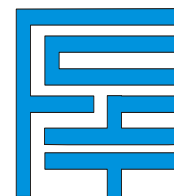


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“MATERIAL DE APOYO DIDACTICO PARA LA ENSEÑANZA Y  
APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA MATERIALES DE  
CONSTRUCCION (GUIA DE LAS PRACTICAS DE CAMPO Y  
NORMAS DE CALIDAD)”**

Proyecto de Grado, Presentado Para Optar al Diploma Académico de  
Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Presentado por:** WILTHON PAVEL ALCONZ INGALA

**Tutor:** Ing. Gustavo Cano Prado

**COCHABAMBA – BOLIVIA**

Diciembre, 2006

# **DEDICATORIA**

A mi Madre y a mi Padre, a mis hermanos que me dan seguridad e inspiración por ser siempre un apoyo.

# **AGRADECIMIENTO**

A el Dios por guiarme por el camino correcto y por bendecirme día a día.

A mis PADRES por darme la vida, guiarme y enseñarme en los momentos mas importantes durante mi formación.

A mis hermanos por brindarme su apoyo en cada momento

A los docentes y amigos que colaboraron en el desarrollo del presente trabajo y por la formación profesional que me dieron.

## FICHA RESUMEN

Dada la tecnología (local y foránea) que se tiene para la construcción de los materiales de construcción, se hace necesario un apoyo bibliográfico, que permita orientar al estudiante en la fabricación y la normalización, formándole criterios técnicos. Sin embargo, en nuestro medio son escasos los textos con estas características, encontrándose la información dispersa en diferentes libros y normas nacionales y extranjeras. Por tal motivo este texto organiza la información necesaria para la fabricación de los materiales de construcción y la normalización del mismo, partiendo de los conocimientos básicos artesanales hasta la llegar a complejas fábrica de materiales.

El presente texto se compone de 13 capítulos y estas a su vez se componen de dos áreas, la primera (Guía prácticas de campo) comprende como su nombre lo indica los estudios que se realizan y los pasos necesarios para la fabricación de los materiales y la segunda parte (Propiedades y ensayos y de laboratorio) la normalización de los materiales fabricados, es decir se determina los parámetros de aceptabilidad de los materiales de construcción haciendo una descripción de los ensayos basados en el compendio de normas (mostrada como anexos).

Los 13 capítulos abarcan todo el programa y algunos nuevos que se requieren para la mejor cognición del estudiante. Una síntesis de los capítulos es la siguiente:

- Capítulo 1 “Agregados” se desarrolla la parte de actividades Industriales (prospección, explotación y comercialización) seguida de los ensayos físicos y químicos y los requisitos que exigidos para diferentes usos.
- Capítulo 2 “Materiales cerámicos” comprende la extracción de la materia prima (diferentes minerales de arcilla) modo de fabricación artesanal y tecnificada, tratamientos realizados y clasificación de los mismos. Ensayos de laboratorio y requisitos necesarios para las diferentes clasificaciones.
- Capítulo 3 “Yeso y escayolas” comprende los tipos de yesos y escayolas propiedades (densidad, adherencia, dureza, etc.). Ensayos para determinar las propiedades físico – químicos y características que deben cumplir.
- Capítulo 4 “Cal” comprende los tipos de cales y propiedades (densidad, adherencia, dureza, etc.). Ensayos para determinar las propiedades físico – químicos, tipos de apagado y características que deben cumplir.
- Capítulo 5 “Cementos” Comprende la extracción de la materia prima procesos de fabricación por diferentes tipos de fabricas y comercialización. Ensayos para los diferentes tipos de cementos basados en la norma Boliviana y requisitos a cumplirse.
- Capítulo 6 “Morteros” Comprende la calificación de los componentes de los morteros, clasificación, y elaboración. Ensayos para determinar las propiedades físico químico y requisitos a cumplirse por las diferentes normas.
- Capítulo 7 “Hormigón” desarrollando un estudio a detalle de los componentes del hormigón, procesos que experimenta el hormigón fresco y endurecido, requisitos y relaciones en la dosificación y denominación.



- Capitulo 8 “Maderas” Componentes de la madera, expansión térmica lineal contenida de humedad, curada y secado y formas comerciales, tipos de aserrado, clasificación y graduación de la madera y condiciones que debe reunir.
- Capitulo 9 “Metales” comprende: Procesos de fabricación, procesos de acabo, clasificación, estructura, tratamiento térmico del acero, propiedades y ensayos, análisis del acero según la chispa.
- Capitulo 10 “Aditivos” comprende: Clasificación determinaciones y finura de molido.
- Capitulo 11 “Materiales bituminosos” comprende: emulsiones asfálticas, procedimiento constructivo de las plantas de mezclas asfálticas, usos, ensayos a cementos asfálticos y ensayos a emulsiones asfálticas
- Capitulo 12 “Pinturas” comprende: Procesos de fabricación, clases de pintura, técnicas de la pintura, mejoramiento químico de las superficies, tiempo de secado, etc.
- Capitulo 13 “plásticos” comprende: Manufactura, formación de plásticos, métodos de fabricación, tipos y usos, propiedades de los plásticos, propiedades y verificación.

## ÍNDICE

<b>Práctica de campo N° 1.....</b>	<b>1</b>
<b>“Agregados”.....</b>	<b>1</b>
1. Actividades para la Utilización de Agregados Industriales.....	1
1.1. Prospección y exploración.....	1
1.2. Reservas probadas.....	1
1.3. Reservas probables.....	1
1.4. Reserva posibles o inferidas.....	1
1.5. Explotación.....	2
1.6. Preparación.....	5
1.7. Operaciones de preparación.....	6
1.8. Productos de las operaciones de preparación.....	7
1.9. Otras clasificaciones.....	9
2. Agregados especiales.....	9
2.1. Tendencias.....	10
<b>Propiedades y Ensayos de laboratorio para Agregados.....</b>	<b>11</b>
1. Introducción.....	11
2. Terminología.....	11
i. Análisis granulométrico.....	11
ii. Arena.....	11
iii. Arena natural.....	11
iv. Arena normal.....	11
v. Arena de trituración.....	11
vi. Arena volcánica.....	11
vii. Árido.....	11
viii. Árido Artificial.....	12
ix. Árido fino.....	12
x. Árido grueso.....	12
xi. Árido liviano.....	12
xii. Árido natural.....	12
xiii. Árido total.....	12
xiv. Contenido de humedad superficial.....	12
xv. Contenido total de la humedad.....	12
xvi. Granulometría.....	12
xvii. Grava natural.....	12
xviii. Grava partida.....	12
xix. Grava triturada.....	12
xx. Módulo de finura.....	13
xxi. Partícula blanda.....	13
xxii. Partículas livianas.....	13
xxiii. Peso unitario.....	13
xxiv. Peso específico.....	13
xxv. Peso específico aparente.....	13
xxvi. Peso específico saturado con superficie seca.....	13
xxvii. Piedra triturada.....	13
xxviii. Porcentaje (%) de absorción.....	13

xxix.	Porcentaje (%) de humedad.....	13
xxx.	Porosidad aparente.....	13
xxxi.	Roca triturada.....	13
xxxii.	Tamaño máximo nominal.....	14
xxxiii.	Tamaño nominal.....	14
xxxiv.	Volumen aparente.....	14
xxxv.	Volumen sólido.....	14
3.	Ensayos de laboratorio.....	14
3.1.	Muestreo de los Agregados.....	14
3.1.1.	Cuarteo.....	15
3.2.	Ensayos Químicos.....	16
3.2.1.	Determinación Colorimétrico de la Presencia de Impurezas Orgánicas en la Arena para Hormigones.....	16
3.3.	Ensayos Físicos.....	16
3.3.2.	Análisis Granulométrico.....	17
3.3.3.	Determinación del porcentaje de terrones de arcilla y limo en los agregados.....	17
3.3.4.	Determinación del Material Fino.....	17
3.3.5.	Peso Específico y Absorción de los Áridos Grueso y Fino.....	18
3.3.6.	Pesos Unitarios de los Áridos.....	18
3.3.7.	Ensayo de Desgaste del Agregado Grueso (Abrasión).....	18
3.3.8.	Ensayo de Solubilidad de los Áridos Usando Sulfatos de Sodio o Sulfato de Magnesio (Salinidad).....	19
3.3.9.	Proporción Porcentual de Vacíos en Áridos finos (Angularidad del Agregado Fino).....	19
3.3.10.	Durabilidad al Desmoronamiento.....	21
	<b>Practica de campo N° 2.....</b>	<b>22</b>
	<b>“CERÁMICOS”.....</b>	<b>22</b>
1.	Tecnología y uso de materiales cerámicos.....	22
2.	Reseña histórica.....	22
3.	Materia Prima de los materiales cerámicos.....	23
3.1.	Arcilla.....	23
3.1.1.	Tipos de Arcilla.....	23
3.2.	El Agua.....	26
3.2.1.	Agua Zeolítica.....	26
3.2.2.	Agua de amasado.....	26
3.3.	Adiciones.....	26
3.3.1.	Fundentes.....	27
3.3.2.	Desgrasantes.....	27
3.3.3.	Quemantes.....	27
4.	Fabricación.....	27
4.1.	Homogeneización de la materia prima.....	27
4.2.	Moldeo.....	28
4.3.	Secado.....	28
4.4.	Cocción.....	28
5.	Tratamientos.....	28
6.	Clasificación de productos cerámicos.....	28
6.1.	Bloques cerámicos.....	29

6.2.	Revestimientos y elementos sanitarios.....	29
6.2.1.	Azulejos.....	29
6.2.2.	Elementos sanitarios.....	30
6.3.	Tejas.....	30
7.	Preguntas de control en campo.....	30
<b>Descripción de las propiedades y Ensayos de laboratorio “Cerámicos”.....</b>		<b>31</b>
1.	Introducción.....	31
2.	Terminología.....	31
i.	Arcilla .....	31
ii.	Arcilla aluminosa.....	31
iii.	Arcilla bauxítica.....	31
iv.	Arcilla diásporo.....	31
v.	Arcilla esquistosa.....	31
vi.	Arena .....	32
vii.	Badaleíta.....	32
viii.	Bauxita.....	32
ix.	Bauxita calcinada.....	32
x.	Bentonita.....	32
xi.	Berrillo.....	32
xii.	Boemita.....	32
xiii.	Caliza.....	32
xiv.	Calcedonia.....	32
xv.	Calcita.....	32
xvi.	Caolín.....	32
xvii.	Caolinita.....	32
3.	Elementos cerámicos.....	33
3.1.	Selección de la materia prima.....	33
3.2.	Adecuación de la materia prima.....	33
3.3.	Moldeo.....	34
3.4.	Secado.....	34
3.5.	Cocción.....	34
4.	Propiedades de los bloques cerámicos y su normalización.....	34
4.1.	Ladrillo macizo y hueco.....	34
4.2.	Bovedillas.....	35
5.	Propiedades de los elementos sanitarios y revestimientos.....	37
5.1.	Azulejos Cerámicos.....	37
5.2.	Clasificación.....	37
5.3.	Requisitos.....	38
5.2.	Tejas.....	40
<b>Practica de campo N° 3.....</b>		<b>43</b>
<b>“Yeso y Escayolas”.....</b>		<b>43</b>
1.	Generalidades.....	43
1.1.	Reseña histórica.....	43
1.2.	Características.....	43
1.3.	Tipos de Yeso .....	45
2.	Fabricación del yeso.....	45
3.	Propiedades del yeso.....	46

3.1.	Propiedades físicas y químicas no contempladas en la norma.....	46
3.1.1.	Densidad.....	46
3.1.2.	Adherencia.....	46
3.1.3.	Absorción acústica.....	46
3.1.4.	Comportamiento térmico.....	47
4.	Aplicaciones.....	49
a.	Revoque maestreado de paramentos interiores y techo.....	49
b.	Enlucido: como terminación o remate de guarnecidos o morteros.....	49
c.	Tabiques de placas de yeso. Muros y tabiques exteriores.....	50
d.	Tabiques de paneles de yeso. Techos continuos.....	50
e.	Trabajos de decoración. Elementos prefabricados para techos y su ejecución.....	50
4.1.	Otras aplicaciones.....	51
4.2.	Coloración del yeso.....	51
5.	Preguntas de control en campo.....	52
<b>Propiedades y Ensayos de laboratorio “Yesos y Escayolas” .....</b>		<b>53</b>
1.	Introducción.....	53
2.	Terminología.....	53
i.	Yeso grueso para la construcción (YG).....	53
ii.	Yeso fino para la construcción (YF).....	53
iii.	Escayola (E30).....	53
iv.	Escayola especial (E35).....	53
3.	Propiedades físico-químicas del yeso.....	54
3.2.	Fraguado.....	54
3.3.	Finura de molido.....	56
3.4.	Resistencias flexo – tracción.....	56
3.5.	Resistencia a la compresión.....	58
3.6.	Dureza superficial.....	59
3.6.2.	Dureza Shore.....	59
3.7.	Adherencia.....	61
3.8.	Propiedades químicas .....	61
4.	Características que deben cumplir los yesos y escayolas.....	61
<b>Práctica de campo N° 4.....</b>		<b>63</b>
<b>“Cal”.....</b>		<b>63</b>
1.	Generalidades.....	63
1.1.	Reseña histórica.....	63
1.2.	Características.....	64
1.3.	Tipos de cales .....	65
2.	Fabricación de la cal.....	67
3.	Apagado de la cal.....	68
4.	Propiedades de la cal.....	68
4.1.	Propiedades de la cal no contempladas en la UNE EN 459-1:02.....	68
4.2.	Índice de hidraulicidad.....	69
5.	Aplicación.....	70
<b>Descripción de las propiedades y Ensayos de laboratorio “cal” .....</b>		<b>71</b>
1.	Introducción.....	71
2.	Terminología.....	71
i.	Cal.....	71

ii.	Cal aérea.....	71
iii.	Cal hidratada.....	71
iv.	Cal Cálcica.....	71
v.	Cal dolomítica.....	71
vii.	Cal grasa.....	71
viii.	Cal viva.....	71
ix.	Cal apagada.....	72
x.	Cal en polvo.....	72
xi.	Cal en pasta.....	72
xii.	Cal hidráulica.....	72
xiii.	Cal hidráulica de bajo contenido de magnesia.....	72
xiv.	Cal hidráulica de alto contenido de magnesia.....	72
3.	Apagado de la cal.....	72
4.	Propiedades físico - químicos y mecánicas de la cal.....	73
4.2.	Composición química.....	74
4.3.	Requisitos físicos.....	74
5.	Preparación de la masilla para el uso.....	74
6.	Residuos, descascaramiento y picaduras.....	75
7.	Plasticidad.....	76
8.	Retención.....	76
<b>Practica de campo N° 5.....</b>		<b>78</b>
<b>“CEMENTOS”.....</b>		<b>78</b>
1.	Antecedentes.....	78
1.1.	Reseña histórica.....	78
2.	Fabricación del cemento.....	79
2.1.	Materias primas del crudo.....	79
2.2.	Procesos: vía seca y vía húmeda.....	81
2.3.	Obtención del clinker.....	82
2.4.	Molienda.....	85
3.	Preguntas de control en campo.....	88
<b>Descripción de las propiedades y Ensayos de laboratorio “Cementos” .....</b>		<b>89</b>
1.	Introducción.....	89
2.	Terminología.....	89
i.	Cemento.....	89
ii.	Cemento portland.....	89
iii.	Clinker.....	89
iv.	Cemento siderúrgico.....	89
v.	Cemento con agregado tipo A.....	89
vi.	Cemento puzolanico.....	89
vii.	Agregado tipo A.....	90
viii.	Escoria básica granulada de alto horno.....	90
ix.	Puzolana.....	90
3.	Clasificación.....	90
3.1.	Cemento Portland.....	90
3.2.	Otros cementos portland.....	92
3.3.	Cemento siderúrgico.....	92
3.3.1.	Cemento Pórtland siderúrgico. ....	92

3.3.2.	Cemento siderúrgico.....	92
3.4.	Cemento con agregado tipo A.....	92
3.4.1.	Cemento Pórtland con agregado tipo A.....	92
3.4.1	Cemento con agregado tipo A.....	92
3.5.	Cemento puzolánico.....	93
3.5.1.	Cemento Pórtland puzolánico.....	93
3.5.2.	Cemento puzolánico.....	93
3.6.	Cemento con fines especiales.....	93
4.	Clasificación según la resistencia.....	93
4.1.	Clasificación Norma Boliviana.....	93
5.	Propiedades del cemento.....	93
5.1.	Propiedades químicas.....	94
5.2.	Propiedades físico-mecánicas.....	96
	<b>Practica de campo N° 6.....</b>	<b>98</b>
	<b>“MORTEROS”.....</b>	<b>98</b>
1.	Introduccion.....	98
1.2.	Reseña histórica.....	98
2.	Componentes de un mortero.....	99
3.	Clasificación de los morteros.....	102
3.1.	Morteros a base de cemento hidráulico.....	102
3.2.	Morteros a base de cal.....	102
3.3.	Morteros a base cemento hidráulico y cal.....	102
3.4.	Morteros a base de cemento de mampostería.....	103
3.5.	Mortero para pegar.....	103
3.6.	Mortero para relleno.....	103
4.	Elaboración de morteros.....	103
4.1.	Recomendaciones generales para la elaboración de morteros.....	104
5.	Comparación de los morteros.....	105
5.1.	Morteros de cal.....	105
5.2.	Morteros de cemento (restauración.....	105
5.3.	Morteros bastardos de cal y cemento (restauración).....	105
6.	Preguntas de control en campo.....	106
	<b>Propiedades y Ensayos de Laboratorio “Morteros”.....</b>	<b>107</b>
1.	Introducción.....	107
2.	Terminología.....	107
i.	Mortero.....	107
ii.	Mortero ordinario.....	107
iii.	Mortero de junta delgada.....	107
iv.	Mortero ligero.....	107
v.	Mortero por resistencia.....	107
vi.	Mortero por dosificación.....	107
vii.	Mortero preparado.....	107
viii.	Mortero seco.....	107
ix.	Mortero de obra.....	108
3.	Resistencia a compresión del mortero.....	108
4.	Propiedades físico químicas de los morteros.....	108
4.1.	Resistencias mecánicas.....	108

4.2.	Adherencia.....	109
4.3.	Retención de agua.....	109
4.4.	Manejabilidad.....	109
4.5.	Durabilidad.....	109
4.6.	Fluidez.....	109
5.	Requisitos de los morteros.....	110
5.1.	Componentes de los morteros según UNE.....	110
5.2.	En estado fresco.....	111
5.2.1.	Densidad aparente.....	111
5.2.2.	Tiempo de utilización.....	111
5.2.3.	Consistencia.....	111
5.2.4.	Tiempo de fraguado.....	112
5.2.5.	Contenido en iones cloruro solubles en agua.....	113
5.2.6.	Capacidad de retención de agua.....	113
5.2.7.	Adherencia (en estado fresco).....	113
5.2.8.	Contenido en aire.....	114
5.3.	En estado endurecido.....	114
5.3.1.	Adherencia (en estado endurecido).....	114
5.3.2.	Resistencias mecánicas a compresión.....	115
5.3.3.	Retracción.....	116
5.3.4.	Comportamiento térmico.....	117
5.3.5.	Comportamiento ante el fuego.....	117
6.	Propiedades de los morteros.....	118
	<b>Práctica de campo N° 7.....</b>	<b>119</b>
	<b>“Hormigón”.....</b>	<b>119</b>
1.	Antecedentes.....	119
2.	Composición.....	119
2.1.	Cementos.....	120
2.2.	Agua.....	121
2.3.	Áridos.....	121
2.4.	Aditivos.....	122
3.	Tipos de hormigón.....	123
3.1.	Hormigón armado.....	123
4.	Técnicas de construcción.....	124
5.	Albañilería con hormigón.....	125
6.	Preguntas de control en campo.....	125
	<b>Propiedades y Ensayos de laboratorio “hormigón” .....</b>	<b>128</b>
1.	Introducción.....	128
2.	Denominación.....	128
3.	procesos que experimenta el hormigón fresco.....	128
3.1.	Exudación del agua de amasado.....	128
3.2.	Variaciones de volumen.....	130
3.3.	Falso fraguado del cemento.....	130
4.	Propiedades de los hormigones.....	131
4.1.	Propiedades del hormigón fresco.....	131
4.1.1.	Consistencia.....	131
4.1.1.1.	Ensayo para determinar la consistencia.....	131



4.1.2.	Fraguado.....	132
4.1.3.	Homogeneidad.....	133
4.1.4.	Contenido de vacíos.....	133
4.2.	Propiedades del hormigón endurecido.....	133
4.2.1.	Densidad.....	134
4.2.2.	Compacidad.....	135
4.2.3.	Permeabilidad.....	135
4.2.4.	Retracción.....	137
4.2.5.	Resistencias mecánicas.....	137
4.2.6.	Resistencia a la compresión.....	138
4.2.7.	Resistencia a la tracción.....	139
4.2.8.	Resistencia a la flexión.....	139
4.3.	Efectos de la temperatura sobre las características del hormigón.....	140
5.	Hormigones especiales.....	141
6.	Requisitos y relaciones aconsejables en el hormigón.....	142
7.	Ejemplo de denominación.....	145
	<b>Práctica de campo N° 8.....</b>	<b>147</b>
	<b>“Maderas”.....</b>	<b>147</b>
1.	Introducción.....	147
2.	Componentes.....	148
2.1.	Celulosa.....	148
2.2.	Lignina.....	148
2.3.	Extractivos.....	148
2.4.	Minerales formadores de ceniza.....	148
3.	Expansión térmica lineal.....	148
4.	Contenido de humedad.....	149
5.	Curado o secado.....	150
6.	Formas comerciales.....	151
6.1.	Medición de maderas.....	151
6.1.1.	Cepillado.....	152
6.1.2.	Largos.....	153
6.1.3.	Tablas de conversión.....	153
6.1.4.	Denominaciones de las secciones.....	159
7.	Aserrado por cuartos, aserrado simple, aserrado discontinuo por cuartos.....	160
8.	Tipos y Usos.....	163
9.	Clasificación y graduación de la madera.....	163
9.1.	Defectos de la madera.....	164
9.1.1.	Fibra torcida o revirada.....	164
9.1.2.	Madera curvada o de vuelta.....	164
9.1.3.	Excentricidad de corazón.....	165
9.1.4.	Abultamiento.....	165
9.1.5.	Cavidad.....	165
9.1.6.	Nudos.....	166
9.1.7.	Ganchos.....	166
9.1.8.	Falso duramen.....	166
9.1.9.	Astillamiento.....	167
9.2.	Grados de madera decidua (dura).....	167

9.3.	Grados de madera siempreverde (blanda).....	169
10.	Propiedades físicas de la madera.....	170
10.1.	Humedad.....	170
10.2.	Densidad.....	171
10.3.	Contracción e Hinchamiento.....	172
10.4.	Dureza.....	172
10.5.	Hendibilidad.....	173
10.6.	Conductividad.....	173
10.7.	Dilatación térmica.....	173
10.8.	Duración.....	173
11.	Conservadores para madera.....	173
11.1.	Deterioro.....	173
11.2.	Insectos.....	174
11.3.	Conservadores para madera.....	175
11.4.	Resistencia al fuego.....	175
12.	Condiciones que debe reunir la madera.....	176
13.	Almacenaje.....	177
	<b>Práctica de campo N° 9.....</b>	<b>178</b>
	<b>“Aceros”.....</b>	<b>178</b>
1.	Introducción.....	178
2.	Historia.....	178
3.	Proceso de fabricación.....	179
3.1.	Introducción.....	179
3.2.	Principios básicos para la obtención del acero.....	179
3.2.1.	Materias primas.....	179
3.2.2.	Producción de arrabio.....	180
3.2.3.	La chatarra.....	182
3.2.4.	Fase de fusión.....	182
3.2.5.	Fase de afino.....	183
3.2.6.	Otros métodos de refinado.....	184
3.2.6.1.	Proceso de crisol abierto.....	184
3.2.6.2.	Proceso básico de oxígeno.....	186
3.2.6.3.	Acero de horno eléctrico.....	187
3.3.	Control del proceso.....	188
3.3.1.	Procesos de acabado.....	189
3.3.2.	Tubos.....	190
3.3.3.	Hojalata.....	190
3.3.4.	Hierro forjado.....	190
3.3.5.	Acero estructural.....	191
3.3.6.	Perfiles comerciales.....	191
3.4.	Clasificación del acero.....	192
3.4.1.	Aceros al carbono.....	192
3.4.2.	Aceros aleados.....	192
3.4.3.	Aceros de baja aleación ultrarresistentes.....	192
3.4.4.	Aceros inoxidables.....	193
3.4.5.	Aceros de herramientas.....	193
3.5.	Estructura del acero.....	193

3.6.	Tratamiento térmico del acero.....	193
3.7.	Endurecimiento del acero.....	194
3.8.	Temple (revenido).....	195
3.9.	Recocido.....	195
3.10.	Cementado.....	195
3.11.	Carburización por empaquetado.....	195
3.12.	Carburización en baño líquido.....	196
3.13.	Carburización con gas.....	196
3.14.	Carburado, Cianurado y Nitrurado.....	196
	<b>Descripción de las propiedades y Ensayos de laboratorio “Aceros”.....</b>	<b>197</b>
1.	Introducción.....	197
2.	Terminología.....	198
i.	Acero.....	198
ii.	Acero al carbono.....	198
iii.	Acero de aleación.....	198
iv.	Acero de alto carbono.....	198
v.	Acero de bajo carbono.....	198
vi.	Acero de mediano carbono.....	198
vii.	Acero inoxidable.....	198
viii.	Acero para herramientas.....	198
ix.	Aluminio.....	198
x.	Cobre.....	198
xi.	Composición química.....	198
xii.	Cromo.....	198
xiii.	Designaciones AISI-SAE.....	198
xiv.	Ductibilidad.....	199
xv.	Dureza.....	199
xvi.	Elemento de aleación.....	199
xvii.	Grado.....	199
xviii.	Horno de arco eléctrico.....	199
xix.	Impurezas.....	199
xx.	Metales no ferrosos.....	199
xxi.	Resistencia a la corrosión.....	199
xxii.	Templabilidad.....	199
xxiii.	Tratamiento térmico.....	199
xxiv.	Unified Numbering System.....	199
3.	Clasificación de los aceros.....	199
4.	Propiedades de los aceros.....	200
5.	Resistencia a la tensión.....	202
6.	Flexión.....	203
7.	Dureza.....	203
8.	Plegado.....	204
9.	Corte.....	205
10.	Choque.....	205
11.	Fatiga.....	206
12.	Análisis del tipo de acero según características de la chispas.....	206

<b>Práctica Nº 10</b>	<b>210</b>
<b>“Aditivos”</b>	<b>210</b>
1. Generalidades	210
2. Clasificación	210
2.1. Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco	212
2.1.1. Plastificantes reductores de agua	212
2.1.2. Superplastificante o Fluidificante	213
2.1.3. Incorporador de aire	214
2.1.4. Expansores – Estabilizadores	215
2.2. Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento	216
2.2.1. ACELERADORES DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO	216
2.2.2. Retardadores	217
2.3. Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas y químicas	219
2.3.1. Hidrófugos de masa	219
2.3.2. Anticongelantes	221
2.4. Aditivos misceláneas	221
2.4.1. Aditivos de cohesión – emulsiones	221
2.4.2. Aditivos combinados	223
2.4.3. Colorantes	223
2.4.4. Agentes formadores de espuma	225
3. Resumen	226
<b>Descripción de las propiedades “aditivos”</b>	<b>227</b>
1. definiciones	227
2. Determinación de la finura de una adición	227
<b>Práctica de campo Nº 11</b>	<b>231</b>
<b>“Material Bituminoso”</b>	<b>231</b>
1. Introducción	231
2. Historia del asfalto	232
3. Emulsiones asfálticas	233
3.1. Betunes	234
3.2. Naturales	234
3.3. Artificiales	234
3.4. Alquitrane	234
3.5. Betunes fluidificados (cut-backs)	234
3.6. Emulsiones bituminosas	234
4. Procedimiento constructivo de una mezcla asfáltica en planta o en caliente	235
4.1. Plantas tipos Batch	236
4.2. Plantas tipo Drum-mix	237
4.3. Plantas tipo continuo en contraflujo	237
5. Factores que deben controlarse en las mezclas asfálticas	238
5.1. Granulometría	239
5.2. Contenido de asfalto	239
5.3. Características del cemento asfáltico	239
5.4. Temperatura de mezcla	239
6. Usos	239
6.1. Usos del Asfalto	239

6.2.	Usos del Betún.....	240
6.3.	Usos Alquitrán.....	240
7.	Preguntas de control.....	240
<b>Ensayos de laboratorio “Materiales Bituminosos”.....</b>		<b>241</b>
1.	Introducción.....	241
2.	Tipos de asfaltos utilizados en Bolivia.....	241
2.2.	Cemento Asfáltico.....	241
2.3.	Propiedades o características deseables del cemento asfáltico.....	242
2.4.	Consistencia.....	242
2.5.	Pureza.....	242
2.6.	Seguridad.....	243
2.7.	Asfaltos Diluidos.....	243
2.8.	Asfaltos cortados de curado rápido.....	244
2.9.	Asfaltos cortados de curado medio.....	244
2.10.	Asfaltos líquidos de curado lento.....	244
2.11.	Emulsión Asfáltica.....	244
3.	Ensayos a cementos asfálticos.....	246
3.2.	Ensayo de viscosidad.....	246
3.3.	Ensayo de Penetración.....	250
3.4.	Ensayo de punto de inflamación.....	250
3.5.	Ensayo de película delgada en horno.....	251
3.6.	Ensayo de película delgada rodante en horno.....	251
3.7.	Ensayo de ductilidad.....	252
3.8.	Ensayo de solubilidad.....	253
4.	Ensayos a Asfalto Diluido.....	253
4.2.	Viscosidad Cinemática.....	253
4.3.	Punto de Inflamación.....	253
4.4.	Destilación.....	254
5.	Ensayos a emulsiones asfálticas.....	254
5.2.	Destilación.....	254
5.3.	Carga de partícula.....	255
5.4.	Viscosidad.....	256
5.5.	Demulsibilidad o Desemulsión.....	256
5.6.	Sedimentación.....	257
5.7.	Mezcla con cemento.....	257
5.8.	Capacidad de recubrimiento y resistencia al agua.....	257
<b>Práctica de campo N° 12.....</b>		<b>258</b>
<b>“PINTURAS”.....</b>		<b>258</b>
1.	Introducción.....	258
2.	Historia.....	258
3.	Proceso de fabricación.....	259
3.1.	Operación de mezclado.....	259
3.2.	Operación de pulverización.....	259
3.3.	Adelgazamiento, teñido y tamizado.....	259
3.4.	Código color.....	260
4.	Clases de pintura.....	261
4.1.	Pinturas a la cal.....	262

4.2.	Pinturas al fresco.....	262
4.3.	Pintura al silicato.....	262
4.4.	Pintura a la cola o temple.....	262
4.5.	Pintura al óleo.....	262
4.6.	Pinturas al Barniz o esmalte.....	263
4.7.	Pinturas bituminosas o asfálticas.....	263
4.8.	Pinturas a la celulosa o al "Duco".....	263
4.9.	Pinturas resistentes al calor o ignífugas.....	264
4.10.	Pinturas resistentes a los ácidos y bases.....	264
4.11.	Pinturas antioxidantes.....	264
4.12.	Pinturas luminosas.....	264
4.13.	Pinturas plásticas.....	264
5.	Técnica de la Pintura.....	265
5.1.	Preparación del soporte.....	265
5.2.	Imprimaciones.....	265
5.3.	Aplicación de la pintura.....	265
5.4.	Secado.....	266
5.5.	Bruñido.....	266
5.6.	Pulimento.....	266
5.7.	Consumo de color.....	266
5.8.	Duración.....	266
6.	Mejoramiento químico de las superficies.....	268
6.1.	Superficies plásticas.....	268
6.2.	Protección de la madera.....	269
6.3.	Protección de los metales contra la corrosión.....	269
6.4.	Pinturas resistentes al fuego y a la flama.....	270
6.5.	Pinturas resistentes a los hongos, antibacterianas y contra insectos.....	271
6.6.	Recubrimiento transparentes.....	271
	<b>Propiedades y Ensayos de laboratorio “PINTURAS”.....</b>	<b>273</b>
1.	Introducción.....	273
2.	Toma de la muestra.....	273
3.	Determinación de la densidad.....	273
3.1.	Resumen.....	273
3.2.	Aparatos.....	273
3.3.	Calibración del picnómetro.....	273
3.4.	Procedimiento.....	274
3.5.	Expresión de resultados.....	274
4.	Determinación de la viscosidad mediante el viscosímetro Stormer.....	275
4.1.	Resumen.....	275
4.2.	Aparatos.....	276
4.3.	Reactivos.....	276
4.4.	Calibración del aparato.....	277
4.5.	Preparación de la muestra.....	277
4.6.	Procedimiento A – Sin estroboscopio.....	278
4.7.	Procedimiento B – Con estroboscopio.....	278
4.8.	Expresión de resultados.....	278
5.	Finura.....	280

6.	Dureza.....	280
7.	Tiempo de secado.....	280
8.	Poder cubridor.....	280
9.	Intensidad de color o tono.....	281
10.	Inflamabilidad.....	281
11.	Continuidad.....	281
12.	Impermeabilidad.....	281
13.	Tenacidad.....	281
14.	Determinación de la flexibilidad.....	282
14.1.	Resumen.....	282
14.2.	Aparatos.....	282
14.3.	Preparación de la muestra.....	282
14.3.1.	Acondicionamiento de la muestra.....	282
14.4.	Procedimiento.....	283
15.	Resistencia a los agentes atmosféricos.....	283
16.	Análisis físico - químico de pinturas.....	283
17.	Determinación del espesor de película seca.....	283
17.1.	Aplicación.....	283
17.2.	Aparatos.....	283
17.3.	Calibración del Aparato.....	284
17.4.	Preparación de la muestra.....	284
17.5.	Procedimiento.....	284
	<b>Práctica de campo N° 13.....</b>	<b>286</b>
	<b>“Plásticos”.....</b>	<b>286</b>
1.	Introducción.....	286
2.	Historia y manufactura.....	286
2.1.	Los primeros plásticos.....	286
2.2.	Celuloide.....	287
2.3.	Acetato de celulosa.....	287
2.4.	Plásticos de caseína.....	287
2.5.	Ésteres de celulosa.....	287
2.6.	Polímeros.....	288
2.7.	Comparación entre productos sintéticos y naturales.....	288
3.	Formación de plásticos.....	289
4.	Métodos de fabricación.....	289
5.	Tipos y usos.....	290
5.1.	Cubiertas.....	295
5.2.	Empaques, canales de escurrimiento y bajadas de agua, calzas y tapones para agua.....	296
5.3.	Pisos de lámina vinílica.....	298
5.3.1.	Loseta de vinilo.....	298
5.3.2.	Loseta de vinilo y fibra.....	299
6.	Tubería y tubos de drenaje.....	299
6.1.	Usos.....	302
	<b>Propiedades y Ensayos de laboratorio de los “Plásticos”.....</b>	<b>307</b>
1.	Introducción.....	307
2.	Terminología.....	307

i.	Análisis granulométrico.....	307
ii.	Arena.....	307
iii.	Termoplástico.....	307
iv.	Plástico termoestable.....	307
v.	Monómero.....	308
vi.	Cadena polimérica.....	308
vii.	Mero.....	308
viii.	Polimerización.....	308
ix.	Copolimerización.....	308
x.	Polimerización en cadena.....	308
xi.	Grado de polimerización.....	308
xii.	Funcionalidad.....	308
xiii.	Homopolímero.....	308
xiv.	Copolímeros.....	308
xv.	Entrecruzamiento.....	308
xvi.	Polimerización por etapas.....	308
xvii.	Polimerización en masa.....	309
xviii.	Polimerización en solución.....	309
xix.	Polimerización en suspensión.....	309
xx.	Moldeo por inyección.....	309
xxi.	Moldeo por soplado.....	309
xxii.	Extrusión.....	309
xxiii.	Moldeo por compresión.....	309
xxiv.	Moldeo por transferencia.....	309
xxv.	Relleno.....	309
xxvi.	Elastómero.....	310
xxvii.	Vulcanización.....	310
3.	Propiedades de los plásticos.....	310
3.1.	Propiedades Mecánicas.....	311
3.1.1.	Resistencia a la tracción (ASTM D638).....	311
3.1.2.	Resistencia a la flexión (ASTM D790).....	312
3.1.3.	Impacto Izod (ASTM D256).....	312
3.1.4.	Dureza (ASTM D785 Rockwell, ASTM D2240 Shore) .....	313
3.2.	Propiedades térmicas.....	314
3.2.1.	Temperatura de deflexión (ASTM D648).....	314
3.2.2.	Punto de reblandecimiento Vicat (ASTM D1525).....	314
3.2.3.	Coeficiente de expansión térmica lineal (ASTM D696).....	314
3.2.4.	Índice de fundido (Melt Index, MI) (ASTM D1238).....	315
3.3.	Pruebas de permanencia.....	315
3.3.1.	Resistencia al agrietamiento por esfuerzos ambientales (Environmental Stress Cracking Resistance ESCR, ASTM 1693).....	315
3.3.2.	Resistencia química.....	316
3.3.3.	Envejecimiento a la intemperie (ASTM D1435 y G23).....	316
3.3.4.	Absorción de agua (ASTM D570).....	316
4.	Propiedades de los principales materiales plásticos.....	317
4.1.	Polietileno de baja densidad (PEBD).....	317
4.2.	Polietileno de alta densidad (PEAD).....	318



4.3.	Polipropileno (PP).....	319
4.4.	Poliestireno (PS).....	320
4.5.	Policloruro de vinilo (PVC).....	322
4.6.	Polietilen tereftalato (PET).....	323
4.7.	Policarbonato (PC).....	323
5.	Verificación.....	325
5.1.	Cubiertas.....	325
5.2.	Empaques, canales de escurrimiento y bajadas de agua, calzas y tapones para agua.....	326
5.3.	Pisos.....	326
5.4.	Tuberías y tubos de drenaje.....	327

## INDICE DE FIGURAS

A1- A2 Equipos de extracción de minerales.....	3
A3 Frente en escalones o gradas.....	4
A4 Disposición empleada para las explotaciones a cielo abierto.....	5
A5 Flujo generalizado del proceso de preparación mecánica de una cantera de piedra caliza.....	6
A6 Diagrama de Flujo de una Arenera.....	8
A7 Métodos de cuarteo.....	15
A8 Definición de formas de partículas en los agregados.....	20
CE 1 Esculturas antiguas de arcillas.....	23
CE 2 Cuchara de Casa grande, utilizada para el ensayo del Límite Líquido.....	25
CE 3 Materiales cerámicos utilizando diferentes tipos de adiciones.....	26
CE 4 Diferentes tipos de Materiales cerámicos.....	28
CE 5 Bloques cerámicos.....	29
CE 6 Diferentes tipos de azulejos.....	29
CE 7 Teja mixta y plana.....	30
Y1 Evolución cronológica de la utilización del Yeso.....	43
Y2 Estructura cristalina.....	44
Y3 Procesos a los cuales es sometido el Yeso.....	45
Y4 Acción del calor sobre el algezo.....	45
Y5 Procesos de fabricación del yeso.....	45
Y6 Variación de la temperatura en un revoque de yeso.....	48
Y7 Influencia de la temperatura en el fragüe de los yesos.....	55
Y8 Aparato de Vicat.....	55
Y9 Relación finura de molido – fraguado – agua – expansión.....	56
Y10 Resistencia flexo-tracción vs. A/Y.....	57
Y11 Resistencia flexo tracción vs. días de curado.....	57
Y12 Máquina de ensayo de flexo tracción.....	58
Y13 Máquina para determinar la resistencia a la compresión.....	58
Y14 Relación entre las propiedades y el agua de amasado.....	59
Y15 Influencia del agua de amasado sobre la dureza Shore C.....	60
C1 Roca de Caliza.....	63
C2 Evolución cronológica de la utilización de la Cal.....	64
C3 Disposición de los octaedros Ca (OH) <sub>2</sub> .....	64
C4 ciclo químico de la cal.....	65
C5 Ciclo químico de la cal aérea.....	65

C6 Clasificación común.....	66
C7 Resistencia a la compresión de morteros con cal.....	69
CEM1 Dosificación del crudo mediante el triangulo de Feret.....	80
CEM2 Procesos de fabricación.....	81
CEM3 Horno rotatorio.....	82
CEM4. Detalles del Horno rotatorio.....	83
CEM5 Procesos físico-químicos de la clinkerización.....	83
CEM6 diversos tipos de enfriadores de clinker.....	84
CEM7 Clinker enfriado o cristalizado.....	85
CEM8 Adiciones al clinker y propiedades conferidas.....	86
Mo 1 Materiales componentes de los Morteros.....	98
Mo 2 Aglomerantes recomendados para morteros.....	99
Mo 3 Factores que influyen en la trabajabilidad de un mortero.....	112
H 1 Puente Gateway Bridge.....	125
H 2 Ensayo de asentamiento del hormigón.....	132
H 3 Relación agua-cemento vs coeficiente de permeabilidad.....	136
H 4 Influencia de A/C en la resistencia a la compresión.....	138
H 5 Maquina de ensayo a compresión de cilindros de hormigón.....	139
H 6 Equipo para resistencia a la flexión.....	140
M1 Sección transversal de un tronco de árbol, mostrando la estructura interna de la madera.....	147
M2 Contracción y distorsiones causadas por la dirección de los anillos anuales.....	149
M3 Diversos tipos de combadura de la madera.....	149
M4 Denominación de las secciones.....	159
M5 Denominación de las secciones.....	160
M6 Métodos para aserrado de madera.....	161
M7 División del tronco en tamaños antes de cortarlo.....	161
M8 Madera aserrada por cuartos y aserrada simple.....	162
M 9 Madera curvada o de vuelta.....	164
M10. Excentricidad de corazón.....	165
M11 abultamiento.....	165
M 12 Cavidad.....	166
M 13 ganchos.....	166
M 14 falso duramen.....	167
M 15 Astillamiento.....	167
f1 Esquema general de un alto horno.....	181

f2 Esquema general del proceso de fabricación del acero.....	183
f3 Horno de crisol para metales no ferrosos.....	186
f4 Horno básico de oxígeno.....	187
f5 Horno de arco eléctrico.....	188
f6 diferentes perfiles de acero ligero.....	192
f7 La temperatura en función del acero.....	194
f8 Dibujos esquemáticos de los métodos usados para determinar propiedades del acero.....	202
f 9 Probeta sometida a flexión.....	203
f 10 Durómetro Brinell y Rockwell.....	204
f 11 Probeta sometida a plegado.....	204
f 12 Dispositivo de ensayo de corte.....	205
f 13 Probetas ensayadas a Corte.....	205
f 14 Probeta CHARPY lista para ensayar.....	206
f 15 zonas del análisis de las chispas.....	207
Ad 1 Efecto de la dosis de retardador sobre el tiempo de fraguado.....	222
Bi 1 Diagrama de flujo de una Refinería en operación.....	238
Bi 2 Diagrama de flujo de una planta tipo Batch.....	239
Bi 3 Diagrama de flujo de una planta tipo Drum-mix.....	240
Bi 4 Diagrama de flujo de una planta tipo continua en contraflujo.....	241
Bi 5 Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute.....	251
Bi 6 Viscosímetro en el baño.....	251
Bi 7 Viscosímetro de brazos cruzados.....	252
Bi 8 Ensayo de penetración.....	253
Bi 9 Ensayo punto de inflamación.....	253
Bi 10 Ensayo de película delgada en horno.....	254
Bi 11 Ensayo de película delgada rodante en horno.....	255
Bi 12 Ensayo de ductibilidad.....	255
Bi 13 Ensayo Vaso abierto de Tag.....	256
Bi14 Ensayo de destilación para emulsiones asfálticas.....	258
Bi15 Ensayo de carga de partículas.....	258
Bi16 Ensayo de viscosidad Saybolt.....	259
P 1 Máquina de mezclar.....	262
P 2 Viscosímetro Stormer con rotor de paleta y contador.....	279

## INDICE DE TABLAS

A1	Aplicación de agregados especiales.....	10
A2	Cantidad de muestra para cuarteo vs. Tamaño nominal.....	14
A3	Métodos para el cuarteo.....	16
CE 1	Clasificación de las arcillas según su composición química.....	24
CE 2	Limites de plasticidad.....	25
CE 3	Actividad de los minerales de arcilla.....	26
CE 4	Clasificación por la resistencia a la compresión.....	35
CE 5	Especificaciones para ladrillo cerámicos macizos prensados NB.....	35
CE 6	Valores exigidos por la Norma UNE 67020 para Bovedillas Aligerantes.....	36
CE 7	Valores exigidos por la Norma UNE 67020 para Bovedillas Resistentes.....	36
CE 8	Valores exigidos por la Norma UNE 67020 para Bovedillas Resistentes con Capa de Compresión.....	37
CE 9	Clasificación final por su aspecto.....	38
CE 10	Medidas nominales de los azulejos.....	38
CE 11	Especificaciones para azulejos prefabricados de cerámica NB 259 – 78 Requisitos Especiales.....	39
CE 12	Especificaciones Para Azulejos Prefabricados De Cerámica NB 259 – 78 Requisitos Físico Químico.....	40
CE 13	Especificaciones Para Tejas Curvo Según Norma Une En 1304:99.....	41
CE 14	Especificaciones Para Tejas Planas Según Norma Une.....	42
CE 15	Especificaciones Para Tejas Mixtas Según Norma Une.....	42
Y1	Resistencias del yeso.....	44
Y2	Densidad del yeso en función del agua de amasado.....	46
Y3	Absorción acústica en muros.....	46
Y4	Coeficientes de absorción acústica.....	47
Y5	Coeficientes térmicos.....	47
Y6	Coeficientes térmicos en el yeso.....	48
Y7	Resistencia al fuego.....	49
Y8	Dosificaciones para diferentes tipos de yeso.....	50
Y9	Influencia del agua en la resistencia del Yeso.....	57
Y10	Relación entre el tipo de yeso-dureza-acabado.....	60
Y11	Dureza shore c de diferentes tipos de elementos.....	60
Y12	Características que deben cumplir los yesos y escayolas.....	62
C1	Clasificación de la Cal según UNE.....	67
C2	Relaciones de la cal.....	68

C3	Requisitos físicos en la resistencia a la tracción.....	69
C4	Relaciones con la Hidraulicidad.....	70
C5	Requisitos químicos según la NB.....	74
C6	Requisitos químicos según UNE.....	75
C7	Requisitos físicos de la cal.....	77
CEM1	Tipos de cementos o conglomerantes y algunas de sus propiedades.....	78
CEM2	Comparación de cementos.....	79
CEM3	Valores límites de los componentes cementantes.....	80
CEM4	Proporción de adiciones para diferentes tipos de cementos.....	87
CEM5	Tipos de cemento Pórtland.....	91
CEM6	Clasificación y composición de los cementos.....	94
CEM7	Propiedades del cemento.....	94
CEM 8	Especificaciones químicas para los cementos según la NB.....	95
CEM 9	Exigencias químicas para los cementos según la UNE.....	95
CEM 10	Categorías de resistentes de los cementos según NB.....	96
CEM 11	Especificaciones físicas para los cementos.....	97
CEM 12	Especificaciones físicas para los cementos.....	97
CEM 13	Relación del tipo de cemento y la resistencia característica del tipo de hormigón según UNE.....	97
Mo 1	Requisitos del agua para mortero, en diferentes normas.....	100
Mo 2	Requisitos granulométricos para la arena de los morteros.....	100
Mo3	Clasificación y denominación en función del escurrimiento (mesa de sacudidas).....	112
Mo 4	Nivel definido de consistencia de diversos tipos de mortero en función de la densidad aparente.....	113
Mo 5	Morteros para albañilería. Condiciones de curado-conservación de las probetas de mortero.....	115
Mo 6	Morteros para albañilería. Designación y clases.....	116
Mo 7	Propiedades de los morteros.....	118
H 1	Relación entre los tipos de hormigón y los agregados.....	122
H 2	Relación entre el tipo de Cemento y el tipo de aplicación en el hormigón.....	126
H 3	Utilización de los diferentes tipos de cemento según las circunstancias del hormigonado.....	127
H 4	Clasificación de la consistencia del hormigón.....	132
H 5	Resistencias a la compresión que se requieren para el concreto armado y las relaciones agua – cemento.....	137

H 6	Efectos de la temperatura.....	140
H 7	Relaciones máximas aconsejables y admisibles de agua-cemento para diversos usos en construcción y en condiciones de exposición... ..	143
H 8	Requisitos de prueba de revenimiento para valores tipos de construcción de hormigón.....	143
H 10	Tipo de cemento en relación con el tipo de concreto.....	144
H 9	Calor generado durante los 7 primeros días para el cemento Pórtland.....	145
M1	Contenidos de humedad recomendados para materiales de madera en el momento de la instalación en diversas regiones.....	150
M2	Pie2 a m2 y m2 a pie2 (manteniendo la pulgada de espesor).....	153
M3	Pie (lineal) a m (lineal) y m (lineal) a pie (lineal) (Manteniendo la pulgada de espesor)... ..	153
M4	Conversión a unidades cúbicas.....	154
M5	Pies (lineales) a m2 (de 1" de espesor).....	154
M6	Pies (lineales) a pie2 (de 1" de espesor).....	155
M7	m (lineales) a pie2 (de 1" de espesor).....	155
M8	m (lineales) a m2 (de 1" de espesor).....	156
M9	m2 (de 1" de espesor) a m (lineales) de una escuadría determinada.....	156
M10	pie2 (de 1" de espesor) a m (lineales) de una escuadría determinada.....	157
M11	m2 (de 1" de espesor) a pies (lineales) de una escuadría determinada.....	157
M12	pie2 (de 1" de espesor) a pies (lineales) de una escuadría determinada.....	158
M13	Ventajas y desventajas de la madera aserrada simple y la madera aserrada por cuartos.....	162
M14	Uso e la madera en construcción.....	163
M15	Graduaciones estándar de madera dura, con base en la parte más irregular de la pieza (excepto lámina).....	168
M16	Clasificación de la madera y nombres de las gradaciones de resistencia al esfuerzo para madera aserrada.....	170
M.17	Densidades de algunas maderas.....	171
M18	Especies comunes de árboles con alta resistencia al deterioro.....	174
M19	Tratamiento para pilares de madera expuestos al ataque severo de barrenadores marino.....	175
F1	Principales reacciones químicas en el afino.....	184
F2	Temperaturas para templar acero endurecido.....	195
F3	Propiedades de los principales metales.....	197
Ad. 1	% de Aire Recomendado.....	217

Ad 2	Tiempo de Fraguado.....	220
Ad3	Resistencia a la compresión.....	220
Ad 4	Efecto del aditivo.....	221
Ad 5	Lista de pigmentos recomendados.....	228
Ad 8	Aditivos para concreto y mortero de uso general en construcción.....	231
Ad 9	Aditivos que se usan para tratamientos superficiales del concreto.....	233
Ad 10	Aditivos especiales para mortero y concreto.....	233
Bi 1	Requisitos para la especificación de un cemento asfáltico.....	246
Bi 2	Asfaltos RC.....	247
Bi 3	Asfaltos MC.....	247
Bi 4	Asfaltos cortados de curado rápido.....	248
Bi 5	Asfaltos cortados de curado medio.....	249
Bi 6	Requisitos para emulsiones asfálticas catiónicas.....	250
P 1	Código de colores para seguridad.....	263
P 2	Código de colores para tuberías.....	264
P 3	Código de colores para tuberías.....	264
P 4	Tipos de recubrimientos orgánicos (pinturas) y método de aplicación en obra...	270
P 5	Densidad absoluta del agua, gr/ml.....	278



## **PRÁCTICA DE CAMPO N° 1**

### **“AGREGADOS”**

#### **1. ACTIVIDADES PARA LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS INDUSTRIALES**

##### **1.1. PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN**

Para que un yacimiento mineral pueda ser explotado, es decir, antes que produzca el material requerido por la industria, debe comenzarse por probar su existencia y comprobar sus posibilidades industriales. El conjunto de trabajos orientados a la búsqueda de un testigo para comprobar la existencia de un yacimiento se conoce como prospección; mientras que el conjunto de tareas para comprobar la cantidad y calidad de minerales básicos existentes se denomina exploración o comprobación de reservas.

La prospección va precedida de un estudio geológico encaminado a conocer datos relativos a la constitución estratigráfica y petrográfica de la región, así como su tectónica. La prospección en sí consiste en que una vez analizados los datos geológicos relacionados con la zona de estudio, se ubica el yacimiento y se investiga, con los datos geológicos obtenidos en el sitio, si es aconsejable proceder con la exploración y adelantar cuál sería aproximadamente el costo de llevarla a cabo. Por lo general, la prospección consiste en la búsqueda de los afloramientos expuestos del yacimiento.

La exploración tiende a comprobar si el yacimiento mineral prospectado puede ser explotado económicamente, estableciendo su naturaleza, su estructura geológica y su grado de consistencia económica. La investigación en la exploración pueda ser dividida en preliminar y final, y debe dar como resultado la cantidad o reservas del mineral investigado dentro de los límites del yacimiento explorado. Dichas reservas se expresan en los términos siguientes:

##### **1.2. RESERVAS PROBADAS**

Son aquellas en que el tonelaje y la calidad (grado) del mineral que forman –y que puede ser económicamente extraídas – han sido computados de las dimensiones y muestras obtenidas de los afloramientos, trincheras, sondeos y laborales de exploración, utilizando los análisis de cada una de las muestras.

##### **1.3. RESERVAS PROBABLES**

Son aquellas en que el tonelaje y calidad del yacimiento es computado en parte con las dimensiones y muestras obtenidas del yacimiento y en parte de la estimación del cómputo de la posible continuación estructural del yacimiento dentro de una distancia razonada de la estructura.

##### **1.4. RESERVA POSIBLES O INFERIDAS**

Son aquellas en que se presume la estimación de la cantidad de mineral existente en un área donde geológicamente debería existir el yacimiento. Se basa en un conocimiento generalizado del

carácter geológico de la región en la cual se presume la existencia del yacimiento, solamente por conocer algunas muestras del mineral. La estimación se basa asumiendo la continuidad o repetición de las pocas evidencias que se tienen, dentro del área considerada.

Las rocas que surten esencialmente a la industria y suplen las necesidades actuales del hombre provienen de las sedimentarias de origen clástico y no clástico, mientras las rocas ígneas y las rocas metamórficas desempeñando un papel secundario en la industria. Por consiguiente la prospección de las rocas sedimentarias clásticas y no clásticas es de importancia para el continuo mantenimiento de la materia por ellas suplidas a la industria a medida que las reservas explotadas se extinguen. En la prospección de las rocas sedimentarias no clásticas hay que tomar en cuenta la geología estructural de la región y, en especial, la litología de las rocas sedimentarias y su secuencia.

### **1.5. EXPLOTACIÓN**

La explotación de las rocas sedimentarias clásticas se efectúa a cielo abierto, debido, por una parte, a su localización y, por la otra, a su formación fluvial reciente. Estos yacimientos, por sus propiedades y emplazamiento en llanuras o terrazas, presentan un nivel más o menos cercano a la superficie de afloramiento. Cuando están situados en los cauces de los ríos, una parte del yacimiento se encuentra bajo el agua y otra parte en la superficie.

Un yacimiento de canto rodado es una cantera natural de balasto situada por debajo del nivel freático del río y, por lo tanto, bajo el agua; mientras que en las graveras el yacimiento está en seco. Una cantera de arena es un yacimiento de este material que puede estar bajo el agua o en seco. En realidad, los yacimientos de cantos rodados están tanto en agua como en seco, debido a las variaciones del nivel freático o de los cursos de agua, además contienen en general una cierta porción de grava y arena. Se encuentran también canteras de arena que contienen una notable proporción de grava y cantos rodados.

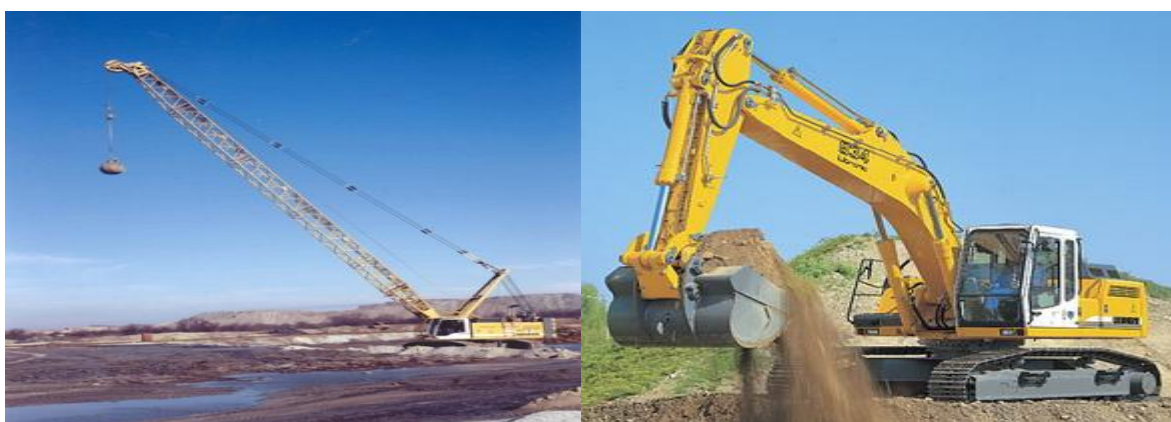
Si el yacimiento está bajo el agua, la maquinaria apropiada de extracción sería una excavadora equipada con dragalina, draga excavadora de cangilones, draga de cuchara, draga de cable o draga de succión. Si el yacimiento está sobre la superficie, se utilizarían scraper bulldozer, pala con equipos de empuje o retroexcavadora. El transporte de la carga desde el yacimiento a la planta de tratamiento se efectúa con camiones, cintas de transporte etc.

La explotación de las rocas sedimentarias no clásticas que ocurren como masas compactas de minerales generalmente estratificados y que se presentan bajo diferentes tipos de estructuras geológicas amerita métodos de extracción que van desde cielo abierto (canteras) hasta mina subterránea.

