS PETREOS POR EL METODO DEL CESTO			
	Distrito			
	Muestra N°			
	Procedencia			
	Progresiva : 216+824			
	Fecha:			

Muestra N°	1				
Temperatura, t° C	20.0 °C				
Peso muestra saturada con superficie seca, b en Grs.	8,193.0				
Muestra secada al horno, Ps. Gr	7,810.0				
Por ciento de absorción, % abs. 100 (a-Ps):Ps	4.9				
Cesto + muestra sumegido en agua, c.	6,563.0				
Cesto sumergido en agua , c.	1,644.0				
Muestra s.s.s- sumergida en agua d=(b-c)	4,919.0				
Volumen de particulas incluyendo poros=Vs+Vp=(a-d)	3,274.0				
Peso especifico bruto,base muestra s.s.s. Gbs	2.5				
Peso especifico bruto,base muestra secadaal horno Gb	2.385				

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO	Gs=gr/cm3
	2.60

Laboratorista:

Lugar:

Fecha:

LABORATORIO	ENSAYO DE DURABILIDAD (Sulfato de Sodio)		AASHTO T - 104 - 94
	Distrito:	Proyecto:	
	Ubicación:		
	Procedencia:	Canto rodado	
	Cordenadas:	Fecha :	

AGREGADO GRUESO

TAMIZ		Agregado Retenido Original	Peso antes del ensayo (gr)	Peso después del ensayo (gr)	% de pérdidas después	% de pérdidas corregidas
Pasa	Retiene					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	29.30	1,000.00	162.00	83.80	24.55
1"	3/4"	8.20	500.00	87.10	82.58	6.77
3/4"	1/2"	6.70	670.00	62.20	90.72	6.08
1/2"	3/8"	2.60	330.00	46.50	85.91	2.23
3/8"	N4"	2.50	300.00	59.60	80.13	2.00
			DURABILIDAD (%)			
			39.64			
			Fuera de Especificaciones			

AGREGADO FINO

TAMIZ		Agregado Retenido Original	Peso antes del ensayo (gr)	Peso después del ensayo (gr)	% de pérdidas después	% de pérdidas corregidas
Pasa	Retiene					
3/8"	Nº. 4	-	-	-		
Nº. 4	Nº. 8	74.30	100.00	93.80		
Nº. 8	Nº. 16	85.40	100.00	99.70		
Nº. 16	Nº.30	92.10	100.00	98.30		
Nº.30	Nº.50	96.10	100.00	99.20		
			DURABILIDAD (%)			

<12%

Laboratorista:

Lugar:

Fecha:

OBSERVACIONES:

LABORATORIO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE - METODO MARSHALL

DEPARTAMENTO:

PROYECTO:

PESOS ESPECIFICOS: Agregado Total (Gag): 2.63

FECHA:

% de AGREGADOS: 30 % grueso; 35 % triturado BARTOS; 35 % planta CAIN

C. A. : 1.01

ORIGEN DE LOS AGREGADOS:

Identificación	Altura de briqueta	Porcentaje de asfalto		Peso de la briqueta en el aire		Peso de la parafina usada para cubrir la briqueta	Volumen de la parafina	Peso de Briqueta sumergida en agua	Volumen de la briqueta		Densidad de la briqueta			Porcentaje de vacios			Estabilidad Marshall			Flujo 1/100	
		Base Agregado	Base Mezcla	Sin parafina	Con parafina				Con parafina	Sin parafina	Real	Promedio	Máxima Teórica	Mezcla	Agregados	Llenos de asfaltos	Real	Promedio	Corregida	Real	Promedio
		mm	%	gr.	gr.		cm³	gr.	cm³	cm³	gr./cm³	gr./cm³	gr./cm³	%	%	%	kg	kg	kg	mm	mm
1	66.20	95.00	5.00	1179.00	1202.60	23.60	26.22	642.00	560.60	534.38	2.206	2.190	2.435	10.059	20.900	51.869	2689.00	2449.00	2155.12	7.000	7.333
2	67.80	95.00	5.00	1181.70	1215.10	33.40	37.11	631.20	583.90	546.79	2.161						2246.00			7.000	
3	66.90	95.00	5.00	1182.30	1202.80	20.50	22.78	643.10	559.70	536.92	2.202						2412.00			8.000	
4	66.10	94.50	5.50	1185.90	1212.60	26.70	29.67	650.30	562.30	532.63	2.226	2.230	2.417	7.747	19.889	61.046	3047.00	3060.33	2784.90	9.000	9.000
5	66.40	94.50	5.50	1187.60	1210.00	22.40	24.89	649.00	561.00	536.11	2.215						3074.00			9.000	
6	65.20	94.50	5.50	1189.30	1209.20	19.90	22.11	657.80	551.40	529.29	2.247						3060.00			9.000	
7	65.20	94.00	6.00	1192.00	1212.80	20.80	23.11	662.80	550.00	526.89	2.262	2.260	2.399	5.792	19.218	69.864	3197.00	3188.00	2996.72	10.000	10.000
8	64.90	94.00	6.00	1195.40	1217.00	21.60	24.00	666.00	551.00	527.00	2.268						3129.00			10.000	
9	64.50	94.00	6.00	1198.70	1223.10	24.40	27.11	663.20	559.90	532.79	2.250						3238.00			10.000	
10	65.90	93.50	6.50	1202.90	1234.70	31.80	35.33	666.30	568.40	533.07	2.257	2.268	2.382	4.754	19.353	75.436	3047.00	2934.33	2699.59	11.000	11.000
11	65.50	93.50	6.50	1200.30	1222.90	22.60	25.11	667.90	555.00	529.89	2.265						2992.00			11.000	
12	65.60	93.50	6.50	1206.50	1229.70	23.20	25.78	675.60	554.10	528.32	2.284						2764.00			11.000	
13	66.90	93.00	7.00	1208.80	1239.00	30.20	33.56	669.00	570.00	536.44	2.253	2.264	2.365	4.236	19.930	78.744	2357.00	2430.67	2187.60	12.000	12.000
14	66.80	93.00	7.00	1204.50	1228.20	23.70	26.33	666.50	561.70	535.37	2.250						2523.00			12.000	
15	65.70	93.00	7.00	1209.70	1233.20	23.50	26.11	678.80	554.40	528.29	2.290						2412.00			12.000	
16																					
17																					
18																					

FORMULAS:

$$Gag = \frac{100}{\frac{\%AG}{GbAG} + \frac{\%AF}{GbAF} + \frac{\%F}{GbF}}$$

$$(1) Dmt = \frac{100}{\frac{\%CA}{GCA} + \frac{100 - \%CA}{Gag}}$$

$$(3) \%Vag = \%Vm + \frac{CA \times Dm}{GCA}$$

$$(2) \%Vm = \frac{Dmt - Dm}{Dmt} \times 100$$

$$(4) \%VCA = \frac{\%Vag - \%Vm}{\%Vag} \times 100$$

DOSIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS
PREPARACION DE MATERIALES PARA PROBETAS MARSHALL

Peso total: 1180.0

Procentaje Asf: **5.00**

Peso Aridos: 1121.0

Peso Asfalto: 59.0

Incremento : 0.5

MEZCLA	MATERIAL	TAMIZ	PORCENTAJE PARCIAL	PESO (gr)	
				PARCIAL	ACUMULADO
30 336.3	Piedra 6-19 triturad.	Ret 1/2"	20	67.3	67.3
		Ret 3/8"	16	53.8	121.1
		Ret N° 4	42	141.2	262.3
		Ret N° 10	12	40.4	302.7
		Pasa N° 10	10	33.6	336.3
45 504.5	Arena 0-9 Nat.	Ret 3/8"	4	20.2	356.5
		Ret N° 4	24	121.1	477.5
		Ret N° 10	22	111.0	588.5
		Pasa N° 10	50	252.2	840.8
25 280.3	Arena 0-6 Tritur.	Ret N° 10	53	148.5	989.3
		Pasa N° 10	47	131.7	1121.0

4.00	46.71
4.50	52.82
5.00	59.00
5.50	65.24
6.00	71.55
6.50	77.93

OBSERVACIONES:

ENSAYOS SOBRE CEMENTOS ASFALTICOS					
Proyecto: Procedencia: Tipo de C. A. 85 - 100 Fecha y hora de muestreo: Nivel de extracción: Sistema de acopio: Empresa: Técnico: Fecha:					
"AREA DE ASFALTOS"	ESPECIFICACIONES DE C A: (AASHTO M 20) (ASTM D 946)				
DESCRIPCION	NORMA AASHTO ASTM	EXIGENCIAS DE LAS ESP. C. A. 85-100	ENSAYOS		PROMEDIO
			Nº 1	Nº 2	
PENETRACION MUESTRA ORIGINAL A 25 °C, 100 gr, 5 seg. (1/10 mm)	T - 49 D - 5	Min. 85 Máx. 100	87.9	88.4	88.1
Peso Especifico a 25 °C/25 °C. (gr/cc)	T - 228 D - 70	Min. 1,000 Máx. 1,050	1.000	1.000	1.000
Viscosidad Cinemática. A 135 °C. (cSt)	T - 201 D - 2170	Min. 1.600 Máx. 2.400	X	X	X
Viscosidad Saybolt Furol. A 135 °C. (seg)	T - 72 D - 88	Min. 85	131	134	132.5
Punto de Inflamación. COPA ABIERTA CLEVELAND. (°C)	T - 48 D - 92	Min. 232,2	290	290	290.0
Ductilidad Muestra Original. A 25 °C, 5 cm/min. (cm)	T - 51 D - 113	Min. 100	150	150	150.0
Punto de Reblandecimiento A & B. Anillo - Bola. (°C)	T - 53 D - 36	Min. 43 Máx. 53	48.0	48.0	48.0
Solubilidad. (% masa)	T - 44 D - 2042	Min. 99	99.56	99.56	99.6
Película Delgada en Horno. 163 °C, 5 hrs, 3,2 mm, Perd/Cal.(% m)	T - 179 D - 1754	Máx. 1	X	X	X
Película Delgada en Horno Rotación. 163 °C, 5 hrs, 3,2 mm, Perd/Cal.(% m)	T - 240 D - 2872	Máx. 1	X	X	X
PENETRACION DEL RESIDUO: A 25 °C, 100 gr, 5 Seg, (% Ret. del C)	T - 49 D - 5	Min. 50	X	X	X
Ductilidad del Residuo. A 25 °C, 5 cm/min. (cm)	T - 51 D - 113	Min. 75	X	X	X
Aumento Punto de Reblandecimiento del Residuo A & B, Anillo - Bola. (°C)	T - 53 D - 36	Min. Máx.	X	X	X
Ensayo de la Mancha. Solvente Heptano - Xilol. (25 % Xilol)	T - 102 D -	Negativo	(-)	(-)	(-)
Contenido de Agua. (% en volumen)	T - 55 D - 95	Máx. 0,2	0.15	0.15	0.15
Adherencia Mezcla Agregado-Betún Revestimiento-Desprendimiento. (%)	T - D - 3625	Min. 95	X	X	X
Índice de Penetración Muestra Original	T - 202	- 1,5 a + 0,5			-0.268
Índice de Penetración del Residuo.	T - 202	- 1,5 a + 0,5			X

OBSERVACIONES:

<p>GERENCIA DE PLANIFICACION DE DESARROLLO TECNOLOGICO LABORATORIO CENTRAL</p> <p>LAB. AA/2005-116-117-118</p>	<p>CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO EN EL EXTRACTOR CENTRIFUGO</p>		<p>AASHTO T-</p>
	<p>DEPARTAMENTO: <input type="text"/></p>		<p>RECAPAMIENTO</p>
	<p>PROYECTO :</p>		<p>MUESTRA: <input type="text" value="MEZCLA ASFALTICA"/></p>
	<p>FECHA: <input type="text"/></p>		<p>ORIGEN DE LOS AGREGADOS : <input type="text"/></p>

DETALLE DE PESOS Y VOLUMENES	ENSAYO SOBRE LA MUESTRA ENTERA									
	Muestra N° 1		Muestra N° 2		Muestra N° 3		Muestra N° 4		Muestra N° 5	
	Grs. y Mls.	Porcentaje	Grs. y Mls.	Porcentaje	Grs. y Mls.	Porcentaje	Grs. y Mls.	Porcentaje	Grs. y Mls.	Porcentaje
Cuenco	1327.00		1327.00		1325.40		0.00		400.00	
Cuenco + Muestra	2358.00		2500.00		2714.60		1000.00		1640.60	
[W1] PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1031.00	100.00%	1173.00	100.00%	1389.20					
Cuenco	1327.00		1327.00							
Cuenco + Muestra recuperada	2317.00		2457.00		2635.30		1126.00		1572.50	
[W3] PESO TOTAL DE LA MUESTRA RECUPERADA	990.00	96.02%	1130.00	96.33%	1309.80					
Volumen total del extracto (ml.)	2600.00		2600.00		2600.00		2600.00		2600.00	
Volumen total del extracto (ml.) - 100 (ml.)										
Peso de material mineral de 100 ml. del extracto	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
[W4] PESO TOTAL MATERIAL FINO DEL EXTRACTO LA MUESTRA	0.00	0.00%	0.00	0.00%						
Filtro limpio	28.00		28.10							
Filtro con aridos finos	28.50		29.50							
[W5] PESO TOTAL DE ARIDOS FINOS	0.50	0.05%	1.40	0.12%						
PORCENTAJE DE C.A. DE LA MUESTRA		3.93%		3.55%						

OBSERVACIONES:

Laboratorista:

DISEÑO OPTIMO DE LA EMPRESA = 6.04 % DE C.A.

Lugar:

Fecha:

	ENSAYOS SOBRE DILUIDOS ASFALTICOS				
	Distrito		Proyecto		
	Procedencia		Muestra Diluido Asfaltico MC-70		
	en fecha				
Fecha		ENSAYADO POR:			

DESCRIPCION	METODO AASTHO ASTM	E N S A Y O S			PROMEDIO	ESPECIFI- CACIONES
		% C.A. % Nta. % Gas	MUESTRA Nº 1	MUESTRA Nº 2		
Peso Especifico del Cut Back			0.915	0.915	0.915	
Peso Especifico del solvente	T-227		0.790	0.790	0.790	
Viscosidad Saybolt Furol 50 °C. en Seg.	T-72 D-88		69	71	70	60 - 120

DESTILACION Por ciento Volumen del destilado total a 360 ° C. T-78 D-402

A 190 °C. (374 °F)	%					
A 225 °C. (437 °F)	%		41.0	33.00		Max. 20
A 260 °C. (500 °F)	%		56.0	51.00		20 - 60
A 315 °C. (600 °F)	%		64.0	62.00		65 - 90
Residuo de la destilación a 360 °C. (% en volumen)			66.0	66.0	66.0	Min .55
Por ciento de solvente			34	34	34	

Ensayos sobre el residuo de destilacion

Penetración a 25 °C. 100 gr. 5 Seg.	T-49 D-5		151	153	152	120 - 250
Ductilidad a 25 °C.	T-51 D-113		116	125	120	+ 100
Solubilidad en Tetracloruro de Carbono %	T-44 D-4		99.40	99.40	99.40	Min. 99
Por ciento de agua	T-55 D-95		0.0	0.0	0.0	Max. 0.2
Punto de inflamación, vaso abierto de cleveland ° C.	T-48 D-92		49	50	49.5	Min. 38
Punto de Encendido, vaso abierto de cleveland ° C.	T-79 D-1310		56.0	56.0	56.0	
Ensayo de la mancha 20 % Equivalente Xileno			(-)	(-)		(-)

OBSERVACIONES:

ENSAYOS EMULSION ASFALTICA

PROCEDENCIA:

LABORATORISTA:

Nº REGISTRO:

E N S A Y O S	ESPECIFICACIONES
MUESTRA LOTE Nº 9	
1) Densidad grs/cm3 = 0.997	0.990 - 1.010
2) Viscocidad Saybolt Seg. 50 °C. = 100 Seg.	100 - 400
3) Tamiz Nº 20 % = 0.07	MAX. 0.10
4) Destilacion Residuo % = 67.9	MIN. 65
5) Penetración Residuo 25 °C. 100 Grs. 5 Seg. = 129	100 - 250
6) Ductilidad del Residuo (cm) = 150	MIN. 40
7) Carga Electrica = (+)	(+)
8) Ensayo de la Mancha del Residuo 25 % Xileno = (-)	(-)

OBSERVACIONES: Cumple con especificaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS LITERARIAS

- [1] CALEB HORNBOSTEL.(2002.), Editorial Limusa Wiley S.A. " Materiales Para Construcción. Tipos, usos y aplicaciones", México.
- [2] P. JIMENEZ MONTOYA, A GARCÍA MESEGUER, F MORÁN CABRE, Editorial Gustavo Pili S.A. 13ª Edición, "Hormigón Armado", Barcelona, España.
- [3] APIA GRUPO XXI (2007), "Manual De Ensayos De Suelos Y Materiales - Hormigones", Administradora Boliviana De Caminos, La Paz, Bolivia.
- [4] APIA GRUPO XXI (2007), "Manual De Ensayos De Suelos Y Materiales - Asfaltos", Administradora Boliviana De Caminos, La Paz, Bolivia.
- [5] Comité ACI 318 American Concrete Institute (2008), P.O. Box 9094 Farmington Hills, MI 48333-9094 "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario", USA
- [6] ING. R. URREA MUSTER, ING. J. SALGADO ARAVENA, ING. J. CARRAMIÑANA BENVENUT (1986), "Especificaciones Y Métodos De Muestreo Y Ensayo", Chile.
- [7] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS. "Highway Materials". Part II Tests.
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. "Standards". Part II.
- [9] JUNTA DE CARTAGENA, (1984), 3ª Edición, "Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino". Cartagena, Colombia.
- [10] P. PAGÉS, G. ANDREU M.A. SÁNCHEZ, (2000), "15ª Jornadas de Materiales Compuestos. Plásticos reforzados.. Centro Español de Plásticos, Barcelona.
- [11] ADALBERTO COLOMBIA, Tercera Edición CHIAVENATTO, "Administración: Proceso Administrativo", Brasil.
- [12] Apuntes De Materiales De Construcción. (Ing. M.Sc. Fernando Arturo Ledezma Perizza).