La gran abundancia de rocas sedimentarias no clásticas indica que el costo de las operaciones, tanto de exploración como de explotación, no debe ser elevado pues encarecería el producto final. De allí la necesidad de realizar una investigación sobre la estructura geológica del yacimiento y de la cantidad y calidad de la roca a explotar, con el fin de identificar el método más adecuado para la explotación y conocer las posibilidades económicas que presenta la explotación del yacimiento.

En la explotación a cielo abierto, al ras de la superficie, o en canteras, el costo de la demolición depende, a partir de la dureza de la roca, esencialmente de la estructura geológica que representa el conjunto estratigráfico donde se encuentra el mineral a explotar y de los sistemas de fractura que presenta la roca, que pueden más o menos facilitar la demolición. Las capas estratigráficas pueden presentarse de tal forma que permitan ser utilizadas fácilmente como capas o planos de arranque, y mayor sería su utilidad si estas capas o planos estuvieran atravesados por fracturas o juntas normales a la estratificación.

En el arranque a cielo abierto debe tenerse en cuenta la estratigrafía para emprender los trabajos en la dirección más conveniente. En las rocas estratificadas inclinadas, el material se arranca fácilmente atacando por los planos de buzamiento. Pero si el ángulo de estratificación de estos planos es grande, en la estructura pueden ocurrir desprendimientos peligrosos, con deslizamientos; por lo tanto conviene escoger para el ataque planos con ángulo intermedio.



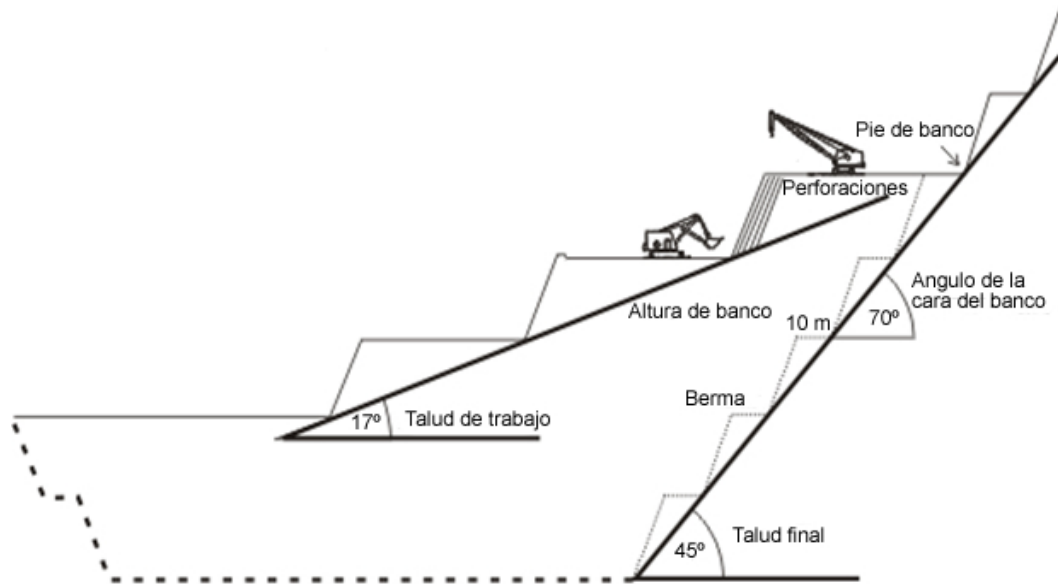
*Figuras A1 y A2 Equipos de extracción de minerales.*

La disposición y diseño de una cantera están determinados por la potencia y profundidad de los estratos. Hay dos tipos de canteras: superficiales y a cielo abierto. En el primer caso, la roca se encuentra situada a un nivel más alto que el terreno colindante, de manera que la base de la cantera se encuentra situada al nivel del terreno, por lo que el laboreo es fácil y barato. En el segundo caso, la base de la cantera está muy por debajo del nivel medio del terreno colindante (por el orden de 15 a 50 metros).

Los métodos de explotación de los yacimientos a cielo abierto son aplicables solamente cuando el yacimiento aflora en la superficie del suelo o se encuentra a una profundidad relativamente pequeña para que resulten económicamente posibles las labores destinadas a poner al descubierto el yacimiento, separando el terreno estéril que lo recubre. Cuando el yacimiento aflora a media ladera en mucha extensión, la explotación no ofrece dificultad. Basta abrir la cantera sobre un frente que permita un trabajo cómodo y seguro.

Esquemáticamente, una cantera comprende un frente con uno o varios escalones o bancos según el emplazamiento del yacimiento, la naturaleza del terreno, la altura del banco explotado, los procesos y los medios de extracción previstos; una terraza por escalón suficiente para permitir el empleo y evolución de las máquinas para voladura, de carga en el frente y evacuación del material extraído. Si la altura del frente es excesiva, se abre otro frente en la parte superior,

después otro si es preciso y así sucesivamente dejando entre cada frente y el banco superior una distancia horizontal igual a la altura del mismo, lo que establece una labor en bancos o escalones. De este modo, la excavación puede realizarse en todos los bancos simultáneamente, haciendo avanzar todos los frentes y conservando la anchura en los diferentes bancos.



**Figura A3 Frente en escalones o gradas – Fuente: Elaboración Propia**

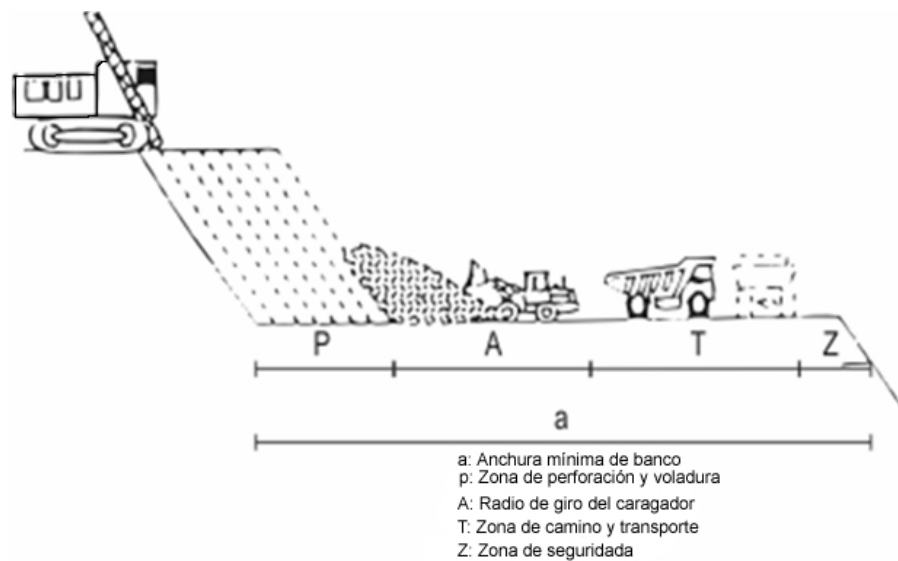
Cuando el yacimiento a explotar no sobrepasa los cincuenta metros de altura puede ser trabajado en un solo banco, es decir, con un solo frente. Pero si sobrepasa esa elevación, es peligroso trabajarlo en bancos, por lo cual es preferible separar la explotación en una serie de bancos de menor altura. La altura de un banco es determinada por una serie de factores. Siendo los más importantes la estructura geológica del yacimiento, el espesor total del yacimiento, el carácter físico de la roca, las condiciones climatológicas y los métodos de voladura utilizados. Desde el punto de vista de la seguridad, entre más alto sea el banco menos inclinado debe ser su frente, ya que un banco de frente prácticamente vertical en época seca puede deslizarse en tiempos húmedos. En teoría, bancos altos significan menos bancos y menos movimientos de maquinarias cargadas.

La altura corriente de los bancos en las canteras varía entre 5 y 20 metros y su anchura debe ser suficiente para dar cabida a la máquina cargadora –por lo regular se utilizan palas mecánicas– y banco superior debe ser suficientemente volado para que no sepulte los trabajos del banco inferior ni socave el banco inmediatamente superior. Tanto la altura de los bancos como su anchura debe ser tal que el buzamiento general, considerando todos los bancos, no sea muy inclinado. En general, este buzamiento es medido desde el punto saliente del banco superior al borde del banco inferior, y es práctica de seguridad que el ángulo, considerando la estructura geológica del yacimiento, se encuentre entre los 30° y los 45°.

En la explotación a cielo abierto en terreno llano, la excavación se comienza en trinchera y se continúa ensanchándola. En este tipo de explotación hay que resolver el problema de evacuar el

agua de lluvia o la que se filtre del subsuelo. El transporte del material útil extraído se realiza por medio de una vía en la parte baja de la explotación o por medio de elevadores. El arranque del mineral se realiza ya sea por medio de pico y pala o de excavadora. El costo del arranque depende del medio del arranque.

La preparación para la explotación subterránea de un yacimiento en rocas sedimentarias no clásticas, ígneas o metamórficas requiere practicar labores de penetración suficientemente extensas que aseguren la salida del mineral arrancado y dividirlas después en secciones por medio de galerías, las cuales constituirán las arterias principales de la mina.

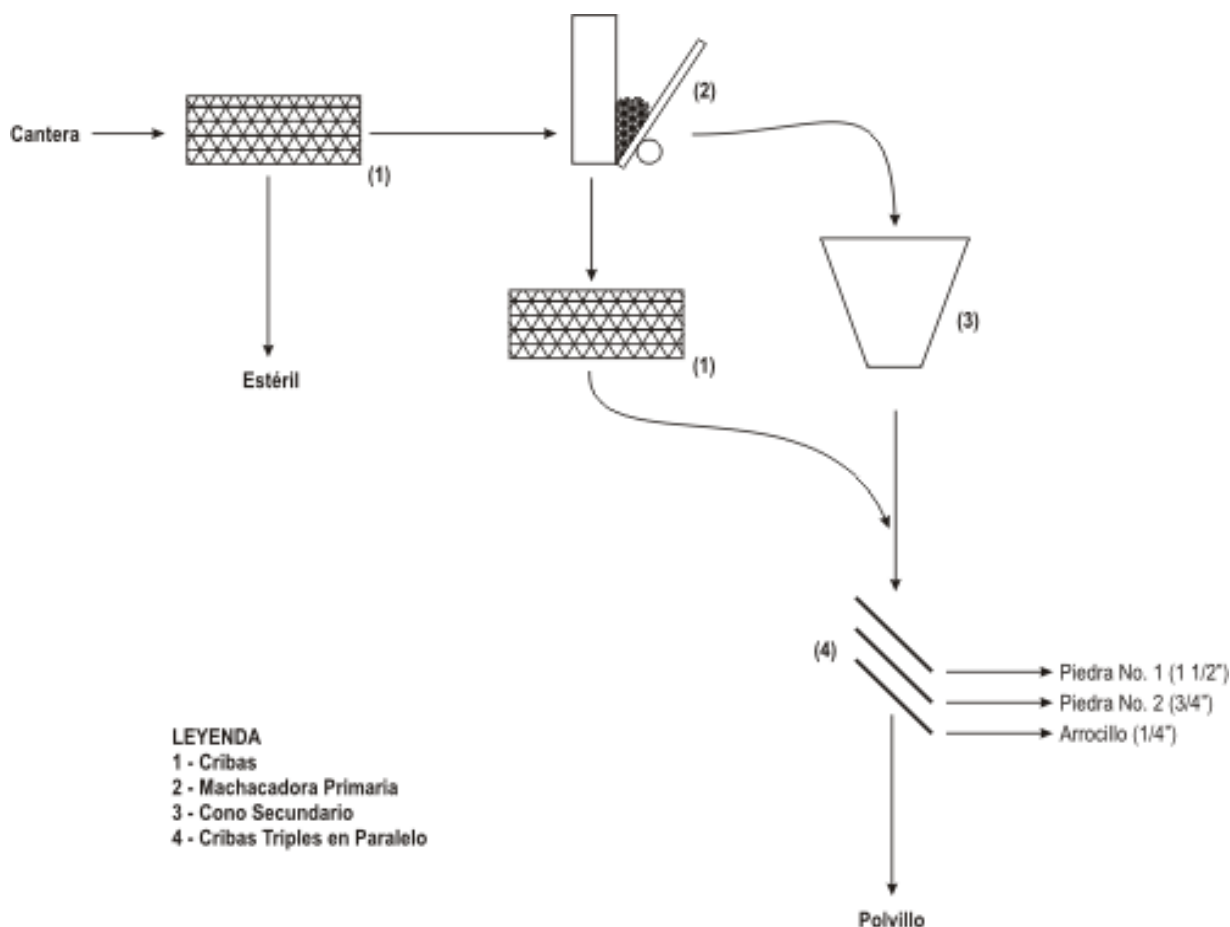


***Figura A4 Disposición empleada para las explotaciones a cielo abierto***

***Fuente: Elaboración Propia***

## **1.6. PREPARACIÓN**

La preparación tiene por objeto transformar el “todo uno” de la cantera, compuesta de elementos de todas las dimensiones –desde grandes bloques hasta elementos finos –, en material propiamente comercial clasificado en las distintas granulometrías requeridas y tan homogéneas como sea posible. Los principios en el tratamiento del todo uno son simples, siempre y cuando las propiedades físicas de la roca sean de carácter sólido. Se basan prácticamente, en un problema de tamaño de fragmentos, de aquí que la operación sea dimensional.



**Figura A5 Flujo generalizado del proceso de preparación mecánica de una cantera de piedra caliza – Fuente: Elaboracion Propia.**

### 1.7. OPERACIONES DE PREPARACIÓN

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

- i. Trituración, fragmentación o machaqueo. Operaciones que se ejecutan durante el proceso de preparación de los diferentes productos y tienden a reducir la dimensión de los diferentes fragmentos de piedra producidos sin reducirlos a polvo, para alcanzar fragmentos de las dimensiones deseadas a partir del todo uno de cantera, gravera o arenera.
- ii. Molienda. Operación que tiende a reducir los fragmentos muy pequeños a polvo.
- iii. Clasificación. Operaciones que se ejecutan durante el proceso de preparación para agrupar por tamaño los fragmentos producidos en cada operación de fragmentación.
- iv. Lavado. Operación a la cual son sometidos los fragmentos, cuando es necesario, con objeto de eliminar parte del material indeseable que los pueda acompañar.

- v. Almacenamiento. Operación para retener una reserva suficiente del material que se pueda requerir durante el proceso.
- vi. Precibado. Tiene por objeto eliminar los mayores elementos del todo uno que puedan ser una molestia para las operaciones ulteriores. Sirve para eliminar los elementos inferiores a un determinado calibre para no someterlos a manipulaciones inútiles subsiguientes.
- vii. Fragmentación o resquebrajamiento. Operación que consiste en la reducción de las piedras de dimensiones grandes a elementos de dimensiones inferiores. 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.
- viii. Clasificación granulométrica. Se obtiene comenzando a 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.
- ix. 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 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.

## 1.8. PRODUCTOS DE LAS OPERACIONES DE PREPARACIÓN

Cada operación en el proceso de preparación exige productos con características de granulometría, limpieza y forma bien definidas. No es cuestión de expedir el premachacado. El todo uno deberá, por el contrario, sufrir una serie de tratamientos que lo hagan apropiado al uso que se propone.

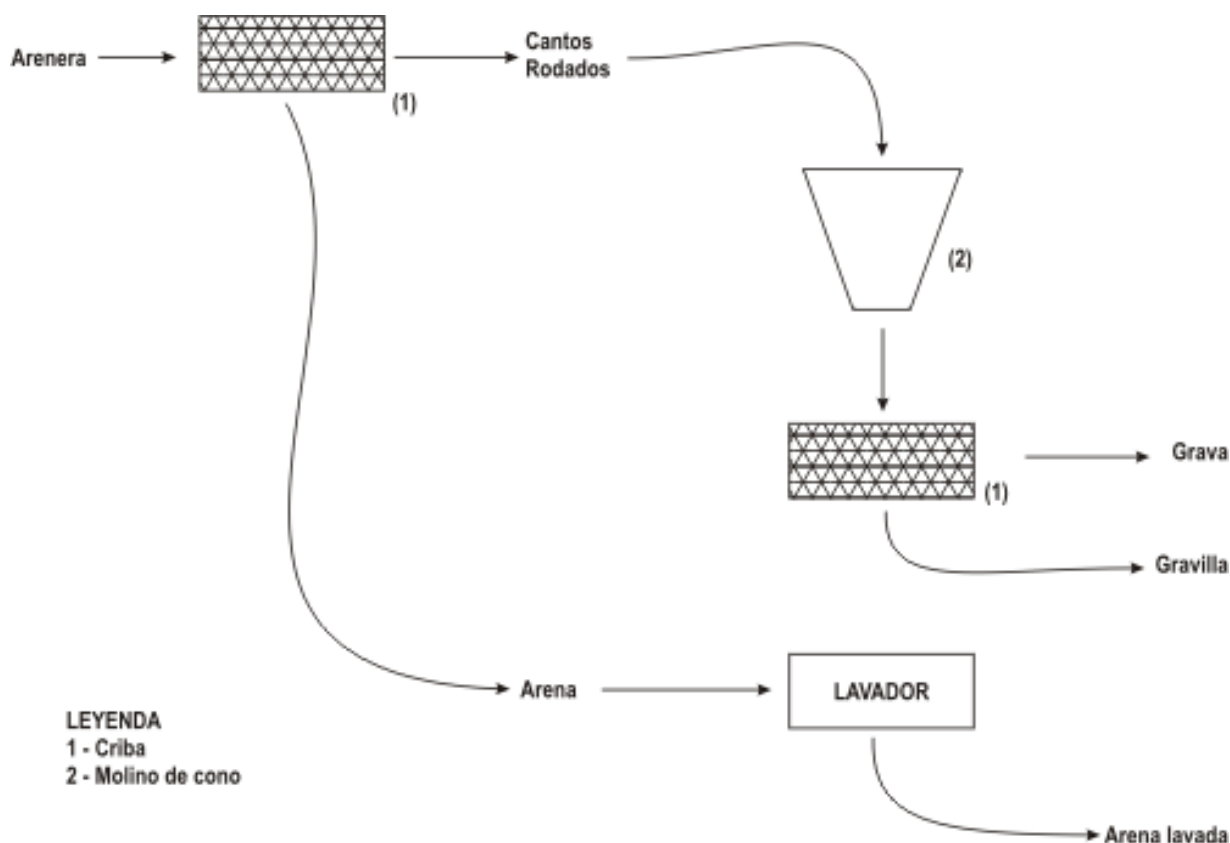
En la práctica, se dividen los productos de las diferentes operaciones en:

- Piedra picada: 60/150 mm. Para utilizar en composición de hormigones, masa y como materiales de relleno en terraplenado.
- Balasto: 45/60 y 20/45. Para utilizarlo en masa, en trabajos de carretera y construcción y como balastos en vías férreas.
- Grava: 20/60. Uso en hormigón y para fundaciones con arena.
- Gravilla: 6/10. Uso en hormigón y obras ligeras.



- Arena: Arena 0/3 mm: Uso en hormigón.
- Arena: -0/2 mm. Para usarla en filtros.
- Arena: 2/3 mm. Para obras especiales.

El todo uno del machaqueo primario, la piedra picada, se compone de un conjunto de productos de distintos tamaños, llevando en particular un cierto porcentaje de materiales de dimensiones y de pesos incompatibles con el material clasificado. Los premachacados son raramente utilizados en este estado, por consiguiente hay que someterlos a una clasificación primaria, o sea, a un .precibado. En este precibado el material generalmente se lleva a una criba con gran pendiente, situada en un emplazamiento fijo, y se utiliza usualmente el tromel clasificado. El tratamiento primario o premachaqueo tiene por objeto someter el todo uno a una primera fragmentación a un calibre máximo (generalmente comprendido entre 150 y 200) que facilita el tratamiento ulterior y la manutención de los productos.



**Figura A6 Diagrama de Flujo de una Arenera – Fuente: Elaboracion Propia.**

Generalmente la fragmentación primaria recurre a uno de los siguientes procedimientos aplastamientos, percusión, cizallamiento o esfuerzo combinado. Las máquinas de fragmentación por aplastamiento, que son las más usuales, provocan la ruptura de la roca comprimiéndola entre una parte fija y un órgano animado de movimiento alternativo, el machacador de mandíbulas. Las que realizan la fragmentación por percusión provocan la ruptura por medio de masas o martillos pesados articulados o en machacadores con percutores rígidos, la machacadora de martillos y la machacadora de percusión.



Los elementos finos, arena y arcillas que provienen del todo uno del lavado sobre la criba, de la eliminación del polvo y del recribado, son recuperados y llevados a la clasificación de arena, operación que se realiza por vía seca o húmeda.

El almacenamiento de los productos clasificados se efectúa en las diversas operaciones del proceso de preparar los productos. Usualmente se organiza de la manera siguiente:

- Línea de tratamiento primario que da un producto igual o superior a 100 mm.
- Línea de tratamiento secundario que da un máximo de calibre comprendido entre 25 y 100 mm.
- Línea de tratamiento terciario que da un máximo de calibre comprendido entre 6,3 y 2,5 mm.
- Línea de tratamiento de arenas.

En estos procesos se utilizan máquinas como trituradoras de mandíbula y de martillo, molinos de barras, balas de cadenas, conos de trituración, de rodillos y otros, cribas fijas y móviles, tromeles, etc.

Tanto la fragmentación primaria como la secundaria tienen por objeto reducir las dimensiones del material. Estas máquinas funcionan bajo los mismos principios, sólo difieren en sus dimensiones y en pequeños detalles. La clasificación de los materiales que provienen de estas máquinas se verifica en cribas vibrantes y tamices, para lo cual se utilizan varios tipos.

Cada planta debe disponer de reservas importantes de los materiales clasificados en diversos puntos de la cadena de preparación, para regular las demandas de las puntas del mercado. Conformar reservas de los productos clasificados es importante para responder de la demanda de un mercado de estación o intermitente. El almacenamiento en tolvas suscitaría problemas de inversiones exageradas, por lo cual se debe resolver con el almacenamiento en pilas sobre el suelo.

## **1.9. OTRAS CLASIFICACIONES**

Los agregados se clasifican de acuerdo a su tamaño como se vio en el subtítulo 2.3 también pueden clasificarse en dos grupos:

- i. materiales naturales como la arena, la grava, la piedra triturada;
- ii. los materiales artificiales producidos por la trituración de escoria de alto horno por la calcinación y trituración de arcillas o lutitas.

Al segundo grupo pertenece la mayoría de los agregados ligeros

## **2. AGREGADOS ESPECIALES**

Con frecuencia se agregan ciertos agregados especiales (ver tabla A-1) para impartir propiedades específicas al producto terminado.

**Tabla A1. Aplicación de agregados especiales**

<b>Clases de agregados</b>	<b>Aplicación</b>
Cianita y silimanitas (silicatos de aluminio)	Alta temperatura
Circón	Alta temperatura
Diatomita	Concreto ligero
Arcilla, lutita y pizarra expandida	Concreto ligero
Escoria expandida	Concreto ligero
Perlita	Concreto ligero
Pómez	Concreto ligero
Vermiculita	Concreto ligero
Hierro	Concreto muy denso
Barita	Resistente a los rayos gama; concreto pesado
Mineral limonita (mineral café de hierro)	Concreto para mamparas de protección nuclear
Óxido de aluminio	Agregados abrasivos
Esmeril	Agregados abrasivos
Carburo de silicio	Agregados abrasivos
Escoria (enfriada al aire)	Agregados abrasivos
Mármol, granito	Agregados coloreados, decorativos, para terrazo y cubiertas de superficies

**Fuente: NB 475-81**

## **2.1. TENDENCIAS**

La producción comercial y los programas de investigación, indican las tendencias siguientes en los agregados:

- i.** Una mezcla de aserrín, diatomita y arcilla como una fuente posible de agregado ligero.
- ii.** Una mezcla de perlita y tierra de diatomáceas finamente molida para formar un agregado para concreto, del cual se dice que reduce la estratificación del agregado y el cemento que ocurre a menudo en una mezcla ordinaria de perlita y cemento.
- iii.** El mayor uso de arcillas, lutitas, pizarras y rocas de fosfato que se expanden a la fusión incipiente para formar agregados ligeros. Éstos tienen la ventaja sobre otros agregados ligeros que dan origen a concretos de alta resistencia comparados con el concreto común.
- iv.** Investigación tendiente a encontrar una variedad de aglutinantes sintéticos para arenas de moldeo.
- v.** Tratamiento a vapor de agua o fusión de mezclas de sílice y cal molidas para producir agregados.
- vi.** Investigación respecto al uso de vidrio de desperdicio, como botellas y frascos, como agregados para concreto y para concreto asfáltico.

## **PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO PARA AGREGADOS**

### **1. INTRODUCCIÓN**

En general en las mezclas de Hormigón hidráulico convencional, los agregados Suelen representar entre 60 y 75 %, del volumen absoluto de todos los componentes, por lo tanto sus características y propiedades ejercen gran influencia en las propiedades del hormigón.

El control de calidad el cemento, agua, etc., están bastante uniformizados a nivel internacional. En el caso de los agregados, sin embargo, este control se dificulta por la heterogeneidad de las fuentes, incluso en un mismo lugar.

Para definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad físico-química, se acostumbra a realizar el examen petrográfico (ASTM C 295).

### **2. TERMINOLOGÍA**

#### **i. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Proceso usado para la determinación de las proporciones en que figuran los distintos tamaños en granos que constituyen un árido.

#### **ii. ARENA**

Árido o fracción del mismo que al ser tamizado en el tamiz 5mm de malla. Pasa en su totalidad por dicho tamiz.

#### **iii. ARENA NATURAL**

Árido predominantemente fino resultante de la desintegración natural de las rocas.

#### **iv. ARENA NORMAL**

Arena silicia de granos redondeados. De granulometría y características determinadas. Destinado al uso de ensayos normalizados.

#### **v. ARENA DE TRITURACIÓN**

Árido fino de partículas angulosas resultantes de la trituración de las rocas.

#### **vi. ARENA VOLCÁNICA**

Arena resultante de la desintegración o trituración de algunos materiales volcánicos.

#### **vii. ÁRIDO**

Material granular. Generalmente inerte. Resultante de la desintegración natural y desgaste de las rocas ó que se obtiene mediante la trituración de ellas de escorias siderúrgicas o de otros materiales suficientemente duros que permiten obtener partículas de forma y tamaño estables.

- viii. ÁRIDO ARTIFICIAL**  
Es el árido procedente de la trituración de las rocas o gravas naturales por medios mecánicos. También se incluyen dentro de esta definición algunos residuos de la industria y otros productos que por su naturaleza y tamaño cumplan los requisitos necesarios para el fin a que se destinan.
- ix. ÁRIDO FINO**  
Árido o fracción del mismo que al ser tamizado en el tamiz 5mm (NB 475-81) pasa como mínimo el 95% y queda retenido en su totalidad en el tamiz 75mm (NB 475-81).
- x. ÁRIDO GRUESO**  
Árido o fracción del mismo que al ser tamizado en el tamiz 5mm (NB 475-81) queda retenido como mínimo el 95%.
- xi. ÁRIDO LIVIANO**  
Árido constituido por partículas de materiales naturales o artificiales cuyo peso unitario es menor de 885 Kg/m<sup>3</sup> para el árido grueso.
- xii. ÁRIDO NATURAL**  
Es el árido procedente de la desintegración natural de las rocas.
- xiii. ÁRIDO TOTAL**  
El que de por sí o por mezcla. Posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.
- xiv. CONTENIDO DE HUMEDAD SUPERFICIAL**  
Diferencia entre el contenido total de humedad y la de absorción.
- xv. CONTENIDO TOTAL DE LA HUMEDAD**  
Diferencia entre la masa en estado húmedo y la masa del mismo estado seco expresado en porcentaje de su masa seca.
- xvi. GRANULOMETRÍA**  
Distribución por tamaños de las partículas que constituyen un árido. Expresado gráficamente da lugar a la curva granulométrica.
- xvii. GRAVA NATURAL**  
Árido predominante grueso proveniente de la desintegración y abrasión natural de materiales pétreos.
- xviii. GRAVA PARTIDA**  
Árido grueso proveniente de la trituración artificial de grava y en el que todas sus partículas tienen por lo menos una cara obtenida por fractura.
- xix. GRAVA TRITURADA**  
Árido proveniente de la trituración artificial de rocas o de gravas cuyas partículas tienen prácticamente la totalidad de sus caras obtenidas por fractura.

- xx. MÓDULO DE FINURA**  
Número que se obtiene al dividir por 100 la suma de los porcentajes totales de una muestra de áridos. Retenidos sobre cada uno de los tamices de una serie la relación de aberturas lineales de los tamices consecutivos es de la 2, partiendo del tamiz 150 mm.
- xxi. PARTÍCULA BLANDA**  
Partícula de árido de núcleo duro o blando de superficie delgada suave y seca.
- xxii. PARTÍCULAS LIVIANAS**  
Son aquellas que flotan en el líquido de ensayo.
- xxiii. PESO UNITARIO**  
Es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad en que se efectúa el ensayo. Se expresa en Kg. /m<sup>3</sup>.
- xxiv. PESO ESPECÍFICO**  
Es el cociente del peso en el aire de un cierto volumen aparente de áridos y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada a una misma temperatura.
- xxv. PESO ESPECÍFICO APARENTE**  
Es el cociente del peso en el aire de un cierto volumen de sólidos del árido y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada a una misma temperatura.
- xxvi. PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUPERFICIE SECA**  
Es el cociente del peso en el aire de un cierto volumen de áridos saturados con superficie seca y un volumen igual de agua destilada a una misma temperatura.
- xxvii. PIEDRA TRITURADA**  
Producto que resulta de la trituración artificial de rocas cantos rodados o piedras de gran tamaño y en el que sustancialmente todas sus caras sean el resultado de la trituración.
- xxviii. PORCENTAJE (%) DE ABSORCIÓN**  
Aumento de peso de un árido poroso seco: hasta lograr su condición de saturado con superficie seca debido a la penetración del agua a sus poros permeables.
- xxix. PORCENTAJE (%) DE HUMEDAD**  
Cociente entre el peso del agua evaporada por secado hasta peso constante de una muestra de árido y el peso de la muestra del árido seco.
- xxx. POROSIDAD APARENTE**  
Es el cociente entre el volumen total de poros (permeables e impermeables) y el volumen aparente del cuerpo.
- xxxi. ROCA TRITURADA**  
Cualquier roca que proviene de cantera, o bien la boca proveniente de pozo ó depósito fluvial que ha sido triturada y presente como mínimo 2 caras partidas.

**xxxii. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL**

Designación que corresponde a un árido expresado por el tamiz de malla menor a través del cual pasa como mínimo el 95% del árido.

**xxxiii. TAMAÑO NOMINAL**

Designación de un árido expresado por los tamices necesarios para su análisis granulométrico.

**xxxiv. VOLUMEN APARENTE**

Es la suma del volumen de sólidos más el volumen total de poros.

**xxxv. VOLUMEN SÓLIDO**

Es la diferencia entre el volumen aparente y el volumen de poros permeables. En las determinaciones de volúmenes, los poros impermeables se consideran integrantes del sólido.

**3. ENSAYOS DE LABORATORIO****3.1. Muestreo de los Agregados**

Para tener una muestra representativa procedemos a realizar lo que se llama el cuarteado, tiene que tener las siguientes características (ASTM C88):

- Muestras deben ser tanto aleatorias como representativas.
- Muestras aleatorias tomadas de un lote o población permiten determinar las propiedades del mismo.
- Muestras representativas: en apilamientos, deben tomarse muestras del nivel superior, intermedio e inferior y mezclarse.
- La cantidad mínima de muestra es función del tamaño nominal máximo.

**Tabla A2 Cantidad de muestra para cuarteo vs. Tamaño nominal**

<b>Tamaño nominal máximo (mm)</b>	<b>Cantidad mínima de muestra (kg.)</b>
90	175
75	150
63	125
50	100
37.5	75
25	50
19	25
12.5	15
9.5	10
4.75 (N° 4)	10
2.36 (N° 8)	10

**Fuente: ASTM C88**

- Las muestras siempre exceden la cantidad necesaria para realizar los ensayos de laboratorio, por lo que se debe efectuar un procedimiento de cuarteo apropiado.

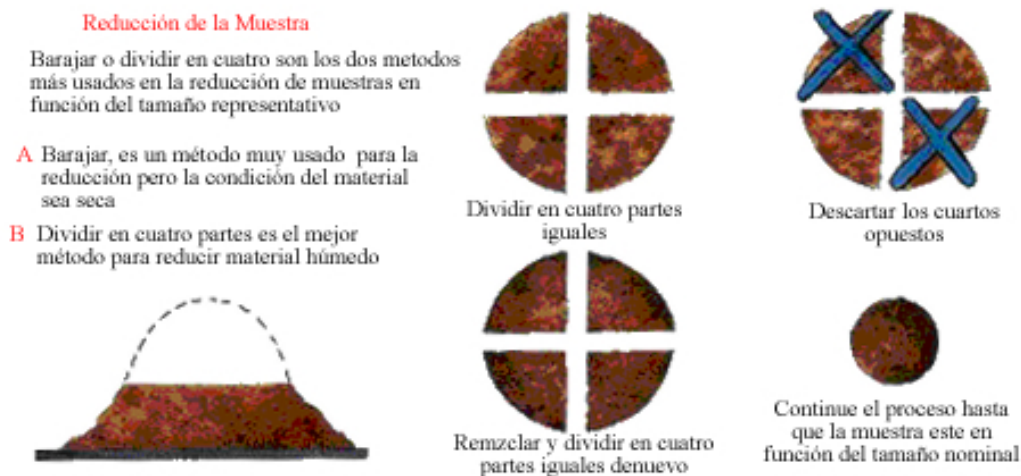
### 3.1.1. CUARTEO

Consiste en dividir la muestra en cuatro partes iguales. Luego solo los cuadrantes opuestos se eliminan, los dos restantes se redistribuyen, se los vuelve a cuartear nuevamente se eliminan dos cuadrantes opuestos, se repite este procedimiento una y otra vez hasta llegar a la muestra representativa dependiendo el tamaño nominal máximo.

En general el cuarteo es un procedimiento de reducción de cantidades de muestra. El objetivo de la técnica de reducción de cantidad de muestra es minimizar las variaciones de características.

Existen tres métodos para reducir la cantidad de muestra (ASTM C89):

- Método A: Cuarteador mecánico número par de rejillas, no menor a 8.
- Método B: Pala o cuchara grande, escoba o brocha, lona de cuarteo de 2.0 m. x 2.5 m.
- Método C: Muestreo en apilamiento miniatura.



**Figura A7 Métodos de cuarteo (deducción de la muestra)**

**Fuente: ASTM C89**

Los diferentes métodos son aconsejados como se ve en la tabla A3.

**Tabla A3 Métodos para el cuarteo**

Material	Método
Agregado fino en condición seca	A (*)
Agregado fino con humedad	B, C (**)
Agregado grueso	A (Preferido), B (Aceptable)
Agregado Grueso y fino combinados	A (Preferido), B (Aceptable)

**Fuente: ASTM C88**

- (\*) Los métodos B y C pueden aplicarse si se agrega humedad a la muestra, con un mezclado cuidadoso.
- (\*\*) El método A puede aplicarse si se elimina humedad, con secado a temperaturas inferiores a todas las temperaturas de ensayo posteriores. Puede hacerse una separación preliminar, a pesar de la humedad de las muestras, mediante un cuarteador mecánico de dimensión de rejilla de 38 mm o más.

### 3.2. Ensayos Químicos

Desde el punto de vista químico, se debe investigar la presencia de minerales en las rocas para determinar (Examen petrográfico - ASTM C 88, ASTM C 295):

- La reacción álcali-sílica (ópalo, calcedonia, cuarzo, vidrios volcánicos, etc.).
- La reacción álcali-carbonato, propiedades electroquímicas y presencia de otros minerales indeseables.

#### 3.2.1. DETERMINACIÓN COLORIMÉTRICO DE LA PRESENCIA DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN LA ARENA PARA HORMIGONES.

Esta norma establece el procedimiento para determinar la presencia de impurezas orgánicas nocivas que se encuentran en las arenas naturales, que se emplean en la preparación de morteros y hormigones de cemento, por comparación de coloraciones.

### 3.3. Ensayos Físicos

En cuanto a los aspectos físicos que deben tomarse en cuenta, varía de acuerdo a la utilidad de los agregados (Hormigón ó Pavimento), en general se emplea los siguientes ensayos variando en algunos parámetros descritos en el texto de ensayo:

- Análisis Granulométrico – Granulometría
- Porcentaje de terrones de arcilla y limo en los áridos
- Contenido de Finos
- Peso Específico y Absorción



- Pesos Unitarios de los Áridos
- Abrasión
- Salinidad (Solubilidad del Árido)
- Angularidad del Árido Fino
- Forma y Textura

### **3.3.1. Análisis Granulométrico**

El análisis granulométrico busca determinar la distribución por su tamaño, clasificándolo en árido grueso y fino por cribado (diferencia entre NB y la ASTM en la definición de agregado grueso y fino).

- La granulometría y el tamaño del árido afectan las proporciones relativas de los áridos, así como los requisitos de agua y cemento en la mezcla para hormigón hidráulico. Así mismo afectan la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y su durabilidad.
- Las variaciones de la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del hormigón de una mezcla a otra.

### **3.3.2. Determinación del porcentaje de terrones de arcilla y limo en los agregados**

Este método de ensayo abarca el procedimiento para determinación aproximada de los terrones de arcilla en los áridos que trae consigo las siguientes observaciones:

- El material que pasa por el tamiz (Arcillas- ASTM C142 y limos ASTM C 117) resulta perjudiciales en las mezclas de concreto, pues entre mayor sea la cantidad de este tamaño de partículas mayor será la cantidad de agua de la mezcla y tiende a aflorar en la superficie del cemento, manifestándose como un agrietamiento por contracción.
- Así mismo pueden interrumpir la adherencia entre las partículas de mayor tamaño y la pasta agua-cemento.

### **3.3.3. Determinación del Material Fino**

Este ensayo establece el procedimiento mediante tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,080 mm en los áridos. Se aplicará a los materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

El material fino trae consigo las siguientes observaciones:

- Debe tenerse presente que cuando se utilizan arenas muy finas, las mezclas pueden resultar antieconómicas. Por el contrario, cuando se usan muy gruesas pueden resultar mezclas muy rígidas y poco trabajables.

### 3.3.4. Peso Específico y Absorción de los Áridos Grueso y Fino

Este método de ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico a “granel” y el peso específico aparente, además del porcentaje de absorción del agregado Fino-Grueso (después de 24 horas en el agua a la temperatura del ambiente). El peso específico a “granel” del agregado fino en la condición de saturado y superficie seca es el valor que generalmente se aplica en la dosificación de hormigones.

- Permite valorar la densidad y la porosidad del agregado
- Esta característica se relaciona directamente con el diseño de la mezcla y su modelo de deterioro en el campo.
- Este es uno de los parámetros más importantes para obtener mezclas homogéneas con un buen desempeño a largo plazo.
- En cuanto a la absorción, un valor demasiado alto de la misma, no es una característica para desecho del árido, pero puede ser indicio de un desempeño inadecuado dentro de la masa de hormigón.
- Así mismo una excesiva porosidad ( $V_v/V_t$ ) puede ser un síntoma de una reducida calidad mecánica del agregado, y puede tener efectos indeseables en el hormigón por su limitada resistencia mecánica, su alta deformabilidad y su elevada capacidad de absorber agua.

### 3.3.5. Pesos Unitarios de los Áridos

Este método de ensayo abarca los procedimientos para determinar el peso unitario de los agregados gruesos, finos o mezclados.

- Es muy importante comparar el peso unitario suelto y envarillado con el Peso Unitario.
- Es una característica importante, porque es índice de propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le proyecte dar al árido.
- El peso volumétrico (peso unitario-densidad en masa de un agregado normalmente varía entre 12 KN/m<sup>3</sup> y 18 KN/m<sup>3</sup>, con contenidos de vacío que varían entre 30-45 % A-G y 40-50% A-F.

### 3.3.6. Ensayo de Desgaste del Agregado Grueso (Abrasión)

Este método abarca el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de desgaste de piedra y grava trituradas, y agregado grueso natural (grava no triturada), por medio de la máquina de los Ángeles.

- La resistencia a la abrasión es un indicador de la resistencia mecánica del agregado a un proceso de abrasión, es decir a la degradación de agregados por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.

- Se requiere conocer cuando el agregado se va a utilizar en la construcción de carreteras y pisos cuyas superficies estén sujetas a cargas abrasivas.
- En cuanto a la tenacidad, este parámetro se refiere a la energía que puede absorber el agregado antes de la ruptura.
- El principal objetivo de este ensayo es determinar la resistencia al impacto (tenacidad) y al desgaste (abrasión)

### **3.3.7. ENSAYO DE SOLUBILIDAD DE LOS ÁRIDOS USANDO SULFATOS DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO (Salinidad)**

La Salinidad de un agregado se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente lo que corresponde a intemperismo (congelación y deshielo).

- En esta prueba influyen también los efectos acumulados de los ciclos saturación y secado, calentamiento y enfriamiento por lo que se considera útil para estimar el comportamiento de los áridos.
- Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolverse cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y en otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfatos de Sodio o Magnesio, seguidas por secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables. La fuerza de expansión interna, derivada de la rehidratación de la sal en la re-inmersión, simula la expansión del agua en el enfriamiento.
- Los valores para el porcentaje de pérdida permitido por este método son usualmente diferentes para agregado grueso y fino.
- El ensayo es generalmente más riguroso cuando usamos sulfato de Magnesio, por lo tanto los límites permisibles para el porcentaje de pérdida cuando usamos sulfato de Magnesio son más altos que los límites cuando usamos sulfato de Sodio.
- Así, en las especificaciones la pérdida máxima permisible para el agregado fino se fija en 10% cuando se utiliza sulfato de sodio y en 15 % para arenas si se emplea sulfato de magnesio. En el caso del agregado grueso, en las especificaciones la pérdida máxima permisible se fija en 12% cuando se utiliza sulfato de magnesio.

### **3.3.8. Proporción Porcentual de Vacíos en Áridos finos (Angularidad del Agregado Fino)**

Este ensayo permite determinar el porcentaje de vacíos en el agregado fino no compactado. El porcentaje de vacíos es función de la forma de la partícula (angularidad), textura (rugosidad) y Gradación (ASTM C 141).

- El proceso de trituración del material es el único elemento que permite controlar esta variable, pues también depende de la estructura mineralógica y cristalográfica de la roca, sobre la cual no se pueden hacer modificaciones.

- Tanto la forma de partícula como la textura de un agregado influyen más en las propiedades del hormigón fresco que en el hormigón endurecido.
- Para producir un concreto de mayor trabajabilidad, las partículas alargadas, angulares, de textura rugosa, necesitan más agua que los agregados, compactados, redondeados y lisos. En consecuencia cuando se utilizan estos primeros se requerirá de mayor cemento, para mantener la misma relación agua-cemento.

Partículas planas (lameadas)	Partículas alargadas (ablongadas)	Partículas planas y alargadas (tabulares)	Partículas equidimensionales (cúbicas y esféricas)
$\frac{l}{t} > 3$ $\frac{b}{t} < 3$	$\frac{l}{b} > 3$ $\frac{b}{t} < 3$	$\frac{l}{t} > 3$ $\frac{b}{t} > 3$	$l \approx b \approx t$ $\frac{l}{t} < 3$ $\frac{b}{t} < 3$

**Figura A8 Definición de formas de partículas en los agregados**

**Fuente: ASTM C 141**

- En cuanto a la adherencia entre la pasta de cemento y un agregado, esta se favorece con el uso de formas angulares y superficies rugosas.
- Con respecto al contenido de vacíos, este también depende de la angularidad del agregado. Cuanto mayor sea la angularidad mayor serán los vacíos y por lo tanto la demanda de agua de la mezcla y de mortero.
- De lo anterior se puede inferir es que son igualmente indeseables los casos extremos, por lo tanto sería más adecuado una condición intermedia.
- En cuanto a partículas planas y alargadas, estas se deben evitar o limitar hasta un 15% del peso total del agregado. La presencia de este tipo de partículas hacen necesario un incremento en el agua de la mezcla, con lo que se podría afectar la resistencia del concreto.

### 3.3.9. Durabilidad al Desmoronamiento

La durabilidad de una roca o su capacidad para resistir los procesos de meteorización que puedan causar la desintegración o descomposición química de la roca a corto plazo, puede determinarse mediante el ensayo de durabilidad al desmoronamiento.

- Tras considerar la gran variedad de técnicas y métodos de ensayos disponible para valorar esta propiedad (AASHTO T-210), en 1972 se desarrolla un aparato para medir un índice de durabilidad (“slake durability index”).
- **“Slake Durability Index”** Su método requiere elegir diez muestras de roca de 40 a 60 gr. De peso cada una, que se someten a ciclos de secado en el horno y de inmersión en agua.
- Después del secado en el horno, la roca se coloca en un tambor de ensayos estándar, semi-sumergidos en agua y giratorio. Los fragmentos desprendidos pasan por un tamiz de 2 mm., exterior al tambor.
- Después de girar en el tambor durante 10 min. a 20 r.p.m. se seca de nuevo la muestra en el horno y se pesa para determinar la pérdida de peso.
- El cociente del peso del material seco retenido en el tambor al de la muestra introducida en el mismo al comienzo del ciclo es lo que se conoce como índice de durabilidad.
- El índice de durabilidad al cabo de segundo ciclo es del que se recomienda como índice de referencia a efectos de clasificación, aunque las muestras con índices de 0 a 10 % en el segundo ciclo deben caracterizarse además por el índice en el primer ciclo y por su índice de plasticidad. Deben describirse los materiales de la roca al comienzo y al final del ensayo.

## **PRACTICA DE CAMPO N° 2**

### **“CERÁMICOS”**

#### **1. TECNOLOGÍA Y USO DE MATERIALES CERÁMICOS**

Los materiales cerámicos son compuestos químicos o soluciones complejas, que contienen elementos metálicos y no metálicos. Por ejemplo la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) es un cerámico que tiene átomos metálicos (aluminio) y no metálicos (oxígeno). Los materiales cerámicos tienen una amplia gama de propiedades mecánicas y físicas. Las aplicaciones varían desde productos de alfarería, fabricación de ladrillos y azulejos, utensilios de cocina, tubos de albañal, hasta vidrio, materiales refractarios, imanes, dispositivos eléctricos, fibras y abrasivos. Por ejemplo, las losetas que protegen a los transbordadores espaciales están hechas de sílice, que es un material cerámico. En este texto solo nos ocuparemos de los cerámicos que se utilizan en la construcción en Bolivia. En General cuando se habla de cerámicos se refiere al material fabricado con materiales terrosos, blandos, endurecidos mediante tratamientos a altas temperaturas. La cerámica incluye los trabajos de alfarería, porcelana, ladrillos, baldosas y azulejos de gres.

#### **2. RESEÑA HISTÓRICA**

En sus últimos años los persas construían con ladrillos cerámicos al igual que los chinos, que levantaron la gran muralla. Los romanos construyeron baños, anfiteatros y acueductos con ladrillos, a menudo recubiertos de mármol. En el curso de la edad media, en el imperio bizantino, al norte de Italia, en los Países Bajos y en Alemania, así como en cualquier otro lugar donde escaseara la piedra, los constructores valoraban el ladrillo por sus cualidades decorativas y funcionales. Realizaron construcciones con ladrillos templados, rojos y sin brillo creando una amplia variedad de formas, como cuadros, figuras de punto de espina, de tejido de esterilla o lazos flamencos. Esta tradición continuó en el renacimiento y en la arquitectura georgiana británica, y fue llevada a América del Norte por los colonos.

La cerámica ya era conocida por los indígenas americanos de las civilizaciones prehispánicas. En regiones secas construían casas de ladrillos de adobe secado al sol. Las grandes pirámides de los olmecas, mayas y otros pueblos fueron construidas con ladrillos revestidos de piedra. Pero fue en España donde, por influencia musulmana, el uso del ladrillo alcanzó más difusión, sobre todo en Castilla, Aragón y Andalucía. Uno de los materiales cerámicos más utilizados es el ladrillo industrial, fabricado en enormes cantidades, sigue siendo un material de construcción muy versátil. Existen tres clases: ladrillo de fachada o exteriores, cuando es importante el aspecto; el ladrillo común, hecho de arcilla de calidad inferior destinado a la construcción; y el ladrillo refractario, que resiste temperaturas muy altas y se emplea para fabricar hornos. También para la construcción se utilizan los azulejos que nada más es una pieza delgada de arcilla vidriada o sin vidriar que se utiliza para cubrir o decorar suelos y paredes. En General cuando se habla de cerámicos se refiere al material fabricado con materiales terrosos, blandos, endurecidos mediante tratamientos a altas temperaturas. La cerámica incluye los trabajos de alfarería, porcelana, ladrillos, baldosas y azulejos de gres.



***Figura CE 1 Esculturas antiguas de arcillas***  
***Fuente: Biblioteca virtual Encarta 2007***

### **3. MATERIA PRIMA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS**

Los componentes de los materiales cerámicos son como sigue: Arcilla, agua, adiciones y en algunos casos tratamientos superficiales.

#### **3.1. ARCILLA**

La arcilla se compone de un grupo de minerales aluminosilicatos formados por la meteorización de rocas feldespáticas, como el granito. El grano es de tamaño microscópico y con forma de escamas. Esto hace que la superficie de agregación sea mucho mayor que su espesor, lo que permite un gran almacenamiento de agua por adherencia, dando plasticidad a la arcilla y provocando la hinchazón de algunas variedades.

En Cochabamba existen muchas variedades de arcilla, desde la de cocción negra hasta el caolín, base de la riqueza arcillosa del país. Los yacimientos de arcilla más importantes se encuentran en colquepiruha, zona de champarrancho.

##### **3.1.1. TIPOS DE ARCILLA**

La arcilla común es una mezcla de caolín, o arcilla china (arcilla hidratada) y de polvo fino de algunos minerales feldespáticos anhidros (sin agua) no descompuestos. Las arcillas varían en plasticidad, todas son más o menos maleables y capaces de ser moldeadas cuando se humedecen con agua. Las arcillas plásticas se usan en todos los tipos de alfarería, en ladrillos, baldosas, pipas, ladrillos refractarios y otros productos. Las variedades más comunes de arcilla y de roca de arcilla son: la arcilla china o caolín; la arcilla de pipa, similar al caolín pero con un contenido mayor de sílice; la arcilla de alfarería, no tan pura como la arcilla de pipa; la arcilla de escultura, o arcilla plástica, una arcilla fina de alfarería mezclada, a veces, con arena fina; arcilla para ladrillos, una mezcla de arcilla y arena con algo de materia ferruginosa (con hierro); la arcilla refractaria, con pequeño o nulo contenido de caliza, tierra alcalina o hierro (que actúan como flujos), por tanto, es infusible y muy refractaria; el esquisto y la marga.



También podemos clasificar (tabla CE 1) según su composición química siendo el caolín el más común:

**CAOLÍN**  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



*Tabla CE 1 Clasificación de las arcillas según su composición química*

ESTRUCTURA	DENOMINACIÓN	COMPOSICION QUIMICA
<b>LAMINAR</b>	Caolinita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	Halosita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
	Montmorillonita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{FeO} + 2\text{H}_2\text{O}$
	Bentonita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} + 2\text{H}_2\text{O}$
	Illita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_1\text{Mg}_1\text{Ca}_1 + 2\text{H}_2\text{O}$
<b>FIBROSA</b>	Sepiolita	$9\text{MgH}_2 \cdot 3\text{SiO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
	Atapulgita	$9\text{MgAl}_2 \cdot 3\text{Si}_4\text{O}_{10} + 5\text{H}_2\text{O}$

*Fuente: Gustavo Cano - Apuntes de Clase*

Otra clasificación común es la estructural:

ARCILLAS	LIMOS	ARENAS	GRAVAS
0,002mm	0,063 mm		4 mm

Una de las propiedades más importantes y que posteriormente se hará su análisis es la plasticidad. Es menos expansiva y más plástica, por tanto la arcilla tiene que ser de un tipo especial, homogénea para que no aumenten de volumen ni retraigan. Usamos así una arcilla de *plasticidad normal*, hay que molerla, hacerla fina y moldear echando agua. Antes de meterla en el horno hay que secarla a la intemperie (para que se evapore el agua de amasado). La consistencia del suelo depende del contenido de humedad, y es definida por los límites de Atterberg que considera 3



estados; Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de contracción. Definiendo un parámetro muy importante el Índice de plasticidad (tabla CE 2) que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

**Tabla CE 2 límites de plasticidad**

PI	Descripción
0	No plástico
1.- 5.	Ligeramente plástico
5.- 10.	Baja plasticidad
10.- 20.	Plasticidad media
20.- 40.	Alta plasticidad
> 40	Plasticidad muy alta

**Fuente: Braja M. Das – Principios de ingeniería geotécnica**

$$IP = LL - PL$$



**Figura CE 2 Cuchara de Casagrande, utilizada para el ensayo del Límite Líquido**

**Fuente: Elaboración Propia**

Skempton basado en el índice de plasticidad y la fracción del porcentaje de los tamaños de arcilla define la actividad:

$$A = \frac{PI}{(\% \text{ of Clay} - \text{size fraction, by weight})}$$

La actividad es un indicador potencial de la expansión que sufren los suelos arcillosos en la tabla CE 3 se muestra la actividad de los diferentes minerales de arcilla.

**Tabla CE 3 Actividad de los minerales de arcilla.**

Mineral	Actividad A		
Montmorillonita	1	-	7
Illita	0.5	-	1
Kaolinita		0.5	
halloysite (2H <sub>2</sub> O)		0.5	
Holloysite (4H <sub>2</sub> O)		0.1	
Attapulgit	0.5	-	1.2
Allophane	0.5	-	1.2

**Fuente: Braja M. Das – Principios de ingeniería geotécnica**

### 3.2. EL AGUA

El agua es el elemento que le da plasticidad a la arcilla para su trabajabilidad, se puede definir dos tipos de agua en la preparación del material cerámico: Agua Zeolítica y agua de amasado.

#### 3.2.1. Agua Zeolítica

La arcilla es clasificada como un material altamente poroso y por su estructura cristalina tiene una atracción bipolar con el agua, entonces el agua zeolítica es la que forma parte de la estructura cristalina.

#### 3.2.2. Agua de amasado

El agua de amasado es el agua que se agrega para la trabajabilidad de la arcilla, el porcentaje depende del material que se quiera fabricar, se recomienda trabajar con una plasticidad normal o plasticidad media (IP = 10 a 20).

### 3.3. ADICIONES

El fabricante de cerámicos puede eliminar algunas impurezas propias de las arcillas o mezclarlas en diversas proporciones para lograr efectos diferentes. Cierta cantidad de impurezas ayudan a que el material en la cocción mantenga su forma o darle un color final. Existen diferentes tipos de adiciones dependiendo la finalidad.



**Figura CE 3 Materiales cerámicos utilizando diferentes tipos de adiciones**

### 3.3.1. FUNDENTES

Es un producto que se adiciona, para que baje la temperatura de fusión, baja la temperatura del horno. Estos pueden ser:

- Carbonato Cálcico: es peligroso porque se puede convertir en Oca. El ladrillo se queda con nódulos de Oca  $\rightarrow$  Caliche al unirse con el agua:  $\text{Oca} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}$ , produce una reacción exotérmica y expansiva.
- Óxido de Hierro.
- Feldespato.

En las ladrilleras de Bolivia así como en las fábricas de cerámicos es poco frecuente la utilización de fundentes.

### 3.3.2. DESGRASANTES

Quitán la plasticidad de la arcilla, por ejemplo la arena, la chamota (ladrillo roto y finamente molido), escoria granulada, cenizas volantes, etc. cualquier material que no produzca reacciones con la materia prima.

### 3.3.3. QUEMANTES

Los quemantes sirven para que la cocción del material cerámico sea homogéneo, es decir que las partes que están menos expuestas al calor (núcleo) tengan el mismo grado de cocción que el de las caras externas. Esto se logra debido a que el material o bloque de termoarcilla tiene mucha microporosidad y los quemantes tienen la finalidad de mantener homogénea la temperatura. Entre los quemantes más utilizados tenemos; el aserrín, lignito (carbón fósil que no produce coque cuando calcina en vasos cerrados), etc. En Cochabamba – Bolivia se le adiciona residuos de cueros (viruta de cromo).

## 4. FABRICACIÓN

### 4.1. HOMOGENEIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Primeramente la arcilla debe triturarse, tamizarla manualmente, mezclarla con agua hasta darle una plasticidad media y madurarla. La maduración de la mezcla consiste en dejar la arcilla en agua hasta que se disuelva y se convierta en una pasta homogénea (usualmente se utiliza el término de podrir), el tiempo es el máximo que se pueda, este se descompone y forma lo que se llama el HUMUS (especie de gel que da mayor plasticidad). En esta fase se produce las adiciones mencionadas en el párrafo 3.3.

#### 4.2. MOLDEO

El moldeo consiste en darle la forma en función a la necesidad del fabricante. Existen diferentes tipos de materiales cerámicos empleados en la construcción como ser: Gradillas, ladrillo gambote, ladrillo hueco, tejas, azulejos, etc.

Para materiales cerámicos con mayores requerimientos se hace el prensado, el material prensado adquiere gran resistencia debido a que no pierde agua en la cocción.

#### 4.3. SECADO

Luego de realizar el moldeo para el secado se le lleva a la intemperie o a galpones protegidos de agentes externos que pudiera dañar ejemplo la lluvia, en cambio el sol ayudara al secado.

#### 4.4. COCCIÓN

La cocción es para darle la dureza, existen diferentes tipos de hornos dependiendo con el material que se este trabajando. En la cocción de materiales cerámicos se puede obtener dos diferentes tipos de materiales dependiendo de la temperatura: cuando la temperatura alcanza los  $900^{\circ}\text{C}$  a  $1000^{\circ}\text{C}$  y se detiene el proceso de cocción el producto obtenido se denomina mullita es una fase alotrópica de la arcilla. Cuando el material cerámico pasa de los  $1350^{\circ}\text{C}$  se puede obtener el producto vitrificado.

#### 5. TRATAMIENTOS

Existen diferentes tratamientos para los azulejos cocidos entre los más importantes tenemos: Esmaltado, hidrofugación y vidriado.

El esmaltado consiste en aplicar una composición fusible a una de las caras suponiendo que es un azulejo. El vidriado es usado esencialmente en accesorios sanitarios.

#### 6. CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS CERÁMICOS



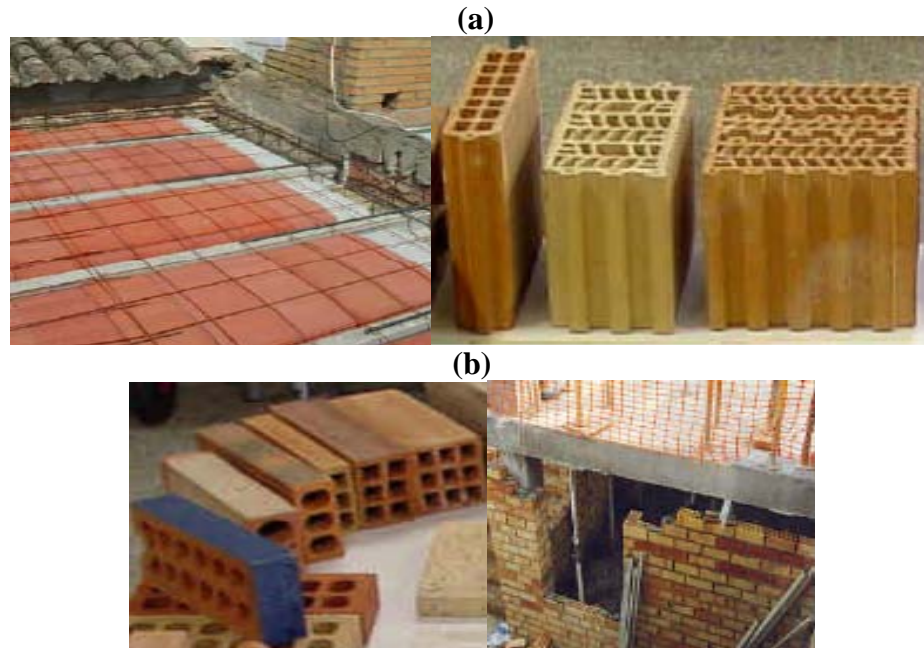
*Figura CE 4 Diferentes tipos de Materiales cerámicos*

*Fuente: Muestrario Ceramil*

Los materiales cerámicos: bloques cerámicos, Revestimientos y/o sanitarios, Tejas.

## 6.1. BLOQUES CERÁMICOS

Dentro de los bloques cerámicos tenemos: Adobe, ladrillo gambote, Ladrillo Hueco y bovedillas.



**Figura CE 5 Bloques cerámicos. a) Bovedillas, b) ladrillos**  
**Fuente: Elaboración Propia**

## 6.2. REVESTIMIENTOS Y ELEMENTOS SANITARIOS

Los componentes principales son: Azulejos vitrificado o no, todo tipo de elementos sanitarios.

### 6.2.1. AZULEJOS



**Figura CE 6 Diferentes tipos de azulejos**  
**Fuente: Elaboración Propia**

La cocción de los azulejos a lo sumo llegara a los 900 ° C, el esmaltado y vidriado es el mismo en el azulejo, a diferencia del color el vidriado es incoloro se conoce en el mercado tres categorías

en función a la calidad del mismo: 1ª Calidad Especial, 2ª Calidad Estándar y 3ª Calidad de saldo (Ver CER 9).

### 6.2.2. ELEMENTOS SANITARIOS

En este tipo de elementos el vidriado o esmaltado es muy importante (impermeable, absorción 0). El componente principal es la arcilla cocida blanca rica en alúmina y sílice, que le da alta resistencia mecánica (lo hacen por moldeo) y le inyectan aire para que tenga un sistema poroso, y después lo esmaltan (hay también colores). Las bañeras están hechas de material metálico de fundición, esmaltados. Gres (arcilla vitrificada) y Barro (arcilla cocida).

### 6.3. TEJAS

Sirve para cubrir los techos, existen diferentes modelos y con distinta inclinación dependiendo del modelo.



*Figura CE 7 Teja mixta y plana*

*Fuente: Elaboración Propia*

## 7. PREGUNTAS DE CONTROL EN CAMPO

- En Bolivia de que fecha data aproximadamente la utilización de la arcilla.
- Tipo de arcilla utilizada en los diferentes materiales cerámicos.
- Según los tipos de arcilla utilizada describa su estructura del mineral de arcilla utilizado.
- Defina los límites de Atterberg.
- Índice de Plasticidad y la actividad utilizada en los diferentes tipos de materiales cerámicos.
- Explique la atracción bipolar del agua con la arcilla
- Como se determina el agua zeolítica.
- Cantidad de agua de amasado utilizada para los diferentes materiales cerámicos.
- Desarrolle las adiciones utilizadas para los diferentes tipos de materiales utilizados.
- Desarrolle el proceso de fabricación (Homogenización, moldeo, secado, cocción, tratamientos, clasificación final, etc.) de los diferentes tipos de materiales cerámicos.
- Desarrolle características físicas de la clasificación final de los elementos cerámicos.



## **DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “CERÁMICOS”**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los materiales cerámicos, son elementos que se fabrican usando arcilla o tierra arcillosa bien preparada, con o sin adición de materias áridas, de suficiente plasticidad y consistencia para después ser sometidos a procesos de cocción a una determinada temperatura. El presente texto pretende evaluar las propiedades físicas y químicas de los materiales cerámicos con las del Instituto Boliviano de Normalización IBNORCA y normas de países vecinos. Se pretende aplicar los pasos de producción, conocer las características, propiedades que debe tener, analizar el comportamiento de los ladrillos ante posibles eventos que serán emulados mediante ensayos de laboratorio, propiedades de la arcilla para la posterior fabricación de un material, conocer como se deben analizar las posibles fallas de un ladrillo mediante los resultados arrojados por los ensayos.

### **2. TERMINOLOGÍA**

#### **i. ARCILLA**

Material natural terroso o pétreo, constituido esencialmente por silicatos de aluminio hidratados, producto de la descomposición de rocas feldespáticas y que puede contener sílice libre y otras impurezas. Molido, mezclado y amasado con una adecuada cantidad de agua adquiere plasticidad endurece al secarse y toma aspecto vítreo o pétreo cuando se somete temperatura de cocción. Una vez cocida no vuelve a adquirir su propiedad plástica, a esta característica se denomina “pérdida de memoria de la arcilla”.

#### **ii. ARCILLA ALUMINOSA**

Arcilla de alta refractariedad, cuyo tenor en óxido de aluminio es mayor del 45% después de ser calcinada a temperatura del orden de los 1000° C; puede contener óxido de aluminio hidratado; amorfo o cristalizado, tales como gibsita o hidrargilita, diásporo y poemita.

#### **iii. ARCILLA BAUXÍTICA**

Arcilla generalmente caolinítica, que contiene menos del 50% de óxidos de aluminio hidratados, tales como gibsita, boemita y/o diásporo. Cuando contiene más del 50% de estos óxidos se llama bauxita arcillosa.

#### **iv. ARCILLA DIÁSPORO**

Roca constituida esencialmente por granos de diásporo ligados por arcilla refractaria dura. Las arcillas diásporos comerciales de mayor pureza esencialmente contienen entre 70% y 80% de aluminio, después de calcinadas a temperatura del orden de 1000° C.

#### **v. ARCILLA ESQUISTOSA**

Material arcilloso que se presenta con textura foliácea.

- vi. ARENA**  
Roca dendrítica, generalmente silícea, que se presenta en granos de dimensiones relativamente pequeñas.
- vii. BADALEÍTA**  
Es un mineral cuyo principal componente es un dióxido de circonio ( $ZrO_2$ ) Cristalizado.
- viii. BAUXITA**  
Mineral de alto contenido en óxido de aluminio hidratado se presenta bajo forma de gibsita o hidrargilita ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) boemita o diásporo ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ) impurificada por minerales arcillosos, óxidos hidratados de hierro y cuarzo.
- ix. BAUXITA CALCINADA**  
Mineral bauxita, calcinada a temperatura del orden de los  $1600^\circ C$  y con un contenido de óxido de aluminio no menor del 80% comúnmente utilizado para la fabricación de refractarios de alta alumina.
- x. BENTONITA**  
Mineral proveniente de la alteración de cenizas volcánicas con promedio de montmorillonita, de partículas de extremada finura, generalmente muy plásticas; algunas variedades poseen alto poder de absorción de agua con gran aumento de volumen.
- xi. BERRILLO**  
Mineral constituido por un silicato de berilio y aluminio de fórmula empírica  $Al_2O_3 \cdot 3BeO \cdot 6SiO_2$ .
- xii. BOEMITA**  
Óxido de aluminio hidratado de fórmula  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ , que por cocción a suficiente temperatura se transforma en alfa alumina.
- xiii. CALIZA**  
Roca constituida principalmente por carbonato de calcio.
- xiv. CALCEDONIA**  
Variedad fibrosa cripto cristalina del cuarzo.
- xv. CALCITA**  
Carbonato de calcio que cristaliza en el sistema hexagonal.
- xvi. CAOLÍN**  
Arcilla de origen sedimentario o residual, con predominio de la variedad cristalina caolinita y cuyo color después de cocida es general blanco o casi blanco. Posee alta refractariedad.
- xvii. CAOLINITA**  
Una de las variedades cristalinas del grupo de las Cauditas, silicato de aluminio hidratado de fórmula empírica:  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  con un 39% de  $Al_2O_3$ , 46% de  $SiO_2$  y 14,0% de agua es el principal constituyente de los caolines y de muchas arcillas refractarias.



### **3. ELEMENTOS CERÁMICOS**

El procedimiento que se debe seguir para la producción de elementos cerámicos es el siguiente:

#### **3.1. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La materia prima de un ladrillo es la arcilla, la cual debe tener la siguiente composición química para ser apta para un ladrillo:

- Contenido de Álcalis y Ácidos: menor del 0.2%. Puede causar eflorescencia con un porcentaje mayor.
- Sustancias solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): menor al 0.04%. Igual al anterior produce eflorescencias con un porcentaje mayor
- Piritas (Sulfuros de Hierro). Su exceso puede producir una deposición sulfúrica, en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y cuarteaduras sobre el material.
- Contenido de Alúmina: 20% - 30%: Imparte plasticidad a la arcilla, y un exceso provoca contracciones altas en el secado.
- Contenido de Sílice: 50% - 60%: Da baja contracción, previene el agrietamiento, imparte formas uniformes al ladrillo. Asociada con la durabilidad. Su exceso disminuye la cohesión entre partículas.
- Oxido de Hierro: Imparte coloración rojiza a la cerámica, previene que la cal produzca la función de la arena. Su exceso produce una coloración azul oscura (generalmente no ocasiona otra molestia).
- Cal: Debe estar dispersa (diámetro 0.2 mm) o sea cal viva más agua. Es un fúndente que permite bajar la temperatura de fusión de la sílice. Si hay un exceso puede fundir demasiado provocando agrietamiento y deformación de la pieza.
- MgO: Imparte coloración amarilla a la cerámica. Ayuda a decrecer la deformación. Sé exceso produce deterioro por expansión de la superficie.
- Además la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material.

#### **3.2. ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

- Ajuste granulométrico: Dependiendo de la finura de la arcilla esta tendrá mayor o menor grado de plasticidad. El ajuste se hace por medios mecánicos
- Ajuste por contracción: consiste en agregar arena o arcillas no plásticas.
- Ajustes por humedad: Se realiza teniendo en cuenta las especificaciones dadas por los límites de atterberg.
- Mezcla homogénea: se debe lograr una misma composición en toda la matriz ya sea por bestia, por batidora, o por otros procesos mecánicos.

### **3.3. MOLDEO**

Depende del proceso de producción, ya sea con equipo de extrusión, en donde se utiliza una boquilla para impartir la forma del ladrillo, o por moldeo manual, en donde se utiliza un molde para dar la forma a la arcilla.

### **3.4. SECADO**

Tiene por objeto eliminar la humedad libre y parte de la combinada por exposición al ambiente, lo cual se hace así por costos, velocidad de contracción, lo que nos da una mejor calidad.

### **3.5. COCCIÓN**

Proceso mediante el cual se somete al fuego la arcilla moldeada y seca, para producir una sinterización intensa de la arcilla, y una vitrificación adecuada.

Estos procesos de cocción se deben llevar a cabo manejando una curva de temperaturas de la cual dependerán varias de las características del ladrillo, ya que si es mal manejada esta curva puede haber problemas con el ladrillo, por ejemplo la generación de esfuerzos residuales en el ladrillo, produciendo agrietamientos.

## **4. PROPIEDADES DE LOS BLOQUES CERÁMICOS Y SU NORMALIZACIÓN**

### **4.1. LADRILLO MACIZO Y HUECO**

Son ladrillos generalmente con forma de paralelepípedo, que no poseen huecos cuyas características mecánicas y físicas son las especificadas en esta norma NB 12110003-03, se clasifican desde el punto de vista de su resistencia a la compresión, de acuerdo a lo especificado en la tabla 4 de la NB. 12110003-03, mostrada en el texto como tabla CE 4.

En la tabla CE 5 muestra las especificaciones contempladas en la NB Norma Boliviana, sin embargo en los requisitos especiales, para ladrillos huecos y macizos, solo se diferencian en la planeidad<sup>1</sup> y desviación<sup>2</sup> con relación a la escuadra, siendo los requerimientos similares por lo que se recomienda utilizar la norma UNE por su mayor precisión diferenciando elementos cerámicos como sigue: Ladrillo hueco de gran formato, ladrillo hueco, ladrillo macizo manual, ladrillo macizo prensado, ladrillo macizo, ladrillo perforado cara vista y ladrillo perforado (CER – 10, 11, 12, 13 y 14).

---

<sup>1</sup> Ver CER – 8 párrafo 3.4.3 Desviación con relación a la escuadra

<sup>2</sup> Ver CER – 8 párrafo 3.5. Planeza de las caras

**Tabla CE 4 Clasificación por la resistencia a la compresión**

Clase	Resistencia a la compresión área bruta – mín. (MPa)
A	4.0
B	2.5
C	1.5

**Fuente: NB 12110003-03****Tabla CE 5 Especificaciones para ladrillo cerámicos macizos prensados NB**

Norma de ensayo	Características		Especificaciones
NB12110003-03	Condiciones generales	De fabricación	Cocido a una temperatura que le confiere al producto final, características específicas en el ensayo
		Identificación	La identificación del fabricante sin que perjudique su uso
		Características visibles	No deben presentar superficies irregulares ni deformaciones que impidan su empleo
NB 12110003-03	Condiciones geométricas	Formas	Forma de paralelepípedo con las dimensiones nominales (tabla N2 de la NB 12110003-03)
		Determinación de las dimensiones nominales	Según (tabla N2 de la NB 12110003-03)
NB 12110002-03	Requisitos especiales	Desviación con relación a la escuadra D (max)	2 %
		Planeidad	3 mm
		Absorción (A)	$8 < a < 20$
		Heladicidad	
		Eflorescencia	
		Inclusiones calcáreas (caliche)	
NB 12110003-03	Muestreo		(véase tabla N5 de la NB 12110003-03)

**Fuente: NB 12110003-03**

## 4.2. BOVEDILLAS

La NB no hace referencia a este tipo de elemento por lo que nos basaremos en la norma **UNE 67020-99**, la UNE hace distinción de tres tipos: Bovedillas aligerantes (tabla CE 63), bovedillas resistentes (tabla CE 7) y bovedillas resistentes con capa de compresión (tabla CE 8), los requerimientos es como sigue:

**Tabla CE 6 Valores exigidos por la Norma UNE 67020 para Bovedillas Aligerantes**

Características		Tolerancias
Fisuras	UNE 67020	Se admite cualquier pared fisurada siempre que cumpla resistencia a Flexión fijada por la norma.
Perfil de las bovedillas	UNE 67020	Será tal que a cualquier distancia de su eje vertical de simetría el espesor h de hormigón será mayor que c/6
Altura – Anchura – Longitud	UNE 67020	+/- 5 mm.
Desconchados	UNE 67039	Ninguna pieza tendrá desconchados de dimensión media superior a 15 mm. En cada pieza se admitirán hasta 3 desconchados por dm <sup>2</sup> siempre que su dimensión media esta comprendida entre 7 mm y 15 mm. Los desconchados de dimensión media inferior a 7 mm. no se consideran
Expansión por humedad	UNE 67036	- Valor medio $\leq 0.55$ mm/m y valor individual $\leq 0.65$ mm/m. - Valor de expansión potencial $\leq 0.55$ mm/m.
Resistencia a la flexión	UNE 67037	$\geq 100$ daN

**Fuente: UNE 67020****Tabla CE 7 Valores exigidos por la Norma UNE 67020 para Bovedillas Resistentes**

Características		Tolerancias
Fisuras	UNE 67020	No se admiten paredes fisuradas en su cara superior, en su cara inferior, en las alas de apoyo, ni en los tabiques verticales si estos son más de cuatro. Si superan este número podrá admitirse que uno de ellos sea “Pared fisurada”
Perfil de las Bovedillas	UNE 67020	Será tal que cualquier distancia c de su eje vertical de simetría el espesor h de hormigón será mayor que c/8
Altura – Anchura – Longitud	UNE 67020	+/- 5 mm
Desconchados	UNE 67039	Ninguna pieza tendrá desconchados de dimensión media superior a 15mm. En cada pieza se admitirá hasta 3 desconchados por dm <sup>2</sup> siempre que su dimensión media esta comprendida entre 7 mm y 15 mm. Los desconchados de dimensión media inferior a 7 mm, no se consideran.
Expansión por humedad	UNE 67036	- Valor medio Valor medio $\leq 0.55$ mm/m y valor individual $\leq 0.65$ mm/m. - Valor de expansión potencial $\leq 0.55$ mm/m.
Resistencia a la comprensión	UNE 67038	$\geq 2.5$ daN/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la flexión	UNE 67037	$\geq 100$ daN

**Fuente: UNE 67020**

**Tabla CE 8 Valores exigidos por la Norma UNE 67020 para Bovedillas Resistentes con Capa de Compresión**

Características		Tolerancias
Fisuras	UNE 67020	No se admiten paredes fisuradas en su cara superior, en su cara inferior, en las alas de apoyo, ni en los tabiques verticales si estos no son más de cuatro. Si superan este número podrá admitirse que uno de ellos sea “pared fisurada”
Perfil de las Bovedillas	UNE 67020	Será tal que cualquier distancia $c$ de su eje vertical de simetría el espesor $h$ de hormigón será mayor que $c/8$ . Además: a) Los bordes laterales perpendiculares al sentido de la extrusión deberán estar cortados a bisel, de modo que permita el hormigonado de las uniones entre piezas, con objeto de asegurar la correcta transmisión de esfuerzos en la capa de compresión. b) La separación de la parte superior de dos piezas contiguas será igual o superior a 5 cm. c) La altura de la capa de compresión será igual o superior 5 cm. d) La sección de la capa de compresión cumplirá la siguiente condición: - Área total de las perforaciones $\leq 0.5$ - Área delimitada por el perímetro $\leq 0.5$
Altura – Anchura – Longitud	UNE 67020	+/- 5 mm
Desconchados	UNE 67020	Ninguna pieza tendrá desconchados de dimensión media superior a 15mm. En cada pieza se admitirá hasta 3 desconchados por $\text{dm}^2$ siempre que su dimensión media esta comprendida entre 7 mm y 15 mm. Los desconchados de dimensión media inferior a 7 mm, no se consideran.
Expansión por humedad	UNE 67020	- Valor medio Valor medio $\leq 0.55$ mm/m y valor individual $\leq 0.65$ mm/m. - Valor de expansión potencial $\leq 0.55$ mm/m.
Resistencia a la compresión	UNE 67020	$> 3.0$ daN/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la flexión	UNE 67037	$\geq 150$ daN

**Fuente: UNE 67020**

## 5. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS SANITARIOS Y REVESTIMIENTOS

### 5.1. AZULEJOS CERÁMICOS

Existen elementos de diferentes formas y colores y se utilizan en el revestimiento de muros o paredes, fabricados con una adecuada combinación de materiales cerámicos, mediante procesos de moldeo de alta precisión y cocción; se caracterizan por presentar dos capas, una formada por bizcocho poroso y otra por una cubierta vitrificada llamada esmalte.

### 5.2. CLASIFICACIÓN

La N. B. hace diferentes clasificaciones (tabla CE 9.);

- Por su Color<sup>3</sup>
- Clasificación por defectos<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Clasificación según el color, CER 9. parágrafo 4.1.

<sup>4</sup> Clasificación según sus defectos, CER 9. parágrafo 4.2.

- Clasificación final por su aspecto<sup>5</sup>

**Tabla CE 9 Clasificación final por su aspecto**

Por su color	Primera clase			Segunda clase			Tercera clase		
	Nº de defectos			Nº de defectos			Nº de defectos		
	Críticos	Mayores	Menores	Críticos	Mayores	Menores	Críticos	Mayores	Menores
Azulejos Blancos	0	0	≤ 3	0	≤ 2	≤ 5	0	≤ 4	≤ 10
Azulejos de un solo color	0	0	≤ 2	0	≤ 2	≤ 4	0	≤ 3	≤ 10
Azulejos decorados	0	0	≤ 2	0	≤ 2	≤ 2	0	≤ 3	≤ 10

**Fuente: NB 12110003-03**

### 5.3. REQUISITOS

#### 5.3.1. Requisitos generales

Entre los requisitos generales uno de los más importantes son las medidas, las medidas nominales de los lados y el espesor de los azulejos deberán corresponder a los valores indicados en la tabla CE 10.

**Tabla CE 10 Medidas nominales de los azulejos**

Medidas Nominales		OBSERVACIONES
Lados (mm)	Espesor (mm)	
150 x 150	5 - 6 y 7	Comba <sup>6</sup> necesaria
150 x 75	5 - 6 y 7	Comba necesaria
Menores de 150 x 150	4	Comba no necesaria

**Fuente: NB 12110003-03**

#### 5.3.2. Requisitos especiales

Los requisitos especiales son resumidos de la NB 259-78 en la tabla CE 11, estos son: Aspecto, tolerancias dimensionales, espesor de recubrimiento, comba, escuadria, alaber, etc.

<sup>5</sup> Una combinación de anteriores clasificaciones, CER 9, párrafo 4.3.

<sup>6</sup> Comba o bombé, curvatura convexa y simétrica de los bordes (ver CER 9, párrafos 3.4., 5.2.3.3)

**Tabla CE 11 Especificaciones para azulejos prefabricados de cerámica NB 259 – 78**  
**Requisitos Especiales**

NORMAS DE ENSAYO	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
N.B. 259-78 <sup>7</sup>	<b>ASPECTO</b>	La superficie de la cara vista deberá ser suave y lisa al tacto, coloración uniforme, clasificándose en clase como indica el subtítulo 4 de esta norma, verificado según 7.1.5 de NB 259-78
N.B. 259-78	<b>TOLERANCIAS DIMENSIONALES</b> (Sobre el valor nominal, verificados con los ensayos según el inciso 7.1.1.)	Longitud: $\pm 1\%$ Altura: $\pm 0,4\%$ Espesor: $\pm 0,5$ mm
N.B. 259-78	<b>ESPESOR DE RECUBRIMIENTO</b>	Espesor medio : 10 mm $\pm 2,5$ mm Espesor mínimo: $\geq 4$ mm.
N.B. 259-78	<b>COMBA</b> (Bombé)	Para azulejos de 150 mm de long. La comba será $> 0.2\%$ (ensayo a verificación 7.1.3 ) Para azulejos menores de 150 mm no es necesario la comba
N.B. 259-78	<b>ESCUADRIA</b> (variación con relación a la longitud de la arista, verificado en 7.1.2)	a. $< 1\%$
N.B. 259-78	<b>ALABEO</b> <sup>8</sup> (En ambos casos las medidas están en relación al valor promedio de las diagonales, según 7.2.1)	Convexidad $< 0.7\%$ Concavidad $< 0.4\%$

**Fuente: NB 259-78**

### 5.3.3. Requisitos físico químicos

Los requisitos físicos químicos son resumidos en la tabla CE 12, en relación con el número de muestras<sup>9</sup>, aceptación y rechazo es independiente de cada norma, para la presente guía nos basamos en la NB 259 -78.

<sup>7</sup> En este texto expresado como CER 9

<sup>8</sup> Separación de un vértice cualquiera del azulejo con respecto al plano (ver CER 9. párrafo 3.5 y 5.23.4).

<sup>9</sup> Muestra representativa de un conjunto o lote (ver CER 9. párrafo 6.)

**Tabla CE 12 Especificaciones Para Azulejos Prefabricados De Cerámica NB 259 – 78**  
**Requisitos Físico Químico**

NORMAS DE ENSAYO	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
N.B. 259-78	<b>RESISTENCIA AL CUARTEO</b> (verificado según 7.2.1 de CER 9)	En la CARA VISTA no presentara grietas, luego de ensayo de autoclave de presión de 0.5 Mpa, durante 1 hora.
N.B. 259-78	<b>RESISTENCIA A LOS CAMBIOS BRUSCOS DE TEMPERATURA</b> (Verificado según 7.2.2. de CER 9)	Azulejos blancos, deberá resistir un cambio de temperatura de 130 ° C de intervalo Azulejos de colores o decorados, deberá resistir un cambio de temperatura como mínimo de 110 ° C de intervalo
N.B. 259-78	<b>RESISTENCIA A LA ADHERENCIA</b> (Verificado según 7.2.5 de CER 9)	Rad <sup>1</sup> > 0.15 MPa
N.B. 259-78	<b>RESISTENCIA A LA DUREZA</b> (Verificado según 7.2.4. de CER 9)	> 4 en la escala de Mohs
N.B. 259-78	<b>ABSORCIÓN DE AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE</b> (Verificado según 7.2.3. de CER 9)	14 al 20 %
N.B. 259-78	<b>RESISTENCIA A LOS AGENTE QUÍMICOS – ÁCIDOS - BASES</b> (Deberá resistir ácidos - bases (verificado según 7.2.6 de CER 9)	7 días sin presentar alteraciones en cara vista

**Fuente: NB 259-78**

#### 5.4. TEJAS

Se conoce con el nombre de teja a una pieza de arcilla cocida, hecha en forma acanalada, también existente en forma plana y mixta, utilizada para cubrir por fuera los techos, recibir y escurrir agua.

La norma UNE los divide en 3 tipos:

- Teja Curva
- Teja Plana
- Teja Mixta

Con los requisitos siguientes resumidos en las tablas C 13, C14 y C15.

<sup>1</sup> Rad. Resistencia a la adherencia



**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 cm³/cm²/día	Valor medio: ≤ 0,8	Valor medio: ≤ 0,8 cm³/cm²/día	Valor medio: ≤ 0,925
Valores Individuales: ≤ 0,6cm³/cm²/día	Valores Individuales: ≤ 0,85	Valores Individuales: ≤ 0,9cm³/cm²/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 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 <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /día	Valor medio: ≤ 0,8	Valor medio: ≤ 0,8 m <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /día	Valor medio: ≤ 0,925
Valores Individuales: ≤ 0,6cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /día	Valores Individuales: ≤ 0,85	Valores Individuales: ≤ 0,9cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /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 M'todo C	50 ciclos	

**Fuente: UNE - 1024****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: ≤0,5cm³/cm²/día	Valor medio: ≤ 0,8	Valor medio: ≤ 0,8 m³/cm²/día	Valor medio: ≤ 0,925
Valores Individuales: ≤ 0,6cm³/cm²/día	Valores Individuales: ≤ 0,85	Valores Individuales: ≤ 0,9cm³/cm²/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 M´todo C	50 ciclos	

**Fuente: UNE - 1024**

## PRACTICA DE CAMPO N° 3

### “YESO Y ESCAYOLAS”

#### 1. GENERALIDADES

Es el producto resultante de la deshidratación parcial o total del algez o piedra de yeso, reducido a polvo y amasado con agua, recupera el agua de cristalización, endureciéndose.

Se encuentra muy abundante en la naturaleza, en los terrenos sedimentarios, presentándose bajo dos formas: cristalizado, anhidro ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ), llamado anhidrita, y con dos moléculas de agua ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), denominado piedra de yeso o algez.

La anhidrita es incolora o blanca, cuando esta pura, y coloreada en azul, gris, amarillo o rojiza, cuando contiene arcillas, óxido de hierro, sílice, etc. Su densidad es igual a 2.46 y dureza igual a 3 en la escala de Mohs. El algez o piedra de yeso se presenta cristalizado, formando rocas muy abundantes.

#### 1.1. RESEÑA HISTÓRICA

La utilización del yeso se remonta a una antigua ciudad del Asia menor, en el sur actual de Turquía Çatal Höyük 6000 a.J.C., las paredes de sus habitaciones ya estaban cubiertas con una capa de Yeso, los egipcios usaron el yeso para aplanado a antes del año 3000 a.C., los Griegos y los romanos lo usaron mucho, y nuestra palabra aplanados viene del griego, de una palabra que se refiere tanto a la materia prima como al producto calcinado. En la figura Y1 se tiene una descripción cronológica detallada de la utilización del yeso.

Cultura Situac. Fecha	Neolíticas Çatal Höyük 6.000 a.J.C.	Mesopotámica Mesopotamia 1.800 a.J.C.	Egipcia Valle del Nilo 3.000-300a.J.C.	Griega Europa 1.500 a.J.C.	Islámica Or./Afr/Eur. s.I-s.XV	Renacimiento Barroco s.XV-s.XVIII
Comp.	Yeso+ impurezas	Yeso+Tierra cribada	Yeso(fases)+ áridos	Yeso+ caliza	Yeso+cal+ tierra	Yeso+ Pigmentos
Apli.	Muros suelos pinturas	Revest. De muros	Colocación y decoración sillares	Revest. Int. Y suelos	Decoración yeserías	Decoración Estucos+ Prefabricados
Edificos	--	Palc. De Mari	Pirámides	Palc. Cnossos	Alhambra	--

*Figura Y1 Evolución cronológica de la utilización del Yeso*

#### 1.2. CARACTERÍSTICAS

El yeso se adhiere poco a las piedras y maderas, y oxida al hierro, y el cinc que tenga plomo es atacado electrolíticamente. No puede usarse a la intemperie, porque la humedad y el agua lo reblandece y degrada. Es un buen aislante del sonido y protege las maderas y el hierro contra el

fuego, porque su deshidratación lenta absorbe calor en grandes cantidades y la capa deshidratada protege luego largo tiempo a las que están debajo.

Por ser soluble en agua no se puede usar en exteriores, debiéndose proteger con enlucidos impermeables, como las pinturas bituminosas y el aceite.

El yeso bien cocido es de color blanco y da pastas untuosas. El poco cocido es árido y no forma pasta trabada, y el excesivamente cocido no forma pasta untuosa. Los yesos de mala calidad son de color amarillento, tardan mucho en fraguar y se agrietan en los enlucidos.

Las resistencias mecánicas del yeso semihidratado varían con la clase de yeso conservado en el aire:

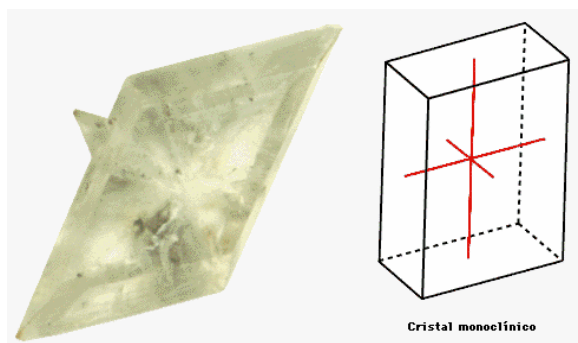
**Tabla Y1 Resistencias del yeso**

CLASE DE YESO	Agua de amasado por 100	Resistencia en kg./cm <sup>2</sup> los 28 días	
		Tracción	Compresión
Fino y vaciado	75	18	50
Grueso	60	12	55
Hidráulico	60	16	60
Alumbrico	35	40	150

**Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases**

Las siguientes características corresponden a un yeso natural:

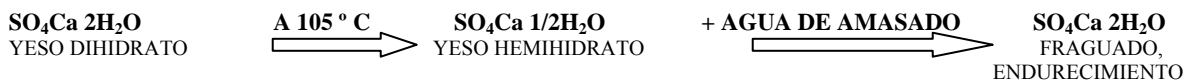
- Peso molecular: 172.18.
- Contenido H<sub>2</sub>O: 20.93 %
- Densidad: 2.3 -2.4 gr. /ml.
- Dureza: 1.5 – 2 esc. Mohs
- Ligeramente soluble en agua: 2.23 g/l a 20° C
- Color: Incoloro, blanco o coloreado con impurezas
- Cristaliza: s. monoclinico



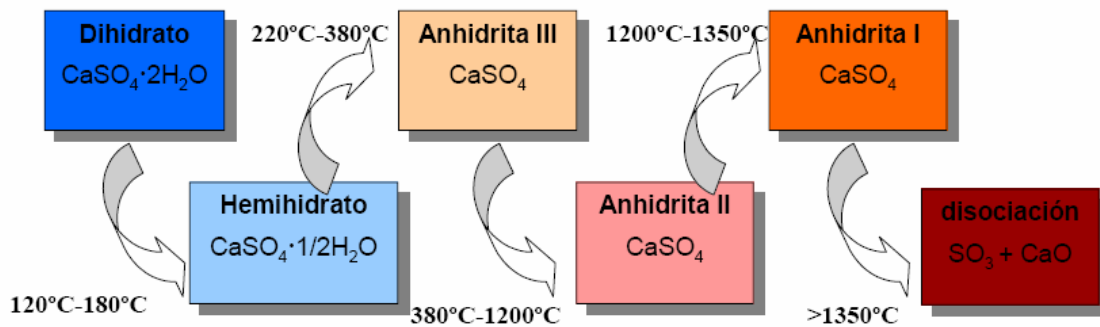
**Figura Y2 Estructura cristalina** (estructura monoclinica, esto significa los tres ejes son desiguales, dos de los cuales perpendiculares al tercero pero no entre si)

### 1.3. TIPOS DE YESO

Los yesos se clasifican en semihidratados y anhidros, siendo los primeros los de mayor empleo en construcción, y a los que pertenecen los yesos negros o blancos. Al segundo, la anhidrita, yesos hidráulicos y alúmbrico. En las figuras Y 3 y Y 4. podemos observar los diferentes tipos de yesos y sus procesos.



**Figura Y3 Procesos a los cuales es sometido el Yeso**  
**Fuente: Elaboración Propia**

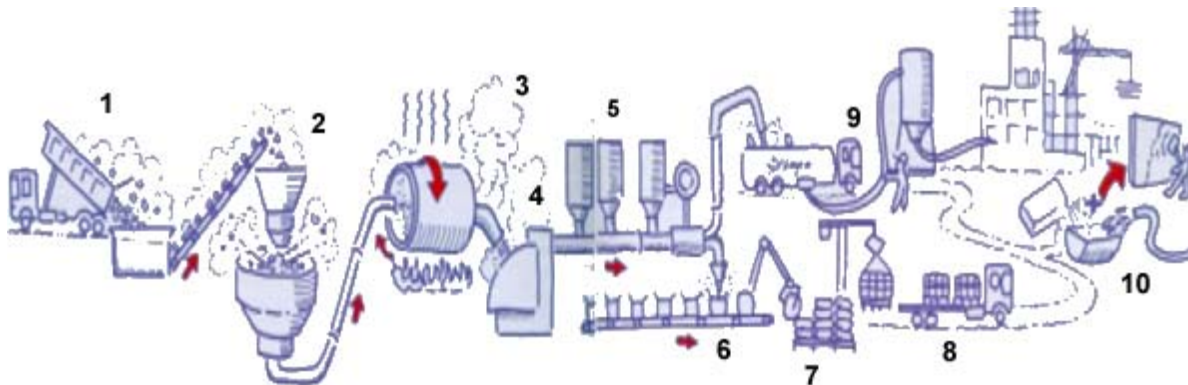


**Figura Y4 Acción del calor sobre el algez**  
**Fuente: Elaboración Propia**

De la figura Y4 podemos concluir que la anhidrita soluble se formara en una temperatura elativa de  $300 - 700^\circ \text{C}$  para mayores temperaturas se formara una anhidrita insolubles.

## 2. FABRICACIÓN DEL YESO

Dentro de los procesos de fabricación del yeso se tiene (figura Y5):



**Figura Y5 Procesos de fabricación del yeso - Fuente: Elaboración Propia**

Dentro de los procesos de fabricación del yeso y la escayola se tiene (ver figura Y5): 1) extracción de la materia prima, 2) Trituración de la materia prima, 3) Cocción en hornos, 4) Molienda, 5) Aditivación, 6) ensacado, 7) Apilado, 8) Transporte y comercialización, 9) Envasado en camiones sisternas para el almacenado en silos y 10) Puesto en obra.

### 3. PROPIEDADES DEL YESO

#### 3.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS NO CONTEMPLADAS EN LA NORMA

##### 3.1.1. 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 Y2.

**Tabla Y2 Densidad del yeso en función del agua de amasado**

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

**Fuente: NCh - 155**

##### 3.1.2. Adherencia

La pasta de yeso presenta *buena adherencia* con la madera, hormigón, mortero piedra, metales, etc. La *adherencia aumentara* con la rugosidad y la porosidad. *Disminuirá* la adherencia con altas relaciones A/Y y también con la humedad.

##### 3.1.3. Absorción acústica

El revoque de yeso o guarnecido en muros tiene un comportamiento acústico, dependiendo de otros factores, en la tabla Y3 se muestra la diferencia al ruido en diferentes tipos de muros.

**Tabla Y3 Absorción acústica en muros**

TIPO DE PARED	AISLAMIENTO MEDIO AL RUIDO AÉREO ENTRE 100 Y 4000 Hz, EN db	
	SIN GUARNECIDO	CON GUARNECIDO
Doble tabique de ladrillo, con cámara de aire de 5 cm	36,0	43,4
Doble tabique de ladrillo hueco doble, con cámara de aire de 5cm	41,7	49,3
Muro de ladrillo macizo de 12cm	34,0	36,7
Tabicón de ladrillo hueco doble y tabique de ladrillo hueco sencillo separados por cámara de aire de 5cm	32,4	49,0

**Fuente: NCh - 155**

De los diferentes tipos de materiales el yeso tiene un coeficiente de absorción muy bajo como se muestra en la tabla Y4.

**Tabla Y4 Coeficientes de absorción acústica**

<b>Materiales</b>	<b>Coef. Medio de absorción Acústica</b>
Acero	0.10
Mármol	0.010
Hormigón	0.015
Cemento	0.020
<b>Yeso</b>	<b>0.020</b>
Ladrillo	0.032
Madera	0.030-0.100
Cristal	0.027-0.033
Corcho	0.160
Filtro de pelo	0.780

**Fuente: NCh – 155**

### 3.1.4. Comportamiento térmico

El yeso tiene un coeficiente de aislamiento térmico muy bajo y es muy resistente al fuego en relación a otros materiales de construcción, como se muestra en la tabla Y5.

**Tabla Y5 Coeficientes térmicos**

<b>MATERIALES</b>	<b>COEF. DE CONDUCT. TÉRMICA (KCAL/M<sup>2</sup>H°C)</b>
Baldosas y azulejos	0,90
Cemento fraguado	0,80
Enlucidos de cal	0,60-0,75
Fibrocemento	0,47
Hormigón armado	1,30
Hormigón ordinario	1,10
Piedras compactadas (arenisca, caliza blanca)	0,68-2,50
Vidrio	0,55
Yesos	0,05-0,60

**Fuente: NCh – 155**

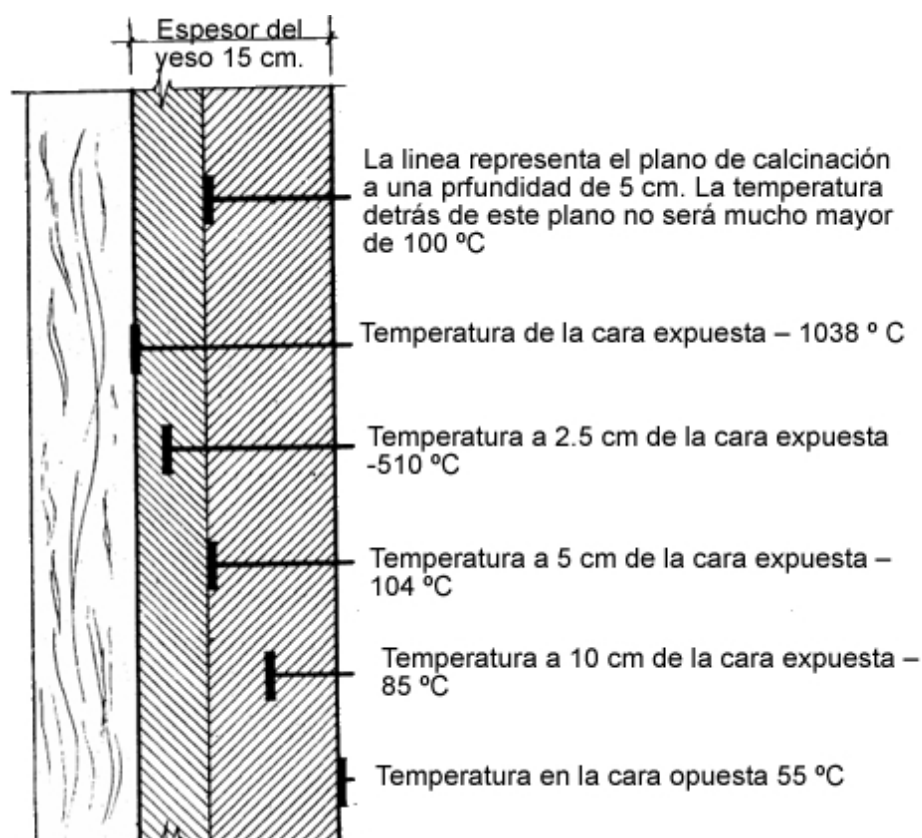
El yeso tiene una resistencia al fuego muy alta, en la siguiente figura podemos observar (tabla Y6) el cambio de temperatura de una cara expuesta al fuego de 1038 °C en un guarnecido de yeso de 15 cm. de espesor.

**Tabla Y6 Coeficientes térmicos en el yeso**

TIPOS DE YESO	DENSIDAD KG/M <sup>3</sup>	COEF. DE CONDUCT. TERMICA (KCALM/M <sup>2</sup> H°C)
Mortero de yeso	1000-1200	0,34
Enlucido de yeso	1200	0,48
Enlucido de yeso	800	0,30
Placas de yeso	1200	0,35-0,50
Placas de yeso	600	0,21-0,25
Yeso celular	600	0,26
Yeso celular	200	0,80-0,05
Yeso +perlita	570	0,16

**Fuente: NCh – 155**

El yeso tiene una resistencia al fuego muy alta, en la siguiente figura podemos observar (tabla Y6) el cambio de temperatura de una cara expuesta al fuego de 1038 °C en un guarnecido de yeso de 15 cm. de espesor.

**Figura Y6 Variación de la temperatura en un revoque de yeso - Fuente: NCh – 155**

La tabla Y7 Muestra el espesor mínimo de diferentes materiales, para alcanzar un grado de resistencia al fuego.



**Tabla Y7 Resistencia al fuego**

	ESPESOR MÍNIMO EN CM. PARA ALCARZAR UN GRADO DE RESISTENCIA AL FUEGO, EN MINUTOS			
	30	40	90	180
<b>Soportes y pilares:</b>				
Mortero de yeso y arena 1:1 sobre malla metálica...	1,50	3,00	4,25	---
Mortero de yeso y vermiculita, 1:4 sobre malla metálica.....	1,75	2,50	3,25	5,25
Mortero de yeso o perlita, o anhidrita y perlita, 1:2 a 1:2,5 sobre malla metálica.....	1,25	2,00	3,00	5,75
Capa de yeso vertido .....	---	2,00	3,00	4,00
<b>Viguetas de fachadas:</b>				
Mortero de vermiculita y yeso sobre malla metálica...	1,0	1,5	1,5	2,5
Mortero de perlita y yeso sobre malla metálica.....	1,0	1,5	2,0	2,5
Yeso armado con fibra de vidrio sobre malla metálica.	1,0	1,5	2,0	2,5
<b>Jácenas y vigas:</b>				
Mortero de yeso y arena sobre malla metálica.....	1,0	2,5	4,0	---
Mortero de yeso y vermiculita sobre malla metálica...	1,5	2,0	3,0	5,0
Mortero de yeso, o anhidrita y perlita, sobre malla metálica.....	1,0	2,0	3,0	5,0
Placas de yeso.....	0,75	3,0	5,0	---

**Fuente: NCh – 155****4. APLICACIONES**

Las aplicaciones son múltiples para los diferentes tipos de yesos (estas aplicaciones son a yesos normal y lento):

**a. Revoque maestreado de paramentos interiores y techo**

Tipo de Yeso: Yeso Grueso (Y.G.) (hemihidrato, anhidrita II)  
 Espesor:  $\approx 1.5$  cm.  
 Aplicación: Manual  
 Control: Planeidad, horizontalidad, verticalidad, rincones y aristas.  
 Puntos especiales: Cercos estructurales e instalaciones, adherencia al soporte.

**b. Enlucido: como terminación o remate de guarnecidos o morteros.**

Tipo de Yeso: Yeso Fino (Y.F.) sobre guarnecido (hemihidrato, anhidrita II).  
 Espesor:  $\approx 1 - 3$  mm.  
 Aplicación: Manual y proyectado  
 Control: Planeidad, horizontalidad, verticalidad, rincones y aristas.  
 Puntos especiales: Cercos estructurales e instalaciones, adherencia al soporte.

**c. Tabiques de placas de yeso. Muros y tabiques exteriores**

Tipo de Yeso: Yeso Prefabricado (YP) (hemihidrato, anhidrita II)  
 Control: Dimensiones, posibilidad de corte, planeidad, horizontalidad y verticalidad.  
 Puntos especiales: Uniones aparejos y formación de huecos

**d. Tabiques de paneles de yeso. Techos continuos**

Tipo de Yeso: Escayola (E 30) (hemihidrato fund.)  
 Control: Dimensiones, posibilidad de corte, planeidad, horizontalidad y verticalidad, molduras sistemas de colocación, juntas perimetrales.  
 Puntos especiales: Molduras, sistemas de colocación, juntas perimetrales, cercos estructurales e instalaciones, adherencia al soporte.

**e. Trabajos de decoración. Elementos prefabricados para techos y su ejecución.**

Tipo de Yeso: Escayola (E 35) (hemihidrato fund.)  
 Usos: Interiores – Exteriores tratado con aceites y resinas.  
 Puntos especiales: Molduras, sistemas de colocación, juntas perimetrales, cercos estructurales e instalaciones, adherencia al soporte.

A P L I C I O N E S	- Pastas	- Tendidos o garnecidos de yeso
		- Enlucidos de yeso
	- Prefabricados	- O tras
		- Placas y paneles de escayola para tabiques
		- Paneles de yeso - carton para tabiques
		- Placas de escayola para techos
- O tros		- O tros prefabricados
		- Estucos
		- M orteros de yeso

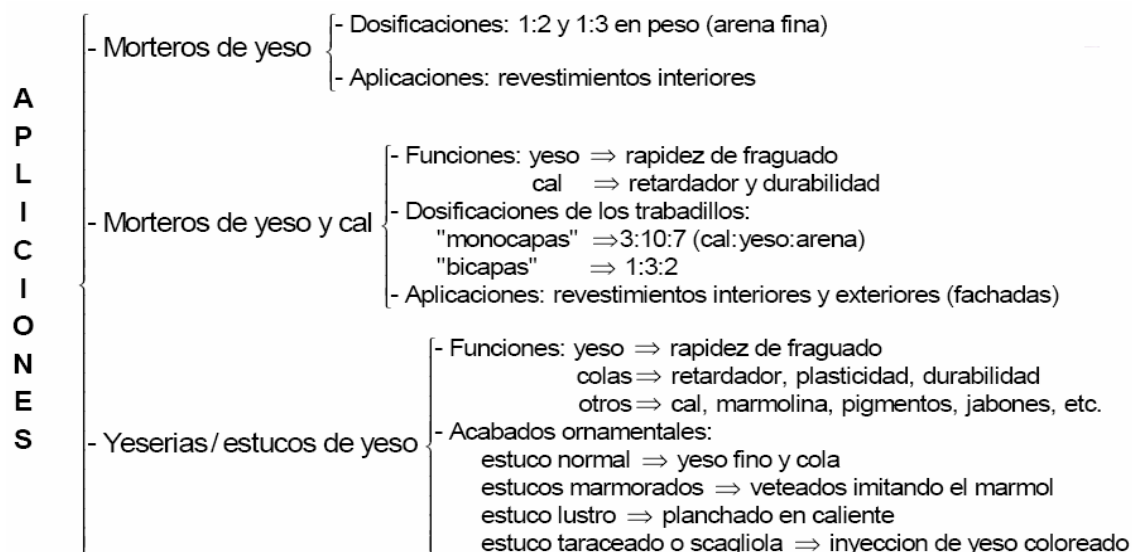
Las dosificaciones para los diferentes tipos de yesos son como se ve en la tabla Y8:

**Tabla Y8 Dosificaciones para diferentes tipos de yeso**

TIPO DE YESO	YG	YF	E-30 / E-35
Cantidades de yeso y agua para obtener 1m <sup>3</sup> de pasta	850 kg yeso 0,600m <sup>3</sup> agua	810 kg yeso 0,650m <sup>3</sup> agua	790kg yeso 0,700m <sup>3</sup> agua
Relación A/Y	0,7	0,8	0,9
Cantidad de agua por 25kg de yeso	17-18 litros	19,5-20,5 litros	21,5-22,5 litros

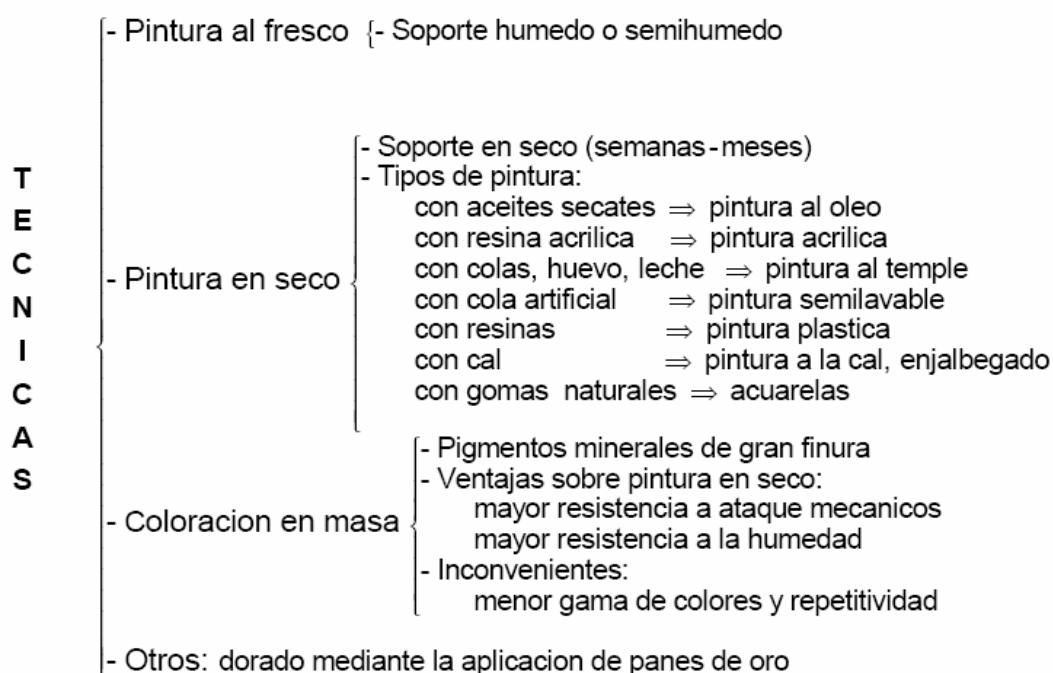
#### 4.1. OTRAS APLICACIONES

Existen muchas aplicaciones del yeso mezclado con otros elementos como la cal, entre los más importantes son: Morteros de yeso, Morteros de yeso y cal y yeserías o estucos de yeso. La dosificación está intrínsecamente relacionada con la aplicación.



#### 4.2. COLORACIÓN DEL YESO

La coloración del yeso data desde la época de los egipcios, para diferentes intereses, en la siguiente tabla se muestran las técnicas utilizadas en la coloración.



**5. PREGUNTAS DE CONTROL EN CAMPO**

- De que fecha data la utilización del yeso en Bolivia
- Tipos de Yeso utilizados en Bolivia
- Desarrolle una curva Temperatura vs. tipo de Yeso
- Desarrolle el proceso de fabricación del yeso; Extracción de la materia prima, trituración, cocción, molienda, aditivación, embolsado, etc.
- Explique como afecta en las aplicaciones la densidad, adherencia, absorción acústica, comportamiento térmico, etc.
- Desarrolle elementos prefabricados del yeso
- Desarrolle dosificaciones utilizadas para diferentes tipos de aplicaciones y compare con el subtitulo 4.

## **PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “YESOS Y ESCAYOLAS”**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El algez o piedra de yeso se presenta cristalizada, formando rocas muy abundantes y según su estructura existe muchas variedades. La producción del yeso en Bolivia no es muy tecnificada y muchas de ellas no cumplen las normas establecidas o un mínimo de requerimientos.

Yeso de fábrica, estuco o modelado, es el más empleado en construcción. Existen dos variedades de semihidrato: la de fraguado rápido (de forma compacta, de aspecto sedoso brillante, constituida por finos cristales y se obtiene cuando la deshidratación se hace en atmósfera de vapor de agua próximo a la saturación, como en hornos de autoclave) y la de fraguado lento (de forma esponjosa de aspecto terroso, no apreciándose los cristales, da menores resistencias y se obtiene en la fabricación corriente a temperatura elevada y separación del vapor de agua).

Se obtiene calentando la piedra de yeso hasta unos 18° C, industrialmente. Si se parte de yeso anhidro o deshidratado y se añade agua, no se obtiene semihidrato, sino bihidrato, siendo esta la causa de no encontrarse en la naturaleza.

Su peso específico es igual a 2.75 a 25°C, y la densidad aparente varia de 600 a 1000 gr/l.

### **2. TERMINOLOGÍA**

#### **i. YESO GRUESO PARA LA CONSTRUCCIÓN (YG)**

Formado por hemihidrato y anhidrita artificial más posibles adiciones de regulador de fraguado, la granulometría es gruesa. Se usa como pasta de agarre, revestimiento interior y conglomerante auxiliar.

#### **ii. YESO FINO PARA LA CONSTRUCCIÓN (YF)**

Formado por hemihidrato y anhidrita artificial más posibles adiciones de regulador de fraguado, la granulometría es fina. Se usa en el revestimiento o guarnecido y enlucido.

#### **iii. ESCAYOLA (E30)**

Conformado por Hemihidrato más adición de regulador de fraguado. Su principal característica es la resistencia de 30 Kg/ cm<sup>2</sup> a la flexo tracción. Su principal uso es prefabricado para techos y paredes.

#### **iv. ESCAYOLA ESPECIAL (E35)**

Conformado por Hemihidrato más adición de regulador de fraguado. Su principal característica es la resistencia de 30 Kg/ cm<sup>2</sup> a la flexo tracción. Su principal uso es prefabricado para techos y elementos de decoración.

### 3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL YESO

Entre las propiedades físico-químicas más importantes del yeso tenemos:

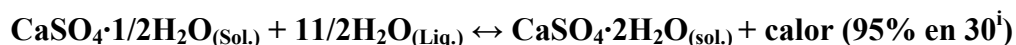
- Fraguado
- Finura de molido
- Expansión y contracción diferenciales
- Resistencias mecánicas
- Solubilidad
- Dureza superficial
- Adherencia
- Propiedades químicas

#### 3.2. FRAGUADO

Una de las propiedades del yeso es la rapidez del fraguado, esto obliga al operario a trabajar con rapidez y únicamente permite amasar de una vez pequeñas cantidades, puesto que de otro modo se obtiene pérdidas del material.

La velocidad del fraguado del yeso puede regularse por la adición de acelerantes (cloruro de sodio o sal, cloruro de magnesio, sulfato de potasio, nitrato potásico) o retardadores (cloruro de calcio, cola queratina, agua caliente, bórax, fosfato sódico y azúcar), pero se sabe que determinados factores físicos ejercen también cierto influjo sobre la duración del fraguado, debemos mencionar la temperatura del agua, la relación yeso-agua, tiempo transcurrido desde la cocción, tamaño de las partículas, etc.

*Fraguado del Yeso*



La dispersión de la partículas en un medio continuo como el agua pone al yeso en un estado coloidal y la produciéndose la cristalización en equilibrio a través de la disolución.

Entonces los ensayos de fraguado vienen relacionados con los **Ensayos de Trabajabilidad** (s/UNE 102031:99), descrito en las norma Y3 y Y7. Determinamos la duración del estado plástico como:

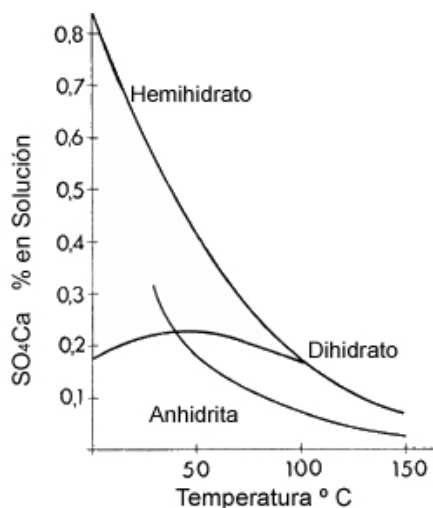
$$\text{Duración} = \text{F. Fr.} - \text{P.Fr.}$$

Donde:

P.Fr. Principio de fraguado y F.Fr. Final de fraguado

El tiempo de fragüe se lo determina mediante la aguja de Vicat. Entonces, podemos definir los factores que influyen en el fraguado:

- Cantidad de fases
- Cantidad de agua de amasado
- Temperatura
- Tiempo de amasado
- Tamaño de grano
- Aditivos



**Figura Y7 Influencia de de la temperatura en el fragüe de los yesos**

**Fuente UNE 102031:99**

La expansión contemplada en la UNE es:

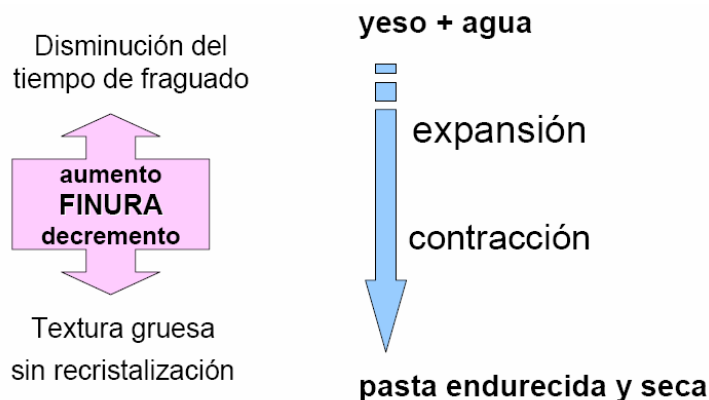
EXPANSIÓN EN FRAGUADO: INICIAL: ENTRE 1,5 Y 3,5mm/m  
RESIDUAL: NTRE 0,20 Y 1,50mm/m  
MAX A 24h: 2mm/m



**Figura Y8 Aparato de Vicat - Fuente: Elaboración Propia**

### 3.3. FINURA DE MOLIDO

La finura de molido<sup>1</sup> del yeso es muy importante (figura Y9) debido a que este se relaciona con el tiempo de fraguado, expansión y contracción en la pasta endurecida.