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [1] http://es.wikipedia.org/wiki/Categor%C3%ADa:Materiales_de_construcci%C3%B3n (10/08/08).
- [2] <http://images.google.com.bo/images?um=1&hl=es&q=fotos+de+materiales> (10/09/08).
- [3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua> (5/09/08).
- [4] <http://www.monografias.com/trabajos14/propiedades-agua/propiedades-agua.shtml> (5/09/08).
- [5] <http://www.pdf-search-engine.com/propiedades-del-agua-pdf.html> (11/10/08).
- [6] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=FOTOS+DE+AGUA&meta=&aq=f&oq=> (11/10/08).
- [7] <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html> (11/10/08).
- [8] <http://www.arqhys.com/articulos/petres-materiales.html> (18/10/08).

-
- [9] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+rocas&meta=> (18/10/08).
- [10] <http://web.usal.es/epavila/debrocas/rvolc.html#R0> (18/10/08).
- [11] <http://www.astm.org> (18/10/08).
- [12] <http://es.wikipedia.org/wiki/Grava> (20/10/08).
- [13] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=IMAGENES+DE+GRAVA&meta=&aq=f&oq=> (20/10/08).
- [14] <http://es.wikipedia.org/wiki/Arena> (22/10/08).
- [15] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=IMAGENES+DE+ARENA&meta=> (22/10/08).
- [16] <http://es.wikipedia.org/wiki/Cal> (23/10/08).
- [17] <http://images.google.com.bo/images?um=1&hl=es&q=fotografias+de+la+cal> (23/10/08).
- [18] <http://es.wikipedia.org/wiki/Yeso> (24/10/08).
- [19] <http://images.google.com.bo/images?um=1&hl=es&q=fotos+del+yeso> (24/10/08).
- [20] <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento> (26/10/08).
- [21] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+cemento&meta=> (26/10/08).
- [22] <http://www.sika.com.bo/productos.htm> (30/10/08).
- [23] <http://es.wikipedia.org/wiki/Aditivos> (30/10/08).
- [24] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+ADITIVOS&meta=> (30/10/08).
- [25] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+MORTEROS&meta=> (04/11/08).
- [26] <http://es.wikipedia.org/wiki/Concreto> (07/11/08).
- [27] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+del+hormigon&btnG=Buscar+con+Google&meta=&aq=f&oq=> (08/11/08).
- [28] http://www.construmatica.com/construpedia/Viguetas_de_Hormig%C3%B3n (15/11/08).
- [29] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=VIGUETAS> (15/11/08).
- [30] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=LOSETAS> (15/11/08).
- [31] <http://www.bodegadeprefabricados.com/html/construccion.html> (15/11/08).
- [32] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=PREMOLDEADOS+DE+HORMIGON> (15/11/08).
- [33] <http://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo> (18/11/08).
- [34] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=LADRILLO> (18/11/08).
- [35] <http://es.wikipedia.org/wiki/Teja> (18/11/08).
- [36] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=TEJA> (18/11/08).
- [37] <http://es.wikipedia.org/wiki/Azulejo> (18/11/08).
- [38] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+azulejos&meta=> (18/11/08).
- [39] <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero> (24/11/08).
- [40] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=ACERO> (24/11/08).
- [41] <http://es.wikipedia.org/wiki/Madera> (03/12/08).
- [42] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+maderas&meta=> (03/12/08).
- [43] http://es.wikipedia.org/wiki/Vidrio_armado (05/12/08).
-

-
- [44] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+vidrios&meta=&aq=f&oq=> (05/12/08).
- [45] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=PLASTICO> (06/12/08).
- [46] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=PINTURA> (09/12/08).
- [47] <http://www.monopol.com> (10/12/08).
- [48] <http://es.wikipedia.org/wiki/Asfalto> (12/12/08).
- [49] <http://www.ele.com/> (12/12/08).
- [50] <http://images.google.com.bo/images?um=1&hl=es&q=fotos+del+asfalto> (12/12/08).
- [51] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=METALES+NO+FERROSOS> (29/11/08).
- [52] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+tanques+de+agua+de+500+litros&meta=> (14/12/08).
- [53] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q=TUBERIAS+Y+ACCESORIOS>(14/12/08)
- [54] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=TIGRE+PLASMAR+TUBERIAS&btnG=Buscar+con+Google&meta=cr%3DcountryBO&aq=f&oq=> (14/12/08).
- [55] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=IMAGENES+CALEFONES&btnG=Buscar+con+Google&meta=&aq=f&oq=> (14/12/08).
- [56] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+calentador+de+agua&meta=&aq=f&oq=> (14/12/08)
- [57] http://es.wikipedia.org/wiki/Aire_acondicionado (15/12/08).
- [58] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=danosa&meta=&aq=f&oq=>(15/12/08).
- [59] <http://images.google.com.bo/images?hl=es&um=1&q= electricidad> (17/12/08).
- [60] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+focos&meta=&aq=f&oq=> (17/12/08).
- [61] <http://es.wikipedia.org/wiki/Electricidad> (17/12/08).
- [62] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+automatizacion+y+control&meta=&aq=f&oq=> (19/12/08).
- [63] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+materiales+compuestos&meta=&aq=f&oq=> (21/12/08).
- [64] http://es.wikipedia.org/wiki/Material_compuesto (21/12/08).
- [65] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+mescladoras&btnG=Buscar+con+Google&meta=&aq=f&oq=> (23/12/08).
- [66] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+maquinas+de+construccion&meta=&aq=f&oq=>(23/12/08).
- [67] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=FOTOS+DE+MAQUINAS&meta=>(23/12/08).
- [68] <http://es.wikipedia.org/wiki/Maquinaria>(23/12/08).
- [69] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+cortadoras+de+hormigon&meta=&aq=f&oq=>(23/12/08).
- [70] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+bombas+de+agua+potable&meta=&aq=f&oq=>(23/12/08).
- [71] <http://es.wikipedia.org/wiki/Herramienta> (27/12/08).
- [72] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=FOTOS+DE+HERRAMIENTAS&meta=> (27/12/08).
- [73] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=imagenes+de+herramientas+de+alba%C3%B1ileria&meta=&aq=f&oq=> (27/12/08).
- [74] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=FOTOS+DE+EQUIPO+DE+SEGURIDAD&meta=> (29/12/08).
- [75] <http://www.google.com.bo/search?hl=es&q=proceso+de+certificacion+por+ibnorca&meta=cr%3DcountryBO&aq=f&oq=> (05/01/09).
- [76] <http://www.mecanicainfo.com>
-

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- A -

Abarquillado: De forma de barquillo.

Abrasión: Acción de raer o desgastar por fricción.

Abrasivo: Es una sustancia que tiene como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico triturado, molienda, corte, pulido. Es de elevada dureza y se emplea en todo tipo de procesos industriales y artesanos.

Abrazadera: Aro o sortija de metal que sirve para asegurar una cosa.

Acadio: Perteneciente o relativo a este antiguo reino de Mesopotamia.

Acantilado: Dicho de una costa: Cortada verticalmente o a plomo.

Acrílico: Dicho de una fibra o de un material plástico: Que se obtiene por polimerización del ácido acrílico o de sus derivados.

Acritud: Estado en que se encuentra un cuerpo metálico que ha perdido su ductilidad y maleabilidad.

Acueducto: Conducto artificial por donde va el agua a lugar determinado, y especialmente el que tiene por objeto abastecer de aguas a una población.

Aglutinante: Sustancia en la que se diluyen los pigmentos para preparar barnices o pinturas.

Álabe: Cada una de las paletas curvas de la turbina que reciben el impulso del fluido.

Alabeo: Comba de cualquier cuerpo o superficie; en especial, el vicio que toma la madera al alabearse.

Albayalde: Carbonato básico del plomo. Es sólido, de color blanco y se emplea en la pintura.

Álcalis: Nombre dado a los óxidos metálicos que por su gran solubilidad en el agua pueden actuar como bases energéticos.

Ámbar: Resina fósil, de color amarillo más o menos oscuro, opaca o semitransparente, muy ligera, dura y quebradiza, que arde fácilmente, con buen olor, y se emplea en cuentas de collares, boquillas para fumar, etc.

Amorfo: Sin forma regular o bien determinada.

Aminico: Perteneciente o relativo a las aminas.

Anión: Ion con carga negativa.

Antrópico: Época que media desde la aparición del hombre sobre la tierra hasta los tiempos históricos.

Arena Ottawa: conjunto de partículas, desagregados de las rocas, sobretodo son silicios.

Argamasa: Mezcla de arena, agua y cal.

Asbesto: Mineral de composición y caracteres semejantes a los del amianto, pero de fibras duras y rígidas que pueden compararse con el cristal hilado.