**Figura Y9 Relación finura de molido – fraguado – agua – expansión–Fuente: Elab. Propia**

Se toma una muestra de aproximadamente 100g de yeso, se deseca hasta peso constante a temperatura de 40 – 50 ° C y se pesa con exactitud de 0.1 g.

Se determinará la fineza por tamizado de un peso conocido de la muestra seca, a través de tamices cuyos tamaños serán los prescritos en la norma Apéndice 3.1-3.2, correspondiente al producto a ensayar. Pesando la fracción retenida en cada uno de ellos. El tamizado de la muestra se hará con la menor pérdida posible.

Se calculará la fineza como un porcentaje del peso de la muestra original. Con aproximación de una décima.

$$\% F.M. = \frac{P_{ret}}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\% F. M.$	= Porcentaje de fineza
$P_{ret}$	= Peso del yeso retenido en el tamiz
$P_i$	= Peso constante inicial

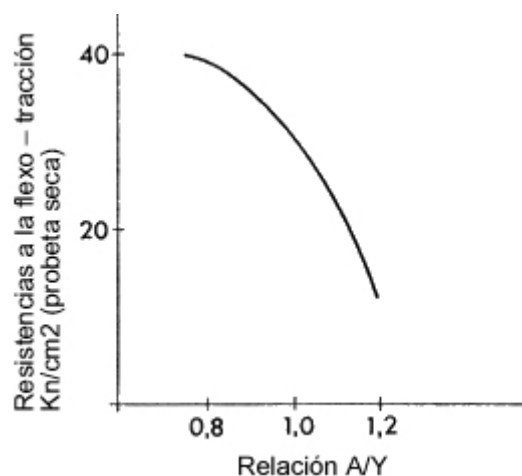
### 3.4. RESISTENCIAS FLEXO – TRACCIÓN

La resistencia a la flexo – tracción<sup>2</sup> está muy afectada por los siguientes factores; Relación A/Y, humedad, índice de pureza (finura) y composición de fases. En la figura Y10 y tabla Y9 se puede observar que a mayor relación agua – yeso la resistencia a la flexo tracción es menor.

<sup>1</sup> Este ensayo está detallado en la norma Y1.

<sup>2</sup> Ver Norma Y6.





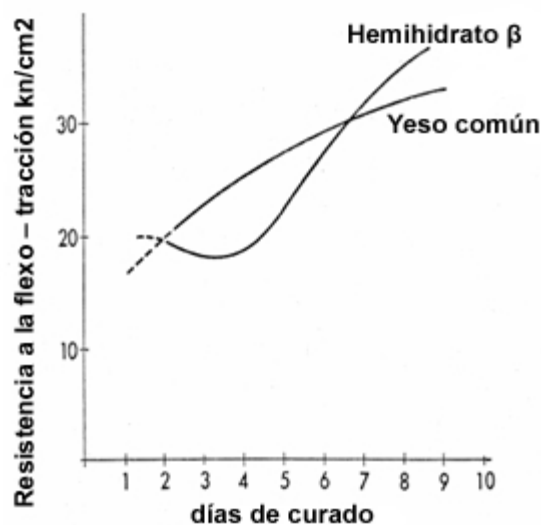
**Figura Y10 Resistencia flexo-tracción vs. A/Y - Fuente UNE 102031:99**

**Tabla Y9 influencia del agua en la resistencia del Yeso**

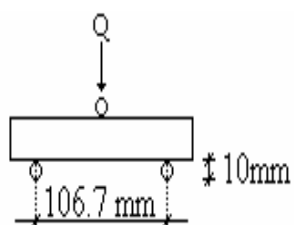
AGUA AÑADIDA (%)	PERDIDA DE RESISTENCIA (%)
0	0
0,04	33
1	52
5	56
25	56

**Fuente UNE 102031:99**

La influencia de la edad del yeso en la resistencia al flexo tracción, no es muy grande ya que este cambio se da principalmente en los primeros 15 días. En la figura Y11 se observa este detalle. La variación de resistencia depende del tipo de yeso como se muestra en la tabla final.



**Figura Y11 Resistencia flexo tracción vs. días de curado - Fuente UNE 102031:99**



**Figura Y12** *Maquina de ensayo de flexo tracción - Fuente: Elaboración Propia*

### 3.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

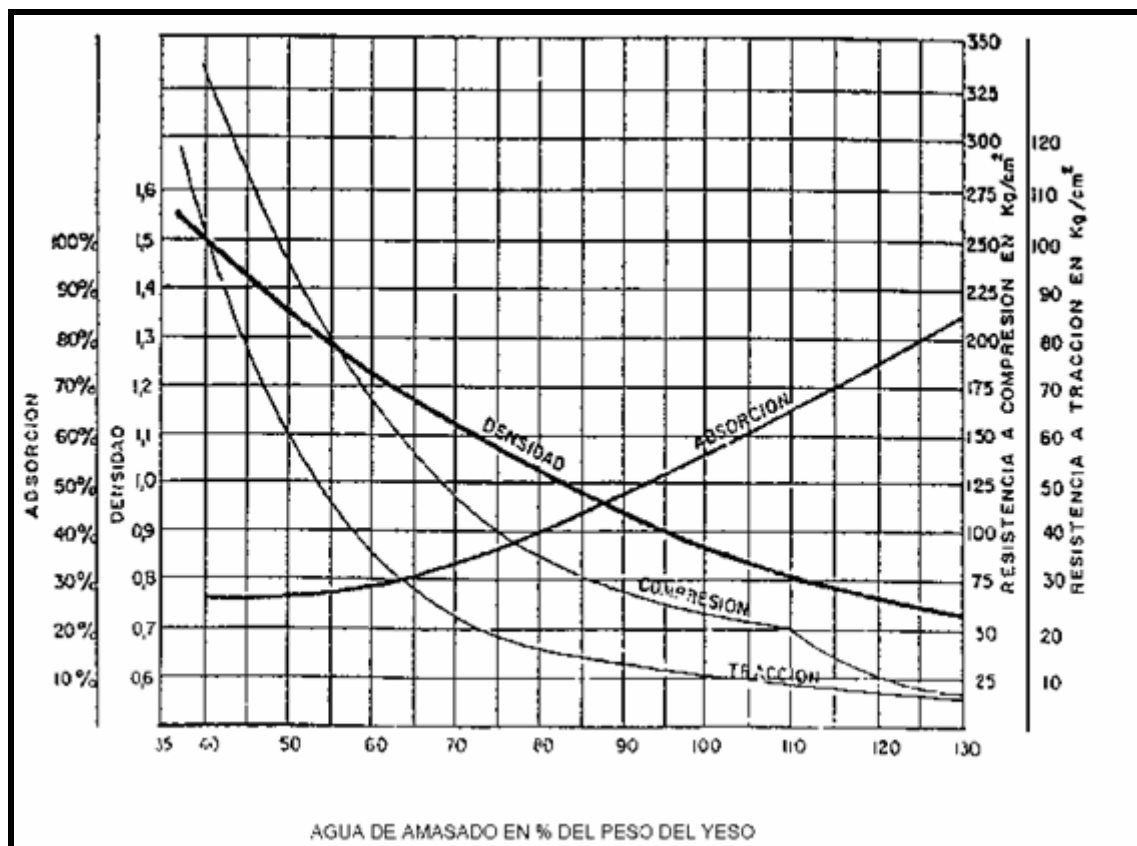
La resistencia a la compresión<sup>3</sup> se hace en cubos normalizados, de 5 cm. por lado. Como el ensayo a flexo tracción estar será muy influenciada por; Relación A/Y, humedad, índice de pureza (finura) y composición de fases. Sin embargo la norma UNE solo normaliza la resistencia a la flexo tracción. La norma chilena NCh 156.of51, para este ensayo es necesario tener la maquina de ensayo mostrada y normalizada, en la figura Y13.



**Figura Y13** *Maquina para determinar la resistencia a la compresión  
Fuente: Elaboración Propia*

<sup>3</sup> Ver norma Y5.

Sin embargo la norma UNE saca la relación de probetas de yeso, es decir una grafico (figura Y13) relacionando estas propiedades.



**Figura Y14 Relación entre las propiedades y el agua de amasado**

**Fuente UNE 102031:99**

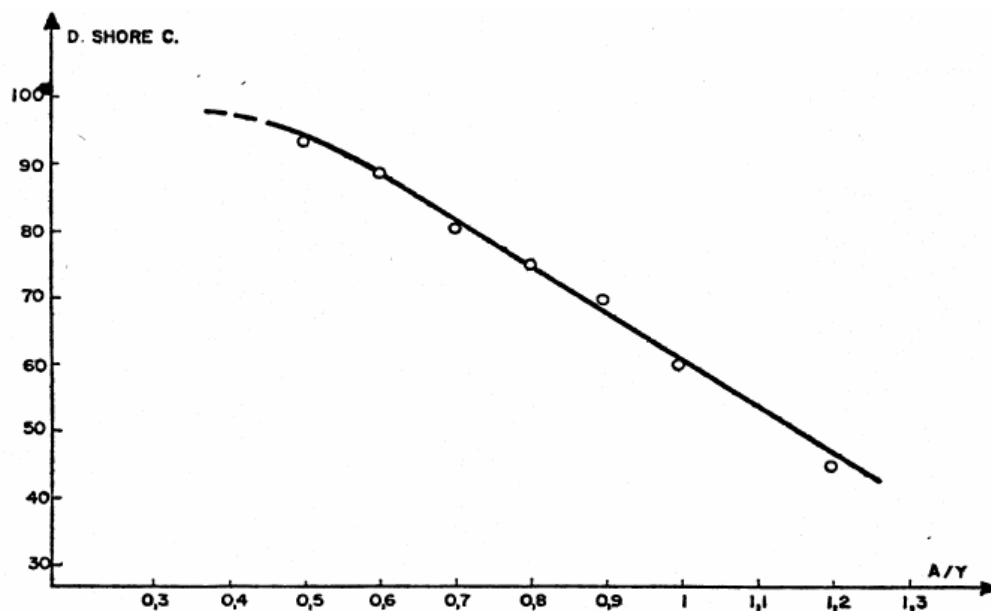
### 3.6. DUREZA SUPERFICIAL

Este ensayo está normalizado en la s/UNE 102039:85, la dureza superficial está muy influenciada por; Tipo de yeso, agua de amasado, humedad espesor y otro. Es muy importante diferenciar dureza al rayado, dureza a la penetración y dureza shore.

#### 3.6.2. Dureza Shore

La dureza Shore<sup>4</sup> C está muy influenciada por la relación A/Y, a mayor cantidad de agua yeso la dureza Shore C irá decreciendo como se muestra en la figura Y15.

<sup>4</sup> Shore, dureza de apuntalamiento, dureza a la penetración



**Figura Y15 Influencia del agua de amasado sobre la dureza Shore C**

**Fuente UNE 102031:99**

La norma UNE 102039:86 (tabla Y10) recomienda las siguientes durezas para los diferentes tipos de acabados o utilidades del yeso.

**Tabla Y10 relación entre el tipo de yeso-dureza-acabado**

TIPO DE YESO	Guarnecidos tradicionales	Guarnecidos De perlita	Guarnecidos proyectados	Alta Dureza
DUREZA SHORE C	40-60	70	70	80

**Fuente UNE 102039:86**

La UNE también ofrece la siguiente tabla Y11 de comparaciones de la dureza Shore C, mostrando las bondades del yeso.

**Tabla Y11 dureza shore c de diferentes tipos de elementos**

SOPORTE	ESPESOR mm	DUREZA SHORE C
Hormigón	15	67,0-68,8
	10	72,6-74,1
	7	68,4-67,4
Ladrillo	6	73,7-75,5
Placas de Yeso	10	83,0-88,0

**Fuente UNE 102039:86**

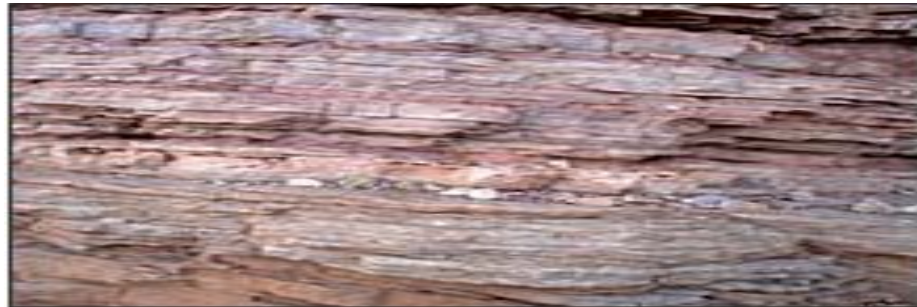
## PRÁCTICA DE CAMPO N° 4

### “CAL”

#### 1. GENERALIDADES

La cal es definida como una sustancia sólida cáustica, blanca cuando es pura, que se obtiene calcinando caliza y otras formas de carbonato de calcio. La cal pura, llamada también cal viva o cal cáustica, está compuesta por óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), aunque normalmente los preparados comerciales contienen impurezas, como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio, que se vende comercialmente como un polvo blanco denominado cal apagada o cal muerta.

La cal se utiliza para preparar cemento y argamasa, y para neutralizar los suelos ácidos en agricultura. También se emplea para fabricar papel y vidrio, para lavar la ropa blanca, para curtir las pieles o el cuero, en el refinado de azúcar y para ablandar el agua.



*Figura C1 Roca de Caliza – Fuente: Biblioteca Virtual Encarta 2006*

#### 1.1. RESEÑA HISTÓRICA

Desde el 7200 a.C., las casas eran de forma rectangular con paredes y suelos enlucidos con cal más impurezas, los egipcios usaban aplanado de cal desde 2600 a.C., los griegos la usaban como mortero y aplanado, y los romanos crearon una mezcla de pasta de cal y ceniza volcánica que fue el primer cemento verdadero. Los chinos usaron la cal en la construcción de la Gran Muralla, y los aztecas y los incas lo usaron en la América precolombina. Los grandes murales y frescos de Miguel Ángel, Rafael y otros artistas del renacimiento fueron realizados con pasta de cal. En la figura C2 se ilustra la evolución del uso de la cal. En Sudamérica, en las antiguas misiones españolas se usó estuco de cal, y en 1662, los colonizadores de Rhode Island (EEUU) produjeron cal (viva).

Hasta 1900, prácticamente todos los morteros para aplanados y mampostería que se utilizaba en el mundo estaban hechos de cal. Hacia 1900, se inventó el proceso de hidratación de óxido en planta baja estricto control químico y desde entonces se obtienen las cales hidratadas comerciales actuales.

Cultura Situac. Fecha	Neolítica s Anatolia /Jerico 7.000 a.J.C.	Mesopotámica Mesopotamia 2.500 a.J.C.	Griega Europa 1.500 a.J.C.	Romana Italia 200-100 a .J.C.	Renacimiento Barroco s.XV-s.XVIII	Rev. Industrial Europa s.XVIII- s.XIV
Comp.	Cal + impurezas	Cal + arena	Cal + arena + marmolina Tierra Santorin	Cal + áridos + puzolanas Opus	Cal + Marmolina pigmentos	Cales hidráulicas
Apli.	Muros suelos pinturas	Revestimientos	Revest. Int. Y suelos	Caementicium	Decorados estucos	Morteros y hormigones
Edificios	--	Horno de cal	Palc. Tirinto	Anfiteatros, acueductos, etc.	Capilla Sixtina	--

**Figura C2 Evolución cronológica de la utilización de la Cal**

**Fuente: Biblioteca Virtual Encarta 2006**

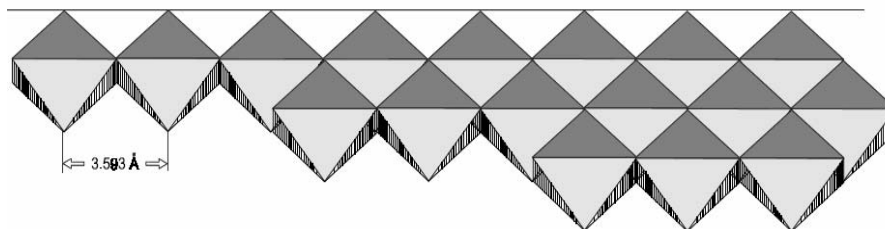
## 1.2. CARACTERÍSTICAS

El agua de cal, que es una disolución alcalina de cal apagada en agua, se utiliza principalmente en medicina como antiácido, como neutralizador de un ácido venenoso o para el tratamiento de las quemaduras.

Entre las propiedades más comunes de la cal apagada o hidratada tenemos:

- Peso molecular: 74
- Contenido  $H_2O$ : 24.32 %
- Densidad real: 2.24 gr. /ml.
- PH.: 12.5
- Ligeramente soluble en agua: 1.4 g/l a 15° C
- Color: Blanco
- Cristaliza: capas de octaedros  $Ca(OH)_6$

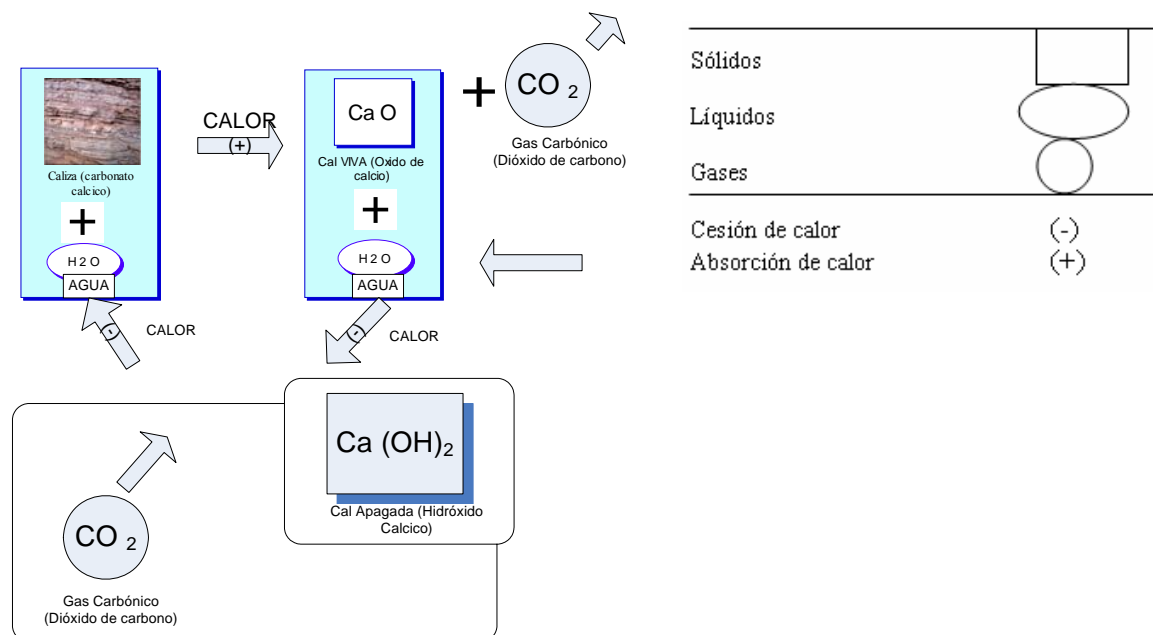
La disposición de los octaedros  $Ca(OH)_6$ , en su estructura cristalina están enlazados dentro de una misma capa. Se muestran parcialmente tres filas de octaedros. Las caras ligeramente punteadas de los octaedros forman un plano, con vértice fuera del observador.



**Figura C3 Disposición de los octaedros  $Ca(OH)_6$**

**Fuente: Biblioteca Virtual Encarta 2006**

El ciclo químico de la Cal es como se muestra en las figuras C4 y C5, iniciándose con la caliza o carbonato de calcio, terminando en la parte inferior en cal apagada o hidróxido de calcio.



**Figura C4 ciclo químico de la cal - Fuente: Elaboración Propia**

$\text{CO}_3\text{Ca}$	(900-1000°C)	$\text{Ca O} + \text{CO}_2$	FABRICACIÓN
$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$		$\text{Ca (OH)}_2$	APAGADO (exotérmica)
$\text{Ca (OH)}_2 + \text{CO}_2$		$\text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$	CARBONATACIÓN

**Figura C5 Ciclo químico de la cal aérea - Fuente: Elaboración Propia**

### 1.3. TIPOS DE CALES

Existen gran variedad de cales (detalladas en la NB 12-2001), sin embargo se resaltaré la clasificación utilizada en la misma norma, para cales con y sin incorporadores de aire.

- Tipo normal - N
- Tipo especial – S
- Tipo normal con incorporador de aire – NA
- Tipo especial con incorporador de aire – SA

#### Nota 1

El tipo S, cal hidratada especial y el tipo SA, cal hidratada especial con incorporador de aire, se diferencian del tipo N, cal hidratada normal y tipo NA, cal hidratada con incorporador de aire principalmente por su capacidad de desarrollar una plasticidad alta y temprana además de una retención de agua y por la limitación en su contenido de óxido no hidratado.

**Nota 2**

La cal hidratada de los tipos Normal y Especial no deberán contener aditivos para la incorporación de aire, El contenido de aire de los morteros hechos con cemento y cal hidratada tipos Normal y Especial no deberá exceder a 7%

**Nota 3**

La cal hidratada de los tipos normal con incorporador de aire y Especial con incorporador de aire, deberá contener un aditivo incorporador de aire específico. En contenido de aire de los morteros hechos con cemento y cal hidratada de estos dos tipos deberá ser un mínimo de 7% y un máximo de 14%.

**Nota 4**

Algunos códigos de la construcción prohíben el uso de materiales incorporadores de aire en el mortero, por causa de la reducción que acompaña la adherencia y la resistencia a la compresión. Cuando es importante el aumento de la resistencia a la congelación – descongelación, los incorporadores de aire pueden ser benéficos. La cal con incorporadores de aire no se debe utilizar para acabados.

Sin embargo la norma UNE hace una clasificación diferenciando el contenido de calcio (UNE-EN 459 -1:02 tipos de cales para la construcción, tabla C1).

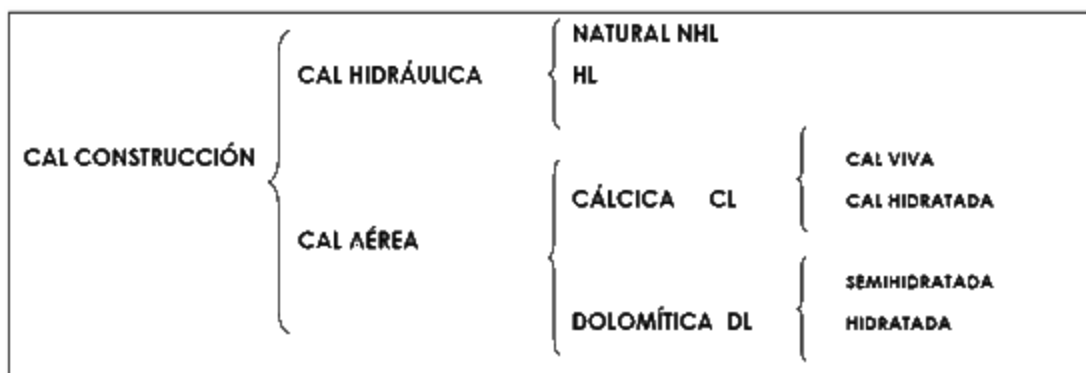
***Tabla C1 Clasificación de la Cal según UNE***

DESIGNACIÓN	NOTACIÓN
Cal cálica 90	CL 90
Cal cálica 80	CL 80
Cal cálica 70	CL 70
Cales dolomíticas 85	DL 85
Cales dolomíticas 80	DL 80
Cal hidráulica 2	HL 2
Cal hidráulica 3,5	HL 3,5
Cal hidráulica 5	HL 5
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal hidráulica natural 5	NHL 5
Además los cales aéreas se clasifican, de acuerdo a como son suministradas: en cal viva (Q) o cal hidratada (S). En el caso particular de cales dolomíticas hidratadas, el grado de hidratación se identifica como S1 para la semihidratada y S2 para la totalmente hidratada.	

***Fuente: UNE 459 -1:02***

En la clasificación común se divide en: Cales aéreas (cal viva y cal apagada o hidráulica) y cales hidráulicas (naturales y con adiciones).





**Figura C6 Clasificación común - Fuente: Elaboración Propia**

Basándose en la norma ICAITI – 41 en junio de 2002 parte I; Definiciones y especificaciones realiza la siguiente clasificación:

- Aéreas : Según contenido de  $\text{CaO} + \text{MgO}$ .
- Hidráulicas : Según su resistencia a la compresión.
- Colores : Cales blancas Dolomías y grises
- Cal viva = Q =  $\text{CaO} + \text{MgO}$
- Cal hidratada = S =  $\text{C}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$
- Cales cálcicas = CL =  $\text{CaO}$  ó  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Cales dolomíticas = DL =  $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Cales hidráulicas naturales = NHL
- Cales hidráulicas naturales con adición de materias = Z
- Cales hidráulicas = HL = Contienen aluminatos silicatos cálcicos, además de cal.
- Cal cálcica = CL90-Q = Cal viva
- Cal cálcica = CL 90 – S = Cal apagada o hidratada
- Cal dolomítica 85 = DL – 85
- Cal Hidráulica = HL-5
- Cal hidráulica natural con adiciones = NHL2-Z

## 2. FABRICACIÓN DE LA CAL

El proceso de fabricación de la cal esta compuesto por 6 fases las cuales son:

### i. Extracción de la materia prima (caliza, dolomita y marga).

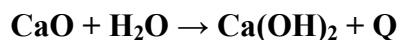
- Caliza.-Roca sedimentaria, compuesta por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuando se calcina, da lugar a la cal ( $\text{CaO}$ )
- Dolomita.-Mineral común de fórmula  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , que se suele encontrar en masas rocosas, como calizas dolomíticas, y a veces en vetas.
- Margas.-Deposito de carbonato de calcio amorfo, arcilla y arena en diversas proporciones.

**ii. Trituración y molienda.**

- La trituración y molienda

**iii. Cocción** (dependiendo del tipo de horno).**iv. Tratamiento a los productos obtenidos** (hidratación, adiciones, etc.)**v. Clasificación****vi. Envasado****3. APAGADO DE LA CAL**

Existen diversos tipos de apagado o hidratación de la cal (detallados en 4-4 normas Cal), el apagado de la cal viva o cal cáustica ( $\text{CaO}$ ), al tratarla con agua desprende grandes cantidades de calor para formarse hidróxido de calcio que se denomina cal apagada.



Según la ENV 459- 1/96, hace la siguiente dosificación para determinar hidrato de cal, pasta de cal y lechada de cal.

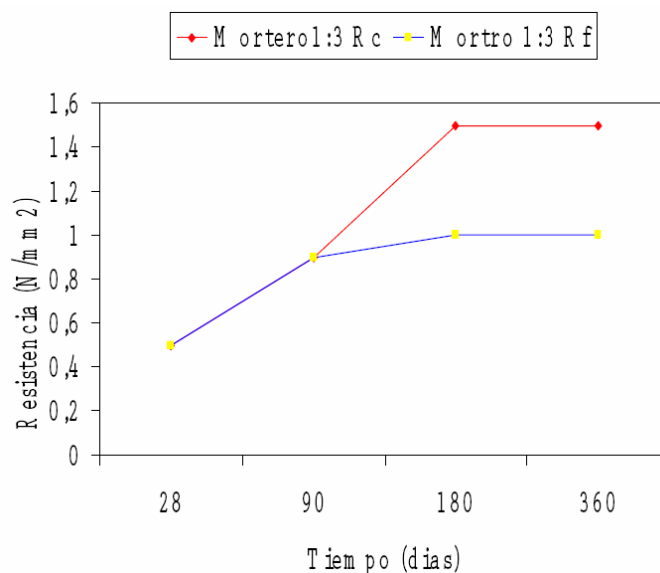
**Tabla C2 Relaciones de la cal**

TIPOS DE CAL	HIDRATO DE CAL EN POLVO	PASTA DE CAL	LECHADA DE CAL
Cantidad de cal viva	450 kg		
Cantidad de agua	150 L	700 L	800 L
% Agua libre	$\equiv 0\%$	$\equiv 56\%$	$\equiv 64\%$
% Agua libre según ENV 459-1/96	$\leq 2\%$	$\geq 45\% \leq 70\%$	$\geq 70\%$

**Fuente: ENV 459 -1/96**

**4. PROPIEDADES DE LA CAL****4.1. PROPIEDADES DE LA CAL NO CONTEMPLADAS EN LA UNE EN 459-1:02**

- Resistencias mecánicas.**- Existen muchos factores que afectan a la resistencia de la cal entre las más importantes se tiene la elevada porosidad, la pobre adherencia árido - pasta y por último la débil unión cristalina del  $\text{CaCO}_3$ . En morteros con arena y cemento puede elevarse la resistencia mecánica la UNE EN muestra la resistencia en morteros.
- Resistencia a la Tracción en las cales.**- Esta muy influenciada por la relación A/Y, humedad, índice de finura, etc. Una cal que cumpla con los requisitos fisicoquímicos de la UNE tiene que alcanzar los siguientes valores:



**Figura C7 Resistencia a la compresión de morteros con cal**

**Fuente: UNE 459 -I:02**

**Tabla C3 Requisitos físicos en la resistencia a la tracción**

Tipo de cales de construcción	Resistencia a la compresión MPa	
	7 días	28 días
HL 2 y NHL 2	--	$\geq 2$ a $\leq 7$
HL 3,5 y NHL 3,5	--	$\geq 3,5$ a $\leq 10$
HL 5 y NHL 5	$\geq 2$	$\geq 5$ a $\leq 15^{\circ}$
A si HL 5 y NHL 5 tienen una densidad aparente inferior a $0,90 \text{ kg/dm}^3$ , se permite que la resistencia pueda llegar hasta 20 Mpa.		

**Fuente: UNE 459 -I:02**

#### 4.2. ÍNDICE DE HIDRAULICIDAD

Vicat estableció una relación entre silicatos y aluminatos en arcilla y los óxidos cálcicos y magnésicos característicos de cales.

$$I_H = \frac{\sum \text{óxidos ácidos}}{\sum \text{óxidos básicos}} = \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}} ; \quad M_H = \frac{1}{I_H}$$

La UNE EN en la tabla C4. Muestra la relación del índice de hidraulicidad y algunas propiedades inherentes a la cal.

**Tabla C4 Relaciones con la Hidraulicidad**

<b>Tipo de conglomerado</b>	<b>Hidraulicidad</b>	<b>I<sub>H</sub></b>	<b>% Arcilla</b>	<b>Duración del fraguado</b>
Cal aérea	No hidráulica	0,00-0,10	0-5	6 meses
Cal hidráulica	Débilmente hidráulica	0,10-0,16	5-8	15-30 días
	Medianamente hydr.	0,16-0,30	8-14	10-15 días
	Normalmente hydr.	0,30-0,40	14-19	2-4 días
	Eminentemente hydr.	0,40-0,50	19-20	< 2 días
Cemento natural	Hidráulico	0,50-1,20	> 22	< 12 horas

**Fuente: UNE 459 -1:02**

## 5. APLICACIÓN

La cal tiene diversas aplicaciones, sin embargo las que interesa como materiales de construcción se detallan como sigue:

**APLICACIONES**

- Estabilizacion de suelos
- Lechadas / jalbegas
- Morteros
  - Morteros de cal
  - Estucos
  - Morteros bastardos de cal y cemento

## DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “CAL”

### 1. INTRODUCCIÓN

La cal se utiliza para preparar cemento y argamasa, y para neutralizar los suelos ácidos en agricultura. También se emplea para fabricar papel y vidrio, para lavar la ropa blanca, para curtir las pieles o el cuero, en el refinado de azúcar y para ablandar el agua.

Este capítulo es una conjunción entre la EQNB 12- 2001, 12 -2002 y 12 -2003 con la norma UNE EN 259-1:02, debido a la complementariedad entre ambas normas.

### 2. TERMINOLOGÍA

#### i. CAL

Son todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio y el magnesio, (CaO y MgO) y/o el hidróxido de calcio y/o el de magnesio, (Ca (OH)<sub>2</sub>) y Mg (OH)<sub>2</sub>), variada composición química, procedentes de la calcinación de piedras calizas y clasificadas más adelante en dos grupos fundamentales: cales aéreas y cales hidráulicas.

#### ii. CAL AÉREA

Es el material aglomerante que está constituido fundamentalmente de óxido o hidróxido de calcio y que tiene la propiedad de endurecerse de amasada con agua, únicamente en el aire, por la acción del anhídrido carbónico.

#### iii. CAL HIDRATADA

Cal aérea, cálcica o dolomítica resultante del apagado controlado de la cal viva. Se produce en forma de polvo seco, pasta o lechada.

#### iv. CAL CÁLCICA

Cal constituida principalmente de óxido de calcio o de hidróxido de calcio, sin adición de materiales puzolánicos o hidráulicos.

#### v. CAL DOLOMÍTICA

Es la cal aérea que contiene más del 5% de óxido magnético, sobre muestra calcinada. No tiene adición de materiales puzolánicos o hidráulicos.

#### vi. NOTA

La cal dolomítica es llamada también cal gris.

#### vii. CAL GRASA

Es la cal aérea que contiene como máximo el 5% de óxido magnético.

#### viii. CAL VIVA

Es el material calcinado que está compuesto principalmente por óxido de calcio, producido por la calcinación de caliza y/o dolomía, capaz de apagarse mediante la adición de agua. Las cales vivas tienen una reacción exotérmica en contacto con el agua.

**ix. CAL APAGADA**

Es el producto obtenido después de añadir agua a la cal viva para hidratar sus óxidos y está compuesta, fundamentalmente de hidróxido cálcico.

**x. CAL EN POLVO**

Es la cal apagada en la que el agua añadida durante su hidratación, es la indispensable para formar hidróxido. Ofrece un aspecto exterior polvoriento.

**xi. CAL EN PASTA**

Es la cal apagada a la que se ha añadido, durante su hidratación, un exceso de agua sobre la indispensable para formar el hidróxido. Ofrece aspecto exterior pastoso.

**xii. CAL HIDRÁULICA**

Es el material aglomerante, polvoriento e hidratado, que se obtiene calcinando calizas que contiene sílice u alúmina, a una temperatura casi de fusión, para que se forme el óxido cálcico libre necesario para permitir su hidratación y al mismo tiempo, ejerce cierta cantidad de silicatos de calcio deshidratados que dan al polvo sus propiedades hidráulicas.

Las cales hidráulicas después de amasadas con agua se endurecen en el aire, y tañen en agua, siendo esta última propiedad la que las caracteriza.

**xiii. CAL HIDRÁULICA DE BAJO CONTENIDO DE MAGNESIA**

Es la cal hidráulica cuyo contenido de óxido magnético, sobre muestra calcinada, no excede del 5%.

**xiv. CAL HIDRÁULICA DE ALTO CONTENIDO DE MAGNESIA**

Es la cal hidráulica en la que el contenido de óxido magnético, sobre muestra calcinada, es superior al 5%.

**3. APAGADO DE LA CAL**

La cal viva nunca se puede utilizar como tal para propósitos estructurales; siempre se debe apagar primero. Puesto que el método de apagado es un factor importante en la determinación de la calidad del producto terminado, se proporcionan las siguientes especificaciones (NB):

- i.** Si no existe indicación del fabricante respecto al procedimiento de apagado de la cal, se debe determinar si la cal es de apagado rápido (antes de 5 min.), medio (de 5 a 30 min.) o lento (más de 30 min.), antes de proceder al apagado.
- ii.** Se colocan en un recipiente dos o tres terrones de cal cuya masa total sea de 200 gr. o del tamaño aproximado de un puño. Se agrega el agua suficiente para cubrir la cal y se observa cuánto tiempo toma para que el proceso de apagado comience. El apagado comienza cuando se empiezan a desprender pedazos de cal o los terrones se desmoronan. Se debe usar agua a la misma temperatura para el ensayo en campo y en laboratorio.
- iii.** Para cal de apagado rápido, siempre se agrega la cal al agua, no al contrario. Se necesita agua en abundancia de manera que cubra la cal completamente. Se debe tener gran cantidad de agua para uso inmediato, una pala, si es posible y observar la cal

constantemente para detener que escape el vapor. Con esta clase de cal no se debe temer usar demasiada agua.

- iv. Para cal de apagado medio se agrega agua a la cal, en cantidad suficiente, de manera que quede medio sumergida. Se añade un poco de agua ocasionalmente si comienza a escapar vapor, para evitar que la masilla se seque y desmorone. Se debe prestar atención para no agregar más agua de la necesaria y no mucha a la vez.
- v. Para la cal de apagado lento, se agrega suficiente agua para humedecerla completamente. Se la deja reposar hasta que se inicie la reacción. Se añade más agua con precaución, un poco a la vez, cuidando que la masa no se enfríe por el agua fresca. No se palea hasta que el apagado prácticamente haya quedado terminado. Si el clima es muy frío es preferible usar agua caliente; sin embargo, si no se dispone de ella, se puede cubrir la batea de alguna manera, para retener el calor.

Con métodos similares la UNE clasifica dos métodos de apago:

- i. Métodos clásicos o artesanales.- estos métodos pueden realizarse sin muchas especificaciones técnicas, entre estos métodos tenemos:
  - Fusión en agua
  - Por inmersión
  - Por aspersión
- ii. Métodos industriales.-Estos métodos son muy utilizados últimamente debido a la tecnificación del apagado, se conoce:
  - Hidratadores mecánicos
  - Autoclaves

#### **4. PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICOS Y MECÁNICAS DE LA CAL**

- i. Composición química
- ii. Finura
- iii. Estabilidad de volumen
- iv. Retención de agua
- v. Plasticidad
- vi. Fraguado y endurecimiento
- vii. Retracción

#### 4.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La NB 12-2002 muestra los siguientes requisitos que debe cumplir una cal aérea hidratada en cuanto a su composición química.

**Tabla C5 Requisitos químicos según la NB**

REQUISITOS	TIPO DE CAL			
	Normal	Normal con incorporador de aire	Especial	Especial con incorporador de aire
Óxido de calcio y magnesio (base no volátil), en % mín.	95	95	95	95
Dióxido de carbono (a medida que se recibe la base), en % máx., si la muestra es tomada en fábrica.	5	5	5	5
Si la muestra se toma en otro sitio diferente	7	7	7	7
Óxidos no hidratados (en base tal como se recibe), en % máx.	-	-	8	8

**Fuente: NB 12-2002**

En cambio la norma Europea EN 459-2:2001 da a conocer los requisitos químicos para la cal con su clasificación correspondiente, este mismo análisis es realizado por la NB pero sin detallar el % en masa para el tipo de cal basándose en la EN.

#### 4.3. REQUISITOS FÍSICOS

Dentro los requisitos físicos más importantes se tiene: finura de molido, estabilidad, tiempo de fraguado, etc. En la tabla C7 se muestra Requisitos físicos para la cal cálcica hidratada, la cal dolomítica hidratada, la cal en pasta, la cal hidráulica y la cal hidráulica natural.

#### 5. PREPARACIÓN DE LA MASILLA PARA EL USO

Después del apagado, la masilla se prepara de la siguiente forma:

- i. Capa de acabado. Después de apagar y envejecer la cal viva, de acuerdo con las instrucciones del fabricante, se almacena la masa hasta que enfríe. Si no hay instrucciones al respecto, la masilla a través de un tamiz No. 10 (2,00 mm.), y se almacena 2 semanas como mínimo.
- ii. Capa base. Después de que ha terminado la acción, se pasa la masilla a través de un tamiz No. 8 (2,00 mm.), y se almacena un mínimo de 2 semanas.
- iii. Mortero de mampostería. Luego de que la acción ha cesado, se agrega parte o toda la arena requerida y se almacena un mínimo de 24 h.



**Tabla C6 Requisitos químicos según UNE**

<b>CALIDAD</b>		<b>Tipo de cal</b>	<b>CaO + MgO</b>	<b>MgO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>Cal Libre</b>
	1	<b>CL 90</b>	≥ 90	≤ 5°	≤ 4	≤ 2	--
	2	<b>CL 80</b>	≥ 80	≤ 5°	≤ 7	≤ 2	--
	3	<b>CL 70</b>	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	--
	4	<b>DL 85</b>	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	--
	5	<b>DL 80</b>	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	--
	6	<b>HL 2</b>				≤ 3°	≥ 8
	7	<b>HL 3,5</b>				≤ 3°	≥ 6
	8	<b>HL 5</b>				≤ 3°	≥ 3
	9	<b>NHL 2</b>				≤ 3°	≥ 15
	10	<b>NHL 3,5</b>				≤ 3° <sup>o</sup>	≥ 9
	11	<b>NHL 5</b>				≤ 3°	≥ 3
<p>Nota. Los valores se aplican a todos los tipos de cal. Para la cal viva estos valores corresponden al producto acabado, como todos los otros tipos de cal (cales hidratados, cales en pasta y cales hidráulicas). Los valores se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada.</p> <p><sup>a</sup> Los valores de la tabla se expresan en porcentajes en masa</p> <p><sup>b</sup> Un contenido de SO<sub>3</sub> superior al 3% e inferior al 7% es admisible, a condición de que la estabilidad sea confirmada después de 28 días de conservación en agua según el ensayo Norma Europea EN 196-2.</p> <p><sup>c</sup> Un contenido de MgO hasta el 7% es admisible a condición de que la estabilidad sea confirmada según el ensayo dado en el apartado 5.3.de la Norma Europea EN 459-2:2001</p>							

**Fuente: UNE 459-2:2001****6. RESIDUOS, DESCASCARAMIENTO Y PICADURAS**

- i. Los cuatro tipos de cal hidratada para construcción, deberían cumplir uno de los siguientes requisitos:
- ii. El residuo retenido en la Malla o Tamiz No. 30 (600 μm) no deberá ser mayor a 0.5%
- iii. Sí el residuo retenido en un Tamiz No. 30 (600 μm), es superior al 0.5% la cal no deberá presentar descascaramiento ni picaduras.

**7. PLASTICIDAD**

- i. La masilla hecha con tipo S (cal hidrato especial) o tipo SA (cal hidrato especial con incorporador de aire), deberá tener una cifra de plasticidad no inferior a 200, cuando se ensaye 30 minutos después de mezclar con agua.

**8. RETENCIÓN**

- ii. El mortero hecho de la cal hidratada Tipo N (hidrato normal de cal) o tipo SA (hidrato especial con incorporador de aire), después de succión por 60 s, deberá tener un valor de retención de agua no inferior al 75%, cuando se ensaye en un mortero estándar elaborado con hidrato seco o una masilla hecha de hidrato que ha sido remojado por un periodo de 16 h a 24 h.
- iii. El mortero hecho de cal hidratada Tipo S (hidrato de cal especial) o Tipo SA (hidrato de cal especial con incorporador de aire), después de succión por 60 s, deberá tener un valor de retención de agua, no inferior al 85%, cuando se ensaye en mortero estándar elaborado con hidrato seco.

**TABLA C7 REQUISITOS FISICOS DE LA CAL**

**Requisitos físicos para la cal cálcica hidratada, la cal dolomítica hidratada, la cal en pasta, la cal hidráulica y la cal hidráulica natural**

Tipo de cal de construcción	Finura según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.2  (porcentaje de rechazo en masa)	Agua libre según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.11	Estabilidad <sup>b,d</sup>			Ensayo para los morteros <sup>ef</sup>		Tiempo de fraguado	
			Para cales de construcción distintas de la cal en pasta y cales dolomíticas hidratadas	Método de referencia según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.3.2.1	Método alternativo según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.3.2.2	Cal en pasta y cal dolomítica hidratada.	Penetración según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.5	Contenido en aire según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.7	Final Inicial
1	CL 90	0,09 mm	≤ 2	mm	mm	Cumple el Ensayo	mm	%	h
2	CL 80	≤ 7	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 12	-
3	CL 70	≤ 2	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	> 1
4	DL 85	≤ 2	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	≤ 15
5	DL 80	≤ 2	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	≤ 15
6	HL 2	≤ 15	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	> 1
7	HL 3,5	≤ 5	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	≤ 15
8	HL 5	≤ 5	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	≤ 15
9	NHL 2	≤ 15	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	> 1
10	NHL 3,5	≤ 15	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	≤ 15
11	NHL 5	≤ 15	≤ 2	mm	≤ 20	-	> 10 Y < 50	≤ 20	≤ 15

<sup>a</sup> Para la sales en pasta, el contenido de agua libre es ≤ 70% y ≥ 45%.

<sup>b</sup> Véase la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.3.

<sup>c</sup> Para las cales hidráulicas y las cales hidráulicas naturales teniendo un contenido en SO<sub>3</sub> > 3% y 7%. La estabilidad se ensaya además según la Norma Europea EN 459-2:2001 en el apartado 5.3.2.3.

<sup>d</sup> Las cales cálcicas hidratadas, las cales en pasta y las cales dolomíticas hidratadas que contienen tamaños de granos de diámetro > 0,2 mm, deben además, ser estables cuando se ensayan según la Norma Europea EN 459-2:2001, en el apartado 5.3.4.

<sup>e</sup> Utilizando un mortero normalizado conforme al apartado 5.5.1 de la Norma Europea EN 459-2:2001.

<sup>f</sup> No se aplica a las cales en pasta.

<sup>g</sup> Los requisitos sobre la figura y contenido de agua libre se aplican a la cal cualquiera que sea el uso previsto. Los requisitos de estabilidad, de penetración, de contenido en aire y de tiempo de fraguado se aplica solamente a la cal de construcción para morteros de fábrica y revestimientos interiores y exteriores.

<sup>h</sup> No se aplica a HL 2 y NHL 2.

**PRACTICA DE CAMPO N° 5****“CEMENTOS”****1. ANTECEDENTES**

La palabra cemento, en su significado más amplio incluye a cualquier material cementicio que es capaz ya sea de unir porciones de sustancias no adhesivas por si mismas en un todo cohesivo (ver tabla CEM1), o de cementar materiales no adhesivos. Al usar la palabra cemento en el uso común, se refiere al cemento Pórtland y en tal sentido se emplea este libro.

***Tabla CEM1 Tipos de cementos o conglomerantes y algunas de sus propiedades***

Tipo de conglomerado	Hidraulicidad	% Arcilla	M <sub>H</sub>	R <sub>M</sub>	Duración frag./endur.
Cal aérea	No hidráulica	0-5	∞-10	Menor	6 meses
Cal Hidráulica	Débilmente hydr.	5-8	10-6,2		15-30 días
	Medianamente hydr.	8-14	6,2-3,3		10-15 días
	Normalmente hydr.	14-19	3,3-2,5		2-4 días
	Eminentemente hydr.	19-22	2,5-2		< 2 días
Cem. natural	Hidráulico	> 22	2 – 0,8	Mayor	< 12 horas
Cem. Portland	Hidráulico	21 - 26	2,2 – 1,8		<12 horas

***Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases***

**1.1. RESEÑA HISTÓRICA**

Aunque ciertos tipos de cementos hidráulicos eran conocidos desde la antigüedad, sólo han sido utilizados a partir de mediados del siglo XVIII. El término cemento Pórtland se empleó por primera vez en 1824 por el fabricante inglés de cemento Joseph Aspdin, debido a su parecido con la piedra de Pórtland, que era muy utilizada para la construcción en Inglaterra. El primer cemento Pórtland moderno, hecho de piedra caliza y arcillas o pizarras, calentadas hasta convertirse en clínker y después trituradas, fue producido en Gran Bretaña en 1845. En aquella época el cemento se fabricaba en hornos verticales, esparciendo las materias primas sobre capas de coque a las que se prendía fuego. Los primeros hornos rotatorios surgieron hacia 1880. El cemento Pórtland se emplea hoy en la mayoría de las estructuras de hormigón.

La mayor producción de cemento se produce, en la actualidad, en los países más poblados y/o industrializados, aunque también es importante la industria cementera en los países menos desarrollados. La antigua Unión Soviética, China, Japón y Estados Unidos son los mayores productores, pero Alemania, Francia, Italia, España y Brasil son también productores importantes.

### *Cronología de acontecimientos*

- 1756 → J. Smeaton → Cales resistentes al agua de mar (Faro de Eddystone)  
 → Descubrimiento de las cales hidráulicas  
 1796 → J. Parker → Descubrimiento del “roman cement” al calcinar margas  
 1812-24 → Vicat, J. Aspdin → Calcinaron mezclas de arcillas y calizas.  
 → Descubrimiento y patente del cemento “Pórtland”  
 1844 → Charles Johnson → Descubrimiento del clinker en las cales hidráulicas.  
 1866 → I. Ramsome → Mejora la técnica de cocción a altas temperaturas  
 → Invención del horno giratorio  
 1851-91 → Exposiciones Universales → Demostración del nuevo producto  
 Siglo XX → Evolución técnica y científica (mayor gama y menores costes)

**Tabla CEM2 Comparación de cementos**

Cemento Natural	Cemento Pórtland
<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcinación 1250°C -1350°C</li> <li>Calizas + arcillas (22%-26%)</li> <li>Sinterización – clinkerización</li> <li>Características: fraguado rápido y bajas resistencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcinación 1450°C calizas + arcillas (21% - 26%).</li> <li>Sinterización-clinkerización</li> <li>Yeso + adiciones</li> <li>Características: fraguado medio y altas resistencias.</li> </ul>

**Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases**

## **2. FABRICACIÓN DEL CEMENTO**

En el proceso de fabricación del cemento existen varios pasos:

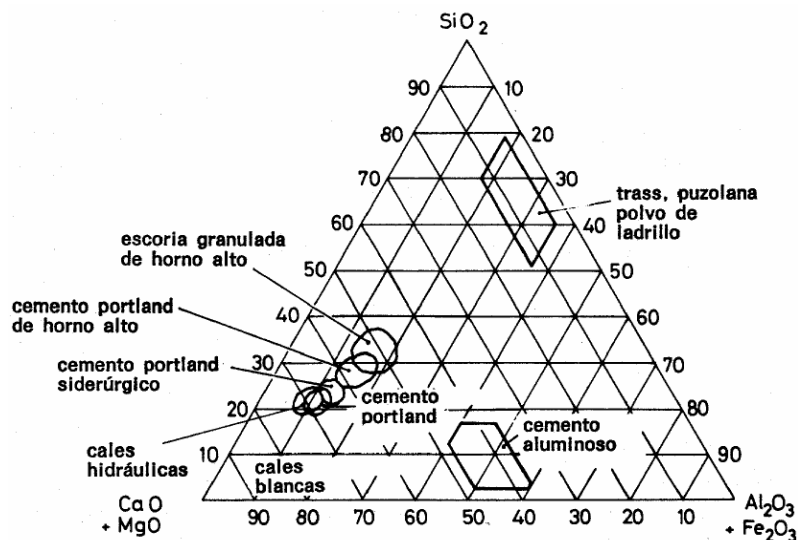
### **2.1. MATERIAS PRIMAS DEL CRUDO**

Las materias primas básicas (caliza, marga, pizarra o grava) se extraen de canteras a cielo abierto por medio de voladuras controladas. Posteriormente, se cargan y transportan en camiones de gran tonelaje a las trituradoras donde se fragmentan hasta un tamaño aproximado de 50 m.m.; luego se almacenan en zonas independientes en naves de materias primas.

- Mat. aportadoras de CaO**

caliza pura:	> 95% $\text{CaCO}_3$
caliza margosa:	85 a 95% $\text{CaCO}_3$
<b>marga caliza:</b>	70 a 85% $\text{CaCO}_3$
marga:	30 a 70% $\text{CaCO}_3$
marga arcillosa:	15 a 30% $\text{CaCO}_3$
arcilla margosa:	5 a 15% $\text{CaCO}_3$
arcilla:	< 5% $\text{CaCO}_3$

Las principales sustancias que dan a los materiales cementantes propiedades hidráulicas son: la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), para representar la proporción de los tres cuerpos, Feret ideó el triángulo que lleva su nombre, representado en la figura CEM1 representando a los diferentes tipos de cementos con sus pesos porcentuales.



**Figura CEM1 Dosificación del crudo mediante el triángulo de Feret**

**Tabla CEM3 Valores límites de los componentes cementantes**

Oxidos	Límites (%)	Cont. Medios (%)
CaO	60 - 90	65
$\text{SiO}_2$	18 - 24	21
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4 - 8	6
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1 - 8	3
MgO	< 5,0	2
$\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$	< 2,0	1
$\text{SO}_3$	< 3,0	1

**Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases**

Estas materias primas se dosifican de manera controlada con básculas y se introducen de manera conjunta a los molinos. La proporción relativa de cada componente se ajusta de manera automática, en base a los resultados de los análisis efectuados por analizadores de rayos X.

Dependiendo del porcentaje de los óxidos se determinan los módulos: Módulo hidráulico, módulo de silicatos, Standard de cal o GSP y módulo de fundentes.

El material que sale del molino, llamado "**Harina de Crudo**", es muy fino y se almacena en silos cerrados en donde se lleva a cabo un proceso de homogeneización por medio de la introducción de aire a presión a través del fondo del silo.

- **Modulo hidráulico**

$$M.H. = \frac{\text{CaO \%}}{\text{SiO}_2 \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \% + \text{Fe}_2\text{O}_3 \%}$$

- **Módulo de silicatos (MS)**

$$M.S. = \frac{\text{SiO}_2 \%}{\text{Al}_2\text{O}_3 \% + \text{Fe}_2\text{O}_3 \%}$$

- **Standard de cal o GSP**

$$\text{StC I} = \frac{100\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,1\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7\text{Fe}_2\text{O}_3 \%}$$

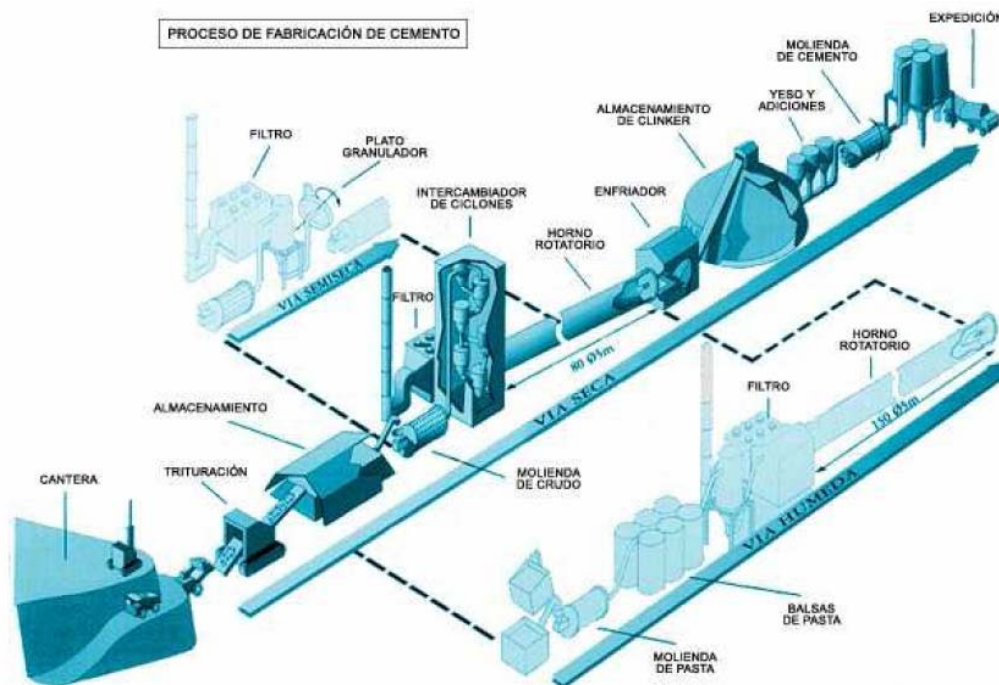
$$\text{StC III} = \frac{100(\text{CaO} + 0,75\text{MgO})}{2,8\text{SiO}_2 + 1,1\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7\text{Fe}_2\text{O}_3 \%}$$

- **Módulo de fundentes**

$$M.F. = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \%}{\text{Fe}_2\text{O}_3 \%}$$

## 2.2. PROCESOS: VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA

Dependiendo de la tecnología de la fabrica o la disponibilidad se tienen dos métodos o procesos; Vía seca y vía húmeda, con sus características mostradas en la figura CEM2.

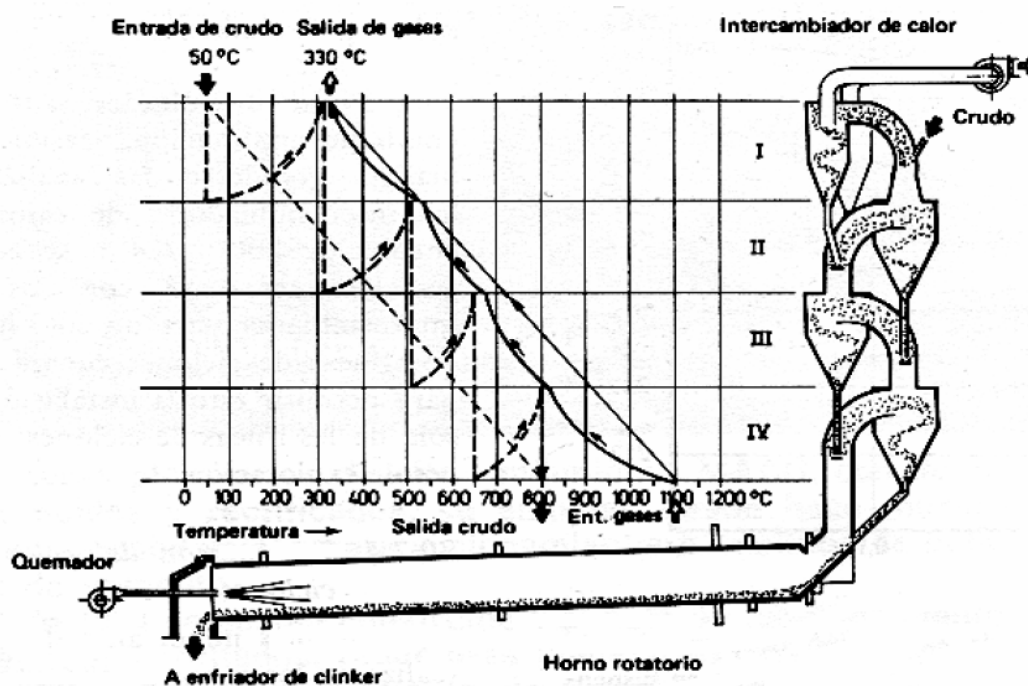


**Figura CEM2 Procesos de fabricación**  
Fuente: COBOCE

### 2.3. OBTENCIÓN DEL CLINKER

Como se describió en el subtítulo precedente por la obtención del clinker se tiene que verificar el tipo de preparación de crudo puede ser por vía húmeda o vía seca. Obtención por vía húmeda, en esta fase interviene los precalentadores y secadores. Por la vía seca intervienen los intercambiadores de calor de ciclones de Humbolt y los precalcinadores.

Este proceso se lo realiza en hornos rotatorios como se detalla en la figura CEM3 y CEM4.



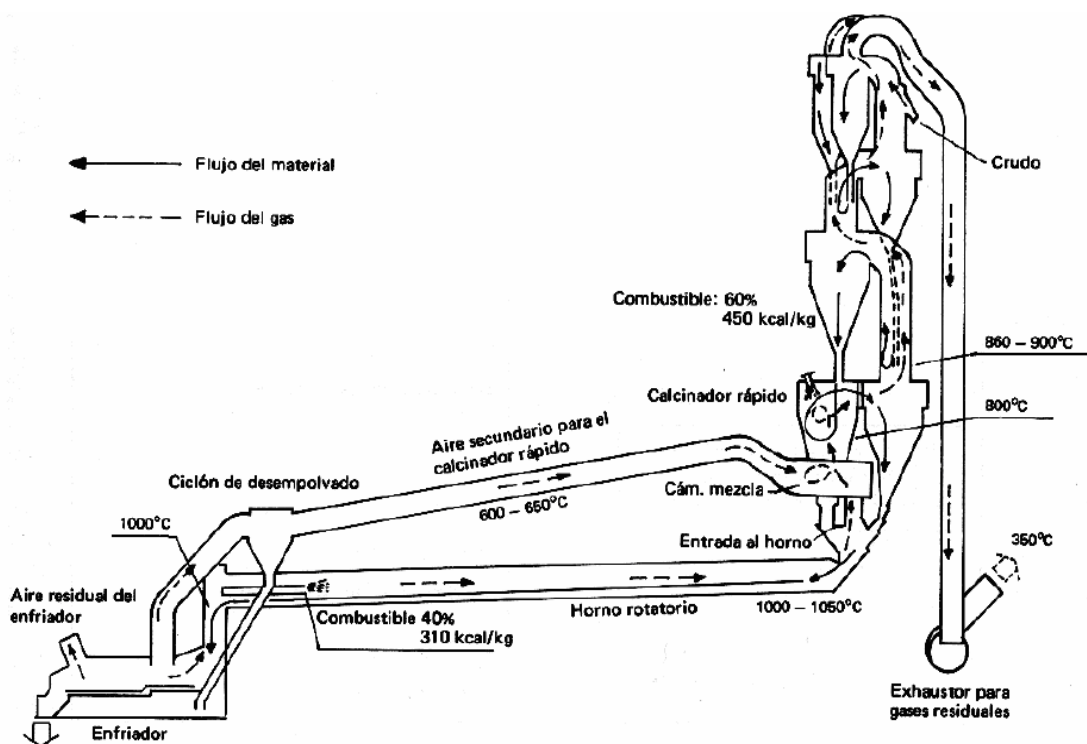
*Figura CEM3 Horno rotatorio*

*Fuente: COBOCE*

En la cocción del clinker o clinkerización existen muchos procesos físico-químicos que ocurren con la acción de la temperatura en la figura CEM5 se puede observar este proceso desde el inicio con la materia prima hasta el enfriamiento final o cristalización del mismo. El material que sale del horno tiene aspecto de gránulos redondeados y se conoce con el nombre de "**clinker**"<sup>1</sup>. Para congelar su estructura cristalina y estabilizar los componentes formados a 1450°C, el clinker se enfría con aire por debajo de los 120°C.

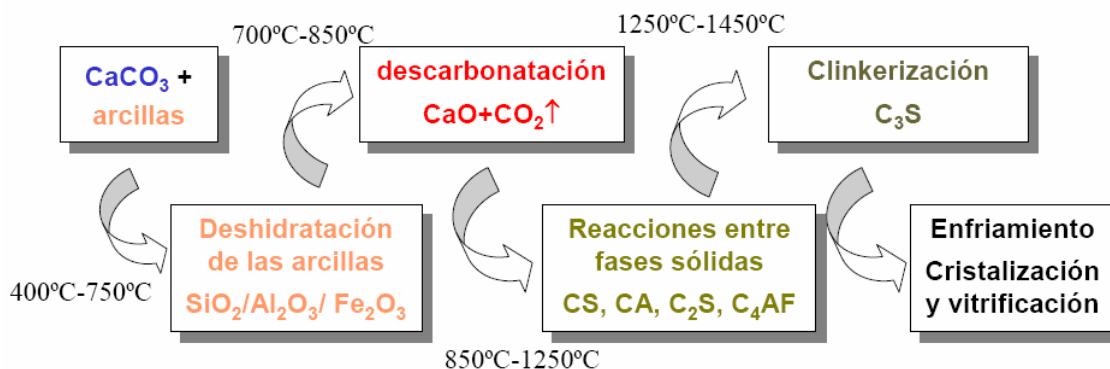
<sup>1</sup> Este producto producía al deslizarse por los hornos rotatorios un ruido "clink, clink,..." del que toma el nombre onomatopéyico de "clinker".





**Figura CEM4. Detalles del Horno rotatorio - Fuente: COBOCE**

- $L=60-90\text{ m}; \quad \varnothing=3-6\text{ m}$
- $V_r=1-3\text{ rpm}; \quad t_p=3-4\text{ h}$
- $T=1450^\circ\text{C}-1500^\circ\text{C}$



**Figura CEM5 Procesos físico-químicos de la clinkerización**  
Fuente: Elaboración Propia

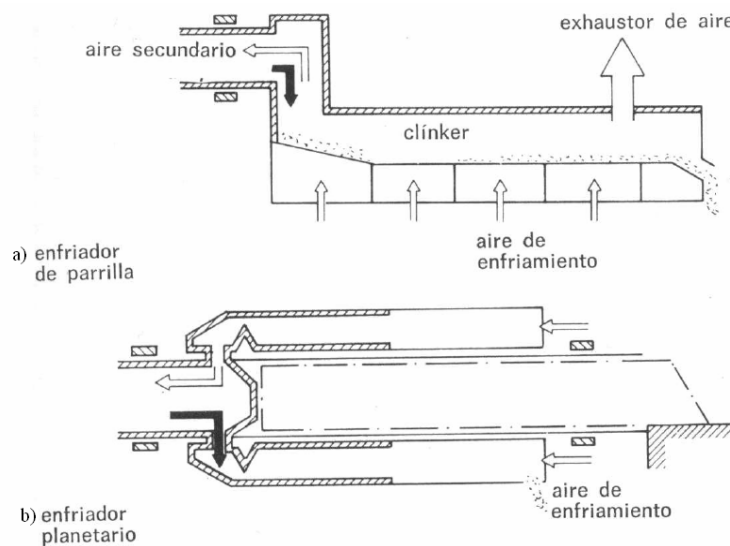
Los procesos basados en la figura CEM5 se detallan a continuación:

- 400°C-750°C: **deshidratación de las arcillas**
- 750°C-900°C: **descarbonatación del carbonato de calcio**
  - $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CO}_2\uparrow + \text{CaO}$
- 900°C-1250°C: **reacciones en fase sólida**
  - $3\text{C} + 2\text{S} + \text{A} \rightarrow 2\text{CS} + \text{CA}$
  - $\text{CS} + \text{C} \rightarrow \text{C}_2\text{S}$       **silicato bicálcico o belita**
  - $2\text{C} + \text{S} \rightarrow \text{C}_2\text{S}$
  - $\text{CA} + 2\text{C} \rightarrow \text{C}_3\text{A}$       **aluminato tricálcico o fase aluminica**
  - $\text{CA} + 3\text{C} + \text{F} \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$       **ferritoaluminato tetracálcico o fase ferrítica**
- 1250°C-1450°C: **reacciones en fase líquida-clinkerización**
  - $\text{C}_2\text{S} + \text{C} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$       **silicato tricálcico o alita**

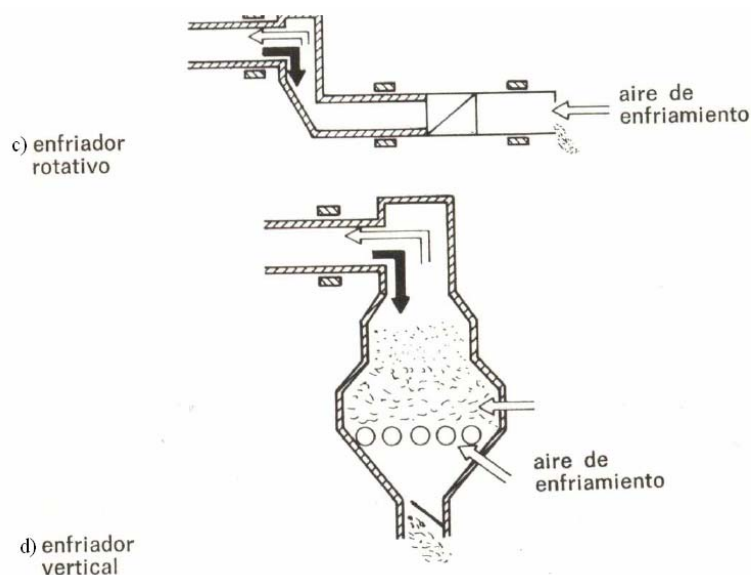
Son necesarios 1.560 Kg. de crudo para obtener 1.000 Kg. de clinker. Una composición típica del clinker es:

64% en CaO (Óxido cálcico)  
 6% en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Óxido de aluminio)  
 20% en SiO<sub>2</sub> (Dióxido de Silicio)  
 3% en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Trióxido de Hierro)  
 7% Otros elementos

Para el enfriamiento del clinker se utilizan diversos enfriadores entre los más conocidos tenemos en enfriador de parrilla, planetario, rotativo y vertical, descritos en la figura CEM6.



**Figura CEM6** diversos tipos de enfriadores de clinker; a) *Enfriador de parrilla*, b) *Enfriador planetario*



**Figura CEM6** diversos tipos de enfriadores de clinker; c) Enfriador rotativo y d) Enfriador vertical.



**Figura CEM7** Clinker enfriado o cristalizado -

## 2.4. MOLIENDA

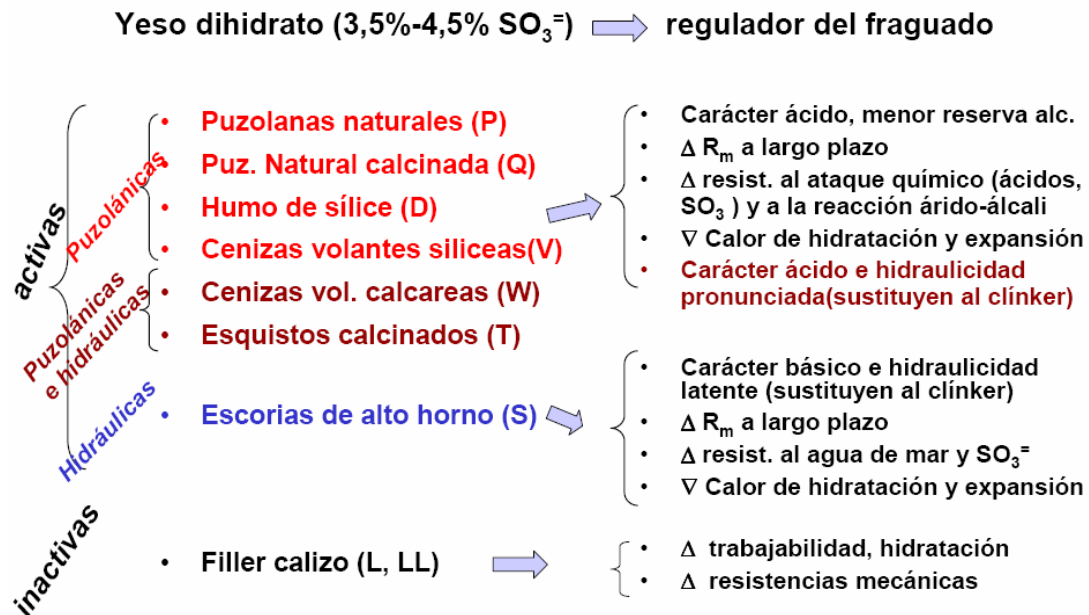
El cemento está constituido por:

- Clinker  
Componentes principales, tales como:  
Escoria de Horno Alto,  
Humo de Sílice,  
Puzolana,  
Cenizas volantes, y  
Caliza
- Componentes minoritarios
- Regulador de fraguado

La proporción de cada componente depende del tipo concreto de cemento fabricado (*Véase figura CEM8*). Los distintos componentes se almacenan en zonas separadas, se dosifican por medio de básculas y se añaden de manera conjunta y continuada al molino de cemento. Al igual que en el crudo, la proporción relativa de cada componente se ajusta de manera automática en base a los resultados de los análisis efectuados por analizadores de rayos X.

En el proceso de molienda, los componentes se muelen, se entremezclan íntimamente y el material se hace pasar por separadores. Si el cemento posee las características físico-químicas necesarias se almacena en silos estancos. En caso contrario, se reenvía al molino para continuar su molienda.

El cemento así producido y almacenado se suministra en sacos (50 y 25 Kg.) o a granel (en camiones cisternas de 25 Tn. aprox.).



**Figura CEM8 Adiciones al clinker y propiedades conferidas**  
Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases

Las adiciones o aditivos variaran dependiendo de las características inherentes del tipo de cemento, sin embargo La UNE hace la siguiente recomendación para diferentes tipos de cementos tabla CEM4.

Tabla CEM4 proporción de adiciones para diferentes tipos de cementos

Tipos principales		Designación de los 27 productos ( tipos de cementos comunes)	Composición( proporción en masa)											Comp. minoritario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
			Componentes principales																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			Clinker	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos Calcificados	Cliza																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
CEM I	Cemento Portland	CEM I	96-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**3. PREGUNTAS DE CONTROL EN CAMPO**

- Cuando se utiliza por primera vez el cemento Pórtland
- Que se entiende por coque
- De que fecha data la utilización del cemento en Bolivia
- Que tipos de cementos se utilizan en Bolivia y cual su empleo
- Describa el proceso de extracción de las canteras
- Describa para cada tipo de cemento la dosificación mediante el triangulo de Feret.
- Explique la función utilidad de cada modulo descrito en el subtitulo 3.1.
- Describa los procesos de fabricación por la vía húmeda y seca.
- Extracción y trituración de la materia prima
- Prehomogenización
- Dosificación del crudo
- Desecación del crudo molienda
- Homogenización
- Describa el funcionamiento del horno rotatorio
- Desarrolle los procesos físico-químico del la clinkerización
- Describa el funcionamiento de los enfriadores
- Para los cementos de utilizados o más comunes en Bolivia describa sus adiciones o aditivos así como también las propiedades conferidas al mismo.
- Describa el almacenamiento del cemento
- Describa la comercialización

## **DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “CEMENTOS”**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Para obtener un producto de buena calidad se realiza un control denominado análisis físico-químico y se aplica con ligeras variantes al clinker, al cemento del molino y al cemento envasado. Los ensayos de calidad dependiendo del tipo de cemento se hacen cada hora en los laboratorios de las fábricas que cuentan con instalaciones especializadas que van desde la mezcla de las pastas y morteros hasta los ensayos de compresión, tracción, fraguado, expansión, etc.

### **2. TERMINOLOGÍA**

#### **i. CEMENTO**

Es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire.

#### **ii. CEMENTO PORTLAND**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker y yeso y que pueda aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

#### **iii. CLINKER**

Es el producto que está constituido principalmente por sulfatos cálcicos. Se obtiene por calentamiento hasta una temperatura que no podrá ser inferior a la temperatura de fusión incipiente de una mezcla homogénea finamente molida en proporciones adecuadas, formada principalmente por óxidos de calcio ( $\text{CaO}$ ) y silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y por óxidos de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en proporciones menores.

#### **iv. CEMENTO SIDERÚRGICO**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, escoria granulada de alto horno y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

#### **v. CEMENTO CON AGREGADO TIPO A**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, agregado tipo A y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

#### **vi. CEMENTO PUZOLANICO**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, puzolana y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

**vii. AGREGADO TIPO A**

Es una mezcla de sustancias compuestas de un material calcareo-arcilloso que ha sido calcinado a una temperatura superior a 900°C y otros materiales a base de óxidos de silicio, aluminio y hierro. El contenido de calcio del agregado, expresado como CaO total, fluctuara entre un 5% mínimo y un 30% máximo.

**viii. ESCORIA BÁSICA GRANULADA DE ALTO HORNO**

Es el producto que se obtiene por enfriamiento brusco de la masa fundida no metálica que resulta en el tratamiento de mineral de hierro en un alto horno. Este producto tiene como constituyentes principales silicato y silico-aluminatos de y su composición química es tal que cumple con el siguiente requisito:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1$$

**ix. PUZOLANA**

Es un material siliceo-aluminoso que aunque no posee propiedades aglomerantes por si solo, las desarrolla cuando esta finamente dividido y en presencia de agua, por reacción química con hidróxido de calcio a la temperatura ambiente.

**3. CLASIFICACIÓN**

Los cementos se clasifican de acuerdo a su composición en las siguientes clases.

**3.1. CEMENTO PORTLAND**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker y yeso, con adición de otros materiales según se indica en subparrafo 2.2.

En el campo de la construcción se fabrican y se usan extensamente ocho tipos de cementos portland (*ver tabla CEM5*) cada tipo tiene características definidas que lo convierten en el cemento preferido para un conjunto específico de condiciones de obra, como sigue:

- Tipo I, Normal: para uso general
- Tipo IA: Cemento portland Normal de Tipo I con materiales atrapadores de aire molidos en forma integral con la escoria durante la manufactura.
- Tipo II, Moderado: para usos en los que se requiera fraguado lento y menos calor, y particularmente en estructuras sólidas de concreto tales como muros de retención grandes, pilares y apoyos, en las que el calor excesivo podría producir agrietamientos.
- Tipo IIA: cemento portland de Tipo II moderado con materiales atrapadores de aire entremezclados con la escoria durante su manufactura.
- Tipo III. Alta resistencia prematura: para aplicaciones en las que son importantes el fraguado rápido y la alta resistencia prematura y en las que debe producirse má calor para eliminar las temperaturas bajas.



- Tipo IIIA: cemento portland del Tipo III de alta resistencia prematura con materiales atrapadores de aire entremezclados y molidos con la escoria durante su manufactura.
- Tipo IV, Bajo calor: para usos en los que se desea fraguado muy lento y en los que debe generarse muy poco calor. Este cemento se usa en particular en concreto masivo en las que debe evitarse el agrietamiento debido al calor.
- Tipo V, Resistente a los sulfatos: para usos en los que haya contactos del concreto con aguas y suelos alcalinos que ataquen a otros tipos de cementos portland.

Los cementos portland de los tipos IA, IIA y IIIA corresponden, en cuanto a composición, a los tipos I, II y III, pero producen concreto de mejor resistencia a la acción de congelación y descongelación, así como la formación de escamas ocasionadas por las sustancias químicas que se aplican para remover la nieve y el hielo.

El concreto producido también es más plástico, fluido, fácil para trabajarlo. Los materiales atrapadores de aire hacen que se forme en el seno del concreto diminutas burbujas de aire bien distribuidas y completamente separadas.

Como puede verse en la tabla *CEM5*, las variaciones entre los diversos tipos de cementos portland son el resultado de las diferencias de composición de sus compuestos. El de Tipo III es de alto contenido de silicato tricálcico; el tipo IV es de alto contenido de silicato dicálcico y aluminoferrita tetracálcica ( $C_4AF$ ); y el tipo V es de alto contenido en silicatos dicálcicos y tricálcicos y bajo en  $C_3A$  y  $C_4AF$ .

**Tabla CEM5 Tipos de cemento Pórtland <sup>1</sup>**

Tipo	Nombre	Límites	Composición de los compuestos (por ciento)							
			$C_2S$	$C_3S$	$C_3A$	$C_4AF$	Sulfato de calcio ( $CaSO_4$ )	Óxido de calcio (cal) en forma libre ( $CaO$ )	Óxido de magnesio (mgO)	Finura <sub>2</sub> ( $cm^2/g$ )
I, IA	Portland normal; con materiales atrapadores de aire agregados durante la manufactura	Máximo	43	54	14	10	3.3	1.5	3.8	
		Mínimo	22	29	9	6	2.2	0.0	0.7	1800
		Típico	24	50	11	8	2.8	0.8	2.4	
II, IIA	Portland moderado; con materiales atrapadores de aire	Máximo	46	50	9	18	3.3	1.8	4.4	
		Mínimo	22	29	3	10	1.9	0.1	1.5	1.800
		Típico	33	42	3	13	2.9	0.6	3.0	
III, IIIA	Portland de alta resistencia prematura; con materiales atrapadores de aire, agregados durante la manufactura	Máximo	38	70	17	10	4.6	4.2	4.8	
		Mínimo	0	34	7	6	2.2	0.1	1.0	2600
		Típico	13	60	9	8	3.9	1.3	2.6	
IV	Portland de bajo calor	Máximo	61	33	8	18	4.0	0.3	4.1	
		Mínimo	41	10	3	16	2.5	0.0	1.0	1900
		Típico	50	26	5	12	3.2	0.3	2.7	
V	Portland resistente a los sulfatos	Máximo	49	55	6	9	3.1	0.6	2.3	
		Mínimo	27	35	4	5	2.7	0.1	0.7	1900
		Típico	40	40	4	9	2.9	0.4	1.6	

**Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases**

<sup>1</sup> Ver otros cementos portland

<sup>2</sup> Prueba turbímetro de Wagner

### 3.2. OTROS CEMENTOS PORTLAND

- *El cemento portland blanco.* Se fabrica con materias primas seleccionadas y contiene cantidades ínfimas de óxido de hierro y manganeso. Diversas aplicaciones en las que se requiera concreto de color
- *Cemento portland blanco a prueba de agua.* Se fabrica agregando una pequeña cantidad de calcio, aluminio u otro estearato a la escoria de cemento portland durante la molienda final. Se venden en colores blanco o gris.
- *El cemento portland puzolánico.* Se fabrica moliendo en forma integral escoria de cemento portland con una puzolana, o bien, mezclando cemento portland o cemento portland de escoria de alto horno con una puzolana<sup>3</sup>. Hay cuatro tipos de cementos portland puzolanicos: Los Tipos IP, IP-A, P y PA. Se emplea principalmente para estructuras hidráulicas.
- *El cemento portland de escoria de alto horno.* Se muele n forma integral, o se mezcla con el cemento portland escoria granulada de alto horno de calidad selecta. Hay dos tipos: el tipo IS y el Tipo IS-A. Si se requiere con calor de hidratación moderado, puede agregarse el sufijo (MH) y el tipo se indica con las letras IS(MH) o IS-A(MH). Si requiere resistencia al sulfato puede agregarse el sufijo (MS).

### 3.3. CEMENTO SIDERÚRGICO

#### 3.3.1. Cemento Pórtland siderúrgico.

Es el cemento en cuya composición entrara escoria básica granulada de alto horno en una proporción no superior al 30% en peso del producto terminado (descrito en el subpárrafo 3.1.1.).

#### 3.3.2. Cemento siderúrgico

Es el cemento en cuya composición entrara escoria básica granulada de alto horno en una proporción comprendida entre el 30% y el 75% del producto terminado.

### 3.4. CEMENTO CON AGREGADO TIPO A.

#### 3.4.1. Cemento Pórtland con agregado tipo A.

Es el cemento en cuya composición entrara agregado tipo A, en una proporción no superior a 30% en peso del producto terminado (descrito en el subpárrafo 3.1.1.).

#### 3.4.1 Cemento con agregado tipo A.

Es el cemento en cuya composición entrara agregado tipo A en una proporción comprendida entre el 30% y 50% en peso del producto terminado.

---

<sup>3</sup> La puzolana es un material silicoso que reacciona con la cal en presencia de agua.

### **3.5. CEMENTO PUZOLÁNICO**

#### **3.5.1. Cemento Pórtland puzolánico.**

Es el cemento en cuya composición entrará puzolana en una proporción no superior a 30% en peso del producto terminado (descrito en el subpárrafo 3.1.1.).

#### **3.5.2. Cemento puzolánico.**

Es el cemento en cuya composición entrará puzolana en una proporción comprendida entre el 30% y 50% en peso del producto terminado.

### **3.6. CEMENTO CON FINES ESPECIALES.**

Es el cemento en cuya composición entran los productos que se emplean normalmente en la fabricación de cementos, cuyos requisitos y propiedades se establecen por acuerdo previo entre productor y consumidor para cumplir determinados fines.

## **4. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA RESISTENCIA**

Los cementos de cada una de las clases indicadas en los subtítulos 3.1 a 3.4 se clasifican además de acuerdo con su resistencia, en dos grados: 1) Cemento corriente y 2) Cemento de alta resistencia.

### **4.1. CLASIFICACIÓN NORMA BOLIVIANA**

La norma Boliviana basándose en los criterios descritos anteriormente y de acuerdo a la fabricación en la zona de Bolivia clasifica y normaliza sus composiciones de los mismos (ver tabla CEM6).

Sin embargo es importante notar que no existe el denominativo A por que no se tiene en cuenta el atrapador de aire o adiciones.

## **5. PROPIEDADES DEL CEMENTO**

El cemento debe ser controlado rigurosamente por varios ensayos, requisitos establecidos y definidos por los diversos institutos de normalización de cada país, emitiendo especificaciones acordes con su realidad, peor en general podemos clasificar estos requisitos o propiedades del cemento en químicas y físicas y esta descrita comose observa en la tabla CEM 7.

**Tabla CEM6 Clasificación y composición de los cementos**

Tipos de cemento			Proporción en masa % <sup>4</sup>			
			Componentes principales			Componentes adicionales <sup>5, 6</sup>
Denominación	Designación	Tipo	Clinker	Puzolana Natural	Filler Calizo(3)	
Cemento Pórtland	Cemento Pórtland	I	95 a 100	-	-	0 a 5
	Cemento Pórtland con puzolana	IP	70 a 94	6 a 30	-	0 a 5
	Cemento Pórtland con filler calizo	IF	80 a 94	-	6 a 15	0 a 5
Cemento Puzolanico		P	≥60	≤40	-	0 a 5

*Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases***Tabla CEM7 Propiedades del cemento**

Propiedades químicas	Propiedades físicas – mecánicas
Pérdida por calcinación	Finura de molido
Residuo insoluble	Principio y fin de fraguado
Contenido en sulfatos	Estabilidad de volumen
Contenido en cloruros	Resistencias mecánicas
Puzolanicidad	Color de hidratación
Composición potencial del clinker	Blancura
otras	

*Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases*

### 5.1. PROPIEDADES QUÍMICAS

- **Pérdida por calcinación.** Se realiza para controlar las adiciones, esto si se superan los valores que se especifican en la siguiente tabla significativa que se han añadido cantidades superiores a las permitidas.
- **Sulfatos.** Un exceso sobre los límites marcados puede producir la destrucción de los morteros y hormigones fabricados con ese cemento a consecuencia de la expansividad. (Reacción sulfato-aluminato).
- **Cloruros.** Una cantidad superior a la indicada puede generar corrosión en las armaduras.

<sup>4</sup> En estos valores se excluyen : el regulador de fraguado y los aditivos<sup>5</sup> Los componentes adicionales pueden ser uno o dos entre puzolana y filler calizo, a menos que sean componentes principales.<sup>6</sup> La caliza a utilizarse como filler calizo o como componente adicional deberá cumplir el requisito de un mínimo de 85% de carbonato de calcio

- **Puzolanicidad.** Se controla que las puzolanas sean activas, esto es, que reaccione con la cal del cemento

La norma Bolivia NB 011 plantea la siguiente composición química (*Tabla CEM 6 y 8*), para los cementos utilizados en Bolivia como correspondencia se tiene la Norma Española UNE y hace las siguientes exigencias químicas para cementos comunes (*tabla CEM 9*).

**Tabla CEM 8 Especificaciones químicas para los cementos según la NB**

Características Químicas (NB 061)	Tipos de cemento <sup>7</sup>			
	I	IP	IF	P
<b>Perdida Por calcinación (% máx.)</b>	5	7	7	8
<b>Residuo Insoluble (% máx.)</b>	3	-	5	-
<b>Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) (% máx.)</b>	3,5	4	4	4
<b>Oxido de magnesio (MgO) (% máx.)</b>	6	6	6	6
<b>Puzolanicidad 8 o 15 días</b>	-	-	-	positiva

**Fuente: NB 011**

**Tabla CEM 9 Exigencias químicas para los cementos según la UNE**

Propiedades	Ensayo de referencia	Tipo de cemento	Clase de resistencia	Exigencias
<b>Pérdida por calcinación</b>	EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	< 5,0 %
<b>Residuo insoluble</b>	EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	< 5,0%
<b>Sulfato (SO<sub>3</sub>)</b>	EN 196-2	CEM I CEM II CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	<3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	< 4,0 %
		CEM III	Todas	
<b>Cloruros</b>	UNE 80217/91 UNE 196-21/89	Todas	Todas	< 0,10 %
<b>Puzolanicidad</b>	EN 196-5	CEM IV	Todas	Cumplir con el ensayo
Las exigencias se dan en porcentajes en masa del cemento final. Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio El cemento tipo CEM III/B-T puede contener hasta el 4,5 % de SO <sub>3</sub> para todas las clases de resistencia. El cemento tipo CEM III/C puede contener hasta el 4,5 % de so <sub>3</sub> El cemento tipo CEM III puede contener más de 0,10% de cloruros pero en tal caso, el contenido máximo se debe consignar en los envases y albaranes de entrega. Para aplicaciones de pretensado, el cemento se puede fabricar de acuerdo con valores más bajos. Si es así se debe reemplazar el valor de 0,10 % por este valor, el cual se debe consignar en las albaranes de entrega.				

<sup>7</sup> Especificados en la tabla CEM 6

## 5.2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

- **Finura de molido.** La finura de molido es muy importante debido a su influencia en las resistencias mecánicas, agua de amasado y retracción.
- **Fraguado.** Determinar el inicio de fraguado así como el fin del mismo, esta muy influenciada por la temperatura, finura, composición de fase y la adición de acelerantes o retardadores. Existiendo recomendaciones para el amasado y el tipo de hormigón a realizarse.
- **Estabilidad de volumen.** Este ensayo nos permite determinar la expansión y retracción, teniendo valores admisibles para todo tipo de cementos. Esta muy influenciada por la retracción hidráulica o de secado, retracción térmica y entumecimiento.
- **Mecánicas.** Usualmente es determinada las resistencias a la compresión y no muy común a la flexotracción, flexión, etc. las medidas de este ensayo es  $\text{N/mm}^2$  y Mpa. La NB determina la relación tiempo-resistencias a los 2,7,28,90 y 360 días. La NB clasifica en varios tipos de resistencias:

- |    |                        |                       |
|----|------------------------|-----------------------|
| a) | Resistencias bajas     | $22.5 \text{ N/mm}^2$ |
| b) | Resistencias medias    | $32.5 \text{ N/mm}^2$ |
| c) | Resistencias altas     | $42.5 \text{ N/mm}^2$ |
| d) | Resistencias muy altas | $52.5 \text{ N/mm}^2$ |

La NB clasifica de acuerdo a sus resistencias exigencias físico-mecánicas (*tabla CEM 10, 11 y 12*)

**Tabla CEM 10 Categorías de resistentes de los cementos según NB**

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión (MPa) (NB 470) <sup>8</sup>		
		Mínimas a 3 días	Mínimas a 7 días	Mínimas a 28 días
Alta	40	17	25	40
Media	30	--	17	30
Corriente	25	--	15	25

**Fuente: NB 011**

<sup>8</sup> El método alternativo de NB 644, provee resultados notoriamente más altos: por lo tanto, estas especificaciones de resistencia no son adecuadas para su control de calidad.

**Tabla CEM 11 Especificaciones físicas para los cementos**

Categorías resistentes	Fraguado (NB 063)		Superficie específica Blaine (NB 472) (cm <sup>2</sup> / g)
	Inicial (minutos)	Final (horas)	
Alta, Media	>45	<10	>2 600
Corriente	>60	<12	>2 600

**Fuente: NB 063****Tabla CEM 12 Especificaciones físicas para los cementos**

Tipos	Expansión	
	Autoclave % máximo (NB 471)	Le chatelier Mm máximo (NB643)
I, IP	0.80	10
IF, P	1.00	10

**Fuente: NB 643****Tabla CEM 13 Relación del tipo de cemento y la resistencia característica del tipo de hormigón según UNE <sup>9</sup>**

Morteros	32,5 N	CEMIIB/CEMIIB/CEMIVB/CEMV
Hormigón entre < 20 N/mm <sup>2</sup>	32,5R / 42,5N	CEMIIB/CEMIIB/CEMIVB/CEMV
Hormigón entre 20 y 35 N/mm <sup>2</sup>	42,5 N/ 42,5R	CEMI/CEMIIA/CEMIIB/CEMIVA
Hormigón de mas de 35 N / mm <sup>2</sup>	52,5 N	CEM I / CEM IIA
‘‘	52,5 R	CEM I

**Fuente: Gustavo Cano – UNE**

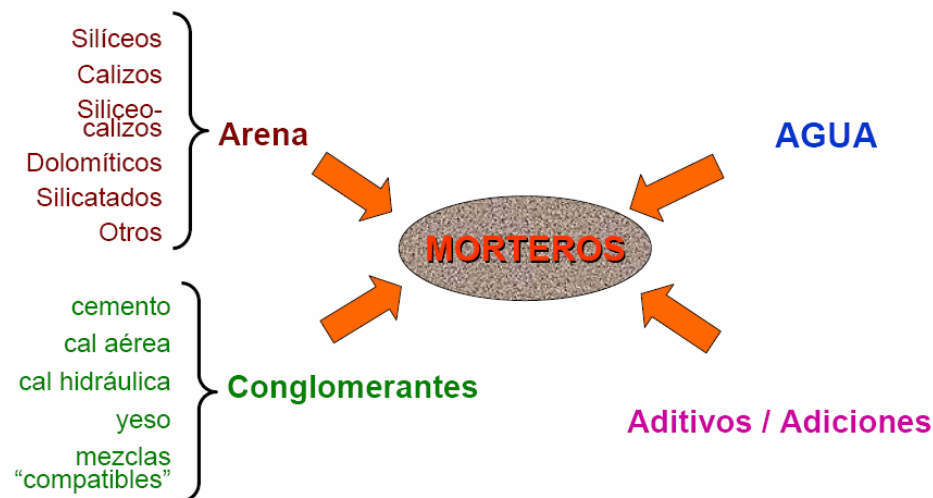
<sup>9</sup> La resistencia de los hormigones y morteros, es función además de la categoría del cemento, de la calidad de los áridos, de la relación agua cemento, del empleo de aditivos y adiciones especiales como el humo de sílice.

## PRACTICA DE CAMPO N° 6

### “MORTEROS”

#### 1. INTRODUCCION

Un mortero es una mezcla plástica de materiales cementantes (cemento hidráulico, cal, cemento de albañilería, o una combinación de ellos) con agregado fino (arena), y agua. En ocasiones, se le adicionan aditivos (retenedores de humedad) y colorantes (pigmentos) con el propósito de añadirle manejabilidad y apariencia a la mezcla. El uso común del cemento Pórtland como el ingrediente cementante por excelencia en los morteros comenzó a mediados del siglo veinte y se ha mantenido hasta nuestros días. Sin embargo, en la actualidad es común que el agente cementante utilizado para elaborar los morteros sea una mezcla de cemento Pórtland con cal, o en ocasiones con cemento de mampostería (albañilería). El tema central de este capítulo es el mortero.; como un componente de la mampostería.



*Figura Mo 1 Materiales componentes de los Morteros – Fuente: Elaboración Propia*

#### 1.1. RESEÑA HISTÓRICA

Los primeros morteros fabricados por el hombre fueron de barro, se utilizaron principalmente como relleno de oquedades, o como un medio para proveer una superficie uniforme entre las unidades de mampostería; sus características dependían en gran medida de las condiciones de exposición y del espesor de sus juntas. Los pueblos egipcios utilizaron mezclas de morteros a base de yeso calcinado y arena, un par de siglos después, los griegos y los romanos emplearon toda una variedad de mezclas de materiales como morteros; yeso calcinado, ceniza volcánica y arena, y fue durante la construcción del Coliseo Romano que se utilizó por primera vez un mortero que incluía en su mezcla un cementante puzolánico.



## 2. COMPONENTES DE UN MORTERO

**2.1. Aglomerantes.-** Los aglomerantes tienen un carácter cementante, entre los más conocidos tenemos; Cemento, cal y yeso.

- a) **Cemento.-** Contribuye a la resistencia y durabilidad. Se puede elegir entre Pórtland ordinario, puzolánico, de escoria, resistente a sulfatos, de baja reactividad álcali, de bajo calor de hidratación, blanco, o el llamado de mampostería, entre otros. Cabe señalar que el cemento Pórtland por sí solo contribuye a lograr la resistencia del mortero a edades tempranas, lo cual es un factor importante, ya que permite ir avanzando en la construcción, sin embargo, el mortero que se logra es poco manejable ya que casi no retiene agua, por lo que es común que se le adicione cal y algún aditivo.
- b) **Yeso y Cal.-** También posee características cementantes, sin embargo, su presencia en la mezcla se debe a que mejora la manejabilidad del mortero, así como su plasticidad y su adherencia, ya que aumenta la capacidad del mortero para retener agua, lo que reduce su contracción, permitiéndole lograr que sus juntas sean impermeables.

• Cales	s/UNE – ENV 459-1 CL90> CL80>CL70 y HL / NHL
• Cementos	s/RC-03, UNE 2002 y NBE – FL90
<b>Cementos no recomendables</b>	<div>CEM I 42,5 Y 52,5</div> <div>BL I 42,5 Y 52,5</div> <div>CEM II/A-X 42,5 Y 52,5</div> <div>CEM III/A 42,5</div> <div>CEM IV/A 42,5</div>
<b>Con precauciones</b>	<div>CEM III/A 32,5 y CEM V/A 32,5</div>
<b>Recomendables</b>	<div>CEM II/A-X/B-X 32,5</div> <div>BL II/A,B-L,LL 32,5</div> <div>BL22,5 X</div> <div>CEM IV/A,B 32,5</div> <div>CNR-L, MC 5-12,5-22,5</div>
<b>Morteros refractarios</b>	<div>CAC/R</div>

**Figura Mo 2 Aglomerantes recomendados para morteros**

**2.2. Agua.-** Es un factor del cual depende el grado de manejabilidad del mortero, es indispensable para que tenga lugar la reacción química del agente cementante con el resto de los componentes. El agua que se utilice en la mezcla, debe estar libre de impurezas, y no debe manifestar reacciones químicas desfavorables con el resto de los componentes del mortero o la mampostería, su contenido en la mezcla depende del resto de los componentes, además se debe considerar un porcentaje por las pérdidas por

evaporación y absorción, de manera de poder evitar que disminuya rápidamente la manejabilidad del mortero.

**Tabla Mo 1 Requisitos del agua para mortero, en diferentes normas**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>NBE-FL90 (morteros fábrica)</b></li> <li>➤ Acidez: <math>5 &lt; \text{pH} &lt; 8</math></li> <li>➤ Contenido en sustancias disueltas <math>&lt; 15 \text{ g/l}</math></li> <li>➤ Contenido en sulfatos (<math>\text{SO}_4^{2-}</math>) <math>&lt; 1 \text{ g/l}</math></li> <li>➤ Contenido en cloruros (<math>\text{Cl}^-</math>) <math>&lt; 6 \text{ g/l}</math></li> <li>➤ Contenido en aceites y grasas <math>&lt; 15 \text{ g/l}</math></li> <li>➤ Contenido en hidratos de carbono: no apreciable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>EHE-98 (hormigón)</b></li> <li>➤ Exponente de hidrógeno <math>\text{pH} \geq 5</math></li> <li>➤ Sustancias disueltas <math>\leq 15 \text{ g/l}</math></li> <li>➤ Sulfatos, expresados en <math>\text{SO}_4^{2-}</math>, (excepto para el CEM SR en que se eleva este límite a <math>5 \text{ g/l}</math>) <math>\leq 1 \text{ g/l}</math></li> <li>➤ Ión cloruro, <math>\text{Cl}^-</math>: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Hormigón pretensado <math>\leq 1 \text{ g/l}</math></li> <li>o Hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración <math>\leq 3 \text{ g/l}</math></li> </ul> </li> <li>➤ Hidratos de carbono = 0</li> <li>➤ Sustancias orgánicas solubles en éter <math>\leq 15 \text{ g/l}</math></li> </ul>
--	---

**Fuente: NBE-FL90**

- 2.3. Agregado fino; Arena.-** De origen natural o procesado mecánicamente, libre de materia orgánica, contaminantes, y bien graduada, son algunos de los requisitos que debe cumplir la arena que se utilice en la mezcla, ya que esto permite lograr un mortero manejable, adherente y resistente. Su principal contribución en la mezcla es brindar de consistencia al mortero, tal que éste sea capaz de mantener el espesor de su junta pese a estar soportando el peso de las unidades de mampostería de cada una de las hiladas subsecuentes, es decir ser el esqueleto, su función secundaria es la de abaratar costos, disminuir la retracción, dotar de color y textura.

**Tabla Mo 2 Requisitos granulométricos para la arena de los morteros**

Tamiz Luz de malla mm	Arenas para morteros de			
	Muros resistentes de fábrica de ladrillo (FL-90) Pasa %	Revocos (NTE – RPR) Contenido % Fino Medio Grueso		Enfoscados (NTE-RPE) Pasa %
5,0	100			
3,0				
2,5	80±20			100
2,0				
1,5	65±35			
1,25		90 %	90 %	65±35
1,0				
0,63	42,5±27,5			42,5±27,5
0,5		10 %	10 %	
0,32	27,5±22,5			27,5±22,5
0,2				
0,16	15±15			15±15
0,1				
0,08	≤ 15			7,5±7,5

Otros requisitos para la arena de los morteros según la NBE-FL90 son:

- Forma de los granos (redondeada, angulosa, acicular y lajosa)
- Materiales perjudiciales (<2% excepto arcillas < 5% y ( alta plasticidad y la relación agua-cemento)
- Materia orgánica (<3% (retraso del fraguado)
- Contenido de finos (alta plasticidad)

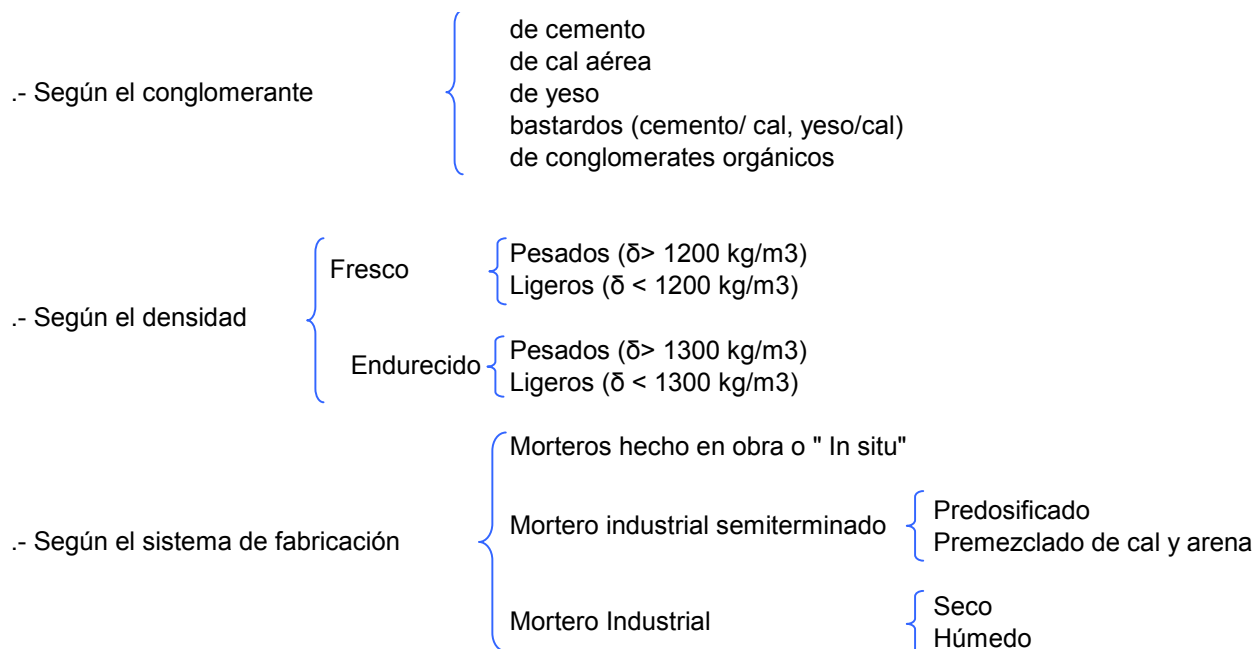
**2.4. Aditivos.-** Siempre que se adicionen aditivos a la mezcla se deberá de procurar que éstos desempeñen su función sin alterar de manera desfavorable alguna de las otras propiedades y características del mortero, así tampoco, propicien la corrosión del acero de refuerzo. Las razones por las que se incluyen aditivos en la mezcla pueden ser muy variadas; en ocasiones solamente se adicionan con el propósito de facilitar la mezcla rápida de los ingredientes, aunque por lo general se adicionan para mejorar la manejabilidad, la adherencia, la resistencia y la durabilidad del mortero. Los aditivos .retenedores de humedad. cumplen la función de reducir los efectos que genera la absorción de humedad por parte de las unidades de mampostería en las vecindades de las juntas de mortero, ya que una absorción excesiva contribuye a disminuir la resistencia mecánica del ensamble. La inclusión de aire a la mezcla en proporciones controladas mejora la durabilidad del mortero, sobre todo cuando está sometido a ciclos de hielo y deshielo.

Modificadores de la reologia en estado fresco	{ Plastificantes Fluidificantes Superfluidificantes
Modificadores de tiempo de fraguado y endurecimiento	{ Aceleradores Retardadores
Modificadores del contenido de aire	{ Aireantes Generadores de aire Generadores de espuma Desaireantes y antiespumantes
Mejoradores de la resistencia a las acciones físicas	{ Anticongelantes Hidrofugos
Otro aditivos: Colorantes, generadores de expansión, resinas, etc	

**2.5. Colorantes.-** En general nos referimos a pigmentos de óxido de hierro, los cuales se utilizan con el propósito de añadirle color al mortero, que al combinarse con los colores del cemento y de las unidades, brinda a las construcciones de mampostería acabados arquitectónicos de gran belleza. Por lo regular se adicionan en polvo, como un % del peso del cemento (10% como máximo). La selección del tipo de mortero así como su dosificación debe ser la mínima indispensable para lograr el color deseado, mientras que su preparación debe ser aquella que permita obtener un color constante durante toda la obra.

### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS

Los morteros de construcción se clasifican de acuerdo al tipo conglomerante, por la masa volumétrica (densidad) y por sistema de fabricación.



En general los morteros también pueden ser clasificados en función del ingrediente cementante principal que esta en la mezcla.

#### 3.1. 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.

#### 3.2. MORTEROS A BASE DE CAL

Este tipo de morteros poseen bajos valores de resistencia, por lo que su uso está limitado solamente a elementos no estructurales, son de fraguado lento y muy manejables, ya que la cal facilita la retención del agua de la mezcla.

#### 3.3. MORTEROS A BASE 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.

### **3.4. MORTEROS A BASE DE CEMENTO DE MAMPOSTERÍA**

Este tipo de morteros se caracterizan por su manejabilidad, están compuestos de cemento, cal, y plastificantes. La inclusión de burbujas de aire le permite ser más durable cuando está sometido a ciclos de hielo y deshielo. Este tipo de mortero está dentro de la categoría de los premezclados, y siempre debe emplearse en combinación con el cemento hidráulico.

### **3.5. MORTERO PARA PEGAR**

Su función principal consiste en mantener unidas a las unidades de mampostería a través de la formación de un patrón de juntas verticales y horizontales en función de su adherencia. Deberá cumplir lo siguiente: su resistencia a la compresión debe ser al menos de 40 kg/cm<sup>2</sup>, la relación volumétrica entre la arena y la suma de sus cementantes se encontrará entre 2.25 y 3, donde el volumen de arena se mide en estado suelto, y siempre deberá contener cemento hidráulico en su mezcla, además que deberá de emplearse la mínima cantidad de agua que le permita manejarle.

### **3.6. MORTERO 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/cm<sup>2</sup> (en muros de 10 cm. de espesor se permite un mortero de relleno de 40 kg/cm<sup>2</sup>), 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.

## **4. ELABORACIÓN DE MORTEROS**

Ahora bien, no existe una combinación de ingredientes que permita lograr un mortero que reúna todas las propiedades deseables en un mortero, cabe señalar que el ingrediente principal para producir un buen mortero, siempre será la pericia del albañil, pero una de las propiedades que se debe procurar en un mortero es su adherencia, la cual depende de la compatibilidad del mortero con las unidades de mampostería, del contenido de cemento en la mezcla, de su capacidad para retener agua, de mantener al mínimo el contenido de aire, y sobre todo, de que tan absorbentes pueden ser las unidades de mampostería. No obstante, las propiedades mecánicas del conjunto .unidad de mampostería-mortero. es uno de los parámetros más importantes del cual dependen las propiedades mecánicas de los muros. Estas propiedades del conjunto pueden estimarse a partir del estudio de los materiales componentes (morteros, unidades de mampostería), o bien mediante el ensaye de pilas construidas con las unidades y morteros que se utilizarán en obra.

En este sentido, la selección del tipo de mortero depende de varios factores, como lo son: el tipo de construcción de mampostería, el tipo de unidad de mampostería, las condiciones ambientales, además de los requerimientos de los reglamentos de construcción y normas

industriales aplicables en cada caso. La norma IRAM de argentina hace una referencia en la dosificación.

#### 4.1. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE MORTEROS

- i. **Mezclado.-** Deberá de realizarse en un recipiente no absorbente, prefiriéndose un mezclado mecánico, está permitido mezclar los ingredientes sólidos hasta alcanzar un color homogéneo en la mezcla, pero ésta mezcla no podrá utilizarse en una plazo mayor a 24 h. El tiempo de mezclado una vez que se agrega el agua, no debe ser menor de 4 min, 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.
- ii. **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.
- iii. **Colocación.-** a) 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. b) 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 mm<sup>2</sup>, ni de 1.5 m cuando el área de la celda es mayor a 2500 mm<sup>2</sup>, 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. c) 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.

## **5. COMPARACIÓN DE LOS MORTEROS**

### **5.1. MORTEROS DE CAL**

- Fácil trabajabilidad y elevada plasticidad del mortero fresco +
- Capacidad de deformación relativamente alta (modulo de elasticidad bajo) +
- Elevada permeabilidad al vapor de agua +
- Ausencia de sales solubles y álcalis +
- Proceso de fraguado y endurecido lento +/-
- Resistencias mecánicas bajas +/-
- Elevada permeabilidad al agua líquida –
- Bajas resistencias a las heladas –

### **5.2. MORTEROS DE CEMENTO (RESTAURACIÓN)**

- Proceso de fraguado y endurecido rápido +
- Resistencias mecánicas altas +/-
- Mediana permeabilidad al agua líquida +/-
- Baja permeabilidad al vapor de agua –
- Alto contenido de sales solubles y álcalis –
- Capacidad de deformación relativamente baja (modulo de elasticidad alto) –
- Escasa trabajabilidad y plasticidad del mortero –
- Bajas resistencia a las heladas –

### **5.3. MORTEROS BASTARDOS DE CAL Y CEMENTO (RESTAURACIÓN)**

- Proceso de fraguado y endurecido rápido +
- Resistencias mecánicas medias-altas +
- Mediana permeabilidad al agua líquida +/-
- Mediana plasticidad y trabajabilidad del mortero +/-
- Capacidad de deformación media +/-
- Mediana permeabilidad al vapor de agua +/-
- Medio contenido de sales solubles y álcalis +/-

**6. PREGUNTAS DE CONTROL EN CAMPO**

- Cuando se utiliza por primera vez el mortero y de que tipo es
- Describa los componentes del mortero y las características conferidas.
- Desarrolle la clasificación de los morteros
- Desarrolle la dosificación de la clasificación para diferentes usos
- Desarrolle el proceso de fabricación de los morteros
- Especifique si se cumplen o no las recomendaciones generales para la elaboración de los morteros.



## **PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “MORTEROS”**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La fabricación de morteros ha experimentado cambios importantes, pasando de una fabricación artesana a una fabricación industrial, utilizando productos de calidad y procedimientos industriales que le permitan garantizar la producción de **morteros de calidad**.

Desafortunadamente, existe una marcada tendencia a dejar la seguridad de las construcciones de mampostería en manos de la comodidad del albañil; con el propósito de evitarlo, es indispensable especificar en los planos de construcción el tipo de cementantes, las características de los agregados, el procedimiento de mezclado y remezclado, el tipo, proporción, resistencia a la compresión y revenimiento de los morteros, además si se usan aditivos y colorantes, indicar su proporción.

### **2. TERMINOLOGÍA**

- i. MORTERO**  
Mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, y, en su caso, adiciones y aditivos.
- ii. MORTERO ORDINARIO.**  
Mortero para juntas de espesor mayor de 3 mm, y en cuya elaboración se utilizan sólo áridos ordinarios.
- iii. MORTERO DE JUNTA DELGADA**  
Mortero por dosificación para juntas de espesor entre 1 mm y 3 mm.
- iv. MORTERO LIGERO**  
Mortero por dosificación cuya densidad en desecado sea inferior a 1.500 kg/m<sup>3</sup>.
- v. MORTERO POR RESISTENCIA.**  
Mortero elaborado de modo que en los ensayos cumpla las propiedades establecidas.
- vi. MORTERO POR DOSIFICACIÓN**  
Mortero elaborado con una dosificación establecida, cuyas propiedades se suponen ligadas a ella.
- vii. MORTERO PREPARADO**  
Mortero dosificado y amasado en factoría, y servido en obra.
- viii. MORTERO SECO**  
Constituyentes secos del mortero con la dosificación y condiciones exigidas mezclados en factoría, que se amasan en obra.

**ix. MORTERO DE OBRA**

Cuyos componentes se dosifican y se amasan en obra.

**3. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO**

Resistencia media a compresión de probetas de mortero ensayadas tras 28 días de curado.

**4. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE LOS MORTEROS**

- i. Resistencias mecánicas
- ii. Adherencia
- iii. Retención del agua
- iv. Manejabilidad
- v. Durabilidad
- vi. Fluidez

**4.1. RESISTENCIAS MECÁNICAS**

Entre las resistencias mecánicas más comunes se tiene; Ensayo de flexión y compresión de los morteros (Nch. 158 of 67). En el apéndice 6 se puede detallar estos ensayos (dependiendo de la dosificación) sin embargo se hará una pequeña descripción de cada uno de estos ensayos.

- i. **Flexión.-** La probeta se apoyará en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina de flexión. La carga se aplicará a través del rodillo superior con una velocidad de carga de  $5 \pm 1$  kg/seg. Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservaran húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se someta al ensayo de compresión.
- ii. **Compresión.-** Cada trozo obtenido del ensayo a flexión se ensayará a la compresión, en una sección de 40 x 40 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión. La velocidad de carga será tal que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 kg/cm<sup>2</sup>/seg. Hasta la mitad de la carga de ruptura, la carga podrá aumentar a mayor velocidad, pero en todo caso la duración de cada ensayo será menor o igual en 10 segundos.
- iii. **Cálculos.-** La resistencia se expresará en kg/cm<sup>2</sup> y calculados para la flexión según  $0.234P$  ó  $0.250P$ , dependiendo de la distancia entre los apoyos según sea 100 mm ó 106,7 mm, siendo P, la carga total de ruptura expresada en kg. Las resistencias se determinan en 3 probetas como mínimo para cada edad para el ensayo de flexión y sus correspondientes 6 probetas para el ensayo de compresión. Se deben ensayar en cada fecha probetas de distintos moldes. La resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del mortero será la media aritmética de los resultados de todos los ensayos realizados en cada fecha.

#### **4.2. ADHERENCIA**

Se manifiesta mediante la unión mecánica que debe existir entre el mortero y la unidad de mampostería. El grado de adherencia de un mortero contribuye a incrementar la capacidad del sistema para soportar los esfuerzos de tensión y cortante que generan las cargas. La plasticidad, la manejabilidad y la capacidad de retener agua en un mortero influyen de manera importante en la adherencia final que tendrá el mortero con las superficies de las unidades de mampostería.