Asiría: Perteneciente o relativo a este país de Asia antigua.

Axial: Fundamental, central, principal.

- B -

Balaustrada: Serie u orden de balaustres colocados entre los barandales.

Baldosa: Ladrillo de poco espesor que sirve para solar.

Bambú: Planta tropical, con cañas ligeras y muy resistentes, que se emplean para la fabricación de muebles y otros objetos; sus brotes tiernos son comestibles. (S. m.)

Banquisa: Enorme masa de hielos perpetuos, formada por la congelación de aguas marinas a lo largo de las costas polares

Basalto: Roca compuesta principalmente de feldespato, es de color oscuro pesado y muy duro.

Barbotina: Pasta de arcilla o caolín licuado utilizada para pegar o para decorar piezas de cerámica, con pincel o con molde.

Bauxita: Óxido hidratado de aluminio que contiene generalmente cierta cantidad de óxido de hierro y suele ser de color blanquecino, gris o rojizo.

Benceno: Hidrocarburo cíclico, aromático, de seis átomos de carbono. Es un líquido incoloro e inflamable, de amplia utilización como disolvente y como reactivo en operaciones de laboratorio y usos industriales.

Biótico: Característico de los seres vivos o que se refiere a ellos.

Brea: Sustancia viscosa de color rojo oscuro que se obtiene haciendo destilar al fuego la madera de varios árboles de la clase de las Coníferas. Se emplea en medicina como pectoral y antiséptico.

Bulbo: Yema gruesa, por lo común subterránea, cuyas hojas están cargadas con sustancias de reserva.

Butirato: Sal de ácido butírico.

- C -

Cabriada: Cercha.

Caduco: Que está en desuso desde hace tiempo; pasado de moda; propio de otra época.

Capa freática: Es la primera capa de agua subterránea que se encuentra al realizar una perforación y la más susceptible a la contaminación antrópica.

Carcaza: conjunto de piezas duras y resistentes.

Carrillera: Correa que sujeta el casco o morrión.

Caserío: Conjunto formado por un número reducido de casas

Casquete: Cubierta de tela, cuero, papel, etc., que se ajusta al casco de la cabeza.

Catión: Ion con carga positiva.

Caucho: Látex producido por varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, que, después de coagulado, es una masa impermeable muy elástica, y tiene muchas aplicaciones en la industria.

Cazoleta: Pieza redonda de acero, que se fija en el medio de la parte exterior del broquel para cubrir su empuñadura.

Celulosa: Polisacárido que forma la pared de las células vegetales. Es el componente fundamental del papel.

Certificación: Documento en que se asegura la verdad de un hecho.

Cetónico: Que tiene un radical carbonilo unido a un hidrocarburo monovalente.

Champolion Figeac: Arqueólogo francés descifró los jeroglíficos egipcios mediante un estudio de la piedra de rosetta.

Chancar: Triturar, moler.

Charpa: Tahalí que hacia la cintura lleva unido un pedazo de cuero con ganchos para colgar armas de fuego.

Cimbra: Armazón de maderas que forman una superficie convexa sobre la que se construye un arco o bóveda.

Cobalto: Metal de color blanco rojizo, duro y difícil de fundir; se emplea en la fabricación de pinturas y esmaltes. (S. m.) .

Coloidal: Perteneciente o relativo a los coloides.

Colorímetro: Instrumento utilizado en colorimetría.

Conglomerante: Dicho de un materia capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de transformaciones químicas en su masa, que originan nuevos compuestos.

Coque: Combustible sólido, ligero y poroso que resulta de calcinar ciertas clases de carbón mineral.

Cribar: Separar las partes menudas de las gruesas de una materia.

Crisol: Recipiente usado para fundir diferentes tipos de metales.

Cromógeno: Dicho de una bacteria que produce materias colorantes u origina coloraciones.

Crujía: Espacio comprendido entre dos muros de carga.

Cuartear: Dividir en trozos o partes.

- D -

Degradación: Transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla.

Desbaste: Acción de desbastar, quitar las partes bastas de un material: el escultor procedió al desbaste del bloque de mármol.

Desconchado: Parte de una pieza de loza que ha perdido el vidriado.

Dieléctrico: Dicho de un material: Que es poco conductor y a través del cual se ejerce la inducción eléctrica.

Diques: Muro hecho para contener las aguas.

Dolomítica: Roca formada por el carbonato doble de cal y magnesita.

Dúctil: Dicho de un metal: Que admite grandes deformaciones mecánicas en frío sin llegar a romperse.

Dumpers: Es un vehículo diseñado para transportar material a granel, a menudo en las obras de construcción.

Duna: Colina de arena que se forma en los desiertos y playas por la acción del viento.

- E -

Elastómero: Materia natural o artificial que, como el caucho, tiene gran elasticidad.

Electrodo: Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.

Electrólisis: Descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica.

Electrón: Partícula elemental más ligera que forma parte de los átomos y que contiene la mínima carga posible de electricidad negativa.

Electrostática: Parte de la física que estudia los sistemas de los cuerpos electrizados en equilibrio.

Elongación: Alargamiento de una pieza sometida a tracción.

Embarcar: Varar la embarcación en un banco.

Émbolo: Pieza que se mueve alternativamente en el interior de un cuerpo de bomba o del cilindro de una máquina para enrarecer o comprimir un fluido o recibir de él movimiento.

Embrionario: Perteneciente o relativo al embrión. Estado embrionario.

Enfoscado: Capa de mortero con que está guarnecido un muro.

Enlucido: Capa de yeso, estuco u otra mezcla, que se da a las paredes de una casa con objeto de obtener una superficie tersa

Epóxi: Se dice de un tipo de resina sintética, dura y resistente, utilizada en la fabricación de plásticos, pegamentos, etc.

Escayola: Yeso espejuelo calcinado.

Escoria siderúrgica: Sustancia vítrea que sobrenada en el crisol en que se funden metales. Materia que suelta el hierro candente al ser golpeado con el martillo.

Esquisto: Roca de color negro azulado que se divide con facilidad en hojas.

Esmeril: Roca negruzca formada por el corindón granoso, al que ordinariamente acompañan la mica y el hierro oxidado. Es tan dura, que raya todos los cuerpos, excepto el diamante, por lo que se emplea en polvos para labrar las piedras preciosas, acoplar cristales, deslustrar el vidrio y pulimentar los metales.

Esparta: Estado de la antigua Grecia, en el Peloponeso.

Espécimen: Muestra, modelo, ejemplar, normalmente con las características de su especie muy bien definidas.

Estabilizante: Sustancia que añadida a ciertos preparados sirve para evitar su degradación.

Estratos: Masa de rocas sedimentarias extendida en sentido horizontal.

Estuco: Masa de yeso y agua, con la cual se hacen y preparan muchos objetos.

Etrusco: Perteneciente a este país de Italia antigua

Exfoliación: División o separación en escamas o láminas: la exfoliación de algunos minerales; la exfoliación de la corteza de un árbol

Exotérmico: Dicho de un proceso: Que va acompañado de desprendimiento de calor.

- F -

Fibro cemento: Mezcla de cemento y fibra de amianto, que se emplea para la fabricación de planchas, tuberías, depósitos, etc.

Fieltro: especie de paño sin tejer que resulta de conglomerar borra, lana o pelo.

Filamento: Cuerpo filiforme, flexible o rígido.

Fluctuación: Diferencia entre el valor instantáneo de una cantidad fluctuante y su valor normal

Fluidificantes: Medicamento que hace más fluidas las secreciones viscosas.

Forja: Lugar donde se reduce a metal el mineral de hierro.

Fotocatálisis: Aumento de la velocidad de una reacción química por efecto de la luz o de otras formas de energía radiante.

Frigoría: Unidad de medida de absorción del calor, empleada en la técnica de la refrigeración; corresponde a la absorción de una kilocaloría.

Frigorífico: Que produce artificialmente gran descenso de temperatura. Se dice principalmente de las mezclas y dispositivos que hacen bajar la temperatura más o menos grados.

- G -

Gas oil: Fracción destilada del petróleo crudo, que se purifica especialmente para eliminar el azufre. Se usa normalmente en los motores diésel y como combustible en hogares abiertos.

Geomecánico: Estudio de la relación entre la distribución geográfica de las enfermedades y las condiciones geológicas de la región.

Girómetro eléctrico: Aparato para medir la velocidad de rotación de una máquina.

Gis: Pasta hecha de yeso mate y greda, que se usa como lápiz para dibujar en los lienzos imprimados lo que se ha de pintar, y para escribir en los encerados de las aulas.

Granito: roca primitiva muy dura, compuesta de feldespato, cuarzo y mica.

Guarnecido: Revoque o entablado con que se revisten por dentro o por fuera las paredes de un edificio.

Guijarro: Piedra pequeña, redondeada y lisa formada por erosión del agua.

- H -

Habitáculo: Habitación morada.

Helacidad: Congelación producida por la frialdad del tiempo en los líquidos.