#### **4.3. RETENCIÓN DE AGUA**

Por lo general, el mortero se coloca entre unidades de mampostería que le absorben agua, tan pronto como el mortero tiene contacto con sus superficies, por lo tanto, se vuelve indispensable que el mortero conserve suficiente cantidad de agua que le permita la hidratación de sus cementantes y alcanzar así su resistencia especificada a pesar de la absorción natural que las unidades de mampostería ejercen sobre él.

#### **4.4. MANEJABILIDAD**

Es una combinación de varias propiedades, entre las que se incluye la plasticidad, la consistencia, la cohesión, y por supuesto la adhesión. La manejabilidad del mortero está directamente relacionada al contenido de agua en la mezcla, y es un factor esencial en el ensamble de los componentes de la mampostería, ya que además facilita el alineamiento vertical de las unidades de mampostería en cada una de las hiladas.

#### **4.5. DURABILIDAD**

Es una condición que debe cumplir el mortero, debe ser capaz de resistir la exposición al medio ambiente sin manifestar algún deterioro físico interno a edades tempranas. La durabilidad de un mortero contribuye a mantener la integridad de las estructuras de mampostería con el paso del tiempo, sobre todo en estructuras que están en contacto permanente con el suelo o la humedad y sometidos a ciclos de hielo y deshielo; donde el acoplamiento de las unidades de mampostería a través de las juntas de mortero adquiere una mayor relevancia.

El añadir aire a la mezcla incrementa la capacidad para resistir el efecto que provocan éstos ciclos en sus juntas, mientras que si se aumenta el contenido de agua, o bien, se emplean unidades demasiado absorbentes, se perjudica la durabilidad. La densidad y contenido de cemento en la mezcla influyen directamente en la durabilidad del mortero.

#### **4.6. FLUIDEZ**

En las construcciones de mampostería reforzada interiormente se requiere que el mortero o lechada que se coloca en el interior de las celdas de los muros o unidades de mampostería sea capaz de penetrar perfectamente en las cavidades donde se aloja el acero de refuerzo sin que se manifieste una segregación del mortero. El contenido de agua en la mezcla, así como la capacidad del mortero de retenerla son factores que influyen directamente en el

comportamiento posterior de la estructura, ya que las superficies de las unidades de mampostería tienden a absorber una cantidad importante del agua de la mezcla, desvirtuando el grado de adherencia del mortero.

## **5. REQUISITOS DE LOS MORTEROS**

Los morteros para albañilería de acuerdo con las diversas versiones de los prEN 998-2 y la Norma Española UNE 83.800, se definen, clasifican e identifican, especificando sus propiedades, bien en estado fresco o en estado endurecido, según se indica en los apartados siguientes.

### **5.1. COMPONENTES DE LOS MORTEROS SEGÚN UNE**

Los componentes de los morteros deben cumplir con las especificaciones que figuran o figuren en las normas correspondientes. En el caso de que no existan dichas especificaciones deben cumplir con las de las normas nacionales o con las de las disposiciones nacionales en vigor.

**i. Conglomerantes inorgánicos** (uno o varios, siempre que sean compatibles entre ellos):

- cementos: comunes (CEM),
- blancos (BL), resistentes a los sulfatos (SR) y al agua de mar (MR);
- cementos para albañilería (MC);
- cales: aéreas (L) e hidráulicas (HL);
- yesos, para los morteros de revoco y enlucido.

**ii. Aditivos** (uno o varios, siempre que sean compatibles entre ellos):

- reductores de agua/plastificantes;
- reductores de agua de alta actividad/superplastificantes;
- retardadores de fraguado;
- inclusores de aire;
- reductores de permeabilidad;
- retenedores de agua;
- etc.

**iii. Adiciones** (una o varias):

- filleres calizos;
- materiales puzolánicos (naturales y artificiales);
- escorias siderúrgicas;
- humo de sílice;
- etc.

**iv. Áridos** (uno o varios):

- naturales;
- artificiales y reciclados.

**v. Fibras** (acero, polipropileno, etc.).**vi. Agua.****5.2. EN ESTADO FRESCO****5.2.1. Densidad aparente**

La densidad del mortero está directamente relacionada con la de sus materiales componentes, así como su contenido en aire. La densidad aparente de un mortero fresco se expresa en  $\text{kg/m}^3$  y permite clasificar a los morteros frescos dentro de dos grupos:

- Morteros pesados ( $d > 1200 \text{ kg/m}^3$ ). Son los morteros tradicionales de cemento, cal o bastardas.
- Morteros ligeros ( $d < 1200 \text{ kg/m}^3$ ). Son los morteros obtenidos mediante la adición de aditivos aireantes, áridos ligeros (perlita, arlita) o ambas acciones.

La disminución de la  $d_a$  de un mortero permite la obtención de materiales más ligeros y de mayor facilidad de manejo.

**5.2.2. Tiempo de utilización**

El tiempo de utilización, se define como el tiempo durante el cual un mortero tiene la suficiente trabajabilidad para utilizarlo sin adición posterior de agua, con el fin de contrarrestar los efectos de endurecimiento producido por el principio de fraguado- se determina por medio del procedimiento operatorio que figura en la Norma Europea UNE-EN 1015-9.

**5.2.3. Consistencia**

La consistencia de los morteros frescos hechos con conglomerantes minerales y áridos normales y ligeros, se determina por medio de la mesa de sacudidas, cuyo procedimiento operatorio es objeto de la Norma Europea UNE-EN 1015-3. La consistencia se expresa por el escurrimiento experimentado (valor medio del diámetro) por la probeta de mortero ensayada, en mm. Los morteros en estado fresco se clasifican y denominan en función de la consistencia (escurrimiento) como se indica en la tabla Mo 3, en la que -a efectos de esta Instrucción- se ha incluido en la columna tercera la designación abreviada.

**Tabla Mo 3 Clasificación y denominación en función del escurrimiento (mesa de sacudidas)**

Mortero Fresco	Consistencia, Ecurrimiento, Mm	Designación
Seco	<140	S
Plástico	140 a 200	P
Fluido	>200	F

**Fuente: UNE-EN 1015-6**

Para realizar los ensayos cuya finalidad sea la determinación de ciertas propiedades de los morteros, y no se haya especificado la consistencia, se debe utilizar el nivel definido para los diversos tipos de mortero en función de la densidad aparente del mortero fresco (tabla Mo 2).

La consistencia no está directamente asociada con la forma en que el albañil manipula el mortero fresco, pero si la unimos al contenido de finos de la mezcla (procedentes de la cal, del árido o que se adicionan), y al empleo d aditivos inclusores de aire o plastificantes, va a incidir de lleno en la plasticidad del mortero, y esta su vez, en su trabajabilidad (figura Mo 2)

**Figura Mo 3 Factores que influyen en la trabajabilidad de un mortero****Fuente: Elaboración Propia**

Se puede considerar la trabajabilidad como la principal característica del mortero fresco, relacionada con la facilidad con la cual el albañil lo manipula, por ésto, un buen mortero debe ser trabajable, es decir, debe ser fácil de extender y colocar sin que gotee ni se “agarre” a la paleta.

Un mortero será tanto más trabajable cuanto más plástico sea, y los morteros de cal siempre han sido valorados por su gran plasticidad, que se debe a la cal. Por esta razón, una de las recomendaciones que hace la norma española NBE-FL90 para aumentar la plasticidad del mortero de cemento es la adición de cal.

#### **5.2.4. Tiempo de fraguado**

El tiempo de fraguado se determina por medio del procedimiento operatorio que figura en la Norma Europea UNE-EN 480-2

**Tabla Mo 4 Nivel definido de consistencia de diversos tipos de mortero en función de la densidad aparente**

<b>Mortero Fresco Densidad aparente Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Consistencia Escurecimiento mm</b>
>1200	175 +- 10
>600 a <1200	160 +- 10
>300 a <600	140 +- 10
<300	120 +- 10

**Fuente: UNE-EN 1.015-2**

### **5.2.5. Contenido en iones cloruro solubles en agua**

La determinación del contenido en iones cloruro solubles en agua se realiza de acuerdo con el procedimiento operatorio que figura en la Norma Europea-UNE-EN 1015-17 o mediante cálculo a partir del contenido experimental de dichos iones solubles en agua en los diversos componentes utilizados en la fabricación del mortero.

**NOTA:**

Los iones cloruro, procedentes de sales solubles en agua, pueden influir en la corrosión de las armaduras, por lo que es necesario especificar el contenido de dichos iones en aquellos morteros que vayan a tener armaduras.

### **5.2.6. Capacidad de retención de agua**

La capacidad de retención de agua se determina por medio del procedimiento operatorio que figura en el proyecto de Norma Europea pr EN 1015-13.

**NOTA:**

La retención de agua influye en el grado de hidratación de los conglomerantes y por consiguiente en la velocidad de endurecimiento de los morteros y en las resistencias mecánicas finales.

### **5.2.7. Adherencia (en estado fresco)**

La adherencia se considera tanto en el mortero fresco como el endurecido. La primera es la resistencia a la separación o al desplazamiento entre las superficies de contacto del mortero fresco y la del soporte definido, y consiste en la capacidad del mortero para absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interfase mortero-base. Se refiere, por tanto, a la resistencia a la separación del mortero sobre su soporte.

La adherencia del mortero fresco es debida a las propiedades reológicas de la pasta del conglomerante, donde la tensión superficial de la masa del mortero fresco es el factor clave para desarrollar este tipo de característica. La adherencia, antes de que el mortero endurezca, se incrementa cuanto mayor es la proporción del conglomerante o la cantidad de finos arcillosos.

Sin embargo, el exceso de estos componentes puede perjudicar otras propiedades. La cal ha sido tradicionalmente el conglomerante que ha proporcionado mejores resultados de adherencia, de ahí que se haya utilizado para aumentar esta propiedad en los morteros de cemento. La razón de esto último la encontraremos en las finas placas o láminas de la cal hidratada, que penetran fácilmente por los finos poros del ladrillo o de los distintos materiales que formen el soporte, fortaleciendo el agarre del mortero, además estas partículas evitan las burbujas de aire<sup>1</sup>, que perjudican la buena unión entre el mortero y el soporte.

#### **5.2.8. Contenido en aire**

El contenido en aire en los morteros en estado fresco se determina por medio del procedimiento operatorio que figura en la Norma Europea UNE-EN 1015-7. En los morteros que contengan áridos porosos el contenido en aire se puede determinar, como método alternativo, a partir de la densidad aparente del mortero en estado fresco (UNE-EN 1015-6).

### **5.3. EN ESTADO ENDURECIDO**

#### **5.3.1. Adherencia (en estado endurecido)**

Si tenemos en cuenta los dos estados básicos de agregación que presentan los morteros, cabe distinguir entre dos tipos tal y como se ha explicado anteriormente; la adherencia en fresco y la del mortero endurecido (adherencia en fresco y adherencia, de aquí en adelante para diferenciarlas).

La definición más sencilla e intuitiva de adherencia, es la que considera a ésta como una propiedad que poseen los morteros para unirse a los materiales con los cuales están en contacto (ladrillo, piedra, hormigón, etc.).

Esta propiedad se determina por un ensayo de arrancamiento directo perpendicular a la superficie del mortero.

La adherencia depende principalmente del tipo de mortero, de la clase de soporte y de la mano de obra en la ejecución, aunque son también factores a considerar las condiciones de curado, el grado de humidificación del soporte, la edad, etc. Dentro del tipo de mortero y en relación con el empleo de cal, hemos de citar que está demostrado que los morteros bastardos presentan respecto a los correspondientes a base de cemento (a igualdad de otras condiciones) unos valores superiores de adherencia (Cabrera, 1995).

Existen dos tipos de adherencia: química, basada en los enlaces, y física-mecánica, fundamentada en el anclaje mecánico entre las piezas. La adherencia de tipo físico-mecánico está fundamentada en la trabazón entre sólidos.

El mortero se aplica en estado plástico sobre la superficie del soporte. Ésta debe ofrecer suficiente posibilidad de anclaje-porosidad-, para que el cemento disperso y disuelto del mortero penetre en los poros del soporte. Después, al irse formando las agujas de cemento hidratado e ir

---

<sup>1</sup> Las burbujas de aire, con tamaños aproximados de 100, y los granos de cemento con tamaños aproximados de 40  $\mu\text{m}$ , penetran con mayor dificultad al ser más gruesas que las de cal (0.08  $\mu\text{m}$ ) en los poros del soporte.



completándose el proceso de fraguado, se crean nuevos puntos de anclaje entre el mortero y la pieza que se une. Por tanto, al aplicar un mortero sobre un soporte, bien para la realización de una fábrica, bien para la formación de un revestimiento es imprescindible que el mortero ancle en la superficie que lo recibe. No son efectivas resistencias elevadas en el mortero si no se produce este efecto. Los soportes muy absorbentes sustraen el agua del mortero y no permiten la hidratación del cemento en la superficie que los une. Por el contrario los soportes totalmente impermeables impiden la formación del suficiente agarre entre ambos materiales.

La adherencia química se fundamenta en la formación de enlaces químicos localizados en la superficie de contacto entre el mortero y el soporte. Este tipo de adherencia en los morteros cola está causada por el empleo de aditivos de resinas poliméricas. En estos casos resulta en combinación con la adherencia mecánica o adhesión.

### 5.3.2. Resistencias mecánicas a compresión

Las resistencias mecánicas a compresión del mortero para albañilería se determinan a 28 días sobre tres probetas prismáticas de (40 x 40 x 160) mm, confeccionadas y curadas-conservadas de acuerdo con el procedimiento operatorio que figura en la Norma-Europea UNE-EN 1015-11, en donde se tienen en cuenta el conglomerante o conglomerantes utilizados para su fabricación, así como las condiciones de curado-conservación (tabla Mo 5).

**Tabla Mo 5 Morteros para albañilería. Condiciones de curado-conservación de las probetas de mortero**

Tipo de mortero	Duración de la conservación a 20°C ± 2°, en días		
	Humedad relativa		
	95% ± 5% o en una bolsa de polietileno cerrada		65% ± 5%
	En el molde	Fuera del molde	Fuera del molde
Morteros de Cal aérea	5	2	21
Morteros de cal aérea/cemento. a masa de Cemento es < del 50% de la masa total del conglomerante	5	2	21
Morteros de Cemento y de cal aérea/cemento. La masa de cal aérea es < del 50% de la masa total del conglomerante	2	5	21
Morteros con otros conglomerantes hidráulicos	2	5	21
<b>Nota importante:</b> En morteros retardados puede resultar necesario tener que ampliar el tiempo de curado- conservación de las probetas en el molde, en cuyo caso se seguirán las instrucciones facilitadas por el fabricante que se reflejarán en el informe del ensayo. El tiempo de curado- conservación a (20±2)°C y (65±5)% de H.R. será de 21 días no debiendo superar el tiempo de curado-conservación el total de los 28 días establecidos.			

**Fuente: UNE-EN 1015-11**

El curado-conservación de las probetas se hace en atmósfera húmeda, a  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  y  $(95 \pm 5)\%$  de humedad relativa, durante 7 días en el molde o fuera del molde y durante 21 días, fuera del molde, a  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  y  $(65 \pm 5)\%$  de humedad relativa.

El contenido en cal aérea se debe declarar si es igual o superior al 50% de la cantidad de la masa total de conglomerante.

Las resistencias a compresión se expresan en  $\text{N/mm}^2$  y se designan con la letra M; p. ej., M 10 es un mortero para albañilería, cuya resistencia a compresión, a 28 días, es  $10 \text{ N/mm}^2$ .

Las principales clases de mortero recomendadas, según la Norma Europea UNE-EN 998-2, en función de su resistencia a compresión, a 28 días, son las que figuran en la tabla Mo 6, en donde se incluye la designación y clases de los morteros para albañilería.

Además, son posibles otras clases de resistencias.

**Tabla Mo 6 Morteros para albañilería. Designación y clases**

Clase	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20
Resistencia a compresión $\text{N/mm}^2$	1	2,5	5	10	15	20

**Fuente: UNE-EN 998.2**

Para ensayos de laboratorio la mezcla amasada del mortero fresco debe proporcionar el nivel de consistencia que se especifica en la tabla 9, determinada por medio de la mesa de sacudidas (UNE-EN 1015-3). Para el control en obra se debe determinar e informar de la consistencia del mortero empleado.

Cuando la toma de muestra de los morteros para albañilería se hace de acuerdo con la Norma Europea UNE-EN 1015-2 y las resistencias a compresión se determinan de acuerdo con la Norma Europea UNE-EN 1015-11, dichas resistencias, no deben ser menores que las resistencias declaradas o que la correspondiente clase de resistencia especificada.

### 5.3.3. Retracción

Con el nombre de retracción se conoce al proceso de reducción de volumen que sufren las pastas, morteros y hormigones, antes, durante y después del fraguado o, a lo largo del proceso de secado, al ser expuestos a las condiciones atmosféricas.

La retracción es un fenómeno, que aparece fundamentalmente como resultado de la pérdida de agua que sufren los morteros cuando están en un ambiente con  $\text{HR} < 100\%$ , el fenómeno se explica si tenemos en cuenta que una parte de este agua de amasado se encuentra en poros, y su evaporación va a originar una presión negativa, cuya consecuencia es la retracción de la masa del

mortero. En el caso de los morteros de cemento, también como una consecuencia de su hidratación<sup>2</sup>.

Dejando momentáneamente a un lado la retracción de los morteros de cemento y centrándonos en los morteros de cal, podemos afirmar que el origen de la retracción en ellos no va a tener un carácter endógeno. Esto se debe a que la cal antes de su empleo, debe sufrir el proceso de apagado con agua, reacción fuertemente exotérmica, que la transforma en un producto hidratado (hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ ), que ya no reacciona ni desprende calor cuando se mezcla con ella, por esta razón no existe autodesecación en los morteros de cal. Tampoco existe la retracción térmica, ya que a pesar del desprendimiento de calor producido en la carbonatación, la lentitud de la reacción hace que éste no tenga unos efectos significativos.

La disminución de formación de fisuras de retracción en un mortero se puede conseguir mediante múltiples métodos:

- Evitando la utilización de las relaciones a/c elevadas
- Realizando un buen curado
- Mediante la adición de fibras
- Mediante la adición de cal a los morteros de cemento

#### 5.3.4. Comportamiento térmico

Esta característica viene dada por la conductividad térmica del material que indica la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo por una superficie unidad del material. La conductividad depende de la densidad, porosidad, contenido de humedad, etc. En el caso de los morteros estos parámetros dependen de los componentes y proporciones que contengan siendo fundamental la densidad final de la mezcla.

#### 5.3.5. Comportamiento ante el fuego

Existen dos parámetros fundamentales que caracterizan el comportamiento ante un incendio: la Reacción (M) y la resistencia ante el Fuego (RF).

La reacción ante el fuego clasifica los materiales en cinco tipos, M0, M1, M2, M3 y M4, que indican la magnitud de menor a mayor en que pueden favorecer el desarrollo de un incendio.

---

<sup>2</sup> Los morteros y pastas de cemento además de sufrir las retracciones causadas por la evaporación del agua de amasado, tienen unos mecanismos de deformación endógenos que comprenden a la autodesecación, deformación térmica y formación de ettringita (Barón, 1982). La autodesecación, se debe a la reacción del agua con el cemento, con lo cual es eliminada de los capilares del mortero. La deformación térmica se debe a la elevada hidratación de los compuestos anhidro del cemento. Se trata de una reacción exotérmica que eleva la temperatura de los morteros, pero este calor desprendido por el cemento, pasa finalmente al medio, con el consiguiente descenso de la temperatura del mortero. El enfriamiento del mortero es el origen de la retracción térmica, que viene expresada por la fórmula  $R_\theta = \alpha(\theta_i - \theta_f)$ , donde  $R_\theta$  es la retracción térmica del mortero a la temperatura  $\theta$ ,  $\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica del mortero y  $\theta_i, \theta_f$  son las temperaturas inicial y final, respectivamente.

Según la NB-96 los morteros son clasificados en clase de menos peligrosa M0 que indica que un material no es combustible ante la acción térmica. También la transposición de normativa europea sobre seguridad ante incendio en los edificios PrEN 13501-1 establece un sistema de clases de los materiales de construcción en función de su nivel de combustibilidad. El mortero, de conglomerantes inorgánico, se clasifica dentro de la clase de reacción ante el fuego más bajo A1, sin necesidad de ensayo.

La resistencia ante el fuego indica el tiempo durante el que un elemento debe mantener las condiciones que le sean exigibles en el ensayo normalizado conforme a la UNE 23093. Según esto, los elementos constructivos se clasifican en función de la siguiente escala de tiempos: 15, 30, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos.

Un mortero, sometido a las altas temperaturas desarrolladas en un incendio, sufre una serie de cambios que afectan a su resistencia mecánica. En general, a temperaturas superiores a 250 °C, las propiedades resistentes del mortero sufren una caída irreversible, quedando también afectado el color de éste.

En zonas continuamente expuestas a elevadas temperaturas se recomienda el uso de morteros aislantes o refractarios. Para ello son útiles los áridos expandidos, por su baja conductividad térmica y empleo de aireantes. También el uso de arenas calizas aumenta el poder aislante, sobre todo hasta los 500 °C, porque el calor absorbido por el recubrimiento se emplea en descomponer el carbonato cálcico. No obstante, en estos casos se produce un decremento de las propiedades resistentes.

## 6. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS

*Tabla Mo 7 Propiedades de los morteros*

Propiedades/Tipos	Mort. De cal	Mort. bastardo	Mort. De cemento
Relación agua/conglomerado	1,72	0,72	0,5
Resistencia a flexión (Mpa)	0,62	0,90	6,41
Resistencia a compresión (Mpa)	0,91	2,82	38,9
Módulo de elasticidad (Mpax10 <sup>3</sup> )	4,2	-	19-10
Porosidad accesible al agua (%)	25	30	16
Permeabilidad al agua		(1:2:8)	(1:3)
Met. De la pipa (cm <sup>3</sup> /10mi/cm <sup>2</sup> )	3	2,5	4
Permeabilidad al vapor de agua (kg/m <sup>2</sup> Pas x 10 e <sup>-10</sup> )	0,37	-	-
Contenido en sales solubles $\sum Na^+ + k^+$ (meq/kg)	4,25	7,44	29,71

*Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de Clases*

## **PRÁCTICA DE CAMPO N° 7**

### **“HORMIGÓN”**

#### **1. ANTECEDENTES**

Hormigón o Concreto, material artificial utilizado en ingeniería que se obtiene mezclando cemento Pórtland, agua, algunos materiales bastos como la grava y otros refinados, y una pequeña cantidad de aire.

El hormigón es casi el único material de construcción que llega en bruto a la obra. Esta característica hace que sea muy útil en construcción, ya que puede moldearse de muchas formas. Presenta una amplia variedad de texturas y colores y se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías, casas e incluso barcos.

Otras características favorables del hormigón son su resistencia, su bajo costo y su larga duración. Si se mezcla con los materiales adecuados, el hormigón puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia longitudinal es baja, pero reforzándolo con acero y a través de un diseño adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a las fuerzas longitudinales como a la compresión. Su larga duración se evidencia en la conservación de columnas construidas por los egipcios hace más de 3.600 años.

#### **2. COMPOSICIÓN**

Los componentes principales del hormigón son pasta de cemento Pórtland, agua y aire, que puede entrar de forma natural y dejar unas pequeñas cavidades o se puede introducir artificialmente en forma de burbujas. Los materiales inertes pueden dividirse en dos grupos: materiales finos, como puede ser la arena, y materiales bastos, como grava, piedras o escoria. En general, se llaman materiales finos si sus partículas son menores que 6,4 mm y bastos si son mayores, pero según el grosor de la estructura que se va a construir el tamaño de los materiales bastos varía mucho. En la construcción de elementos de pequeño grosor se utilizan materiales con partículas pequeñas, de 6,4 mm.

En la construcción de presas se utilizan piedras de 15 cm de diámetro o más. El tamaño de los materiales bastos no debe exceder la quinta parte de la dimensión más pequeña de la pieza de hormigón que se vaya a construir.

Al mezclar el cemento Pórtland con agua, los compuestos del cemento reaccionan y forman una pasta aglutinadora. Si la mezcla está bien hecha, cada partícula de arena y cada trozo de grava queda envuelta por la pasta y todos los huecos que existan entre ellas quedarán rellenos. Cuando la pasta se seca y se endurece, todos estos materiales quedan ligados formando una masa sólida.

En condiciones normales el hormigón se fortalece con el paso del tiempo. La reacción química entre el cemento y el agua que produce el endurecimiento de la pasta y la compactación de los materiales que se introducen en ella requieren tiempo. Esta reacción es rápida al principio pero después es mucho más lenta. Si hay humedad, el hormigón sigue endureciéndose durante años. Por ejemplo, la resistencia del hormigón vertido es de  $70.307 \text{ g/cm}^2$  al día siguiente,  $316.382 \text{ g/cm}^2$  una semana después,  $421.842 \text{ g/cm}^2$  al mes siguiente y  $597.610 \text{ g/cm}^2$  pasados cinco años.

Las mezclas de hormigón se especifican en forma de relación entre los volúmenes de cemento, arena y piedra utilizados. Por ejemplo, una mezcla 1:2:3 consiste en una parte por volumen de cemento, dos partes de arena y tres partes de agregados sólidos. Según su aplicación, se alteran estas proporciones para conseguir cambios específicos en sus propiedades, sobre todo en cuanto a resistencia y duración. Estas relaciones varían de 1:2:3 a 1:2:4 y 1:3:5. La cantidad de agua que se añade a estas mezclas es de 1 a 1,5 veces el volumen de cemento. Para obtener hormigón de alta resistencia el contenido de agua debe ser bajo, sólo el suficiente para humedecer toda la mezcla. En general, cuanta más agua se añada a la mezcla, más fácil será trabajarla, pero más débil será el hormigón cuando se endurezca.

El hormigón puede hacerse absolutamente hermético y utilizarse para contener agua y para resistir la entrada de la misma. Por otra parte, para construir bases filtrantes, se puede hacer poroso y muy permeable. También puede presentar una superficie lisa y pulida tan suave como el cristal. Si se utilizan agregados pesados, como trozos de acero, se obtienen mezclas densas de  $4.000 \text{ kg/m}^3$ . También se puede fabricar hormigón de sólo  $481 \text{ kg/m}^3$  utilizando agregados ligeros especiales y espumas. Estos hormigones ligeros flotan en el agua, se pueden serrar en trozos o clavar en otras superficies.

Para pequeños trabajos o reparaciones, puede mezclarse a mano, pero sólo las máquinas mezcladoras garantizan una mezcla uniforme. La proporción recomendada para la mayoría de usos a pequeña escala —como suelos, aceras, calzadas, patios y piscinas— es la mezcla 1:2:3. Cuando la superficie del hormigón se ha endurecido requiere un tratamiento especial, ya sea salpicándola o cubriéndola con agua o con materiales que retengan la humedad, capas impermeables, capas plásticas, arpillera húmeda o arena. También hay pulverizadores especiales. Cuanto más tiempo se mantenga húmedo el hormigón, será más fuerte y durará más. En época de calor debe mantenerse húmedo por lo menos tres días, y en época de frío no se debe dejar congelar durante la fase inicial de endurecimiento. Para ello se cubre con una lona alquitranada o con otros productos que ayudan a mantener el calor generado por las reacciones químicas que se producen en su interior y provocan su endurecimiento.

## 2.1. CEMENTOS

Para la fabricación de hormigón destinado a construcciones de hormigón armado, se emplea el cemento Pórtland ordinario o comercial, el cemento Pórtland de alta calidad o alta resistencia inicial, cementos Pórtland de tipo especial, cementos aluminosos y los cementos que se obtienen mezclando el cemento Pórtland con escorias de altos hornos, trass, puzolanas, etc., en distintas proporciones. En nuestro país se emplea usualmente el cemento Pórtland común, de alta resistencia inicial y puzolanico, cuyas características físico-químico-mecánicas se dio a conocer en capítulo anterior (véase tabla H1).

El empleo de un tipo u otro dependerá de los siguientes parámetros:

- Clase de exposición
- Circunstancia de hormigonado (Temperatura, características del lugar, etc.)
- Tipo de elemento a hormigonar (Dimensiones, resistencias mecánicas, etc.)

## 2.2. AGUA

Sobre este punto, han variado notablemente las opiniones. Los viejos pliegos de condiciones exigían agua dulce, pura o, en forma imprecisa que no contuviera elementos perjudiciales.

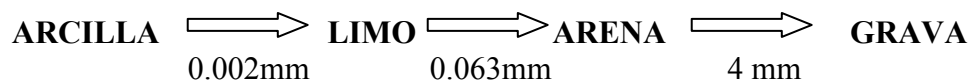
El agua para hormigón se utiliza en diferentes etapas del hormigón se clasifican como sigue:

- Agua de amasado (Hidratación, consistencia y A/C)
- Agua de curado (Endurecimiento, Retracciones térmicas e hidráulicas)
- Agua de contacto (Agua del mar, selenitosas, ácidas, orgánicas, otras)

## 2.3. ÁRIDOS

En general para los hormigones se utiliza dos tipos de áridos, áridos fino y gruesos. Se conocerá como árido fino a la arena con diámetro inferior a 6.4 mm. según la ASTM y árido grueso a la grava o canto rodado y piedra machacada dependiendo el tipo de hormigón.

También se clasifican por su origen como son; Naturales (Rodados o de machaqueo) y Artificiales (prefabricados o subproductos).



Los criterios de elección de los áridos para el hormigón son:

- Durabilidad
- Dureza
- Trabajabilidad / Puesto en obra
- Adherencia
- Resistencia
- Compacidad
- Costos

El tamaño máximo del árido es definido como el diámetro máximo nominal, se denomina tamaño máximo de un árido la mínima abertura de tamiz UNE EN 933-2:96 por el que **pase más del 90**

% en peso, cuando además **pase el total por el tamiz de abertura doble**. Se denomina tamaño mínimo de un árido, la máxima abertura de tamiz por el que pase menos del 10 % en peso.

El tamaño máximo del árido se define en función a la construcción, en función a la armadura, espesor mínimo de la losa superior, etc.

**Tabla H.1. Relación entre los tipos de hormigón y los agregados**

TIPOS DE HORMIGÓN	CLASES DE ÁRIDOS		
	ÁRIDOS NATURALES		ÁRIDOS ARTIFICIALES
	RODADOS	MACHACADOS	
Pesado		Espatos pesados triturados Magnetita triturada Barita triturada Limonita triturada	Viruta de acero Limaduras de acero Chatarra de acero
Normal	Arena de río Gravilla de río Arena de cantera Gravilla de Cantera Grava de cantera	Arena de trituradora Gravilla machacada Grava machacada Gravas de piedra natural: Granito Sienita Diorita Gabro Pórfidos Bosalto Lava basáltica Calizas Grauwacas Mármol Gneis Pizarra dura	Escorias altos hornos : Siderúrgicas Cúpricas
Ligero	Arena natural muy fina Pómez natural Lava porosa Arcilla expandida	Lava porosa triturada Tobas trituradas Virutas de madera Tiras de madera	Escorias granulada de alto horno Pómes sinterizado artificial Escorias de caldera Ladrillo triturado Pizarra esponjada Cenizas Arcilla expandida Polímeros expandidos granulados

## 2.4. ADITIVOS

El empleo de los aditivos permite controlar algunas propiedades del hormigón, tales como las siguientes:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

El siguiente acápite (2.4.) será detallado en el capítulo 10.



### 3. TIPOS DE HORMIGÓN

Existen diferentes tipos de hormigón dependiendo de sus características, usos, estados, etc.:

- Hormigón fresco y endurecido
- Hormigón en masa
- Hormigón armado
- Hormigón ciclópeo
- Hormigones ligeros
- Hormigones pesados
- De granulometría continua, discontinua, unimodulares
- Proyectado
- Prefabricado
- De características especiales; Alta resistencia, poliméricos, blancos, coloreados, vistos, autocompactables.

#### 3.1. HORMIGÓN ARMADO

En la mayoría de los trabajos de construcción, el hormigón se refuerza con armaduras metálicas, sobre todo de acero; este hormigón reforzado se conoce como 'hormigón armado'. El acero proporciona la resistencia necesaria cuando la estructura tiene que soportar fuerzas longitudinales elevadas. El acero que se introduce en el hormigón suele ser una malla de alambre o barras sin desbastar o trenzadas. El hormigón y el acero forman un conjunto que transfiere las tensiones entre los dos elementos.

El hormigón pretensado ha eliminado muchos obstáculos en cuanto a la envergadura y las cargas que soportan las estructuras de hormigón para ser viables desde el punto de vista económico. La función básica del acero pretensado es reducir las fuerzas longitudinales en ciertos puntos de la estructura. El pretensado se lleva a cabo tensando acero de alta resistencia para inducir fuerzas de compresión al hormigón. El efecto de esta fuerza de compresión es similar a lo que ocurre cuando queremos transportar una fila de libros horizontalmente; si aplicamos suficiente presión en los extremos, inducimos fuerzas de compresión a toda la fila, y podemos levantar y transportar toda la fila, aunque no se toquen los libros de la parte central.

Estas fuerzas compresoras se inducen en el hormigón pretensado a través de la tensión de los refuerzos de acero antes de que se endurezca el hormigón, aunque en algunos casos el acero se tensa cuando ya se ha secado. En el proceso de pretensado, el acero se tensa antes de verter el hormigón. Cuando el hormigón se ha endurecido alrededor de estos refuerzos tensados, se sueltan las barras de acero; éstas se encogen un poco e inducen fuerzas de compresión al hormigón. En otros casos, el hormigón se vierte alrededor del acero, pero sin que entre en contacto con él; cuando el hormigón se ha secado se ancla un extremo del refuerzo de acero al hormigón y se

presiona por el otro extremo con gatos hidráulicos. Cuando la tensión es la requerida, se ancla el otro extremo del refuerzo y el hormigón queda comprimido.

#### 4. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

El hormigón se moldea de muchas maneras. Para construir los cimientos de pequeños edificios se vierte directamente en zanjaz cavadas en la tierra. Para otros tipos de cimientos y algunos muros, se vierte entre los soportes o encofrados de madera o de hierro, que se eliminan cuando el hormigón se ha secado. En la construcción con losas prefabricadas, las planchas que forman techos y suelos se montan en el suelo y después se elevan con gatos hidráulicos y se fijan las columnas a la altura precisa. Los encofrados deslizantes se utilizan para formar columnas y los núcleos de los edificios. Se van moviendo hacia arriba de 15 a 38 cm. por hora mientras se vierte el hormigón y se colocan los refuerzos. El método de fraguar hacia arriba se suele utilizar en la construcción de edificios de una o dos plantas. Las paredes se fraguan en tierra o en la planta correspondiente y se sitúan con grúas. Después se fijan las paredes por sus extremos o entre ellas a unas columnas de hormigón. Para pavimentar carreteras con hormigón se utiliza una máquina pavimentadora de cimbra móvil. Esta máquina arrastra una estructura con dos guías metálicas separadas. Se vierte una capa de hormigón entre las dos guías y la máquina va avanzando lentamente. Las guías de los laterales mantienen el hormigón en su sitio hasta que éste se seca. Estas pavimentadoras pueden forjar una capa continua de pavimento de hormigón de uno o dos carriles.

En ciertas aplicaciones, como la construcción de piscinas, canales y superficies curvas, el hormigón puede aplicarse por inyección. Con este método el hormigón se pulveriza a presión con máquinas neumáticas sin necesidad de utilizar encofrados. Así se elimina todo el trabajo de los moldes de hierro y madera y se puede aplicar hormigón en lugares donde los métodos convencionales serían difíciles o imposibles de emplear.

El hormigón con aire ocluido es hormigón en el que se introducen pequeñas burbujas de aire en la mezcla con el cemento, durante su fabricación, preparación o en la fase de mezclado con la arena y los agregados. La presencia de estas burbujas aporta propiedades favorables al hormigón, tanto cuando está fresco como cuando se ha endurecido. Cuando está fresco y recién mezclado las burbujas de aire actúan como lubricante; hacen la mezcla más manejable por lo que reducen la cantidad de agua necesaria para hacerla. Este sistema de aire también reduce la cantidad de arena necesaria.

El aire presente en el hormigón endurecido reduce radicalmente los ajustes que derivan de la utilización de productos químicos anticongelantes en calles y carreteras. También previene los daños que producen en los pavimentos las heladas y deshielos. Las burbujas de aire funcionan como diminutas válvulas de seguridad que proporcionan espacio al agua para expandirse si la temperatura baja y se hiela.

En la construcción de puentes modernos, como el Gateway Bridge sobre el río Brisbane (fig. H 1), en Australia, se emplea hormigón ligero y duradero reforzado con barras o enrejados metálicos. El hormigón se fabrica con agua, un árido como arena o gravilla, y cemento Portland, que liga la mezcla.



*Fig. H 1 Puente Gateway Bridge*

## 5. ALBAÑILERÍA CON HORMIGÓN

En todos los tipos de construcción de albañilería se utilizan ladrillos o bloques de hormigón. Se emplean por ejemplo en muros de carga y paredes, malecones, bardas o cortafuegos; como refuerzo de paredes de ladrillo, piedra o enlucidas con estuco o yeso; para proteger del fuego estructuras de acero y recintos como huecos de escaleras y ascensores, y para construir muros de contención, chimeneas y suelos.

Alrededor del 60% de los productos de hormigón para albañilería, como los bloques de escoria, se elaboran con agregados ligeros. Los más utilizados son arcillas tratadas, escoria de altos hornos, esquisto micáceo, agregados volcánicos naturales y cenizas. El tamaño de estos bloques, que se utilizan para construir paredes, tanto por debajo como por encima del suelo, suele ser de  $20 \times 20 \times 40$  cm. Estos bloques se colocan de forma horizontal y no suelen ser macizos para reducir peso y para que se forme una cámara de aire aislante. Se han desarrollado otros tipos de bloques de hormigón con dibujo que se utilizan sin revestimiento en casas, centros comerciales, escuelas, iglesias e instalaciones públicas.

La medida de los bloques está ya estandarizada: se pueden conseguir bloques específicos para cualquier trabajo sin tener que cortar y ajustar. También hay moldes para producir bloques con dibujos y relieves para paredes interiores y exteriores. Es posible conseguir cualquier color o tipo de textura.

## 6. PREGUNTAS DE CONTROL EN CAMPO

- Desarrolle los componentes del Hormigón y su influencia en el hormigón
- Desarrolle los diferentes tipos de Hormigones
- Desarrolle tres tipo de técnicas de construcción
- Resuma los procesos que experimenta el hormigón fresco; Exudación del agua de amasado, variaciones de volumen y falso fraguado del cemento.
- Desarrolle Hormigones especiales (liviano, proyectado, bajo agua, compactado con rodillo vibratorio, alta resistencia, ferrocemento y celular autoclavado HCA): Aplicación, Dosificación, etc.

Tabla H2 Relación entre el tipo de Cemento y el tipo de aplicación en el hormigón

APLICACIONES	CEMENTOS																			
	CEM										BL					ADICIONALES				
	I	II										I	II	V	SR	MR	BC			
		A-S	B-S	A-D	A-P	B-P	A-V	B-V	A-L	A-M	B-M									
Hormigón en masa	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hormigón armado	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hormigón pretensado incluidos prefabricados estructurales (*)	3	♦	♦	3	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦
Otros elementos estructurales prefabricados	3	2	1	3	2	1	2	1	2	2	1	1	0	2	1	1	3	2	0	...
Prefabricados no estructurales (bordillos, etc)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hormigón en masa o armado en grandes volúmenes	0	1	2	0	1	2	1	2	1	1	2	2	3	2	3	2	0	1	1	...
Hormigón seco compactado con rodillo	0	1	2	0	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	3	2	0	1	...
Hormigón de alta resistencia	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
Cimentaciones de hormigón en masa	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	...
Cimentaciones de hormigón armado	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	...
Hormigón que contiene áridos potencialmente reactivos	1	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	3	3	3	3	1	1	...
Bases de carreteras tratados con cementos	0	1	2	0	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	...
Estabilización de suelos	2	3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	...
Firmes de hormigón para carreteras	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	...
Solado de pavimentos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	...
Reparaciones rápidas de urgencia	2	1	0	2	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	2	2	...
Hormigón para desencofrado y desmoldado rápido (*)	3	2	1	3	2	1	2	1	2	2	1	0	0	1	0	1	0	3	2	...
Hormigón proyectado	3	2	1	3	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	3	2	...

**NOMENCLATURA TABLA H2**

3: Muy adecuado

2: Adecuado

1: Utilizable con precauciones o técnicas especiales, o sin contraindicaciones especiales

0: No indicado

...: Aplicación para la cual la característica adicional no es determinante

■: Cemento no recomendable para la aplicación

◆: Prohibida su utilización ( Artículo 26°)

♣: Se recomienda limitar el contenido de alcalinos (ver nota en el texto)

▲▲: Mejora globalmente de forma importante la valoración previamente asignada

▲: Mejora globalmente la valoración previamente asignada

(\*): dentro de los tipos y subtipos de cemento elegidos encada caso, se recomienda utilizar los de resistencias iniciales mas altos

***Tabla H 3 Utilización de los diferentes tipos de cemento según las circunstancias del hormigonado***

CIRCUNSTANCIA DE HORMIGON	CEMENTOS																				
	CEM															BL			AD		
	I	II										III		IV		V	I	II		V	SR
		A-S	B-S	A-D	A-P	B-P	A-V	B-V	A-L	A-M	B-M	A	B	A	B	A					
Hormigonado en tiempo frío	3	2	1	3	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	3	2	0	...	
Hormigonado en ambientes secos y sometidos al viento	2	2	1	3	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...	
Insolación fuerte u hormigonado en tiempo caluroso	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	...	

**NOMENCLATURA**

3: Muy adecuado

2: Adecuado

1: Utilizable con precauciones o técnicas especiales, o sin contraindicaciones especiales

0: No indicado

...: Aplicación para la cual la característica adicional no es determinante

▼: Empeora la valoración previamente asignada, pudiéndose llegar a ser no indicada

## PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO

### “HORMIGÓN”

#### 1. INTRODUCCIÓN

En general en las mezclas de Hormigón hidráulico convencional, los agregados Suelen representar entre 60 y 75 %, del volumen absoluto de todos los componentes, por lo tanto sus características y propiedades ejercen gran influencia en las propiedades del hormigón.

#### 2. DENOMINACIÓN

La forma de denominar un hormigón es en función a sus características: Tipo de hormigón, resistencia característica mínima, consistencia, tamaño máximo del árido y el ambiente al cual estará sometido el hormigón.

**T – R – C – TM – A**

**T** : Si es HM, HA, HP.

**R** : Resistencia característica: HM 20 N/mm<sup>2</sup>: HA 25N/mm<sup>2</sup>. 30-35-40-45-50.

**C** : Consistencia.

**TM** : Tamaño máximo del árido, (20 en pilares).

**A** : Ambiente.

#### 3. PROCESOS QUE EXPERIMENTA EL HORMIGÓN FRESCO

Durante la etapa en que el hormigón mantiene su estado fresco, experimenta una serie de procesos cuyo origen y consecuencias es necesario conocerlos para tenerlos debidamente en cuenta.

Estos procesos son principalmente los que se describen a continuación.

- Exudación del agua de amasado
- Variaciones de volumen
- Falso fraguado del cemento

##### 3.1. EXUDACIÓN DEL AGUA DE AMASADO

Debido a que el hormigón esta constituido por materiales de distinta densidad real, tiende a producirse la decantación de los de mayor peso unitario, que son los sólidos, y el ascenso del más liviano, que es el agua.

Este proceso induce una serie de efectos internos y externos en el hormigón:

- La película superficial del hormigón presenta un contenido de agua mayor que el resto de la masa. Como se verá posteriormente, ello significa un aumento de la razón agua / cemento, con una consiguiente menor resistencia para dicha capa.
- Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de hormigón sometidas a desgaste superficial y en los hormigones utilizados como material de relleno bajo elementos cuyo fondo es horizontal, p. ej. placas de fundación.
- El ascenso del agua da origen a conductos capilares, que constituyen posteriormente vías permeables, afectando en consecuencia la impermeabilidad del hormigón, especialmente por capilaridad.
- El agua ascendente tiende, además, a acumularse bajo las partículas de mayor tamaño, dejando bajo éstas un espacio vacío, al evaporarse posteriormente.

Este proceso debe ser especialmente considerado en las obras hidráulicas y en las fundadas en terrenos húmedos.

La exudación va acompañada por una sedimentación de los materiales sólidos, los que tienden a descender. Este descenso puede significar concentraciones de tensiones internas en los puntos donde la estructura presenta singularidades de forma, por ejemplo, variaciones de espesor o de nivel, debido al desigual descenso que se produce a ambos lados de la singularidad.

Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de edificación, en los puntos de unión de los pilares y muros de hormigón con las cadenas, losas y vigas, en donde el mayor descenso que experimentan los primeros puede inducir grietas en las zonas de encuentro con los segundos.

Dado que la exudación produce efectos desfavorables, debe ser combatida, para lo cual puede recurrirse a las siguientes medidas paliativas:

Utilizar un contenido adecuado de granos muy finos en el hormigón, entendiéndose como tales los que tienen un tamaño inferior a 150 micrones, aspecto que se analizará posteriormente en la parte pertinente a dosificación de hormigones.

Recurrir al empleo de aire incorporado en el hormigón, utilizando aditivos apropiados para este objeto.

Aumentar el tiempo de amasado del hormigón, con el objeto de facilitar el adecuado humedecimiento de los materiales sólidos por el agua y con ello su retención por parte de éstos.

Efectuar el hormigonado de las partes que presenten variaciones de espesor en distintas etapas constructivas, o, al menos, dejar transcurrir un tiempo de espera para permitir el asentamiento de la zona de mayor espesor. Este tiempo de espera debe ser el máximo posible, pero evitando el endurecimiento del hormigón.

### **3.2. VARIACIONES DE VOLUMEN**

El agua de amasado del hormigón tiende a evaporarse si éste no se mantiene en un ambiente saturado de humedad, con lo cual se produce un proceso de secado progresivo desde la superficie externa hacia el interior.

Este desecamiento progresivo acarrea la formación de zonas de contacto entre fases líquidas (agua) y gaseosas (aire) en los conductos y poros que siempre tiene en su interior el hormigón.

Cuando éstos presentan dimensiones capilares, el proceso de tensión superficial interna alcanza una magnitud importante, la que al transmitirse al hormigón se traduce en una contracción de las zonas de hormigón sometidas a este proceso de secamiento.

Este efecto afectará principalmente a la superficie del hormigón, dado que ella es la que se seca primero, mientras que el resto de la masa permanece invariable. Ello induce contracciones diferenciales y, como consecuencia, tensiones de tracción, originadas en el confinamiento que producen las capas con mayor contenido de humedad sobre las en proceso de secado. Si este proceso de secado es muy rápido, como sucede cuando el hormigón está sometido a alta temperatura ambiente o a corrientes de viento, ello puede traducirse en grietas del hormigón aún plástico, las que por su origen se presentarán como de gran abertura con relación a su profundidad.

Este fenómeno debe ser combatido, pues las fisuras y/o grietas afectan la durabilidad del hormigón y, en obras de gran superficie y pequeño espesor relativo (pavimentos, losas) introduce una debilidad estructural al significar una disminución de su espesor.

Ello puede lograrse manteniendo un ambiente húmedo en torno al hormigón fresco que impida el inicio del secamiento superficial, que se produce si se hormigona en períodos de alta temperatura o fuerte viento, utilizando pulverizadores que esparzan una neblina húmeda en el sitio hasta que sea posible iniciar el proceso de curado.

Por otra parte, si el agrietamiento se produce y el hormigón aún está suficientemente plástico para responder a la compactación, puede ser recompactado hasta lograr el cierre de dichas grietas.

### **3.3. FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO**

Eventualmente, el cemento puede experimentar un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para constituir la pasta de cemento.

Este proceso parece provenir de un comportamiento anómalo del yeso adicionado al cemento en la etapa de molienda del clínquer como regulador de su fraguado, el cual, debido a las altas temperaturas originadas durante la molienda, puede perder parte del agua de cristalización.

El agua perdida es recuperada, extrayéndola del agua de amasado del hormigón, con lo cual el yeso cristaliza, adquiriendo rigidez.



Este endurecimiento se conoce con el nombre de falso fraguado y produce una rigidización del hormigón aún en estado fresco, en los primeros minutos posteriores a la adición del agua de amasado, lo cual dificulta grandemente su manipulación en los procesos de transporte, colocación y compactación.

Para evitar estos efectos desfavorables, un procedimiento efectivo consiste en aumentar el tiempo de amasado, lo que permite romper la cristalización producida y devolver al hormigón la plasticidad perdida sin necesidad de adición de agua.

#### **4. PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES**

Para tratar atinadamente las propiedades del hormigón dividiremos en hormigón fresco y endurecido.

##### **4.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO**

###### **4.1.1. Consistencia**

La cantidad de agua que contienen los morteros y hormigones influye, como es natural, sobre la consistencia de los mismos.

Entonces se puede decir que se tiene una influencia muy directa de:

- Cantidad de agua de amasado
- Tipo de cemento
- Granulometría y la forma del árido

La Sociedad para el Ensayo de Materiales (A.S.T.M.), clasifica la consistencia en 4 categorías:

- Seca
- Plástica
- Blanda
- Fluida

###### **4.1.1.1. Ensayo para determinar la consistencia**

Existen diferentes métodos para determinar la consistencia de un hormigón el más usado es el indicado por la A.S.T.M. *ensayo de asentamiento del hormigón* (slump test), de acuerdo con las indicaciones del profesor Duff Abrams con la designación D138-32 T. Este ensayo es conocido también como el cono de Abrams, sirve para determinar la consistencia tanto en laboratorios como en el lugar de construcción. Esta prueba no es considerada si se tiene una proporción considerable de agregado grueso tamaño mayor a 2 pulgadas.



**Figura H 2 Ensayo de asentamiento del hormigón**

**Fuente: elaboración Propia**

**Tabla H 4. Clasificación de la consistencia del hormigón**

ASIENTO	TOLERANCIA	CONSISTENCIA
0 - 2 cm	$\pm 0$	SECA
3-5 cm	$\pm 1$	PLÁSTICA
6-9 cm	$\pm 1$	BLANDA
10-15 cm	$\pm 2$	FLUIDA

**Fuente: Gimenes Montoya – Hormigón Armado**

Existen otros métodos para determinar la consistencia son la mesa de sacudidas, consistometro Vebe.

Algunas recomendaciones no sugiere la Norma española:

Tipo de puesto en obra	Consistencia
Vibrado energético (prefabricados y taller)	Seca
Vibrado normal en obra	Plástica
Apisonado (nervios forjado y capa compresión)	Blanda
Pico con barra (muy armados, hormigones vistos)	Fluida

En edificaciones se recomienda que el asiento de cono no sea interior a 6

#### 4.1.2. Fraguado

Es muy importante el control de fraguado del hormigón con también el final del mismo, esta fase está muy influenciada por:

- Contenido de Cemento
- Contenido de agua
- Temperatura ambiente

EN el control de tiempos es muy importante como ya se menciona en un párrafo anterior el control de los tiempos o fases inicial y final, así como también los cambios en tiempo frío o caluroso.

#### **4.1.3. Homogeneidad**

La homogeneidad del hormigón es muy importante para que este pueda mantener sus propiedades, la homogeneidad esta influenciada por:

- Tipo de amasado
- Transporte
- Vertido
- Colocación
- Vibrado

Las consecuencias de una masa no homogénea son la segregación y decantación, afectando considerablemente al hormigón en sus características.

Entre los factores más importantes que la condicionan son: Dosificación, granulometría, forma de los áridos, contenido de agua, tiempo de amasado y caída libre.

#### **4.1.4. Contenido de vacíos**

Este ensayo tiene por objeto determinar el peso unitario del hormigón recién preparado así como el contenido de aire o porcentaje de vacíos; el volumen del hormigón producido por unidad de volumen y de cemento.

$$A = \frac{S - V}{S} * 100$$

Donde:      A        :        Contenido de aire del hormigón  
              S        :        Volumen del hormigón producido por pilada, en lt  
              V        :        Volumen absoluto total de los componentes de la mezclada, en lt

### **4.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO**

Dentro la amplia variedad de ensayos para hormigón endurecido, clasificamos de acuerdo a sus características:

- **Características Físicas.**- Compacidad, densidad, porosidad y permeabilidad.
- **Características Térmicas.**- Retracción, Dilatación y elementos confinados.
- **Características Mecánicas.**- Resistencia a la compresión, tracción, desgaste, fluencia, modulo de deformación longitudinal.
- **Características Químicas.**- Durabilidad y agresividad.
- Comportamiento ante el fuego

#### 4.2.1. Densidad

La densidad de un Hormigón sirve para determinar el peso del mismo, cuyas unidades son:

$$\frac{lb}{pie^3}, \frac{kg}{m^3}, \frac{T}{m^3}$$

En general el hormigón pesa de 1762.2 a 2483.1 Kg/m<sup>3</sup> (110 a 155 lb/pie<sup>3</sup>). Los pesos de tipos específicos de concreto son como sigues:

- Hormigón para construcción (en general) : 140 a 150 lb/pie<sup>3</sup> (2242.8 a 2403.0 kg/m<sup>3</sup>)
- Hormigón de grava o caliza : 142 a 148 lb/pie<sup>3</sup> (2272.8 a 2370.96 kg/m<sup>3</sup>)
- Hormigón de roca trapeana : 148 a 155 lb/pie<sup>3</sup> (2370.96 a 2483.1 kg/m<sup>3</sup>)

El hormigón puede ser muy ligero y pesar hasta 35 lb/pie<sup>3</sup> (560.7 kg/m<sup>3</sup>); para este hormigón se utilizara agregados ligeros especiales. Entonces podemos decir que la densidad esta influencia por:

- Granulometría
- Tipo de árido
- Contenido de cemento
- Puesto en obra y colocación
- Aire ocluido

Otra clasificación por la norma española es:

Hormigones pesados	Superior a 2,8 t/m <sup>3</sup>
Hormigones Ligeros	Inferior a 1-8, 2.0 t/m <sup>3</sup>
Hormigones de obra	Se sitúa entre 2 y 2,8 t/m <sup>3</sup> normalmente entre 2,2 y 2,5 t

#### 4.2.2. Compacidad

La compacidad de un hormigón es la cualidad de compactarse, los factores que alteran la compacidad son como sigue:

- Porosidad
- Características de hormigón
- Puesto en obra

La compacidad tiene una influencia directa en otras propiedades del hormigón; Densidad, resistencias mecánicas, propiedades físicas; Conductividad, permeabilidad, absorción, Propiedades químicas; Agresividad y durabilidad.

Según la Norma Española la compacidad es clasificada:

- Porosidad < 10 %                      Hormigón compactado
- Porosidad 10 – 15 %    Hormigón permeable no adecuado en ambientes agresivos
- Porosidad > 15 %    Hormigón muy permeable, alto riesgo de corrosión en las armaduras.

#### 4.2.3. Permeabilidad

La permeabilidad de un hormigón es la cualidad de ser pasado o traspasado por el agua u otro fluido, si bien el hormigón parece impermeable no lo es, esta influenciada por varias otras propiedades:

- Porosidad
- Características del hormigón
- Puesto en obra
- Relación Agua – Cemento

La gráfica 3.2.3. es una variación del coeficiente de permeabilidad vs. A/C, la fórmula de cálculo de dicho coeficiente de permeabilidad son resultados de investigaciones efectuadas por Mc. Milla<sup>1</sup> estableció W. Lydtin<sup>2</sup> al fórmula siguiente que da el volumen de filtración:

$$Q = k_b F \frac{P}{d} t$$

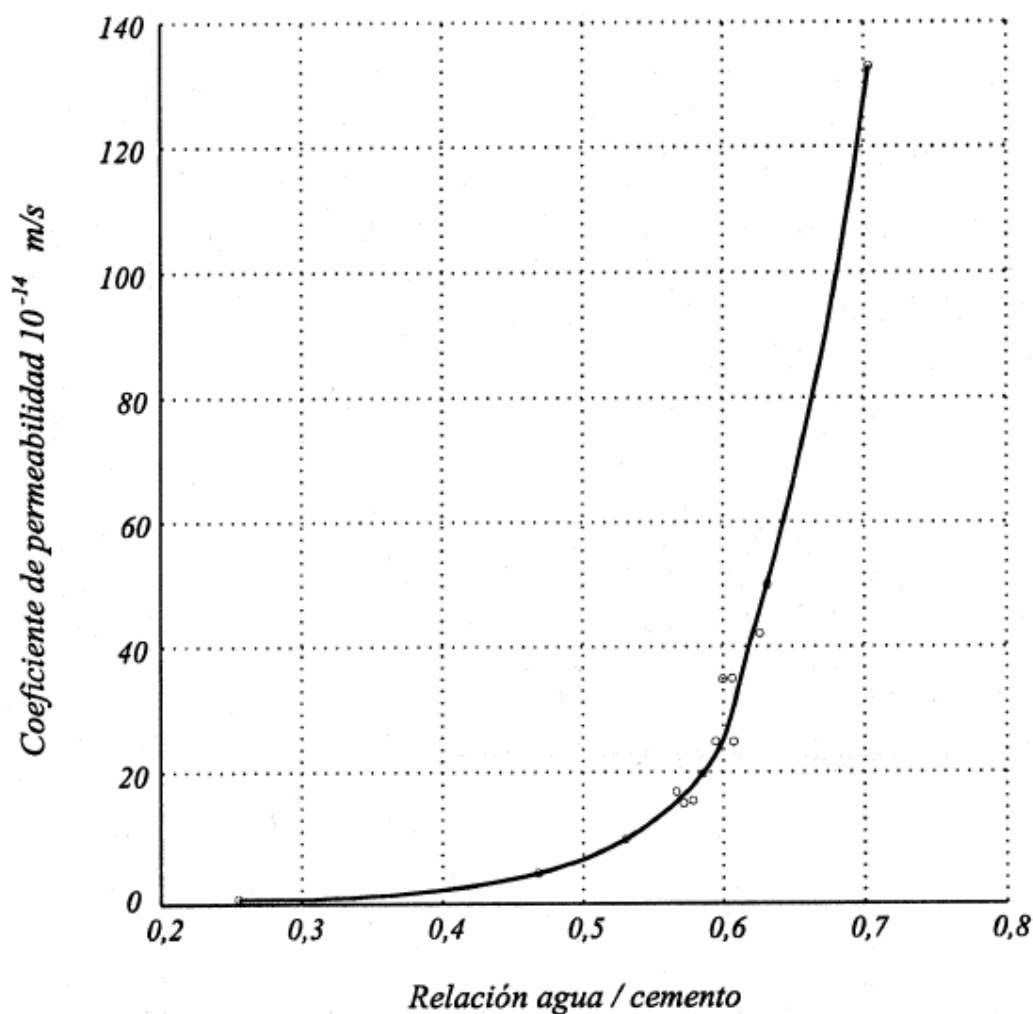
---

<sup>1</sup> Engineering News Record. 1929 Nos 15 a 19

<sup>2</sup> Bauingenieur. 1930

En la cual:

- $Q$  – volumen de agua en centímetros cúbicos
- $p$  – Diferencia entre las presiones en la superficie de entrada y salida (ordinariamente presión hidrostática) en  $\text{kg/cm}^2$
- $d$  – espesor de la pared en  $\text{cm}$
- $F$  – superficie de filtración en centímetros cuadrados
- $t$  – tiempo en horas
- $K_b$  – coeficiente de permeabilidad que depende del material en  $(\text{cm}^4/(\text{cm}^3 \times \text{hr}))$ . Este coeficiente tiene para el hormigón, un valor comprendido entre 0.10 y 2. El valor de  $K_b$  para factores A/C de 0.5 a 0.6 es inferior a 0.5.