Helicoide: Superficie engendrada por una recta que se mueve apoyada constantemente en una hélice.

Hermético: Que se cierra de tal modo que no deja pasar el aire u otros fluidos.

Hexano: Hidrocarburo saturado que contiene en su molécula seis átomos de carbono y catorce de hidrógeno.

Hidroeléctrico: Perteneciente o relativo a la hidroelectricidad.

Hidrofugante: Utensillo de figura triangular que utilizan los albañiles para manejar la mezcla o mortero.

Hidrófugo: Dicho de una sustancia: Que evita la humedad o las filtraciones

Hidrogenión: Fijación de hidrógeno sobre un cuerpo.

Higrométrico: Referente al cuerpo cuyas condiciones varían notablemente con el cambio de la humedad atmosférica

Higroscópico: Propiedades de algunos cuerpos de exhalar y absorber humedad según el medio ambiente.

Histéresis: Fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa. Se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

Homogeneidad: Propiedad de una sustancia de composición y estructura uniformes.

Hulla: Carbón de piedra que se congutina al arder y, calcinado en vasos cerrados, da coque.

- I -

Infrarrojo: Se dice de la radiación del espectro electromagnético de mayor longitud de onda que el rojo y de alto poder calorífico.

Inmiscible: Que no se puede mezclar con otra sustancia.

Inorgánico: Dicho de un cuerpo sin órganos para la vida, como los minerales.

Ion: Átomo, molécula, partícula con carga eléctrica.

- K -

Kerosene: Una de las fracciones del petróleo natural, obtenida por refinación y destilación, que se destina al alumbrado y se usa como combustible en los propulsores de chorro.

- L -

Labra: Trabajo que consiste en modelar o labrar piedra, madera, metales preciosos, etc.

Laca: Barniz duro y brillante hecho con esta sustancia, muy empleado por los chinos y japoneses.

Lecho: Es la parte del fondo de un valle por donde discurren las aguas de un curso: es el confin físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

Lignina: Sustancia que impregna los tejidos de la madera y les da consistencia.

Líquen: Organismo resultante de la simbiosis de hongos con algas unicelulares, que crece en sitios húmedos, extendiéndose sobre las rocas o las cortezas de los árboles en forma de hojuelas o costras grises, pardas, amarillas o rojizas.

- M -

Macadam: Pavimento de piedra machacada que una vez tendida se comprime con el rodillo.

Macromolécula: Molécula de gran tamaño, generalmente de muy elevado peso molecular y de origen natural o sintético.

Magma: Masa espesa y gelatinosa, materia en función ígnea cuya consolidación ha originado ciertos materiales.

Magnetización: Representa el incremento en la inducción magnética debida al material del núcleo.

Magnesita: Silicato de magnesia hidratado, espuma de mar.

Malaquita: Mineral de carbonato de cobre, de color verde, susceptible de pulimento, que suele emplearse para chapear objetos de ornamento.

Matriz: En minería, roca en cuyo interior se ha formado un mineral.

Melamina: Compuesto cristalino utilizado en la fabricación de resinas sintéticas.

Mermar: Hacer que algo disminuya o quitar a alguien parte de cierta cantidad que le corresponde. Mermar la paga, la ración.

Mica: Mineral compuesto de hojuelas brillantes, elásticas, sumamente delgadas, que se rayan con la uña. Es un silicato múltiple con colores muy diversos y que forma parte integrante de varias rocas.

Módulo: Dimensión que convencionalmente se toma como unidad de medida, y más en general todo lo que sirve de norma o regla.

Momento magnético: Intensidad de campo magnético asociado con el electrón.

Marga: Roca compuesta principalmente de carbonato de cal y arcilla.

Marmita: Olla de metal con tapa ajustada y una o dos asas

Mate: Yeso blanco muy duro, que matado, molido y amasado con agua de cola, sirve como aparejo para pintar y dorar y para otros usos.

Molibdeno: Elemento químico de núm. atóm. 42. Metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra generalmente en forma de sulfuro. De color gris o negro y brillo plateado, pesado y con un elevado punto de fusión, es blando y dúctil en estado puro, pero quebradizo si presenta impurezas. Se usa en la fabricación de aceros y filamentos resistentes a altas temperaturas.

Monolitismo: Rigidez de una estructura política o ideológica, manifiesta en sus fundamentos o en su actuación.

- N -

Nafta: Fracción ligera del petróleo natural, obtenida en la destilación de la gasolina como una parte de esta. Sus variedades se usan como materia prima en la petroquímica, y algunas como disolventes.

Nebulización: Oscurecido por las nubes.

Nitrobenceno: Derivado nitrado del benceno. Es un líquido oleoso, tóxico, incoloro, ligeramente soluble en agua y muy soluble en alcohol y éter.

- O -

Obturador: Que sirve para obturar.

Ocre: Mineral terroso, deleznable, de color amarillo, que es un óxido de hierro hidratado, frecuentemente mezclado con arcilla.

Ohm: Unidad de resistencia eléctrica del Sistema Internacional, equivalente a la resistencia eléctrica que da paso a una corriente de un amperio cuando entre sus extremos existe una diferencia de potencial de un voltio. (Símb. Ω).

Opacidad: Cualidad de opaco.

Ortotrópico: Forma de tropismo en la que la planta crece en dirección del excitante.

Osciloscopio: Instrumento que registra oscilaciones de magnitudes electromagnéticas.

- P -

Parqué: Entarimado hecho con maderas finas de varios tonos, que, convenientemente ensambladas, forman dibujos geométricos.

Permeabilidad magnética: El material amplifica o debilita el efecto del campo magnético.

Petrológico: Parte de la geología que estudia las rocas en todo sus aspectos.

PH: Potencial hidrógeno. Coeficiente que caracteriza el grado de acidez de un medio.

Pinzamiento: Compresión de un órgano o parte de él, generalmente un nervio, entre dos superficies óseas.

Pistón: Parte o pieza central de la cápsula, donde está colocado el fulminante.

Pletina: Pieza metálica de forma rectangular y de espesor reducido.

Polarización: Modificación de rayos luminosos de tal manera que no se reflejen en ciertas direcciones.

Poliéster: Resina termoplástica obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas.

Polietileno: Polímero del gas etileno, fuerte, flexible, liviano y transparente.

Polietileno reticular: Polímero preparado a partir de etileno. Se emplea en la fabricación de envases, tuberías, recubrimientos de cables, objetos moldeados, etc.

Polimerizado: Convertir una sustancia en otra de la misma composición pero con pesos moleculares múltiples unos de otros.

Polímero: Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

Poliuretánico: Material plástico empleado en la industria de la pintura y barnices.

[ppm]: Partes por millón. Unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades en una mezcla.

Porcelanato: Losa blanca translúcida e impermeable.

Pórtland: Cemento hidráulico.

Puzolana: Roca volcánica pulverulenta que se encuentra en puzol.

- R -

Radiación Gamma: Luz, calor u otro tipo de energía que sale de un cuerpo.

Radial: Dicho de un neumático o de una cubierta: Que tiene surcos cruzados con respecto al sentido de la marcha.

Reactividad: Calidad de reactivo, que produce reacción.

Refractar: Hacer que cambie de dirección un rayo de luz u otra radiación electromagnética al pasar oblicuamente de un medio a otro de diferente velocidad de propagación.

Refinerías petroleras: Fábrica o instalación industrial donde se refina un producto.

Refrigerante: Recipiente con agua para disminuir la temperatura de un fluido.

Reómetro: Aparato con que se determina la velocidad de una corriente de agua.

Resina: Sustancia orgánica principalmente de origen vegetal, soluble en el alcohol.

Rupestre: Se dice especialmente de las pinturas y dibujos prehistóricos existentes en algunas rocas y cavernas

- S -

Sasánidas: Dinastía persa que reino de 226 a 651.

Serpentina: Piedra de color verdoso, con manchas o venas más o menos oscuras, casi tan dura como el mármol, tenaz, que admite hermoso pulimento y tiene mucha aplicación en las artes decorativas. Es un silicato de magnesita teñido por óxidos de hierro.

Sinergia: Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

Solería: Revestimiento de piso, material para solar.

Sonda: Cuerda con un peso de plomo que sirve para medir la profundidad de las aguas y explorar el fondo.

Sondeo: Medición o exploración de las aguas o del subsuelo mediante una sonda.

Susceptibilidad magnética: Es la relación entre la magnetización y el campo aplicado, proporciona la amplificación dada por el material.

- T -

Tabicón: Tabique que no pasa de un pie de grueso

Tamización: Pasar una cosa por el tamiz.

Tapial: Molde de tablas que sirven para hacer las tapias.

Tarquinio: Ciudad de Italia.

Termosifón: Aparato de calefacción por medio de agua caliente que va entubada a diversos locales de un edificio o elementos de una maquinaria.

Termostato: Aparato que sirve para mantener automáticamente una determinada temperatura.

Temperatura de reblandecimiento: a partir de cierto límite de agitación se puede romper los enlaces que mantienen la estructura del cuerpo.

Templetes: que se emplea para cobijar una imagen o forma parte de un mueble o alhaja.

Tixotropía: Licuación de ciertas gelatinas por agitación o acción de ondas ultrasonoras.

Trefilado: Reducir un metal a hilo.

Trípoli: Capital de Libia a orillas del mediterráneo

Tungsteno: piedra pesada, de tung, pesado, y sten, piedra.

Tipología: Estudio y clasificación de tipos que se practica en diversas ciencias.

Tonel: Medida antigua para el arqueo de las embarcaciones, equivalente a cinco sextos de tonelada.

Turbina: Rueda hidráulica, con paletas curvas colocadas en su periferia, que recibe el agua por el centro y la despiden en dirección tangente a la circunferencia, con lo cual aprovecha la mayor parte posible de la fuerza motriz.

- U -

Ultravioleta: Se dice de la radiación electromagnética que se encuentra entre el extremo violado del espectro visible y los rayos X y provoca reacciones químicas de gran repercusión biológica.

- V -

Verdín: Capa verde de plantas criptógamas, que se cría en las aguas dulces, principalmente en las estancadas, en las paredes y lugares húmedos y en la corteza de algunos frutos, como el limón y la naranja, cuando se pudren.

Vesubio: Volcán situado al sur este de Nápoles a una distancia de 8 Km.

Voladura: Acción y resultado de volar una cosa, generalmente por medio de una explosión.

Vinílico: Perteneciente o relativo al vinilo.

Vinilo: Radical etilénico monovalente existente en los compuestos vinílicos.

- W -

Wolframio: Elemento químico de núm. atóm. 74. Metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. De color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los elementos (Símb. W).

- X -

Xilófagos: Que se alimenta con madera.

- Y -

Yacimientos: Sitio donde se halla naturalmente una roca, un mineral, un fósil, o restos arqueológicos.

- Z -

Zaranda: cedazo rectangular que se usa en los lagares.

Zócalo: También llamado rodapié, es un friso inferior de una pared, o miembro inferior de un pedestal

Zuncho: Refuerzo metálico, generalmente de acero, para juntar y atar elementos constructivos de un edificio en ruina.

PROYECTO

El trabajo consiste en realizar un análisis económico de todos los items referentes a la construcción de una vivienda (Obra gruesa y fina).

Realizar las siguientes tareas:

- a.** Establecer una lista de items necesarios para la ejecución de la obra a realizar.
- b.** Realizar los cálculos métricos de cada uno de los items (Ver Planilla Tipo 1).
- c.** Realizar el análisis de precios unitarios (Ver planilla Tipo 2).
- d.** Establecer un presupuesto parcial de cada ítem y total de la construcción (Ver planilla 3).
- e.** Detallar una lista de materiales y cantidades necesarias.
- f.** Calcular el precio por metro cuadrado de construcción de acuerdo a una revista de referencia.

El proyecto deberá ser elaborado por grupos de un número máximo de 3 personas.

PLANILLA TIPO 1 - CÓMPUTOS MÉTRICOS

Item	Descripción	Nº Unid.	Dimensiones			Unid.	Cantidad	
			alto	largo	ancho		Parcial	Total
1								

PLANILLA TIPO 2 - PRECIOS UNITARIOS

Item:					
Descripción:			Cantidad:		
Unidad:			Moneda:		
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo Total
A	MATERIALES				
	Total materiales				A
B	MANO DE OBRA				
	Sub total mano de obra				X1
	Cargas Sociales (55 - 71.18%) X1				X2
	IVA (14.94%) X1+X2				X3
	Costo total mano de obra				B
C	HERRAMIENTAS Y EQUIPO				
	Herramientas (3 - 8%) B				C
	Costo total de herramientas y equipo				C
D	COSTO DIRECTO (A+B+C)				D
E	GASTOS GENERALES ADMINISTRATIVOS				
	Gastos generales(10 - 15 %) D				E
	Costo total de gastos generales y administrativos				E
F	UTILIDAD (7 - 15 %) D+E				
	Total utilidad				F
G	PRECIO TOTAL $\Sigma(D+E+F)$				G
H	IMPUESTOS				
	IMPUESTOS IT = (3.09%) G				H
I	PRECIO DE APLICACIÓN $\Sigma(G+H)$				

PLANILLA TIPO 3 - PRESUPUESTO GENERAL

PROYECTO:
UBICACIÓN:
FECHA:

ITEM	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$US)	COSTO TOTAL (\$US)
	TRABAJOS PRELIMINARES					
1		Instalación de faenas	Gbl			
2		Replanteo y trazado	Gbl			
	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
3		Excavaciones simples	m3			
4		Relleno simple	m3			
	ESTRUCTURAS DE Hº Aº					
5		Zapatas	m3			
6		Columnas	m3	0,00		
7		Vigas	m3			
8		Losas	m3			
9	TOTAL VOLUMEN DE Hº Aº					
	CIMIENTOS					
10		Hormigón ciclópeo	m3			
	SOBRECIMENTOS					
11		Hormigón ciclópeo	m3			
	MUROS					
12		Ladrillo hueco	m2			
	DINTELES					
13		madera para dinteles	ml			
	ESCALERAS					
14		Escalera de Hº simple	m3			
	MARCOS					
15		madera para puertas	ml			
16		madera para ventanas	ml			
				COSTO TOTAL		

ÍNDICE DE ENSAYOS Y SUS DESIGNACIONES SEGÚN NORMA

CAPÍTULO 22 — PROPIEDADES Y ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA PARA Hº.....4

AG. 1 CALIDAD DEL AGUA PARA HORMIGONES..... AASHTO T 26

CAPÍTULO 23 — ROCA Y AGREGADOS.....10

ROCA

R.1 VELOCIDAD DE ONDA P Y S.....	ASTM D 3999
R.2 COMPRESIÓN UNIAxIAL SIMPLE.....	ASTM D 4543
R.3 ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL.....	ASTM D 5731
R.3 COMPRESIÓN TRIAXIAL.....	ASTM D 2664
R.4 CORTE DIRECTO.....	ASTM D 5607
R.5 DURABILIDAD SLAKE.....	ASTM D 4644

AGREGADOS

A.1 EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS.....	ASTM C 75 AASHTO T 2
A.2 CUARTEO DE MUESTRAS.....	ASTM C 702 / AASHTO T 248
A.3 GRANULOMETRÍA.....	ASTM C 136 / AASHTO T 27
A.4 MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM.....	ASTM C 117 / AASHTO T 11
A.5 DENSIDAD APARENTE.....	ASTM E 30 / ASTM C 29
A.6 DENSIDAD REAL, NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS.....	ASTM C 127 / AASHTO T 85
A.7 DENSIDAD REAL, NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS.....	ASTM C 128 / AASHTO T 84
A.8 DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.....	ASTM C 131 / AASHTO T 96
A.9 EQUIVALENTE DE ARENA.....	ASTM D 2419
A.10 DESINTEGRACIÓN MEDIANTE SULFATOS.....	ASTM C 88 / AASHTO T 104
A.11 ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS.....	ASTM C 3744 / AASHTO T 210
A.12 REACTIVIDAD ÁRIDO /ALCALI (MÉTODO QUÍMICO).....	ASTM C 289

CAPÍTULO 24 — AGLOMERANTES.....46

CEMENTO

C.1 MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 183 / AASHTO T 127
C.2 FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE.....	ASTM C 204 / AASHTO T 153
C.3 FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL TURBIDIMETRO.....	ASTM C 115 / AASHTO T 98
C.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO (LE CHATELIER).....	ASTM C 188 / AASHTO T 133
C.5 EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE.....	ASTM C 151 AASHTO T 107
C.6 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (APARATO DE VICAT).....	ASTM C 191/ AASHTO T 131
C.7 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (AGUJAS DE GILLMORE).....	ASTM C 266 / AASHTO T 154
C.8 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 188 / AASHTO T 133
C.9 FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA.....	ASTM C 451 / AASHTO T 186
C.10 CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 186
C.11 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.....	ASTM C 187 / AASHTO T 129

CAPÍTULO 25 — MORTEROS.....70

M.1 PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA.....	ASTM C 305 / AASHTO T 162
M.2 EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO.....	ASTM C 243
M.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 109
M.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 348
M.4 FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 230 / AASHTO M 152
M.5 CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND.....	ASTM C 596
M.6 RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 190 / AASHTO T 132
M.7 CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO.....	ASTM C 185 / AASHTO T 137
M.8 EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS.....	ASTM C 452

CAPÍTULO 26 — HORMIGÓN.....89

H.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO.....	ASTM C 172 / AASHTO T 141
H.2 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE Hº.....	ASTM 192 / AASHTO T 126