**Figura H 3 Relación agua-cemento vs coeficiente de permeabilidad**

Existen procedimientos de impermeabilización artificial que debe investigar y puede agruparse de la siguiente forma:

- Revestimientos exteriores impermeables
- Revestimientos impermeables, capas protectoras, etc.
- Aditivos impermeabilizantes

#### 4.2.4. Retracción

El hormigón al ser una mezcla de agregados agua y cemento, al ser dosificada correctamente empieza a endurecer, reaccionando el cemento con el agua desprendiendo una energía exotérmica, la pérdida de agua en el volumen existente deja vacíos y se produce la retracción o agrietamiento. Este fenómeno esta muy influenciado por:

- Cemento (tipo, categoría, finura y calidad)
- Árido (Granulometría, finos, cantidad)
- Agua (Cantidad)
- Hormigón (Espesor, elemento, curado; Temperatura, viento, En Masa o armado)

#### 4.2.5. Resistencias mecánicas

Para condiciones estructurales especiales en las que pueda requerirse una resistencia mayor a la compresión, el hormigón puede especificarse por la resistencia mínima requerida y la relación de agua – cemento. En la tabla H.5. se indica el intervalo de resistencias a la compresión que puede obtenerse con las diversas relaciones de agua – cemento e incluye las resistencias para las que pueda usarse hormigón con aire atrapado. Cuando se emplea hormigón de mayor resistencia debe ejercerse gran cuidado en el vaciado, el vibrado y demás detalle de instalación, los cuales deben controlarse en forma especial, para poder lograr que surjan las resistencias previstas.

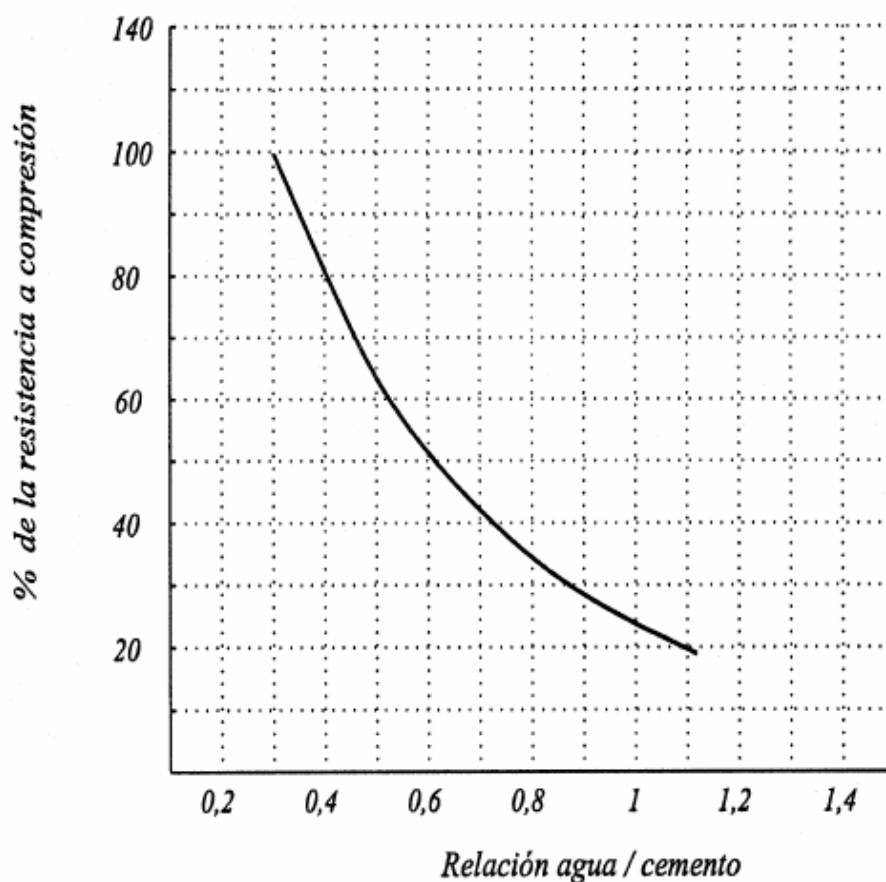
**Tabla H 5. Resistencias a la compresión que se requieren para el concreto armado y las relaciones agua - cemento**

Resistencia mínima a la compresión a los 28 días				
Concreto Normal		Concreto con aire atrapado		Relación agua-cemento por peso
lbf/pulg <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	lbf/pulg <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	
3400	23.44	2700	18.62	0.6
3800	26.2	3100	21.38	0.55
4300	29.65	3500	24.13	0.5
4900	33.79	3900	26.89	0.45
5400	37.23	4300	29.65	0.4

En general las resistencias mecánicas están afectadas por:

- Tipo de cemento; clase, resistencia
- Relación Agua – Cemento
- Áridos; granulometría y coeficiente de forma
- Aditivos

En la figura H 4 se muestra la influencia de la relación A/C en la resistencia a la compresión.



**Figura H 4 Influencia de A/C en la resistencia a la compresión**

#### 4.2.6. Resistencia a la compresión

Usualmente este ensayo se lo realiza en cilindros, para realizar este ensayo se tiene que tener en cuenta los siguientes conceptos; Resistencia característica de proyecto, resistencia característica real, resistencia de cálculo y resistencia característica estimada.





**Figura H 5. Máquina de ensayo a compresión de cilindros de hormigón**

**Fuente: Elaboración Propia**

La fig. H 5. muestra la maquina de ensayo que puede ser cualquier tipo, de suficiente capacidad que proporcione una velocidad de carga adecuada y este equipada con dos placas de apoyo. Toda muestra de ensayo puede ser roto con un tiempo permisible que varía de acuerdo con la edad de la muestra a ser ensayada, como sigue:

Edad de la muestra	Tolerancia aceptable
24 hrs.	+/- 0.5 hrs. o 2.1 %
3 días	2.0 hrs. o 2.8 %
7 días	6.0 hrs. o 3.6 %
28 días	20 hrs. o 3.0 %
90 días	2 días o 2.2 %

#### **4.2.7. Resistencia a la tracción**

Usualmente en las estructuras de hormigón simple o armado, se desprecia la resistencia a la tracción del hormigón, no se ha considerado necesario efectuar investigaciones profundas para determinar el comportamiento del hormigón sometido a este esfuerzo. La resistencia a la rotura por tracción varía, para los hormigones de la composición que se emplea ordinariamente en la práctica, entre 17 y 30 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días.

#### **4.2.8. Resistencia a la flexión**

Este ensayo abarca el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión del hormigón por el uso de una viga simple de (6" x 6") de sección y 21" como mínimo de longitud, cuando se

aplica la carga en los puntos tercios de la long de luz libre. Este ensayo es característico en losas para pavimento rígido.



**Figura H 6. Equipo para resistencia a la flexión**

**Fuente: Elaboración Propia**

#### **4.3. Efectos de la temperatura sobre las características del hormigón**

Los efectos de la temperatura en el hormigón son muy considerables ya que cambias las características intrínsecas del mismo.

**Tabla H 6 Efectos de la temperatura**

<b>TEMPERATURA</b>	<b>EFEECTO SOBRE EL HORMIGÓN ENDURECIDO</b>
< 100°C	Ninguna influencia
100 a 150°C	Pierde el agua capilar y de adsorción.
150°C mantenido durante tiempo	Disminuye la resistencia a compresión de forma ligera y en un gran porcentaje la de tracción.
Hasta 250°C en períodos cortos	Disminuye la resistencia a tracción, no afectándose la de compresión.
De 300 a 500°C	Pierde un 20% la resistencia de compresión, desapareciendo la de tracción.
A 500°C y más	Se pierde el agua combinada y de cristalización de los compuestos formados en la hidratación del cemento, con lo que se transforma la estructura interna del hormigón, perdiendo la resistencia a compresión.
A 900 - 1.000°C	El hormigón se destruye.

## 5. HORMIGONES ESPECIALES

Entre ellos se incluyen:

- a) **Hormigón liviano.**-Se designa como hormigón liviano a aquellos que producen una densidad inferior a  $19 \text{ kg/dm}^3$ . Los hormigones livianos tienen un amplio campo de uso en los casos en que se desea obtener aislamiento térmico y secundariamente acústica y también para rebajar el peso muerto actuante sobre los elementos estructurales resistentes.

Tienen como principal limitación su baja resistencia y su alta retracción hidráulica, aspectos que deben ser debidamente considerados al contemplar su uso.

- b) **Hormigón proyectado.**- El hormigón proyectado o chotcrete juega un importante rol en la moderna tecnología del hormigón. Ampliamente usado en obras de ingeniería y en construcción en general, su mayor campo de aplicación es la construcción de túneles, donde forma una parte vital en el sistema primario de soporte.
- c) **Hormigón bajo agua.**- En las oportunidades en que debe colocarse hormigón en sitios inundados y no es posible agotar el agua por gravedad o mediante bombeo, puede ser necesario recurrir a la colocación de hormigón bajo agua.

En primer termino, la dosificación del hormigón empleado debe considerar las siguientes características generales:

- Alta fluidez, con un asentamiento de cono comprendido entre 15 y 20 cm.
  - Consistencia muy cohesiva, con alto contenido de arena, pudiendo utilizarse para este objeto el coeficiente **M** del método de dosificación de Foury correspondiente a compactación nula.
  - Tamaño máximo del árido más grueso no superior a 40 mm.
  - Dosis de cemento mínima de  $350 \text{ kg/m}^2$  o, en caso de definirse esta por resistencia, un 25% superior a la correspondiente por este concepto.
- d) **Hormigón compactado con Rodillo vibratorio.**- Esta técnica consiste básicamente en el empleo de un hormigón de muy baja fluidez, no medible mediante el asentamiento de cono, por lo que es posible utilizar rodillos vibratorios para su compactación.
- e) **Hormigón de alta resistencia.**- El hormigón de alta resistencia a temprana edad es un hormigón que alcanza su resistencia especificada a una edad más temprana que la que requiere un hormigón normal. El período en el que tenga que obtener una resistencia especificada puede variar desde unas cuantas horas (e incluso minutos) hasta varios días. Se puede lograr un hormigón de alta resistencia a temprana edad haciendo uso de los ingredientes y de las prácticas de colocación tradicionales para el concreto, aunque a veces se necesitan materiales o técnicas especiales.

- f) **Ferro cemento.-** La fabricación del material ferrocemento consiste básicamente en la colocación de un mortero plástico ya sea manual o mecánicamente sobre mallas de acero convenientemente dispuestas, de manera que puedan sustentar el mortero y este penetre en su interior y las recubra totalmente.
- g) **Hormigón celular autoclavado (HCA).-** es por un proceso ecológico y sin ningún grado de toxicidad. Se elabora a partir de 4 materias primas: arena, cal, cemento y yeso; estos 4 elementos se mezclan, agregándoles agua y un agente expansor en base a aluminio, que determina la expansión de la masa por la formación de millones de burbujas de aire uniformemente distribuidas en la mezcla.
- h) **Hormigón pesado.-** Los hormigones pesados se utilizan como protección contra las radiaciones producidas en las plantas en base a energía nuclear. La obtención de estos queda condicionada al empleo de áridos bajo peso específico, para lo cual se obtienen normalmente de rocas mineralizadas o bien, aunque con menor frecuencia, se recurre a áridos constituidos por granalla o trozos metálicos.
- i) **Hormigón Fibra.-** Este hormigón contiene fibras de polipropileno virgen, fibrilizado de color transparente, con un alto módulo de elasticidad cuyas principales características son:
- Baja conductividad térmica.
  - Nula conductividad eléctrica.
  - Alta resistencia a los medios agresivos.
  - Carencia de reacción frente a los elementos que conforman la mezcla de hormigón.

## 6. REQUISITOS Y RELACIONES ACONSEJABLES EN EL HORMIGÓN

La cantidad real de agua que se requiere para hidratar perfectamente al cemento, es decir, para mejorar su poder adhesivo, es muy pequeña en comparación con el agua necesaria para mejorar la consistencia plástica que permite manejar el hormigón como se muestra en la tabla H 7.

En la tabla H 8 se muestra, el efecto que tiene al agregar cantidades mayores de agua de mezclado en el revenimiento, sin embargo estos valores debe calcularse y correlacionarse para llegar a una correcta relación agua – cemento.

**Tabla H 7 Relaciones máximas aconsejables y admisibles de agua-cemento para diversos usos en construcción y en condiciones de exposición**

<b>Condiciones de exposición</b>						
<b>Intervalo amplio de congelación y descongelación (hormigón con aire atrapado únicamente)</b>			<b>Temperaturas benignas apenas inferiores a la congelación, o condiciones lluviosas o áridas (concreto con o sin aire atrapado)</b>			<b>Tipo de construcción</b>
Expuestos al aire	En agua fresca	En agua de mar o en contacto con sulfatos <sup>3</sup>	Expuestos al aire	En agua fresca	En agua de mar o en contacto con sulfatos <sup>4</sup>	
0.49	0.44	0.40	0.53	0.49	0.40	Selecciones delgadas, tubos y pilotes reforzados
0.44	0.44	0.40	0.49	0.49	0.44	Cubiertas de puentes
0.49			0.53	0.49		Secciones delgadas con menos de 1 pulg. de cubierta de concreto sobre concreto
0.53	0.49	0.44	c <sup>4</sup>	0.53	0.44	Muros de contención, pilares, vigas maestras, partes exteriores de secciones de masa pesada
	0.44	0.44		0.44	0.44	Concreto depositado bajo agua por medio de tubo-embudo
0.53			c <sup>5</sup>			Losas de concreto sobre el terreno
0.49				0.53		Pavimentos
c			c <sup>5</sup>			Concreto protegido de la intemperie, interior de edificios y concreto situado bajo el nivel del terreno
0.53			c <sup>5</sup>			Concreto que se ha de proteger contra la congelación y descongelación dentro de un lapso de 2 ó 3 años.

**Tabla H 8 Requisitos de prueba de revenimiento para valores tipos de construcción de hormigón**

Revenimiento <sup>5</sup>				Usos principales
Máximo		Máximo		
pulg	mm	pulg	mm	
5	127.0	2	50.8	Zapatas y muros de cimentación reforzados
4	101.6	1	25.4	Zapatas simples y muros no reforzados
6	152.4	3	76.2	Losas, vigas, muros y columnas reforzados
3	76.2	2	50.8	Pavimento
3	76.2	1	25.4	Concreto masivo

<sup>3</sup> Agua del subsuelo del terreno que contenga concentraciones de sulfato mayores de 0.2 %.

<sup>4</sup> c<sup>5</sup> La relación agua-cemento debe seleccionarse con base a los requisitos de resistencia y plasticidad

<sup>5</sup> El revenimiento se diseña en general en las mezclas de concreto aprobadas por prueba. Para concreto mezclado por volumen, debe seguirse siempre lo que indica la tabla.

Los diferentes tipos de cemento Pórtland que son particularmente adecuados para producir una clase específica de concreto, se muestra en las tablas H 9 y 10.

**Tabla H 10 Tipo de cemento en relación con el tipo de concreto**

<b>Cemento Pórtland</b>	<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Uso principal</b>
Tipo I, Normal <sup>6</sup>	Hormigón normal de tipo estándar	Para construcción en general
Tipo IA, con aire atrapado	Estándar con aire atrapado, más plástico y con resistencia a la congelación y descongelación	Para construcción en general
Pórtland de escoria de alto horno IS	Hormigón de tipo estándar	Para construcción en general
Pórtland con escoria de alto horno con aire atrapado IS-A	Hormigón de tipo estándar con más plasticidad y resistencia a la congelación y descongelación	Para construcción en general
Tipo II, Moderado	De fraguado lento, de menor generación de calor y menor cambio de volumen que los tipos I y IA; desarrolla su resistencia a los 28 días	Para uso general en construcciones y cuando hay exposición a la acción moderada de sulfatos
Tipo IIA, con atropamiento de aire	Igual que el hormigón que emplea el cemento moderado del tipo II, pero con mayor plasticidad y resistencia a la congelación y descongelación	Para uso general en construcciones y cuando hay exposición a la acción moderada de sulfatos
Tipo III, alta resistencia prematura	Fraguado rápido, mayor generación de calor (que ayuda a retardar la congelación), cierto cambio de volumen, desarrolla su resistencia a los 7 días.	Para construcciones en las que sea esencial el rápido desarrollo de la resistencia
Tipo IIIA, con atropamiento de aire	Igual que el hormigón en el que se utiliza cemento del tipo III de alta resistencia prematura, pero con más plasticidad y resistencia a la congelación y descongelación	Para construcciones en las que es esencial el rápido mejoramiento de la resistencia
Tipo IV, de bajo calor de hidratación	Fraguado lento, baja generación de calor, pequeño cambio de volumen, buena resistencia con el tiempo.	Para construcciones masivas de hormigón
Tipo V resistente a los sulfatos	Alta resistencia al ataque de los sulfatos, generación de calor relativamente baja, alta resistencia con el tiempo	En donde hay agua subterránea o subsuelo que contiene sulfatos
Puzolana Pórtland, P y PIP	Un hormigón hidráulico	Para grandes estructuras hidráulicas
Puzolana Pórtland con atropamiento de aire, PA y IP-a	Un hormigón hidráulico con atropamiento de aire	Para grandes estructuras hidráulicas

<sup>6</sup> Estas son designaciones de la CSA (Canadian Standards Association) para los cinco tipos designados por I, II, III, IV y V por la ASTM.

**Tabla H 9 Calor generado durante los 7 primeros días para el cemento Pórtland**

<b>Tipo de cemento portland</b>	<b>Porcentaje basado en el 100 % para el tipo I, Normal</b>
Tipo I, Normal	100
Tipo II, Moderado	80 – 85
Tipo III, De alta resistencia	Más de 150
Tipo IV, De bajo calor de hidratación	40 – 60
Tipo V, Resistente a los sulfatos	60 - 75

## 7. EJEMPLO DE DENOMINACIÓN

Se trata de una estructura que se levanta en el Paseo Marítimo de una urbanización situada al borde de la costa.

- La cimentación está en contacto con el agua del nivel freático clasificada por el tipo de exposición como Qb.
- La estructura de la edificación está cubierta.
- Tiene un pavimento de hormigón en paseos, pistas, calles, etc.
- Va a construirse una piscina y una depuradora de agua.

**El hormigón armado de la cimentación se definirá:**

<b>TIPO HORMIGÓN</b>	<b>RESISTENCIA <math>f_{ck}</math></b>	<b>CONSISTENCIA</b>	<b>T. MÁXIMO DEL ÁRIDO</b>	<b>CLASE DE EXPOSICIÓN</b>
HA	30	P	40	IIIa + Qb

En este caso las características específicas del hormigón son:

- Máxima relación agua/cemento = 0.50
- Mínimo contenido de cemento = 350Kg/m<sup>3</sup>
- Resistencia mínima recomendada = 30N/mm<sup>2</sup>
- Recubrimiento armaduras = El proyectista deberá fijar el recubrimiento

**El hormigón de la estructura se definirá:**

TIPO HORMIGÓN	RESISTENCIA $f_{CK}$	CONSISTENCIA	T. MÁXIMO DEL ÁRIDO	CLASE DE EXPOSICIÓN
HA	25	B	20	I

En este caso las características específicas del hormigón son:

- Máxima relación agua/cemento = 0.65
- Mínimo contenido de cemento = 250Kg/m<sup>3</sup>
- Resistencia mínima = 25N/mm<sup>2</sup>
- Recubrimiento armaduras = 20mm

**El hormigón armado de los pavimentos será:**

TIPO HORMIGÓN	RESISTENCIA $f_{CK}$	CONSISTENCIA	T. MÁXIMO DEL ÁRIDO	CLASE DE EXPOSICIÓN
HA	30	B	20	IIIa + E

En este caso las características específicas del hormigón son:

- Máxima relación agua/cemento = 0.50
- Mínimo contenido de cemento = 300Kg/m<sup>3</sup>
- Resistencia mínima recomendada = 30N/mm<sup>2</sup>
- Recubrimiento armaduras = 35mm

**El hormigón armado de la piscina y depuradora de agua se definirá:**

TIPO HORMIGÓN	RESISTENCIA $f_{CK}$	CONSISTENCIA	T. MÁXIMO DEL ÁRIDO	CLASE DE EXPOSICIÓN
HA	30	B	20	IV + Qb

En este caso las características específicas del hormigón son:

- Máxima relación agua/cemento = 0.50
- Mínimo contenido de cemento = 350Kg/m<sup>3</sup>
- Resistencia mínima recomendada = 30N/mm<sup>2</sup>
- Recubrimiento armaduras = El proyectista deberá fijar el recubrimiento



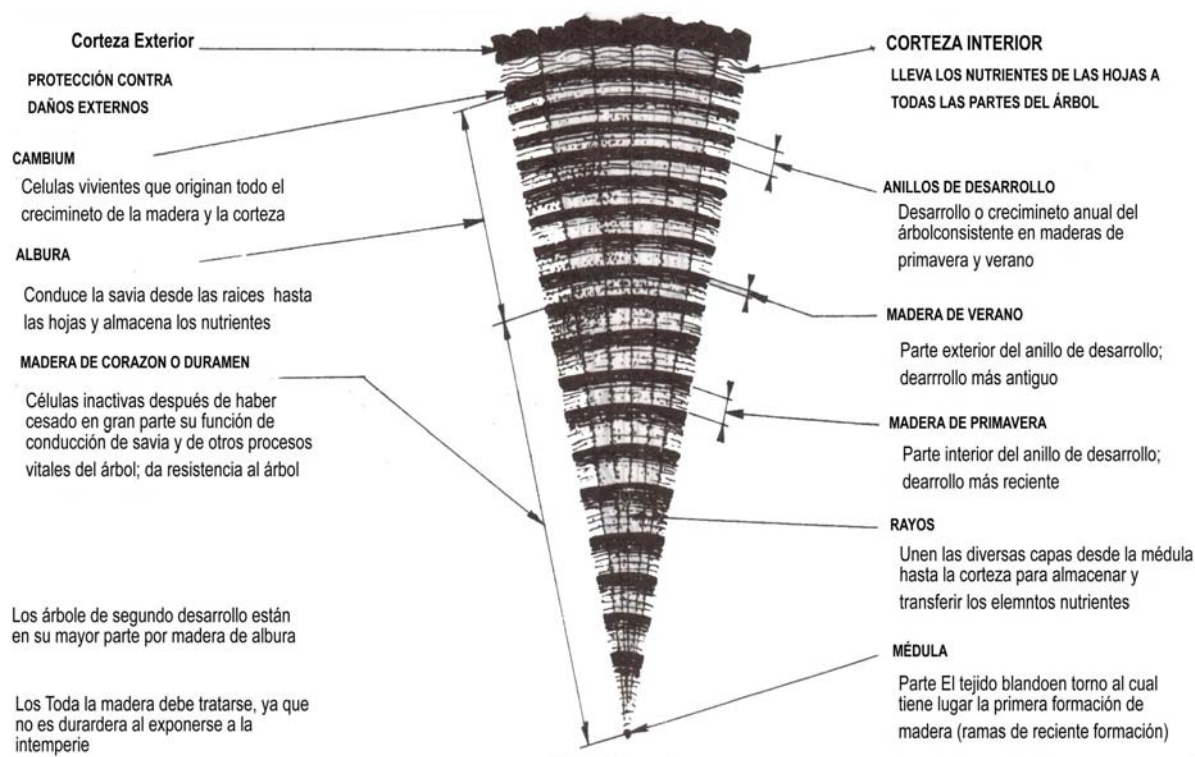
## PRÁCTICA DE CAMPO N° 8

### “MADERAS”

#### 1. INTRODUCCIÓN

Madera, sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los árboles y se ha utilizado durante miles de años como combustible y como material de construcción. Aunque el término madera se aplica a materias similares de otras partes de las plantas, incluso a las llamadas venas de las hojas, en este capítulo sólo se va a hablar de las maderas de importancia comercial y estructural.

La estructura de la madera (fig. M1), sus especies, la manera de cortarla (sus patrones de anillos de crecimiento), y su contenido de humedad, son factores que determinan las propiedades mecánicas de una pieza de madera.



**Figura M1 Sección transversal de un tronco de árbol, mostrando la estructura interna de la**

## **2. COMPONENTES**

Toda la madera está constituida por los siguientes 4 componentes: celulosa, lignina, extractivos y minerales formadores de cenizas.

### **2.1. CELULOSA**

Constituye un 70% de la madera; se subdivide en dos tipos, alfa-celulosa y hemi-celulosa. La celulosa alfa es la base del papel, productos de pulpa, textiles sintéticos y plásticos. En la actualidad, la hemi-celulosa se usa poco y quizá se puede lograr su uso completo mediante una investigación continua.

### **2.2. LIGNINA**

Constituye cerca del 18 a 28 % de la madera; es el adhesivo que da resistencia y rigidez a la madera.

### **2.3. EXTRACTIVOS**

No son parte de la estructura de la madera pero aportan propiedades tales como el color, olor, sabor y resistencia al deterioro. Consisten en tanino, almidón, materia colorante, aceites, resinas, grasas y ceras. Se pueden eliminar de la madera mediante disolventes neutros, agua, alcohol, acetona, benceno y éter.

### **2.4. MINERALES FORMADORES DE CENIZA**

Constituyen desde el 0.2 al 1.0 % del madera y forman parte de la estructura de la madera. Son los elementos nutrientes del árbol y se convierte en cenizas cuando la lignina y la celulosa se queman.

## **3. EXPANSIÓN TÉRMICA LINEAL**

El coeficiente de expansión térmica lineal difiere en todas las especies, según la dirección estructural de la madera.

1. La expansión en dirección longitudinal (paralela a las fibras) es independiente de la densidad específica de la madera varía de 0.0000011 a 0.0000033 pulg/°F para las diferentes especies.
2. La expansión a través de las fibras o en dirección radial y tangencial varía directamente con la densidad específica de la madera (cuando esta extra seca) de 0.0000146 a 0.0000341 pulg/F para las diferentes especies.

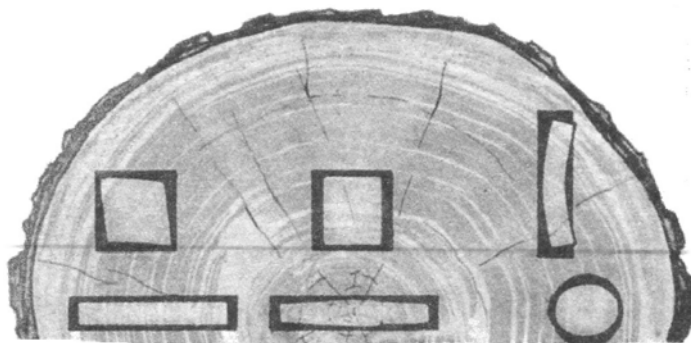
Por lo general, el coeficiente de expansión térmica se puede omitir debido a que es mucho mayor el movimiento de la madera (hinchamiento y contracción) causado por la humedad en condiciones normales de exposición. Sin embargo, en edificios que se deben mantener secos y

están expuestos a una amplia gama de cambios de temperatura, se tiene que considerar el coeficiente de expansión térmica.

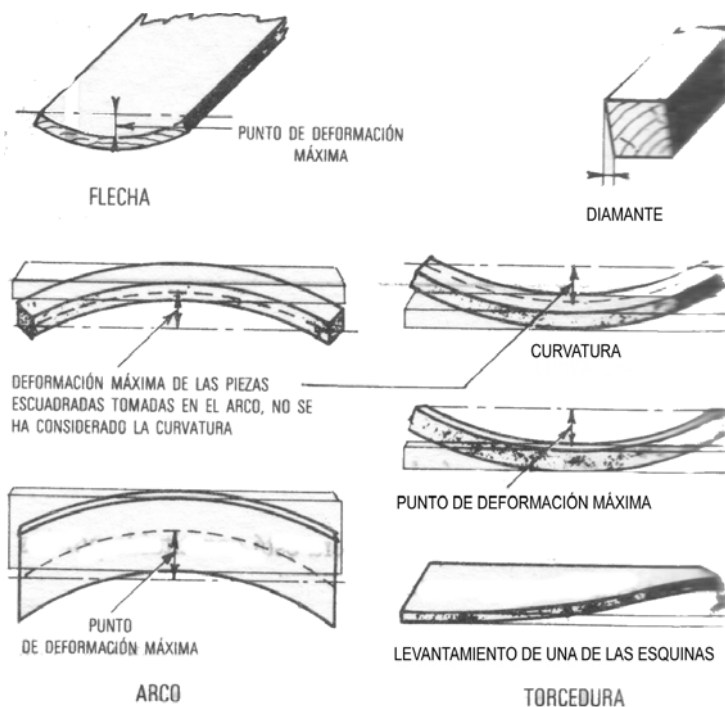
#### 4. CONTENIDO DE HUMEDAD

La madera se contrae cuando pierde humedad y se hincha cuando la absorbe. El agua en la madera se puede dividir en dos categorías (véase también Propiedades físicas):

1. agua libre en las cavidades celulares y espacios intercelulares de la madera
2. agua absorbida y retenida en los apilares de muros de elementos de madera, como los de fibras y celdas radiales.



**Figura M2 Contracción y distorsiones causadas por la dirección de los anillos anuales**



**Figura M3 Diversos tipos de combadura de la madera**

El agua absorbida es importante en relación con la contracción. Cuando se elimina toda el agua libre, pero permanece la absorbida, se llega al llamado punto de saturación de fibra (aproximadamente 30% de contenido de humedad para todas las especies). La contracción se presenta con porcentajes de contenido de humedad inferiores al punto de saturación de fibra. La madera que se seca al 15% de humedad, ha alcanzado cerca de la mitad de la contracción total posible. Por cada 1 % de pérdida de humedad por debajo del punto de saturación de fibra, la madera se contrae casi 1/30 de la contracción posible total y del mismo modo por cada 1 % de aumento en el contenido de humedad la madera se infla casi 1/30 del hinchamiento posible total. La madera se contrae sobre todo en la dirección de los anillos de crecimiento anual, y menos a través de estos anillos, y en general muy poco paralelamente a la veta. En las figuras M2 y M3 se ilustra la contracción y distorsiones de varias piezas de madera, en relación con sus anillos de crecimiento (según su situación en el tronco original) y las diversas clases de torceduras.

En las tablas M1-1 y M2-2 (Ensayos de maderas) se dan valores de contracción para diversos contenidos de humedad de maderas suaves y duras utilizadas en construcción.

Por lo general, pero no siempre, la madera se debe curar o secar hasta un contenido de humedad como se indica en la tabla M1 y la figura M2; los valores varían y dependen de donde se usará la madera (en exterior o interior).

***Tabla M1 Contenidos de humedad recomendados para materiales de madera en el momento de la instalación en diversas regiones***

<b>Promedio de contenido de humedad recomendado en el momento de la instalación (porcentaje de peso de madera secada en horno)<sup>1</sup></b>			
<b>Lugar del edificio donde se usa la madera</b>	<b>Clima seco</b>	<b>Clima húmedo</b>	<b>Otros</b>
Acabado interior y pisos de madera blandas	6	11	8
Recubrimientos exteriores, cubiertas, marcos y molduras de vista en exterior	9	12	12

## **5. CURADO O SECADO**

A la madera recién cortada se le llama madera verde. Antes de usarla se debe curar ya sea mediante secado por aire o en estufa. Las ventajas de la madera secada por aire respecto a la madera verde son la reducción de peso; reducción de la contracción, agrietamiento, porosidad y torcimiento; aumento de la resistencia y el poder de retención de clavos; disminución del ataque de diversos hongos e insectos, y mejoramiento de la capacidad de la madera para retener la pintura y recibir conservadores.

Las ventajas del secado con estufa respecto al secado con aire son mayor reducción de peso, control del contenido de humedad al valor que se desee, reducción del tiempo de secado,

<sup>1</sup> Si se prueba el 10% y el contenido promedio de humedad está dentro de +/- 1%, el lote completo de este material será satisfactorio. La madera aserrada para marcos, con alto contenido de humedad, se utiliza con frecuencia ya que puede no existir disponible el material con el contenido especificado de humedad, excepto sobre orden especial.

destrucción de hongos e insectos, secado de las resinas en madera resinosa y menor degradamiento.

*Degradamiento* es la pérdida de calidad durante el curado de la madera, por:

1. Contracción desigual, que incluye grietas, porosidad, torcedura, aflojamiento de los nudos y colapso
2. Acción de los hongos, es decir, agujeros, manchas y deterioro

A veces, en algunas maderas suaves se presentan manchas por acción química.

## 6. FORMAS COMERCIALES

La madera se obtiene en forma de tablas, vigas, pilotes, chapeado y laminado (integrado).

*EL PIE TABLÓN* es la unidad de medida de la madera, igual a una tabla de 1 pie<sup>2</sup> (12 pulg<sup>2</sup>, 304.8 mm<sup>2</sup>) y una pulgada (25.4 mm) de espesor.

### 6.1. MEDICIÓN DE MADERAS

En el comercio de maderas habitualmente se indican pies<sup>2</sup> ó m<sup>2</sup> entendiéndose en el ramo que se está refiriendo a dicha superficie en un espesor de 1", **sin necesidad de aclarar esto último.**

De este modo definimos volúmenes utilizando unidades de superficie.

En transacciones de magnitud mayor se cubica por pie<sup>3</sup> ó m<sup>3</sup>, correspondiéndose estas medidas con el volumen total real (Tabla 3).

Los modos habituales de medición son;

- por metros lineales (m) definiendo la sección en pulgadas.
- por pies lineales (pie) definiendo la sección en pulgadas.
- por metros cuadrados (m<sup>2</sup>) sobreentendiéndose que se refiere a 1" de espesor.
- por pies cuadrados (pie<sup>2</sup>) sobreentendiéndose que se refiere a 1" de espesor.
- por metro cúbico (m<sup>3</sup>) correspondiendo al volumen real.
- por pie cúbico (pie<sup>3</sup>) correspondiendo al volumen real.

Para pasar de un modo de medición a otro se pueden consultar las Tablas e indicaciones que figuran más adelante. De acuerdo al tamaño de la escuadría y las proporciones de los lados de la sección, las piezas de madera **son designadas con diversos nombres** como se detalla en el punto 6.1.4. Los límites de escuadrías que allí hemos consignado para cada denominación son sólo aproximados y pueden variar según las costumbres del lugar o tomar otras denominaciones para secciones específicas, en cuyo caso no hace falta aclarar la sección (por ejemplo: listón de yesero = 1/2"x 1 1/2" ó puntal de encofrado = 3"x3").

Cuando la medición se efectúa por unidad de longitud (m ó pie) debe acompañarse la denominación correspondiente y especificarse la escuadría, por ejemplo:

800 pies lineales de tirantes 3"x3"  
400 m lineales de alfajía 1"x2 1/2"

La **escuadría** es la dimensión de la sección transversal de la pieza: ancho y alto, medida en pulgadas, con independencia del largo de la pieza, por ejemplo: 4" x 6" es la escuadría de una viga que tiene 4" de ancho y 6" de alto y cualquier largo.

El modo de medición lineal se aplica generalmente cuando es poca la variedad de escuadrías, cuando se trata de maderas cepilladas, o en el caso particular de los tablonés que por requerir mayor calidad no se incluye en una suma conjunta con otras escuadrías.

Cuando la medición involucra mayor variedad de escuadrías, y en cantidades importantes, es habitual transformar todo el conjunto a m<sup>2</sup> o pies<sup>2</sup> (siempre de 1" de espesor), como en el siguiente ejemplo:

$$\left. \begin{array}{l} 200 \text{ m tirantes } 3 \times 3 \text{ Bto} \\ 300 \text{ m}^3 \text{ tablas } 2 \times 6 \text{ Bto} \\ 30 \text{ m}^2 \text{ tablas } 1 \times 4 \text{ Bto} \\ 250 \text{ m tirantes } 2 \times 5 \text{ Bto} \\ 100 \text{ m alfajías } 1 \times 3 \text{ Bto} \end{array} \right\} = 7.715,62 \text{ pies}^2$$

Esta modalidad es preferida en algunos casos pues disminuye los errores al multiplicarse una sola vez por el precio unitario, y permite, por otro lado, negociar un solo precio unitario en todo el conjunto. También en el caso de compulsa de precios se consulta un solo valor. Esto es posible si el precio por volumen unitario es igual para todas las escuadrías, lo que frecuentemente sucede. En las escuadrías más chicas (bulín o listón) posiblemente haya un recargo por el mayor costo del corte.

### 6.1.1. Cepillado

En todos los casos debe especificarse además si las piezas se piden en bruto (Bto) o cepillado (Cep), tanto en las mediciones como en el precio.

Por ejemplo: 420 pie<sup>2</sup> tablas 1" x 4" Cep

La madera cepillada tiene un recargo en el precio del orden del 10 al 25%. Con el cepillado se produce una reducción de sección del orden de 2 a 3 mm por lado. La dimensión final cepillada acompaña las imperfecciones de dimensión normales del corte en bruto, que pueden alcanzar hasta aproximadamente 4 mm. Si se desea una medida exacta de cepillado igual para todas las piezas de la misma escuadría, debe puntualizarse ello muy especialmente y controlarse en la recepción.

En el caso de cepillado de tablas debe aclararse especialmente si se requiere el cepillado de los cantos. Otras secciones distintas a las tablas o listones, se sobrentiende que el cepillado se efectúa en los cuatro cantos.

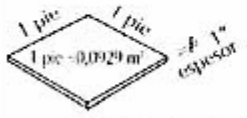
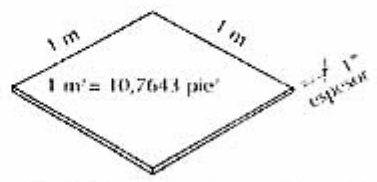
### 6.1.2. Largos

Los largos de las piezas de madera no son regulares, aunque se aproximan con algunas diferencias a valores estándar que en metros pueden ser: 2,74; 3,05; 3,35; 3,66; 3,96; 4,27; 4,57; 4,88; 5,18. (Estas longitudes corresponden a múltiplos de pie).

Debe efectuarse la advertencia al proveedor si las necesidades de uso requieren un largo mínimo determinado, o para el caso de quererse minimizar desperdicios por corte del sobrante, dado que las piezas se adquieren enteras dentro de rangos como los estándares arriba indicados.

### 6.1.3. Tablas de conversión

**Tabla M2 - pie<sup>2</sup> a m<sup>2</sup> y m<sup>2</sup> a pie<sup>2</sup> (manteniendo la pulgada de espesor)**

Cifra disponible en pie <sup>2</sup> Cifra buscada en m <sup>2</sup> Multiplicar cifra disponible por (x) 0,0929	Cifra disponible en m <sup>2</sup> Cifra buscada en pie <sup>2</sup> Multiplicar cifra disponible por (x) 10,7636
 <p style="text-align: center;"><b>1 pie<sup>2</sup></b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>1 m<sup>2</sup></b></p>
Ejemplos: 326 pie <sup>2</sup> x 0,0929 = 30,2854 m <sup>2</sup> 55 m <sup>2</sup> x 10,7643 = 592,6415 pie <sup>2</sup>	

*Fuente: Apuntes Ing. Gustavo Cano*

**Tabla M3 - pie (lineal) a m (lineal) y m (lineal) a pie (lineal)**  
**(Manteniendo la pulgada de espesor)**

Cifra disponible en pies (lineales) Cifra buscada en m (lineales) Multiplicar cifra disponible por (x) 0,3048	Cifra disponible en m (lineal) Cifra buscada en pies (lineales) Multiplicar cifra disponible por (x) 3,2808
Ejemplos: 62 pies (lineales) x 0,3048 = 18,8976 m (lineales) 45 m (lineales) x 3,2808 = 147,6360 pie <sup>2</sup> (lineales)	



**Tabla M4 - Conversión a unidades cúbicas**

Cifra disponible en:	Cifra buscada en:	Multiplicar cifra disponible por:
pie <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	m <sup>3</sup>	0,002359
m <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	m <sup>3</sup>	0,025399
pie <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	pie <sup>3</sup>	0,083333
m <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	pie <sup>3</sup>	0,897024
m <sup>3</sup>	pie <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	423,800237
m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	39,370792
pie <sup>3</sup>	pie <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	12,000000
pie <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> (de 1" de esp.)	1,114788
Ejemplos: 36 pie <sup>2</sup> x 0,002359 = 0,0849 m <sup>3</sup> 600 pie <sup>3</sup> x 1,114788 = 668,8728 m <sup>2</sup>		

**Tabla M5 - pies (lineales) a m<sup>2</sup> (de 1" de espesor)**

T-4	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	0,07742	0,01548	0,02323	0,03096	0,03871	0,04645	0,05419	0,06193
2"	0,01548	0,03097	0,04645	0,06193	0,07742	0,09290	0,10839	0,12387
3"	0,02323	0,04645	0,06968	0,09290	0,11613	0,13935	0,16258	0,18581
4"	0,03097	0,06193	0,09290	0,12387	0,15484	0,18581	0,21677	0,24774
5"	0,03871	0,07742	0,11613	0,15484	0,19355	0,23226	0,27097	0,30968
6"	0,04645	0,09290	0,13935	0,18581	0,23226	0,27871	0,32516	0,37161
7"	0,05419	0,10839	0,16258	0,21677	0,27097	0,32516	0,37935	0,43355
8"	0,06193	0,12387	0,18581	0,24774	0,30968	0,37161	0,43355	0,49548
9"	0,06968	0,13935	0,20903	0,27871	0,34839	0,41806	0,48774	0,55742
10"	0,07742	0,15484	0,23226	0,30968	0,38710	0,46451	0,54193	0,61935
11"	0,08516	0,17032	0,25548	0,34064	0,42581	0,51097	0,59613	0,68129
12"	0,09290	0,18581	0,27811	0,37161	0,46451	0,55742	0,65032	0,74322

Cifra disponible en pies (lineales) de una determinada escuadría.

Cifra buscada en m<sup>2</sup> (de 1" de espesor)

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría

Ejemplos: 620 pies de 2" x 5" = 620 x 0,07742 = 48,0004 m<sup>2</sup> de 2" x 5"

1300 pies de 1" x 4" = 1300 x 0,3096 = 402,48 m<sup>2</sup> de 1" x 4"



**Tabla M6- pies (lineales) a pie<sup>2</sup> (de 1" de espesor)**

T-5	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	0,08333	0,16667	0,25000	0,33333	0,41667	0,50000	0,58333	0,66667
2"	0,16667	0,33333	0,50000	0,66667	0,83333	100,000	116,667	133,333
3"	0,25000	0,50000	0,75000	100,000	125,000	150,000	175,000	200,000
4"	0,33333	0,66667	100,000	133,333	166,667	200,000	233,333	266,667
5"	0,41667	0,83333	125,000	166,667	208,333	250,000	291,667	333,333
6"	0,50000	100,000	150,000	200,000	250,000	300,000	350,000	400,000
7"	0,58333	116,667	175,000	233,333	291,667	350,000	403,333	466,667
8"	0,66667	133,333	200,000	266,667	333,333	400,000	466,667	533,333
9"	0,75000	150,000	225,000	300,000	375,000	450,000	525,000	600,000
10"	0,83333	166,667	250,000	333,333	416,667	500,000	583,333	666,667
11"	0,91667	183,333	275,000	366,667	458,333	550,000	641,667	733,333
12"	100,000	200,000	300,000	400,000	500,000	600,000	700,000	800,000

Cifra disponible en pies (lineales) de una determinada escuadría.

Cifra buscada en pies<sup>2</sup> (de 1" de espesor).

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría

Ejemplos: 820 pies de 3"x6" = 820 x 1,50 = 1230 pie<sup>2</sup> de 3"x6"

740 pies de 1"x5" = 740x0,41667 = 308,3358 pie<sup>2</sup> de 1"x5"

**Tabla M7 - m (lineales) a pie<sup>2</sup> (de 1" de espesor)**

T-6	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	0,27340	0,54681	0,82021	109,361	136,701	164,042	191,382	218,723
2"	0,54681	109,361	164,042	218,723	273,403	328,084	382,765	437,445
3"	0,82021	164,042	246,063	328,084	410,105	492,126	574,147	656,168
4"	109,361	218,723	328,084	437,445	546,807	656,168	765,529	874,891
5"	136,701	273,403	410,105	546,807	683,508	820,210	956,912	1,093,613
6"	164,042	328,084	492,126	656,168	820,210	984,252	1,148,294	1,312,336
7"	191,382	382,765	574,147	765,529	956,912	1,148,294	1,339,676	1,531,059
8"	218,723	437,445	656,168	874,891	1,093,613	1,312,336	1,531,059	1,749,781
9"	246,063	492,126	738,189	984,252	1,230,317	1,476,380	1,722,441	1,968,504
10"	273,403	546,807	820,210	1,093,613	1,367,017	1,640,420	1,913,823	2,187,227
11"	300,744	601,487	902,231	1,202,975	1,503,718	1,804,462	2,105,206	2,405,949
12"	328,084	656,168	984,252	1,312,336	1,640,420	1,968,504	2,296,588	2,624,672

Cifra disponible en m (lineales) de una determinada escuadría.

Cifra buscada en pies<sup>2</sup> (de 1" de espesor).

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría.

Ejemplos:  $835 \text{ m de } 3'' \times 6'' = 835 \times 4,92126 = 4109,2521 \text{ pie}^2 \text{ en } 3'' \times 6''$

$420 \text{ m de } 1'' \times 4'' = 420 \times 1,09361 = 459,3162 \text{ pie}^2 \text{ en } 1'' \times 4''$

**Tabla M8 - m (lineales) a m<sup>2</sup> (de 1" de espesor)**

T-7	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	0,0254	0,0508	0,0762	0,1016	0,1270	0,1524	0,1778	0,2032
2"	0,0508	0,1016	0,1524	0,2032	0,2540	0,3048	0,3556	0,4064
3"	0,0762	0,1524	0,2286	0,3048	0,3810	0,4572	0,5334	0,6096
4"	0,1016	0,2032	0,3048	0,4064	0,5080	0,6096	0,7112	0,8128
5"	0,1270	0,2540	0,3810	0,5080	0,6350	0,7620	0,8890	0,0160
6"	0,1524	0,3048	0,4572	0,6096	0,7620	0,9144	10,668	12,192
7"	0,1778	0,3556	0,5334	0,7112	0,8890	10,668	12,446	14,224
8"	0,2032	0,4064	0,6096	0,8128	10,160	12,192	14,224	16,256
9"	0,2286	0,4572	0,6858	0,9144	11,430	13,716	16,002	18,288
10"	0,2540	0,5080	0,7620	10,160	12,700	15,240	17,780	20,320
11"	0,2794	0,5588	0,8382	11,176	13,970	16,764	19,558	22,352
12"	0,3048	0,6096	0,9144	12,192	15,240	18,288	21,336	24,384

Cifra disponible en m (lineales) de una determinada escuadría.

Cifra buscada en m<sup>2</sup> (de 1" de espesor)

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría.

Ejemplos:  $525 \text{ m de } 2'' \times 6'' = 525 \times 0,3048 = 160,020 \text{ m}^2 \text{ en } 2'' \times 6''$

$330 \text{ m de } 2'' \times 4'' = 330 \times 0,3048 = 100,584 \text{ m}^2 \text{ en } 3'' \times 4''$

**Tabla M9- m<sup>2</sup> (de 1" de espesor) a m (lineales) de una escuadría determinada**

T-8	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	3,937,008	1,968,504	1,312,336	984,252	787,402	656,168	562,410	402,126
2"	1,968,504	984,252	656,168	492,126	393,701	328,084	281,215	246,063
3"	1,312,336	656,168	437,445	328,084	262,467	218,723	187,477	164,042
4"	984,252	492,126	328,084	246,063	196,850	164,042	140,607	123,031
5"	787,402	393,701	262,467	196,850	157,480	131,234	112,486	0,98425
6"	656,168	328,084	218,723	164,042	131,234	109,361	0,93738	0,82021
7"	562,430	281,215	187,477	140,607	112,486	0,93738	0,80347	0,70304
8"	492,126	246,063	164,042	123,031	0,98425	0,82021	0,70304	0,61516
9"	437,445	218,723	145,815	109,361	0,87489	0,72908	0,62492	0,54681
10"	393,701	196,850	131,234	0,98425	0,78740	0,65617	0,56243	0,49213
11"	357,910	178,955	119,303	0,89477	0,71582	0,59652	0,51130	0,44739
12"	328,084	164,042	109,361	0,82021	0,65617	0,54681	0,46869	0,41010

Cifra disponible en m<sup>2</sup> (de 1" de espesor).

Cifra buscada en m (lineales) de la escuadría que se elija.

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría a la que se desea efectuar la conversión.

Ejemplos:  $220 \text{ m}^2$  en  $3" \times 6" = 220 \times 2,18723 = 481,1906 \text{ m de } 3" \times 6"$

$315 \text{ m}^2$  en  $2" \times 6" = 315 \times 3,28084 = 1033,4646 \text{ m de } 2" \times 6"$

**Tabla M10 - pie<sup>2</sup> (de 1" de espesor) a m (lineales) de una escuadría determinada**

T-9	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	365,760	182,880	121,920	0,91440	0,73152	0,60960	0,52251	0,45720
2"	182,880	0,91440	0,60960	0,45720	0,36576	0,30480	0,26126	0,22860
3"	121,920	0,60960	0,40640	0,30480	0,24384	0,20320	0,17417	0,15240
4"	0,91440	0,45720	0,30480	0,22860	0,18288	0,15240	0,13063	0,11430
5"	0,73152	0,36576	0,24384	0,18288	0,14630	0,12192	0,10450	0,09144
6"	0,60960	0,30480	0,20320	0,15240	0,12192	0,10160	0,08709	0,07624
7"	0,52251	0,26126	0,17417	0,13063	0,10450	0,08709	0,07464	0,06531
8"	0,45720	0,22860	0,15240	0,11430	0,09144	0,07620	0,06531	0,05715
9"	0,40640	0,20320	0,13547	0,10160	0,08128	0,06773	0,05806	0,05080
10"	0,36576	0,18288	0,12192	0,09144	0,07315	0,06096	0,05225	0,04572
11"	0,33251	0,16625	0,11084	0,08313	0,06650	0,05542	0,04750	0,04156
12"	0,30480	0,15240	0,10160	0,07620	0,06096	0,05080	0,04354	0,03810

Cifra disponible en pie<sup>2</sup> (de 1" de espesor).

Cifra buscada en m (lineales) de la escuadría que se elija.

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría a la que se desea efectuar la conversión.

Ejemplos:  $1125 \text{ pie}^2$  en  $2" \times 5" = 1125 \times 0,36576 = 411,48 \text{ m de } 2" \times 5"$

$930 \text{ pie}^2$  en  $2" \times 2" = 930 \times 0,91440 = 850,39 \text{ m de } 2" \times 2"$

**Tabla M11 - m<sup>2</sup> (de 1" de espesor) a pies (lineales) de una escuadría determinada**

T-10	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	12,916,692	6,458,346	4,305,564	3,229,173	2,583,338	2,152,782	1,845,242	1,614,586
2"	6,458,346	3,229,173	2,152,782	1,614,586	1,291,669	1,076,391	922,621	807,293
3"	4,305,564	2,152,782	1,435,188	1,076,391	861,113	717,594	615,081	538,195
4"	3,229,173	1,614,586	1,076,391	807,293	645,835	538,195	461,310	403,647
5"	2,583,338	1,291,669	861,113	645,835	516,668	430,556	369,048	329,173
6"	2,152,782	1,076,391	717,594	538,195	430,556	358,797	307,540	269,098
7"	1,845,242	922,621	615,081	461,310	369,048	307,540	263,606	230,655
8"	1,614,586	807,293	538,195	403,647	329,173	269,098	230,653	201,823
9"	1,435,188	717,594	478,396	358,797	287,038	239,198	205,027	179,398
10"	1,291,669	645,835	430,556	329,173	258,334	215,278	184,524	161,459
11"	1,174,245	587,122	391,415	293,561	234,849	195,707	167,749	146,781
12"	1,076,391	538,195	358,797	269,098	215,278	179,398	153,770	134,549

Cifra disponible en  $m^2$  (de 1" de espesor).

Cifra buscada en pies (lineales) de la escuadría que se elija.

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría a la que se desea hacer la conversión.

Ejemplos:  $1325 m^2$  en  $3"x3"$  =  $1325 \times 14,75188 = 19016,341$  pies de  $3"x3"$

$810 m^2$  en  $1"x4"$  =  $810 \times 32,29173 = 26156,3013$  pies de  $1"x4"$

**Tabla M12 - pie<sup>2</sup> (de 1" de espesor) a pies (lineales) de una escuadría determinada**

T-11	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"
1"	1,260,000	600,000	400,000	300,000	240,000	200,000	171,429	150,000
2"	600,000	300,000	200,000	150,000	120,000	100,000	0,85714	0,75000
3"	400,000	200,000	133,333	100,000	0,80000	0,66667	0,57143	0,50000
4"	300,000	150,000	100,000	0,75000	0,60000	0,50000	0,42857	0,37500
5"	240,000	120,000	0,80000	0,60000	0,48000	0,40000	0,34286	0,30000
6"	200,000	100,000	0,66667	0,50000	0,40000	0,33333	0,28571	0,25000
7"	171,429	0,85714	0,57143	0,42857	0,34286	0,28571	0,24490	0,21429
8"	150,000	0,75000	0,50000	0,37500	0,30000	0,25000	0,21429	0,18750
9"	133,333	0,66667	0,44444	0,33333	0,26667	0,22222	0,19048	0,16670
10"	120,000	0,60000	0,40000	0,30000	0,24000	0,20000	0,17143	0,15000
11"	109,091	0,54545	0,36364	0,27273	0,21818	0,18182	0,15584	0,13636
12"	100,000	0,50000	0,33333	0,25000	0,20000	0,16667	0,14286	0,12500

Cifra disponible en pies<sup>2</sup> (de 1" de espesor).

Cifra buscada en pies (lineales) de la escuadría que se elija.

Multiplicar la cifra disponible por el coeficiente de la Tabla ubicado en el casillero que corresponda a las dos dimensiones de la escuadría a la que se desea efectuar la conversión.