H.3 REFRENTADO DE PROBETAS.....	ASTM 617 / AASHTO T 231
H.4 DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS.....	ASTM C 143 / AASHTO T 119
H.5 DENSIDAD APARENTE, RENDIMIENTO Y CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE.....	ASTM C 138 / AASHTO T 121
H.6 COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS.....	ASTM C 39 / AASHTO T 22
H.7 PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS FUTURAS A LA COMPRESIÓN.....	ASTM C 1073
H.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL Hº (PORCIÓN DE VIGA ROTA).....	ASTM C 116 / AASHTO T 40
H.9 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS.....	ASTM C 78 Y 293 / AASHTO T 97 Y T 77
H.10 TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS.....	ASTM C 496
H.11 FLUJO PLÁSTICO DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN.....	ASTM C 512
H.12 TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS.....	ASTM C 42 / AASHTO T 24
H.13 MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN.....	ASTM C 174 / AASHTO T 148

CAPÍTULO 28 — MATERIALES CERÁMICOS.....127

L.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	NB 1211001
L.2 ABSORCIÓN DE AGUA.....	NB 1211001
L.3 DIMENSIONES.....	NB 1211001 - NB 1211003
L.4 HELACIDAD.....	NB 1211001

CAPÍTULO 29 — MATERIALES METÁLICOS.....131

AC.1 TRACCIÓN.....	ASTM E 8-81
--------------------	-------------

CAPÍTULO 30 — MADERA.....135

MA.1 HUMEDAD.....	ASTM D 143
MA.2 DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO.....	ASTM D 143
MA.3 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.....	ASTM D 143
MA.4 COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.....	ASTM D 143
MA.5 TRACCIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.....	ASTM D 143
MA.6 FLEXIÓN DE LA MADERA.....	ASTM D 143
MA.7 DUREZA.....	ASTM D 143

CAPÍTULO 31 — VIDRIO.....140

V.1 ENSAYO DEL PÉNDULO.....	UNE EN 12600
-----------------------------	--------------

CAPÍTULO 33 — PINTURA.....147

P.1 NIEBLA SALINA.....	ASTM B 117 - 90
P.2 HUMEDAD.....	ASTM D 1735 - 87

CAPÍTULO 34 — ASFALTO Y MATERIALES BITUMINOSOS.....149

AS.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS.....	ASTM D 70 / AASHTO T 228
AS.2 PUNTO DE LLAMA Y PUNTO DE FUEGO (CLEVELAND).....	ASTM D 92 / AASHTO T 48
AS.3 PUNTO DE LLAMA (TAGLIBUE).....	ASTM D 3143
AS.4 VISCOSIDAD SAYLBOLT FUROL.....	ASTM D 244 AASHTO T 59-97
AS.5 PENETRACIÓN.....	ASTM D 5 / AASHTO T 49
AS.6 ENSAYO DE LA MANCHA.....	ASTM D 102-83
AS.7 DUCTILIDAD.....	ASTM D 113 / AASHTO T 51
AS.8 AGUA EN PRODUCTOS BITUMINOSOS.....	ASTM D 1461
AS.9 DESTILACIÓN.....	ASTM D 6997 AASHTO T 59-97
AS. 10 PELÍCULA DELGADA.....	ASTM D 1754 / AASHTO T 179-05

SIMBOLOGÍA

ACI: American Concrete Institute.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTM: American Society of Testing and Materials.

NB: Norma Boliviana.

UNE: Una Norma Española.

Las letras que van al principio del nombre de cada ensayo tienen el siguiente significado:

AG: Agua.

R: Roca.

A: Agregados.

C: Cemento.

M: Mortero.

H: Hormigón.

L: Ladrillo.

AC: Acero.

MA: Madera.

V: Vidrio.

P: Pintura.

AS: Asfalto.

Las letras **M** y **T** que preceden al numeral son referidas a la AASHTO.

Las letras **C** y **D** que preceden al numeral son referida a la ASTM.

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

PARTE 1- GENERALIDADES

Tabla 3.1. Aplicaciones de algunas rocas	5
Tabla 3.2. Aplicaciones de gravas de diferentes granulometrías	9
Tabla 6.1. Dosificaciones y aplicaciones	34
Tabla 8.1. Características	43
Tabla 8.2. Características	43
Tabla 9.1. Especificaciones para tejas	50
Tabla 9.2. Especificaciones para tejas	51
Tabla 9.3. Especificaciones para tejas	51
Tabla 9.4. Absorción de agua	55
Tabla 9.5. Clasificación según el tipo de tránsito	55
Tabla 10.1. Aplicaciones, usos y suministro comercial	63
Tabla 12.1. Características del vidrio templado	71
Tabla 15.1. Aplicación y viscosidad requerida	86
Tabla 16.1. Dimensiones de tuberías	91
Tabla 16.2. Especificaciones	96
Tabla 16.3. Valores acústicos	97
Tabla 16.4. Especificaciones	98
Tabla 16.5. Valores acústicos	98
Tabla 16.6. Especificaciones	99
Tabla 16.7. Valores acústicos	99
Tabla 16.8. Especificaciones	101
Tabla 16.9. Valores acústicos	101
Tabla 16.10. Especificaciones	102

PARTE 2 - PROPIEDADES Y ENSAYOS

Tabla 22.2.1. Limitaciones del agua para concreto. ASTM C 94	7
Tabla 23.1.1. Composición, peso y densidad específica	10
Tabla 23.1.2. Resistencia a la compresión	10
Tabla 23.1.3. Módulo de rotura	11
Tabla 23.1.4. Escala de Mohs	11
Tabla 23.4.1. Cantidades más finas que pasan de cada tamiz de laboratorio. ASTM C 33	17
Tabla A.3.1. Serie de tamices escogidos	20
Tabla A.3.2. Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino	20
Tabla A.3.3. Tamaño de la muestra de ensaye del árido grueso	21
Tabla A.4.1. Tamaño de la muestra de ensaye	23
Tabla A.5.1. Dimensiones de las medidas	24
Tabla A.6.1. Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido	27
Tabla A.8.1. Grado de ensaye definidos por sus rangos de tamaño en mm	34
Tabla A.10.1. Tamaño de la muestra de ensayo áridos finos	38
Tabla A.10.2. Áridos gruesos	38
Tabla A.10.3. Serie de tamices para examen cuantitativo	39
Tabla 24.1.1. Densidad del yeso en función del agua de amasado	48
Tabla 24.1.2. Densidad y Coeficiente de conductividad	48
Tabla 24.1.3. Coeficiente de penetración térmica	48
Tabla 24.1.4. Resistencias mecánicas de acuerdo al porcentaje de agua de amasado	50
Tabla 24.2.1. Fraguado	50
Tabla 24.2.2. Resistencia a la compresión	51
Tabla C.1.1. Número de muestras para ensayo	53
Tabla C.2.1. Peso específico del mercurio, viscosidad del aire(N) a algunas temperaturas	56
Tabla C.2.2. Porosidad de la capa de cemento	56
Tabla C.3.1. Valores de H, D Y H/D ² empleados en la calibración del turbidímetro	57
Tabla C.3.2. Dimensiones de la bureta	57
Tabla C.3.3. Ejemplo de anotación de datos	59
Tabla C.3.4. Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas	60
Tabla C.3.5. Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas	60
Tabla M.3.1. Tamices para normalización de arena	79
Tabla M.4.1. Orden de apisonado de las capas	82
Tabla M.4.2. Tolerancias	82
Tabla M.7.1. Porcentaje de agua para morteros estándar	87
Tabla M.7.2. Tolerancias	88

Tabla M.9.1. Granulometría para el yeso a ser usado	91
Tabla M.9.2.	92
Tabla 26.1.1. Consistencia en hormigones frescos.....	95
Tabla H.3.1. Numero de capas requeridas en la elaboración de las muestras.....	102
Tabla H.3.2. Diámetro de varilla y número de golpes por capa.....	103
Tabla H.5.1. Dimensiones de las medidas volumétricas.....	109
Tabla H.5.2. Procedimiento para compactar en función del asentamiento.....	109
Tabla 30.1.1. Densidad.....	141
Tabla 31.1.1. Colores de los vidrios de acuerdo a su composición.....	157
Tabla 31.1.2. Composición en porcentaje de distintos tipos de vidrios.....	158
Tabla V.1.1. Requisitos necesarios para ser clasificados de acuerdo a la altura de caída del impactador.....	161
Tabla V.1.2. Los vidrios planos templados de seguridad, ensayados cumplirán con lo indicado en la siguiente tabla.....	161
Tabla 32.1.1. Propiedad, norma y unidades.....	162
Tabla 32.1.2. Propiedad, norma y unidades.....	163
Tabla 34.1.1. Densidad típica.....	166
Tabla 34.1.2. Viscosidad.....	166
Tabla 34.1.3. Resistividad.....	167
Tabla 34.1.4. Resistencia dieléctrica.....	167
Tabla 34.1.5. Pérdida Dieléctrica.....	167
Tabla 34.1.6. Límites de temperaturas recomendadas.....	168
Tabla AS.10.1. Precisión.....	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

PARTE 1 - GENERALIDADES

Fig. 3.1. Proceso de extracción.....	3
Fig. 3.2. Proceso de extracción de los áridos.....	8
Fig. 3.3. Aplicaciones de los áridos.....	9
Fig. 4.1. Flujograma del proceso de fabricación de la cal viva y la cal hidratada.....	11
Fig. 4.2 Partes del equipo de fabricación.....	11
Fig. 4.3. Flujograma resumen del proceso de fabricación del yeso.....	16
Fig. 4.4. Flujograma resumen del proceso de fabricación del cemento.....	19
Fig. 6.1. Flujograma resumen del proceso de elaboración de un mortero.....	32
Fig. 7.1. Flujograma resumen del proceso de elaboración de un hormigón.....	36
Fig. 8.1. Esquema de una loseta.....	42
Fig. 9.2. Pendientes.....	52
Fig. 9.3. Pendientes.....	52
Fig. 10.1. Proceso de fabricación del acero.....	59
Fig. 16.1. Suelo - Sistema Impactodan.....	96
Fig. 16.2. Medianera.....	97
Fig. 16.3. Trasdoso.....	99
Fig. 16.4. Bajante.....	100
Fig. 16.5. Techo.....	102
Fig. 20.1. Certificaciones de calidad.....	122
Fig. 20.2. Esquema de las bases del proceso de certificación.....	123
Fig. 20.3. Proceso de certificación.....	124

PARTE 2 - PROPIEDADES Y ENSAYOS

Fig. 21.1. Clasificación de las propiedades de los materiales.....	1
Fig. 22.1.1. Relación Temperatura vs. Densidad.....	5
Fig. 22.1.2. Escala del PH.....	6
Fig. 26.1.1. Curva de relación Tensión – Deformación.....	96
Fig. 30.1.1. Esquema de corte.....	144
Fig. V.1.1. Áreas sometidas a esfuerzos.....	160

APÉNDICE A – MUESTRARIO GRÁFICO

Fig. A.1. Ciclo hidrológico.....	1
Fig. A.2. Composición de una roca.....	1
Fig. A.3. Ciclo de formación de las rocas.....	2
Fig. A.4. Rocas sedimentarias detríticas.....	2
Fig. A.5. Rocas sedimentarias químicas carbonatadas.....	2
Fig. A.6. Rocas sedimentarias químicas evaporíticas.....	2
Fig. A.7. Rocas metamórficas.....	2
Fig. A.8. Rocas ígneas plutónicas.....	2
Fig. A.9. Rocas ígneas volcánicas.....	2
Fig. A.10. Grava redondeada y chancada.....	3
Fig. A.11. Esquema de fabricación de la cal.....	3
Fig. A.12. Yeso Cola.....	3
Fig. A.13. Cristal de yeso.....	3
Fig. A.14. Yeso Flor del desierto.....	3
Fig. A.15. Yeso Selenita.....	3
Fig. A.16. Esquema del proceso de fabricación del cemento.....	4
Fig. A.17. Proceso de fabricación.....	4
Fig. A.18. Esquema de un apuntalamiento.....	5
Fig. A.19. Esquema de montaje.....	5
Fig. A.20. Vaciado de la capa.....	5
Fig. A.21. Perforado.....	5
Fig. A.22. Gambote.....	5
Fig. A.23. Tejar.....	5
Fig. A.24. Hueco.....	5
Fig. A.25. Tipos de ladrillos / Lab. Arquitectura.....	5
Fig. A.26. Muro tabique.....	6

Fig. A.27. Muro palomero.....	6
Fig. A.28. Muro soguilla.....	6
Fig. A.29. Muro semicarga.....	6
Fig. A.30. Muro semicarga.....	6
Fig. A.31. Esquema del proceso de fabricación del acero.....	7
Fig. A.32. Ejemplos de materiales metálicos no ferrosos.....	8
Fig. A.33. Tipos de materiales metálicos / Lab. Arquitectura.....	8
Fig. A.34. Partes de la madera.....	9
Fig. A.35. Deformaciones de la madera.....	9
Fig. A.36. Tipos de maderas de construcción / Lab. Arquitectura.....	9
Fig. A.37. Tipos de vidrios / Lab. Arquitectura.....	10
Fig. A.38. Vidrio laminado.....	10
Fig. A.39. Simple y doble vidriado.....	10
Fig. A.40. Los 7 símbolos.....	11
Fig. A.41. Plastoformo / Lab. Arquitectura.....	11
Fig. A.42. Proceso de obtención del cemento asfáltico.....	14
Fig. A.43. Tuberías y accesorios / Lab. Arquitectura.....	15
Fig. A.44. Calentador de agua moderno.....	15
Fig. A.45. Calentador de paso eléctrico.....	15
Fig. A.46. Calentador de paso a gas.....	15
Fig. A.47. Calentador de tanque eléctrico.....	15
Fig. A.48. Calefón solar.....	15
Fig. A.49. Calefón solar con colector de tubos de vidrio a vacío.....	15
Fig. A.50. Aire acondicionado.....	16
Fig. A.51. Split (partido).....	16
Fig. A.52. Climatizador de ventana.....	16
Fig. A.53. Split portátil.....	16
Fig. A.54. portátil.....	16
Fig. A.55. Cuadro eléctrico.....	16
Fig. A.56. Fusible industrial.....	16
Fig. A.57. Toma a tierra.....	16
Fig. A.58. Diferentes tipos de elementos de automatización y control.....	16
Fig. A.59. Video.....	16
Fig. A.60. Control de Accesos.....	16
Fig. A.61. Puerta Riel.....	16
Fig. A.62. Instalaciones de Rociadores Automáticos.....	16
Fig. A.63. Pantalla Touchscreen 1.....	17
Fig. A.64. Pantalla Touchscreen 2.....	17
Fig. A.65. Central Telefónica.....	17
Fig. A.66. Distintos tipos de máquinas.....	17
Fig. A.67. Mezcladora.....	18
Fig. A.68. Vibradora para hormigón.....	18
Fig. A.69. Bomba de agua.....	18
Fig. A.70. Una sierra de hormigón en plena actividad.....	18
Fig. A.71. Guinche.....	18
Fig. A.72. Flexómetro.....	18
Fig. A.73. Nivel de burbuja.....	18
Fig. A.74. Escuadra.....	18
Fig. A.75. Serrucho.....	18
Fig. A.76. Cíncel.....	18
Fig. A.77. Rascador de aluminio.....	18
Fig. A.78. Papel para lijar.....	18
Fig. A.79. Palas.....	19
Fig. A.80. Picota.....	19
Fig. A.81. Plomada.....	19
Fig. A.82. Paletas.....	19
Fig. A.83. Llanas.....	19
Fig. A.84. Fratasas.....	19
Fig. A.84. Protectores de oído.....	19
Fig. A.85 Protectores de ojos y cara.....	19
Fig. A.86. Protección de vías respiratorias.....	19
Fig. A.87. Protectores de manos y brazos.....	19
Fig. A.88. Protección total del cuerpo.....	19
Fig. A.89. Andamio pre armado.....	20
Fig. A.90. Andamio con ruedas.....	20
Fig. A.91. Andamio colgante.....	20
Fig. A.93. Equipo de medición de ondas.....	20
Fig. A.94. Prensa hidráulica.....	20
Fig. A.95. Máquina de carga puntual.....	20
Fig. A.96. Gata hidráulica.....	20

Fig. A.97. Marco computarizado Celda triaxial. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	21
Fig. A.98. Aparato de cizalladura. Lab. ABC. La Paz. Bolivia	21
Fig. A.99. Aparato de cizalladura. Lab. ABC. La Paz. Bolivia	21
Fig. A.100. Equipo de durabilidad	22
Fig. A.101. Muestreo de los agregados / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	22
Fig. A.102. Cuarteador	22
Fig. A.103. Cuarteo / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	22
Fig. A.104. Tamizadora electromagnética	22
Fig. A.105. Tamizado. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	22
Fig. A.106. Juego de tamices / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	23
Fig. A.107. Tamizado. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	23
Fig. A.108. Muestras de granulometría de los agregados / Lab. Arquitectura	23
Fig. A.109. Juego de tamices y blanzas mecánica y nelectrónica / Lab. Arquitectura	24
Fig. A.110. Aparato para rotura de cilindros / Lab. Arquitectura	25
Fig. A.111. Horno	25
Fig. A.112. Muestras en horno. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	25
Fig. A.113. Balanza electrónica / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	25
Fig. A.114. - A. 115 Baño María. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	25
Fig. A.116. Inmersión de los agregados. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	26
Fig. A.117. Máquina De Los Ángeles. / Lab. ABC. La Paz. Bolivia	26
Fig. A.118. Canastos para inmersión	26
Fig. A.119. Cono y Pisón	26
Fig. A.120. Máquina de los Angeles	26
Fig. A.121. Juego de tubos de ensayos y accesorios	26
Fig. A.122. Agitador con motor	26
Fig. A.123. Equipo para determinación de impurezas	26
Fig. A.124. Aparato de Cleveland	27
Fig. A.125. Aguja de Vicat	27
Fig. A.126. Aparato de autoclave	27
Fig. A.127. Aparato de Blaine	27
Fig. A.128. Molde cónico, bandeja, varilla	27
Fig. A.129. Máquina universal de ensayos. Ensayo de flexión	27
Fig. A.130. Higrómetro para medir el porcentaje de agua en la madera	27