Ejemplos:  $988 pie^2$  en  $2"x4"$  =  $988 \times 1,50 = 1482$  pies de  $2"x4"$

$510 pie^2$  en  $2"x2"$  =  $510 \times 3 = 1530$  pies de  $2"x2"$

#### 6.1.4. Denominaciones de las secciones

Basándonos en la Norma Boliviana (NB 093-74) para la medición y cubicación podemos asignar denominativos según la sección (fig. M4):

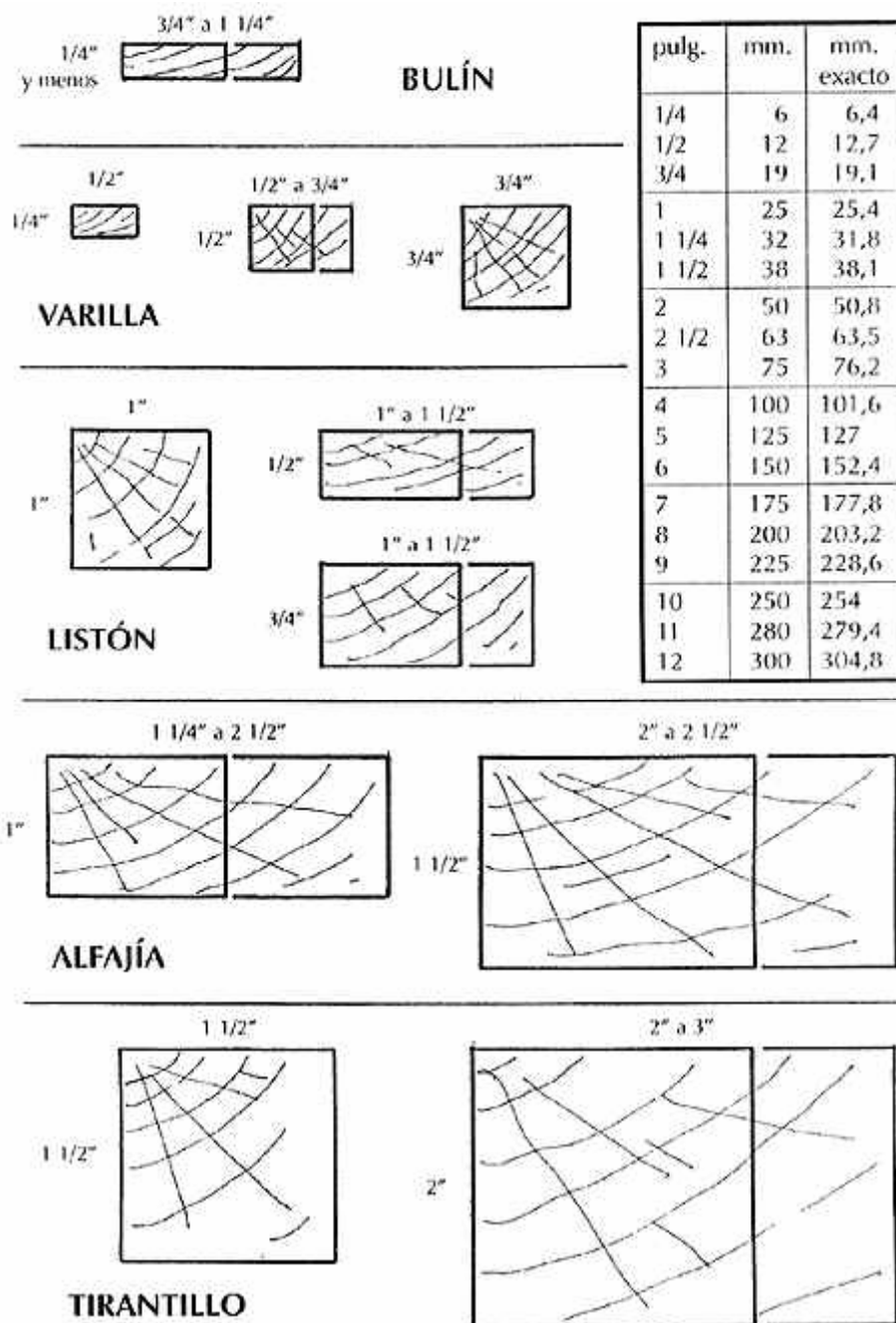
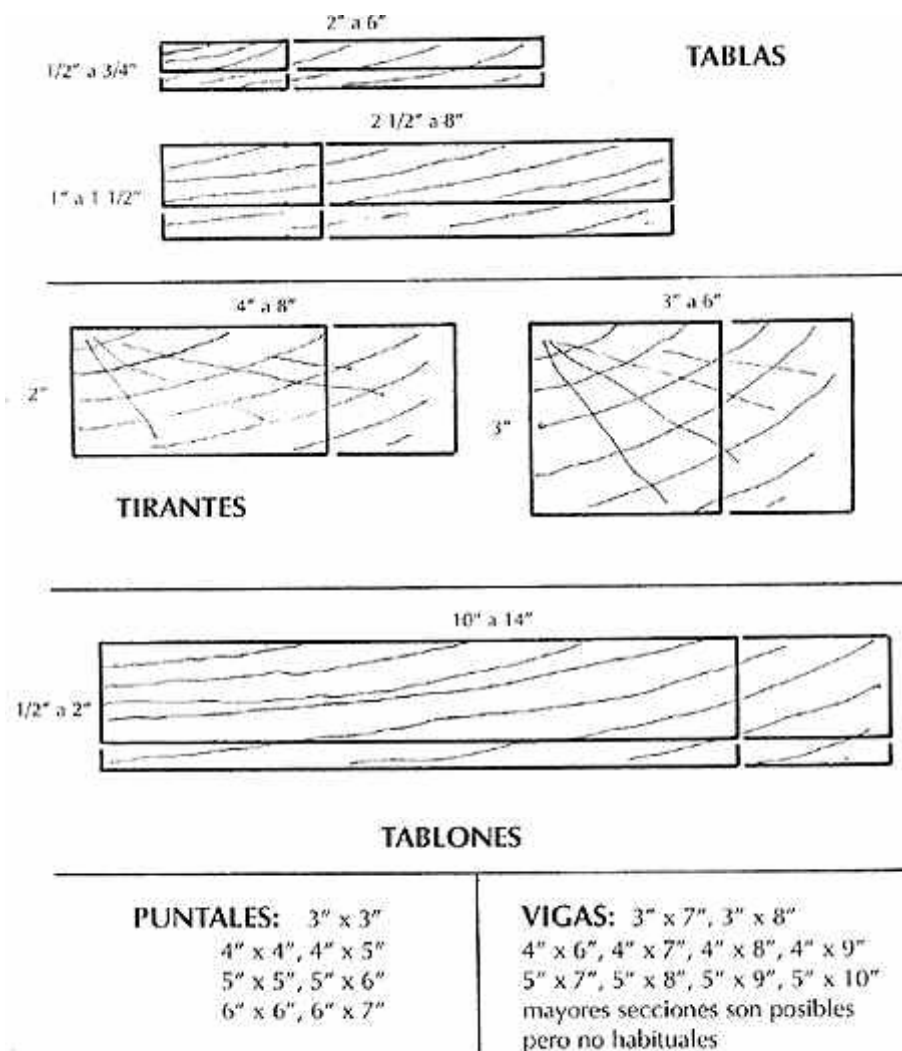


Figura M4 Denominación de las secciones

La escala siguiente (figura M5) es la mitad de la figura M4.



**Figura M5 Denominación de las secciones**

## 7. Aserrado por cuartos, aserrado simple, aserrado discontinuo por cuartos

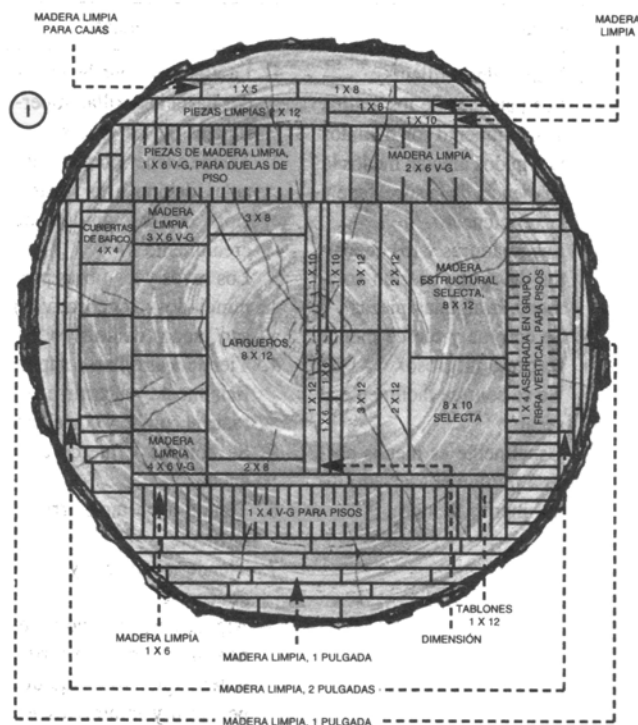
Un tronco de madera se puede cortar de tres diferentes maneras para hacer madera aserrada: se puede aserrar en hilos paralelos al diámetro, aserrar en cuartos o discontinuamente. El *aserrado simple* se refiere al corte de la madera tangencialmente a los anillos de crecimiento anual, o bien, en la práctica comercial, al corte con un ángulo de 0 a 45 ° respecto a los anillos de crecimiento anual. El *aserrado por cuartos* se refiere a la madera cortada radialmente respecto a los anillos anuales de crecimientos, o paralelamente a los rayos, o bien, en la práctica comercial, corte con un ángulo de 45 a 90 ° respecto a los anillos de crecimiento anual. El *aserrado discontinuo* es

similar al aserrado por cuartos, excepto que los cortes penetran medularmente los rayos, con un ángulo ligero para evitar el efecto de combadura (Ver fig. M6).



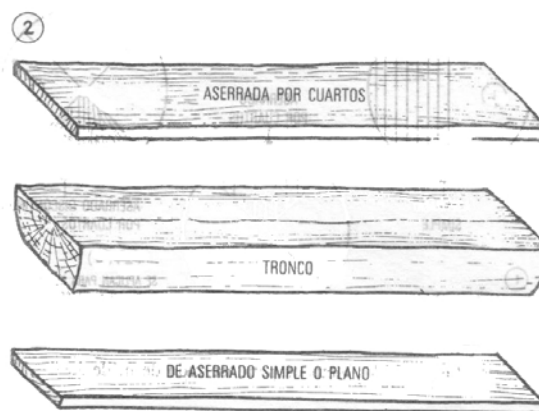
**Figura M6 Métodos para aserrado de madera**

En las figuras M7 y M8 se ilustra como se divide un tronco y la diferencia entre el corte simple y el corte por cuartos. En la tabla M13 se indican las ventajas y desventajas de los métodos de aserrado simple y por cuartos.



**Figura M7 División del tronco en tamaños antes de cortarlo**





**Figura M8 Madera aserrada por cuartos y aserrada simple**

**Tabla M13 Ventajas y desventajas de la madera aserrada simple y la madera aserrada por cuartos**<sup>2</sup>

Madera aserrada simple		Madera aserrada por cuartos	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Menor desperdicio	La albura se puede extender hasta las orillas superficiales de las piezas	La albura aparece en los bordes y está limitado solamente por el ancho de la albura del tronco	Mayor desperdicio
Los patrones de los anillos de crecimiento son distintos	Tiende a tener fibras levantadas debido a la separación de los anillos de crecimiento	Tiene menos fibras levantadas a causa de la separación de los anillos de crecimiento	Patrones de crecimiento menos distintivos
Los nudos afectan menos la apariencia de la superficie y la resistencia	Los rayos y las fibras pronunciadas (decorativas) son menos distintivos	Los rayos pronunciados y las fibras tramadas y onduladas son más distintivos	Los nudos desfiguran la apariencia de la superficie y reducen la resistencia
Las rajaduras y los depósitos de resina afectan solamente a algunas piezas	Tiende a agrietarse superficialmente y a partirse durante el curado y con el uso	Menos grietas superficiales y rajaduras en el curado y el uso	Las rajaduras y depósitos de resina se extienden en numerosas piezas
Se contrae y tuerce menos respecto al grosor	Se contrae y tuerce a lo ancho	Se contrae y tuerce menos de lo ancho	Se contrae y tuerce respectivamente al grosor
No se contrae fácilmente al secarse	Tiende a gastarse irregularmente	Desgaste parejo	Tiende a colapsarse en el secado
Usualmente es menos costosa por que el aserrado toma menos tiempo	Tiende a torcerse y a ahuecarse	Se tuerce y ahueca menos a lo ancho	Es más costoso por que toma más tiempo su aserrado
	Algunas especies no retienen bien la pintura y permiten que los líquidos penetren y la atraviesen	Algunas especies retienen mejor la pintura y no permiten que los líquidos entren a ella o la atraviesen	

<sup>2</sup> La madera aserrada discontinua por cuartos tiene las mismas características que la madera aserrada por cuartos, excepto que los rayos medulares (células de paredes gruesas) se cortan a un ángulo ligero para evitar el efecto de “hojuela”



## 8. Tipos y Usos

Existen dos clases principales de madera:

1. Árboles deciduos (maderas duras), que se despojan de sus hojas al final de cada estación de crecimiento, excepto en las regiones más calidas.
2. Siempreverdes (madera blanda), que no se despojan de sus hojas conforma de escama o de aguja, al final de cada estación de crecimiento, con la excepción del ciprés, tamarak y alerce.

Los términos *madera dura* y *madera blanda* tal como se usan comúnmente, causan confusión debido a que estos no tienen relación directa con la dureza o blandura física real de la madera. En la tabla M14 se detallan los usos generales de la madera en construcción.

**Tabla M14 Uso e la madera en construcción**

Estructural	Sin acabado	Acabado para exterior	Acabado para interior	Fábrica (acabado prefabricado)
Vigas, viguetas y vigas soportantes	Subpisos	Molduras de vista para exterior	Molduras de vista para exterior	Puertas y puertas de mampara
Listones y postes	Cubiertas de muros y techos	Ripias o tejas, recubrimientos exteriores, y tablero y travesaño	Paneles	Ventanas, mamparas y contraventana
Vigas maestras	Forros, bloque y reglas maestras	Canales	Pisos	Molduras y vistas
Dinteles, planchas, vigas de amarre	Durmientes y mamparas	Fajillas o listones de vista, remates y molduras	Escaleras, peldaños y contrapeldaños	Escaleras y barandales
Armaduras	Bases de aplanados	Escaleras y pasamanos	Anaqueles	Repisas de chimenea
Miembros estructurales laminados	Puntales separadores y refuerzos transversales		Construcciones en interior (en el lugar de la obra)	Gabinets
Cubiertas	Bastidores gruesos de puertas y ventanas			Mesas de tocador
Pilotes	Largueros y soportes de escalera			Mueblas contruidos en obra

## 9. Clasificación y graduación de la madera

Las diferentes piezas de madera que se obtienen de un tronco aserrado difieren mucho en cuanto a su calidad. A fin de clasificar o estandarizar estas cualidades tan variables se ha establecido una serie de grados para madera aserrada, cada uno de estos con un rango de calidad relativamente estrecho, para madera desidua (dura) y siempreverde (blanda).

El grado de una pieza de madera aserrada se basa en el número, carácter, y localización de imperfecciones que pueden disminuir la resistencia, durabilidad y uso de tal madera.

Las imperfecciones comunes son nudos, grietas, depresiones, rajaduras y manchas. Los mejores grados de madera aserrada no tienen prácticamente ninguna de estas. A medida que decrece el grado, aumenta la cantidad de imperfecciones. Sin embargo, estos defectos no impiden que tal madera aserrada tenga un uso muy amplio.

### 9.1. DEFECTOS DE LA MADERA

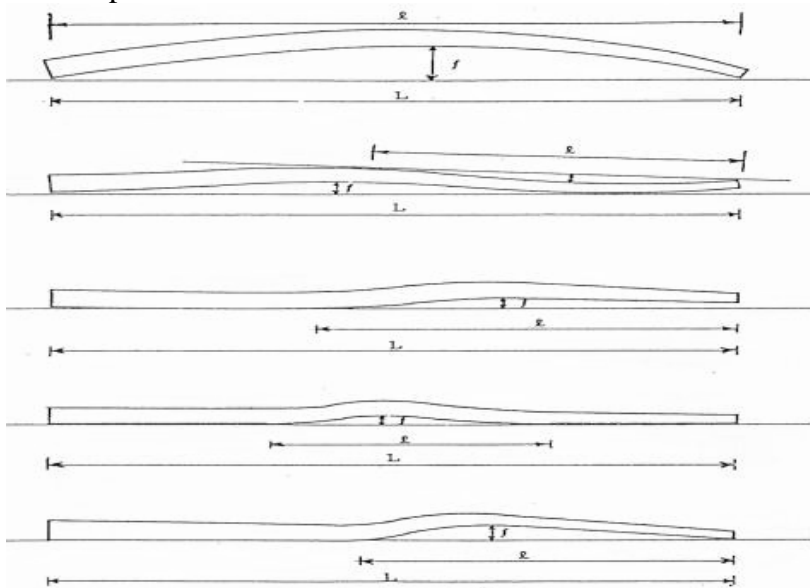
Los defectos son anomalías que modifican la estructura de la madera, y las alteraciones son enfermedades que afectan a la composición química y disminuyen su resistencia. A continuación se mencionan los defectos más comunes.

#### 9.1.1. Fibra torcida o revirada

Al crecer el árbol sus fibras no lo hacen paralelamente al eje, sino en forma de hélice, debido al excesivo crecimiento de las fibras periféricas, con relación a las interiores, a causa de pasar las raíces de un terreno impermeable a otro profundo y fértil, y se aprecia ya en el árbol en pie, pues la corteza se rasga y sigue la línea espiral de las fibras. Esta madera solo sirve para pilotes, postes, pie derechos, etc., pues al escuadrarla se cortan los haces fibrosos en varios sitios, perdiendo mucha resistencia. Tampoco sirven para hienda.

#### 9.1.2. Madera curvada o de vuelta

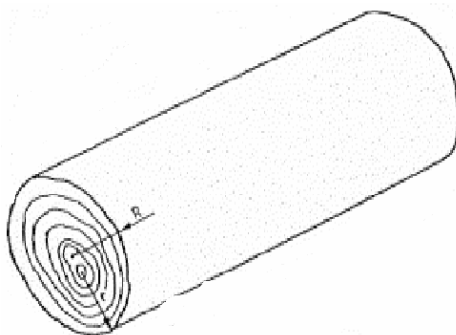
Cuando el fuste del árbol no es recto y presenta trozos curvados en el mismo o en distinto plano. En el primer caso, si la flecha medida perpendicularmente al eje del fuste en el punto mas curvo no es muy grande, puede servir como madera de rollo para ciertas aplicaciones, pero en el segundo caso solo sirve para leña.



**Figura M 9 Madera curvada o de vuelta - Fuente: Guia Industrial de la Madera**

### 9.1.3. Excentricidad de corazón

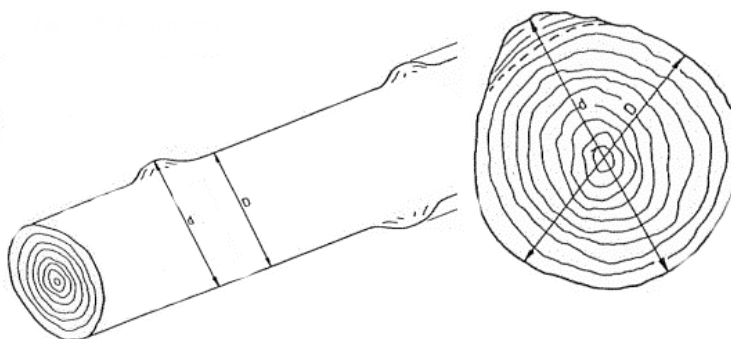
Debida a diversas circunstancias de crecimiento, vientos, proximidades de rocas, etc., la madera es heterogénea, teniendo poca elasticidad y resistencia, y si no es muy exagerada la desviación medular no la deprecia mucho.



*Figura M10. Excentricidad de corazón*

### 9.1.4. Abultamiento

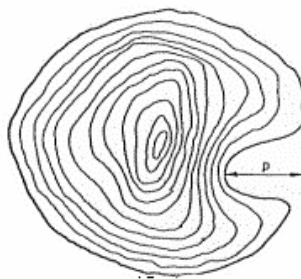
Aumento, en forma de protuberancia, de la sección transversal de una troza.



*Figura M11 abultamiento*

### 9.1.5. Cavidad

Hueco o depresión en la superficie de una troza dejada por la existencia de una rama que se desarrolló muy próxima al tronco.



**Figura M 12 Cavity**

#### **9.1.6. Nudos**

Son tejidos que forman las ramas, las cuales sufren desviaciones, provocando condensaciones de tejido lignificado, comunicando diferente textura y heterogeneidad a las resistencias de la madera, depreciándola y siendo desechable para sierra, cuando son muy gruesos, por ser saltadizos, y al desecarse se desprenden, dejando huecos en las tablas.

Por sus dimensiones se clasifican los nudos en las categorías siguientes:

- Nudos muy pequeños, cuando su diámetro es inferior a 5 mm. Se les denomina de ojo de perdiz cuando tienen un punto negro en el centro, rodeado de madera descompuesta, depreciando la madera.
- Nudos pequeños, los de 5 a 15 mm de diámetro.
- Nudos medianos, los de 15 a 40 mm de diámetro.
- Nudos gruesos, los mayores de 40 mm de diámetro.

Los nudos siempre reducen la resistencia de la madera al interrumpir la continuidad de sus fibras, volviéndola menos elástica, y quebradiza.

#### **9.1.7. Ganchos**

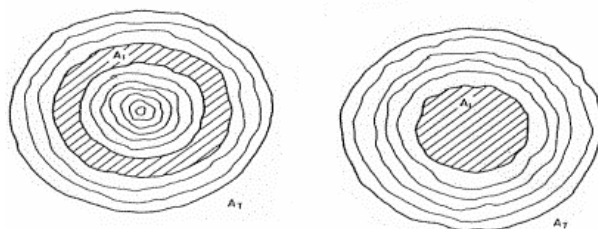
Ramas o partes de ramas, que sobresalen de la corteza, adheridas a la troza.



**Figura M 13 ganchos**

#### **9.1.8. Falso duramen**

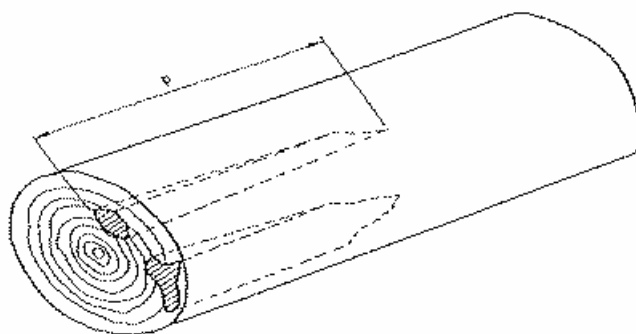
Cambio de color de la madera producido por hongos xilófagos o por temperaturas bajas.



**Figura M 14 falso duramen**

### 9.1.9. Astillamiento

Hueco existente en una o ambas cabezas de la troza, ocasionado por desgarramiento de fibras durante el corte.



**Figura M 15 Astillamiento**

## 9.2. GRADOS DE MADERA DECIDUA (DURA)

La clasificación por grados para madera dura se basa en la cantidad de madera utilizable que tiene una pieza. Las longitudes estándar son de: 4 a 16 pies, en incrementos de 1 pie (1.219 a 4.877m, en incrementos de 0.3048m), con una longitud sobrante admisible no mayor del 50 %. En la tabla M15 se detallan los grados estándar.

La madera dura de primera y segunda clase y las caras de la clase selecta, satisface requisitos específicos respecto a nudo, hoyos y otras imperfecciones. Las clases primera y segunda (en general denominadas con PYS) casi siempre están combinadas en un solo grado. Este se le llama intermedio (sound wormy), que cumple con los mismos requerimientos que la clase común N° 1, excepto que en el corte no se han eliminado las imperfecciones.

**Tabla M15 Graduaciones estándar de madera dura, con base en la parte más irregular de la pieza (excepto lámina)**

Grados y longitudes admisibles	Anchura admisible		Medida de superficie de la pieza		Porcentaje de la pieza que debe servir en cortes de cara limpia	Número máximo de cortes admisibles	Tamaño mínimo de cortes requeridos					
	Pulg g	mm	Pie <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>			pulg	por	pie	mm	por	m
<b>Primeras<sup>3</sup></b> 8-16 pies (2.438-4.877m) Admitirá el 30% de 8-11 pies (2.438-3.353m), una mitad de la cual debe ser de 8 pies y 9 pies (2.438 m y 2.743 m)	6+	152.4+	4-9 10-14 15+	0.37-0.84 0.93-1.30 1.39+	91 2/3	1 2 3	4 3	O	5 7	10.6 76.2		1.524 2.134
<b>Segundas<sup>3</sup></b> 8-16 pies (2.438-4.877m) Admitirá el 30% de 8-11 pies (2.438-3.353m), una mitad de la cual debe ser de 8 pies y 9 pies (2.438 m y 2.743 m)	6+	152.4+	4, 5 6, 7 8-11 12-15 6+ 6, 7 8-11 12-15 2, 3	0.37, 0.46 0.56, 0.65 0.75-1.02 1.11-1.39 0.56+ 0.56, 0.65 0.75-1.02 1.11-1.39	83 1/3  91 2/3	1 1 2 3 4 2 3 4	4 3	O	5 7	101.6 76.2		1.524 2.134
<b>Selectas</b> 6-16 pies (1.829-4.877m) Admitirá el 30% de 6-11 pies (1.829-3.353m), un sexto de la cual debe ser de 6 pies y 7 pies (1.829 m y 2.134 m)	4+	101.6+	2, 3 4+	0.19, 0.28 0.37+	91 2/3  82 2/3	1 1	4 3	O	5 7	101.6 76.2		1.524 3.134
<b>Común No. 1</b> 4-16 pies (1.219-4.877m) Admitirá el 10% de 4-7 pies (1.219-2.134m), un tercio del cual debe ser de 4 pies y 5 pies (1.219 m y 1.524 m)	3	76.2	1 2 3, 4 5-7 3, 4 5-7 8-10 11-13 14+	0.10 0.20 0.28-0.37 0.46-0.65 0.28-0.37 0.46-0.65 0.75-0.93 1.02-1.21 1.3+	100 75 63 2/3	0 1 2 3 1 2 3 4 5	4 3	O	2 3	101.6 76.2		0.610 0.914
<b>Común No. 2</b> 4-16 pies (1.219-4.877m) Admitirá el 10% de 4-7 pies (1.219-2.134m), un tercio del cual debe ser de 4 pies y 5 pies (1.219 m y 1.524 m)	3	76.2	1 2, 3 4, 5 6, 7 2, 3 4, 5 6, 7 8, 9 10, 11 12, 13 14+	0.10 0.20, 0.28 0.37, 0.46 0.56, 0.65 0.20, 0.28 0.37, 0.46 0.56, 0.65 0.75, 0.84 0.93, 1.02 1.11, 1.21 1.3+	66 2/3  50	1 2 3 4 1 2 3 4 5 6 7	2		2	50.8		0.610

<sup>3</sup> Las primeras y segundas se combinan en un solo grado, PYS, en el que el porcentaje de primeras varía de 20% a 40%, dependiendo de la especie de madera.

**Tabla M15 (continuación) Graduaciones estándar de madera dura, con base en la parte más irregular de la pieza (excepto lámina)**

Grados y longitudes admisibles	Anchura admisible		Medida de superficie de la pieza		Porcentaje de la pieza que debe servir en cortes de cara limpia	Número máximo de cortes admisibles	Tamaño mínimo de cortes requeridos					
	Pulg	mm	Pie <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>			pulg	por	pie	mm	por	m
<b>Común No. 3A<sup>4</sup></b> 4-16 pies (1.219-4.877m) Admitirá el 50% de 4-7 pies (1.219-2.134m), una mitad de la cual debe ser de 4 pies y 5 pies (1.219 m y 1.524 m)	3	76.2	1+	0.10+	33 1/3	No Especificado	3	2		76.2		0.610
<b>Común No. 3B<sup>5</sup></b> 4-16 pies (1.219-4.877m) Admitirá el 50% de 4-7 pies (1.219-2.134m), una mitad de la cual puede ser de 4 pies y 5 pies (1.219 m y 1.524 m)	3	76.2	1+	0.10+	25	No Especificado	1 1/2		2	38.1		0.610

### 9.3. GRADOS DE MADERA SIEMPREVERDE (BLANDA)

Las maderas blandas se gradúan de acuerdo con las Normas Norteamericanas para Madera Aserrada (American Lumber Estandars).

La madera aserrada blanda se divide en dos categorías principales: *construcción* y *fabricación*. La madera para construcción se supone que se usara en construcción, clasificada y cortada al tamaño después cortarla y cepillarla. La madera aserrada para fabricación se usara para ulteriores etapas de fabricación y tendrá una forma completamente diferente en el producto ya terminado; por ejemplo, molduras o vistas para puertas, bases y cubiertas laterales ensambladas.

En general, la madera aserrada blanda se clasifica por su uso: *madera de patio* (Yard lumber) para construcción ordinaria y propósitos constructivos generales (ver tabla M16); *Madera estructural*, que se usa cuando se requieren esfuerzos de trabajo; y *Madera para fabrica y taller*, utilizada principalmente para trabajos de carpintería. La madera aserrada blanda también se clasifica de acuerdo con el grado de su acabado, como:

1. *Madera burda* que no ha sido labrada y presenta marcas de sierra en todas sus caras.
2. *Madera labrada*, que se ha cepillado con una maquina allanadora y que luego se gradúa y se designa como L1C, labrada por una cara; L2C, labrada por dos caras; L1B, labrada por un borde o canto; L2B, labrada por los dos bordes o cantos; y varias combinaciones, como LIC1B, L1C2B, L2C1B y L4C.

<sup>4</sup> En este grado también se admities piezas con una cara sana y la otra, la buena, graduada como no menos de común No.2.

<sup>5</sup> Los cortes deben ser rectos; no se requiere cara limpia

La madera aserrada que además del labrado a sido machihembrada, rebajada o labrada con forme a un patrón, se divide en 3 tipos:

1. *Madera aserrada machihembrada*, a la que se le ha hecho machihembrado, y que al unirlos, se ha machihembrado también en los extremos.
2. *Madera aserrada rebajada*, a la que se le han hecho rebajos o trabajada por ambos cantos para hacer una junta de traslapo exacto al colocarla unida entre si.
3. *Madera aserrada labrada conforme a un patrón*, que se ha moldeado de acuerdo con un modelo o molde, además de haber sido labrada, rebajada o machihembrada.

**Tabla M16 Clasificación de la madera y nombres de las gradaciones de resistencia al esfuerzo para madera aserrada**<sup>6</sup>

Clasificación de la madera aserrada	Tamaño				Nombres de la graduación	Tasa de resistencia al doblado (porcentaje)
	Grosor		Anchura			
	pulg	mm	pulg	mm		
Marcos ligeros	2-4	50.8-101.6	4 <sup>7</sup>	101.6 <sup>7</sup>	Construcción	34
					Estándar	19
					Servicio	9
Marcos estructurales ligeros	2-4	50.8-101.6	2-4	50.8-101.6	Estructural selecto	67
					Estructural selecto 1	55
					Estructural selecto 2	45
					Estructural selecto 3	26
Postes	2-4	50.8-101.6	2-4	50.8-101.6	Poste	
Vigas y tabloncillos estructurales	2-4	50.8-101.6	6	152.4	Estructural selecto	65
			Y mayores		Estructural selecto 1	55
					Estructural selecto 2	45
					Estructural selecto 3	26
Marcos aparentes	2-4	50.8-101.6	2-4	50.8-101.6	Aparente	55

## 10. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Las propiedades de la madera dependen, del crecimiento, edad, contenido de humedad, clases de terreno y distintas partes del tronco.

### 10.1. HUMEDAD

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

<sup>6</sup> Los tamaños que se dan son nominales

<sup>7</sup> Las anchuras menores de 4 pulgadas (101.6 mm) pueden tener diferentes tasas de resistencia a las que se dan aquí.



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 varia entre limites 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.

## 10.2. DENSIDAD

La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56. La densidad aparente varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios.

**Tabla M.17 Densidades de algunas maderas**

Pino Común.....	0.32 – 0.76	Kg/dm <sup>3</sup>
Pino Negro.....	0.38 – 0.74	Kg/dm <sup>3</sup>
Pino- tea.....	0.83 – 0.85	Kg/dm <sup>3</sup>
Albeto.....	0.32 – 0.62	Kg/dm <sup>3</sup>
Pinabette.....	0.37 – 0.75	Kg/dm <sup>3</sup>
Alerce.....	0.44 – 0.80	Kg/dm <sup>3</sup>
Roble.....	0.71 – 1.07	Kg/dm <sup>3</sup>
Encina.....	0.95 – 1.20	Kg/dm <sup>3</sup>
Haya.....	0.60 – 0.90	Kg/dm <sup>3</sup>
Alamo.....	0.45 – 0.70	Kg/dm <sup>3</sup>
Olmo.....	0.56 – 0.82	Kg/dm <sup>3</sup>
Nogal.....	0.60 – 0.81	Kg/dm <sup>3</sup>

**Fuente: Guia Industrial de la Madera**

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 mas corrientes, secadas al aire, se encuentran clasificadas en la tabla M. 17.

### **10.3. 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 corazón, 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 mas 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.

### **10.4. DUREZA**

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavar, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o en el perpendicular. Cuanto más vieja y dura es, mayor la resistencia que opone. La madera de corazón tiene mayor resistencia que la de albura: la crecida lentamente obtiene una mayor resistencia que la madera que crece de prisa.

Por su dureza se clasifican en:

- Muy duras; ébano, serbal, encina y tejo.
- Bastante duras; roble, arce, fresno, álamo, acacia, cerezo, almendro.
- Algo duras; castaño, haya, nogal, peral.
- Blanda; Abeto, alerce, pino, sauce.
- Muy blandas; tilo, chopo.

### **10.5. 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 mas 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.

### **10.6. CONDUCTIVIDAD**

La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando esta húmeda.

La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes.

### **10.7. DILATACIÓN TÉRMICA**

El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado.

### **10.8. DURACIÓN**

La 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.

Se admite como duración media de la madera enterrada la de diez años.

## **11. CONSERVADORES PARA MADERA**

La madera se puede tratar para prevenir o cuando menos retardar su destrucción por fuego, insectos, bacterias, hongos y organismos marinos.

### **11.1. DETERIORO**

El enmohecimiento, las manchas y el deterioro o pudrición de la madera son causados por los hongos. Su formación depende de temperaturas moderadas que van de 50 a 90°F (de 10 a 32.22°C) y humedad. La mayor parte del deterioro ocurre en madera que tiene un contenido de humedad superior al punto de saturación de fibra. Usualmente la madera que se mantiene al 20% de contenido de humedad o menos, está a salvo del daño por hongos. La madera bajo el agua o que está continuamente seca no se deteriora. Se debe tener cuidado de no usar madera en lugares donde la humedad se puede depositar y permanecer.

Algunas especies de maderas, tanto duras como blandas, tienen alta resistencia al deterioro (ver tabla M18) y se pueden usar en condiciones en que tal riesgo exista; otras especies necesitan tratamiento conservador (ver conservadores para madera).

**Tabla M18 Especies comunes de árboles con alta resistencia al deterioro**

Tipo de árbol	
Deciduo (maderas duras)	Siempre verdes (maderas blandas)
Algarrobo negro	Ciprés desnudo de mucha edad
Castaño	Cedros
Cerezo negro	Ciprés de Arizona
Roble	Madera veteada (madera roja)
Sasafrás	Tejo del pacífico

## 11.2. INSECTOS

Hay varios tipos de insectos que ataca a la madera, siendo los más comunes las termitas subterráneas, las termitas no subterráneas, los escarabajos y las hormigas carpinteras.

Las *termitas subterráneas* viven en la tierra y construyen túneles de tierra para llegar a su alimento – la celulosa – que incluye madera esencialmente pero también papel y productos de pulpa de papel. Los canales que forman a medida que comen toda la sustancia de la madera tienden a seguir la fibra de ésta. En general, se debe hacer una barrera completa entre la madera y los posibles tubos de tierra de las termitas, mediante:

1. Instalando una protección de metal o materiales especiales a prueba de termitas
2. Haciendo a prueba de termitas la madera utilizada para construcción cercana al suelo
3. Envenenando el suelo adyacente al edificio.

Es buena práctica hacer una revisión periódica alrededor del edificio y debajo de éste para buscar evidencias de termitas, como los tubos de tierra. Si se notan indicios de termitas, es necesario destruir los tubos inmediatamente y envenenar la tierra circundante.

El único método relativamente permanente para detener el ataque es usar madera a la cual se le ha dado un tratamiento a prueba de termitas en toda su longitud con conservadores para madera. También es muy importante la atención a los aspectos estructurales y de sanidad.

Las *hormigas carpinteras* y las *abejas* y los *escarabajos* usan la madera para refugio y no como alimento, pero si no se les encuentra y se les deja pueden causar grandes daños. Convierten la madera en polvo, en fibras desmenuzadas o gránulos. Sus canales tienden más a atravesar la fibra. Una vez localizada, la colonia se puede destruir mediante pulverización mediante un insecticida aprobado.

Los daños a la madera por los diversos organismos marinos, moluscos, crustáceos, de agua salada o agua salobre se detienen mejor por un tratamiento intenso y completo con creosota o soluciones de creosota.

Cuando la madera está expuesta a un riesgo severo del barrenador marino, se debe impregnar con un conservador suspendido en agua o una combinación de creosota o soluciones de creosota y un conservador, como muestra en la tabla M19.

**Tabla M19 Tratamiento para pilares de madera expuestos al ataque severo de barrenadores marino**

Tipo de barrenador	Tipo de tratamiento	Tipo de madera			
		Pino Rojo		Abeto Douglas	
		Lb/pie <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Lb/pie <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Sólo limnoria	Arsenito de cobre amoniacal	2.5	40.05	2.5	40.05
Tripunctata	Arsenato de cobre cromado	2.5	40.05	2.5	40.05
Limnoria	Primer tratamiento:				
Tripunctata y pholads	Arsenito de cobre amoniacal	1.0	16.02	1.0	16.02
	Arsenito de cobre cromado	1.0	16.02	1.0	16.02
	Segundo Tratamiento				
	Creosota o soluciones de creosota	20.0	320.4	20.0	320.4
		20.0	320.4	No se recomienda	

### 11.3. CONSERVADORES PARA MADERA

Los conservadores para madera utilizados para impedir el ataque por deterioro o pudrición, hongos, insectos dañinos y barrenadores marinos, se dividen en dos grupos generales:

1. Aceites como la creosota y las soluciones de petróleo de pentaclorofenol (*ver* tabla M20-ENSAYOS)
2. Sales suspendidas en agua que se aplican como soluciones acuosas (*ver* tabla M21-ENSAYOS).

Los conservadores de tipo aceite se usan comúnmente para madera en contacto con el suelo y el agua. La madera tratada con conservadores a base de agua se usa a veces en contacto con el suelo o agua cuando se desea pintar. Para tales usos resultan convenientes el arsenito de cobre amoniacal, el arsenato de cobre cromado o el arsenato de zinc cromado. Algunos de los conservadores que contienen cobre de alta concentración proporcionan una protección limitada a la madera contra los barrenadores marinos.

Como resultado de los grandes avances en los métodos para combatir el deterioro o pudrición, mohos, hongos e insectos en el campo de las enfermedades de las plantas y el control de plagas, algunos nuevos compuestos se están adaptando hoy efectivamente para conservar la madera. Un papel de fieltro de asfalto impregnado de malatión se usa como barrera contra termitas.

### 11.4. RESISTENCIA AL FUEGO

Cuando es importante la resistencia al fuego, la madera se puede tratar para satisfacer las clasificaciones de resistencia al fuego de los reglamentos locales y estatales y también los de *Fire Underwrites*, empresas aseguradoras y departamentos del gobierno federal (Trabajo, Armada, Marina, etc.). Los tres métodos son:

1. Recubrir la madera con un compuesto o material
2. Impregnar la madera
3. Aplicación de pintura con un recubrimiento orgánico intumescente.

Los recubrimientos superficiales o capas de materiales protectores cubriendo la superficie de la madera retardan los aumentos normales de temperatura en condiciones de fuego y por ello a su vez reduce la tasa de penetración de la flama y por tanto la destrucción de la madera en contacto con el fuego. La madera pintada con el número correcto de capas de pintura intumescente de 2 horas. Cuando se use pintura intumescente, siempre debe revisarse los reglamentos de construcción, las clasificaciones de *Underwriter's Laboratories, Inc.* y el método y el medio por los cuales deben aplicarse estas capas.

Los recubrimientos o capas de material protector sobre la superficie de la madera son buenos solamente para propósitos en interior, debido a que no son durables si se exponen a la intemperie. Estas sustancias químicas solubles en agua y retardadoras del fuego, en general son fórmulas de marca registrada de fosfato de amonio, bórax, o silicato de sodio, combinada con otros materiales para proporcionar adherencia a la madera, posibilidad de aplicar con brocha, aspecto y color. También hay sustancias químicas con baja solubilidad en agua, como el borato de zinc, parafina clorada, y hule o caucho clorado que se usan para recubrimientos retardadores del fuego. Se obtienen capas intumescentes con las clasificaciones para fuego aprobadas por *Underwriter's Laboratories*.

La impregnación completa (que se extiende completamente a través de la pieza) se logra con una sustancia química que hace que la madera en sí no alimente la combustión. En muchos casos, la impregnación parcial sirve adecuadamente, pero si la madera se ca a cortar o a trabajar, es necesario impregnarla completamente. Las sustancias químicas de uso más común para impregnación son: fosfato de amonio monobásico, fosfato de amonio bibásico, sulfato de amonio, tetraborato de sodio (bórax), ácido bórico y cloruro de zinc. Los fosfatos de amonio impiden la flama y la incandescencia. El bórax impide las flamas pero no es bueno para retardar la incandescencia, mientras que el ácido bórico impide la incandescencia pero no es bueno como retardador de flama.

Para obtener un tratamiento correcto para un uso final determinado, siempre es aconsejable consultar a los fabricantes de retardadores del fuego, respecto a:

1. Permanencia del retardador del fuego
2. Sus efectos en la resistencia de la madera
3. posibles efectos corrosivos sobre metales que se deben usar para instalara la madera.
4. Efectos sobre la pintura y el adhesivo
5. Hidroscopicidad (absorción del agua)
6. Toxicidad

## 12. CONDICIONES QUE DEBE REUNIR LA MADERA

La buena madera para construcción deberá exhalar olor fresco y agradable recién cortada, pues la madera deteriorada huele a húmedo y podrido. Deberá estar seca, de tronco sano, que se aprecia por el sonido claro que da por percusión cuando esta apoyada sobre dos puntos. No tendrá fibras torcidas, nudos, manchas ni pudriciones, y los anillos de crecimiento deberán ser de igual espesor.

**13. ALMACENAJE**

La madera recién aserrada no debe emplearse en obras inmediatamente, debiendo apilarse en almacenes o tinglados para que se deseque, formando pilas constituidas por diversas piezas que se cruzan.

## PRÁCTICA DE CAMPO N° 9

### “ACEROS”

#### 1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo estudia la tecnología relacionada con la producción del hierro y sus aleaciones, en especial las que contienen un pequeño porcentaje de carbono, que constituyen los diferentes tipos de acero. A veces, las diferencias entre las distintas clases de hierro y acero resultan confusas por la nomenclatura empleada. En general, el acero es una aleación de hierro y carbono a la que suelen añadirse otros elementos. Algunas aleaciones denominadas ‘hierros’ contienen más carbono que algunos aceros comerciales. El hierro de crisol abierto y el hierro forjado contienen un porcentaje de carbono de sólo unas centésimas. Los distintos tipos de acero contienen entre el 0,04 y el 2,25% de carbono. El hierro colado, el hierro colado maleable y el arrabio contienen entre un 2 y un 4% de carbono. Hay una forma especial de hierro maleable que no contiene casi carbono alguno. Para fabricar aleaciones de hierro y acero se emplea un tipo especial de aleaciones de hierro denominadas ferroaleaciones, que contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación, que puede ser manganeso, silicio o cromo.

#### 2. HISTORIA

No se conoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado. Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a.C., y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro. Los griegos ya conocían hacia el 1000 a.C. la técnica, de cierta complejidad, para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico.

Las aleaciones producidas por los primeros artesanos del hierro (y, de hecho, todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.C.) se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que



funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero.

La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. El proceso de refinado del arrabio mediante chorros de aire se debe al inventor británico Henry Bessemer, que en 1855 desarrolló el horno o convertidor que lleva su nombre. Desde la década de 1960 funcionan varios minihornos que emplean electricidad para producir acero a partir de material de chatarra. Sin embargo, las grandes instalaciones de altos hornos continúan siendo esenciales para producir acero a partir de mineral de hierro.

### **3. PROCESO DE FABRICACIÓN**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

El hierro en estado puro no posee la resistencia y dureza necesarias para las aplicaciones de uso común. Sin embargo, cuando se combina con pequeñas cantidades de carbono se obtiene un metal denominado acero, cuyas propiedades varían en función de su contenido en carbono y de otros elementos en aleación, tales como el manganeso, el cromo, el silicio o el aluminio, entre otros.

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales:

- El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de horno alto (proceso integral)
- Las chatarras férricas

En líneas generales, para fabricar acero a partir de arrabio se utiliza el convertidor con oxígeno, mientras que partiendo de chatarra como única materia prima se utiliza exclusivamente el horno eléctrico (proceso electrosiderúrgico).

#### **3.2. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA OBTENCIÓN DEL ACERO**

La obtención del acero pasa por la eliminación de las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, y por el control, dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, de los contenidos de los elementos que influyen en sus propiedades.

Las reacciones químicas (véase tabla F1) que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000 °C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria.

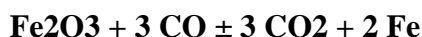
##### **3.2.1. MATERIAS PRIMAS**

Los principales minerales de los que se extrae el hierro son:

Hematita (mena roja)	70% de hierro
Magnetita (mena negra)	72.4% de hierro
Siderita (mena café pobre)	48.3% de hierro
Limonita (mena café)	60-65% de hierro

### 3.2.2. PRODUCCIÓN DE ARRABIO

Los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro, coque y caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



La caliza de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico. El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno. El arrabio producido en los altos hornos tiene la siguiente composición: un 92% de hierro, un 3 o 4% de carbono, entre 0,5 y 3% de silicio, del 0,25% al 2,5% de manganeso, del 0,04 al 2% de fósforo y algunas partículas de azufre.

Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con un material no metálico y resistente al calor, como asbesto o ladrillos refractarios. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno, cuya altura es de unos 30 m, contiene respiraderos para los gases de escape, y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce la carga en el horno. Los materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno.

Los altos hornos funcionan de forma continua. La materia prima que se va a introducir en el horno se divide en un determinado número de pequeñas cargas que se introducen a intervalos de entre 10 y 15 minutos. La escoria que flota sobre el metal fundido se retira una vez cada dos horas, y el hierro se sangra cinco veces al día.

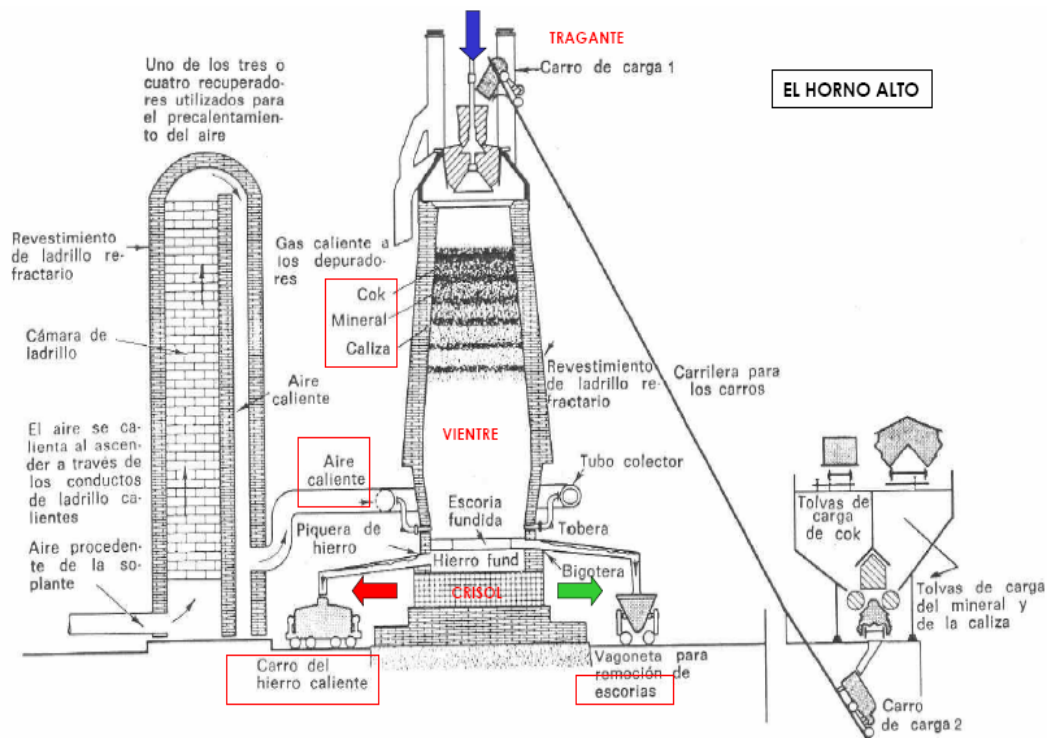
El aire insuflado en el alto horno se precalienta a una temperatura comprendida entre los 550 y los 900 °C. El calentamiento se realiza en las llamadas estufas, cilindros con estructuras de ladrillo refractario. El ladrillo se calienta durante varias horas quemando gas de alto horno, que son los gases de escape que salen de la parte superior del horno.

Después se apaga la llama y se hace pasar el aire a presión por la estufa. El peso del aire empleado en un alto horno supera el peso total de las demás materias primas.

Después de la II Guerra Mundial se introdujo un importante avance en la tecnología de altos hornos: la presurización de los hornos. Estrangulando el flujo de gas de los respiraderos del horno es posible aumentar la presión del interior del horno hasta 1,7 atmósferas o más. La técnica de presurización permite una mejor combustión del coque y una mayor producción de hierro. En muchos altos hornos puede lograrse un aumento de la producción de un 25%. En instalaciones experimentales también se ha demostrado que la producción se incrementa enriqueciendo el aire con oxígeno.

El proceso de sangrado consiste en retirar a golpes un tapón de arcilla del orificio del hierro cercano al fondo del horno y dejar que el metal fundido fluya por un canal cubierto de arcilla y caiga a un depósito metálico forrado de ladrillo, que puede ser una cuchara o una vagoneta capaz de contener hasta 100 toneladas de metal. Cualquier escoria o sobrante que salga del horno junto con el metal se elimina antes de llegar al recipiente. A continuación, el contenedor lleno de arrabio se transporta a la fábrica siderúrgica.

Los altos hornos modernos funcionan en combinación con hornos básicos de oxígeno, y a veces con hornos de crisol abierto, más antiguos, como parte de una única planta siderúrgica. En esas plantas, los hornos siderúrgicos se cargan con arrabio. El metal fundido procedente de diversos altos hornos puede mezclarse en una gran cuchara antes de convertirlo en acero con el fin de minimizar el efecto de posibles irregularidades de alguno de los hornos.



**Figura f1 Esquema general de un alto horno – Fuente: Hornos de la industria del acero**

### 3.2.3. LA CHATARRA

Tras el proceso de reconversión industrial de la siderurgia en el mundo se abandona la vía del horno alto y se apuesta de forma decidida por la obtención de acero a través de horno eléctrico.

En este proceso, la materia prima es la chatarra, a la que se le presta una especial atención, con el fin de obtener un elevado grado de calidad de la misma. Para ello, la chatarra es sometida a unos severos controles e inspecciones por parte del fabricante de acero, tanto en su lugar de origen como en el momento de la recepción del material en fábrica.

La calidad de la chatarra depende de tres factores:

- De su facilidad para ser cargada en el horno
- De su comportamiento de fusión (densidad de la chatarra, tamaño, espesor, forma, etc.);
- De su composición, siendo fundamental la presencia de elementos residuales que sean difíciles de eliminar en el proceso del horno.

Atendiendo a su procedencia, la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos:

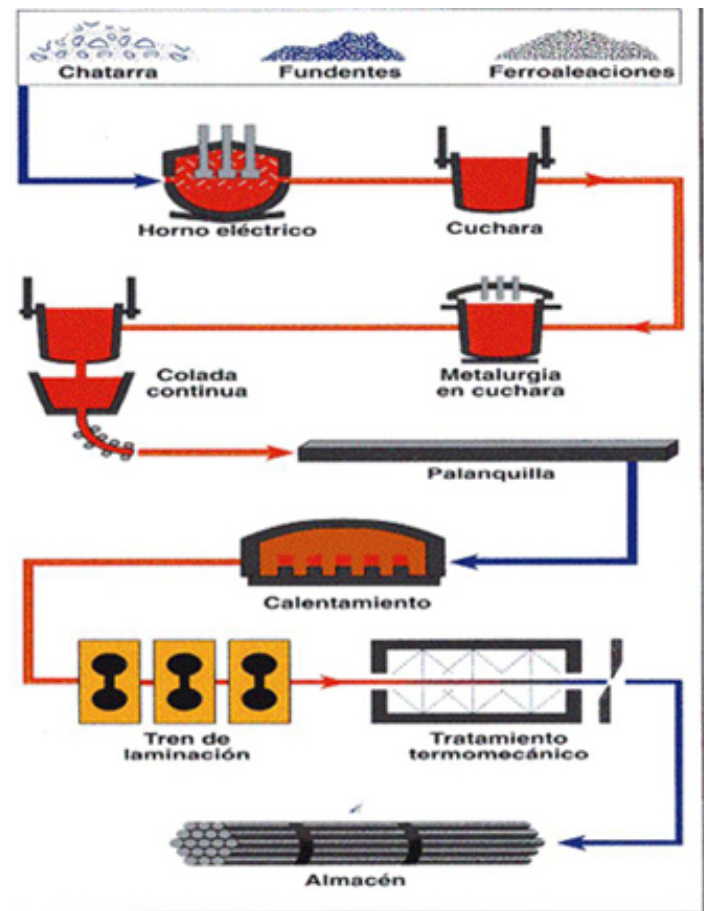
1. Chatarra reciclada: formada por despuntes, rechazos, etc. originados en la propia fábrica. Se trata de una chatarra de excelente calidad.
2. Chatarra de transformación: producida durante la fabricación de piezas y componentes de acero (virutas de máquinas herramientas, recortes de prensas y guillotinas, etc.).
3. Chatarra de recuperación: suele ser la mayor parte de la chatarra que se emplea en la acería y procede del desguace de edificios con estructura de acero, plantas industriales, barcos, automóviles, electrodomésticos, etc.

Los controles a los que se somete la chatarra se producen en tres niveles:

1. Inspección en origen por parte de personal especializado.
2. Inspección visual en el momento de la descarga en puerto para material importado.
3. Control de recepción en fábrica de forma exhaustiva por unidad de transporte, con independencia de la procedencia del material (nacional o importado), con el fin de eliminar todo elemento nocivo, materias explosivas o inflamables, material radiactivo, así como de todos aquellos metales no férreos, tierras, cuerpos extraños, etc.

### 3.2.4. FASE DE FUSIÓN

Una vez introducida la materia prima en el horno y los agentes reactivos y escorificantes (principalmente cal) se desplaza la bóveda hasta cerrar el horno y se bajan los electrodos hasta la distancia apropiada, haciéndose saltar el arco hasta fundir completamente los materiales cargados. El proceso se repite hasta completar la capacidad del horno, constituyendo este acero una colada.



**Figura f2 Esquema general del proceso de fabricación del acero**  
**Fuente: Hornos de la industria del acero**

### 3.2.5. FASE DE AFINO

El afino se lleva a cabo en dos etapas. La primera en el propio horno y la segunda en un horno cuchara.

En el primer afino se analiza la composición del baño fundido y se procede a la eliminación de impurezas y elementos indeseables (silicio, manganeso, fósforo, etc.) y realizar un primer ajuste de la composición química por medio de la adición de ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios (cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc.).

El acero obtenido se vacía en una cuchara de colada, revestida de material refractario, que hace la función de cuba de un segundo horno de afino en el que termina de ajustarse la composición del acero y de dársele la temperatura adecuada para la siguiente fase en el proceso de fabricación.

**Tabla F1 Principales reacciones químicas en el afino**

Elemento	Forma de eliminación	Reacción química
Carbono	Al combinarse con el oxígeno se quema dando lugar a CO y CO <sub>2</sub> gaseoso que se elimina a través de los humos.	$2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$
Manganeso	Se oxida y pasa a la escoria. Combinado con sílice da lugar a silicatos.	$2\text{Mn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}$ $\text{MnO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{silicatos}$
Silicio	Se oxida y pasa a la escoria. Forma silicatos	$\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ $\text{SiO}_2 + \text{óxidos} \rightarrow \text{silicatos}$
Fósforo	En una primera fase se oxida y pasa a la escoria. En presencia de carbono y altas temperaturas puede revertir al baño. Para fijarlo a la escoria se añade cal formándose fosfato de calcio.	$4\text{P} + 5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{P}_2\text{O}_5$ $\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{C} \rightarrow 2\text{P} + 5\text{CO}$ $2\text{P} + 5\text{FeO} + 3\text{CaO} \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{CaO} + 5\text{Fe}$
Azufre	Su eliminación debe realizarse mediante el aporte de cal, pasando a la escoria en forma de sulfuro de calcio. La presencia de manganeso favorece la desulfuración.	$\text{S} + \text{Fe} + \text{CaO} \rightarrow \text{FeO} + \text{SCa}$ $\text{S} + \text{Fe} + \text{MnO} \rightarrow \text{SMn} + \text{FeO}$ $\text{S} + \text{Fe} + \text{Mn} \rightarrow \text{SMn} + \text{Fe}$

### 3.2.6. OTROS MÉTODOS DE REFINADO

Aunque casi todo el hierro y acero que se fabrica en el mundo se obtiene a partir de arrabio producido en altos hornos, hay otros métodos de refinado del hierro que se han practicado de forma limitada. Uno de ellos es el denominado método directo para fabricar hierro y acero a partir del mineral, sin producir arrabio. En este proceso se mezclan mineral de hierro y coque en un horno de calcinación rotatorio y se calientan a una temperatura de unos 950 °C.

El coque caliente desprende monóxido de carbono, igual que en un alto horno, y reduce los óxidos del mineral a hierro metálico. Sin embargo, no tienen lugar las reacciones secundarias que ocurren en un alto horno, y el horno de calcinación produce la llamada esponja de hierro, de mucha mayor pureza que el arrabio. También puede producirse hierro prácticamente puro mediante electrólisis (véase Electroquímica) haciendo pasar una corriente eléctrica a través de una disolución de cloruro de hierro (II). Ni el proceso directo ni el electrolítico tienen importancia comercial significativa.

#### 3.2.6.1. PROCESO DE CRISOL ABIERTO

Cualquier proceso de producción de acero a partir de arrabio consiste en quemar el exceso de carbono y otras impurezas presentes en el hierro. Una dificultad para la fabricación del acero es su elevado punto de fusión, 1.400 °C, que impide utilizar combustibles y hornos convencionales.

Para superar la dificultad se desarrolló el horno de crisol abierto, que funciona a altas temperaturas gracias al precalentado regenerativo del combustible gaseoso y el aire empleados para la combustión. En el precalentado regenerativo los gases que escapan del horno se hacen pasar por una serie de cámaras llenas de ladrillos, a los que ceden la mayor parte de su calor. A continuación se invierte el flujo a través del horno, y el combustible y el aire pasan a través de las

cámaras y son calentados por los ladrillos. Con este método, los hornos de crisol abierto alcanzan temperaturas de hasta 1.650 °C.

El horno propiamente dicho suele ser un crisol de ladrillo plano y rectangular de unos 6 × 10 m, con un techo de unos 2,5 m de altura. Una serie de puertas da a una planta de trabajo situada delante del crisol. Todo el crisol y la planta de trabajo están situados a una altura determinada por encima del suelo, y el espacio situado bajo el crisol lo ocupan las cámaras de regeneración de calor del horno. Un horno del tamaño indicado produce unas 100 toneladas de acero cada 11 horas.

El horno se carga con una mezcla de arrabio (fundido o frío), chatarra de acero y mineral de hierro, que proporciona oxígeno adicional. Se añade caliza como fundente y fluorita para hacer que la escoria sea más fluida. Las proporciones de la carga varían mucho, pero una carga típica podría consistir en 60.000 kg de chatarra de acero, 11.000 kg de arrabio frío, 45.000 kg de arrabio fundido, 12.000 kg de caliza, 1.000 kg de mineral de hierro y 200 kg de fluorita. Una vez cargado el horno, se enciende, y las llamas oscilan de un lado a otro del crisol a medida que el operario invierte su dirección para regenerar el calor.

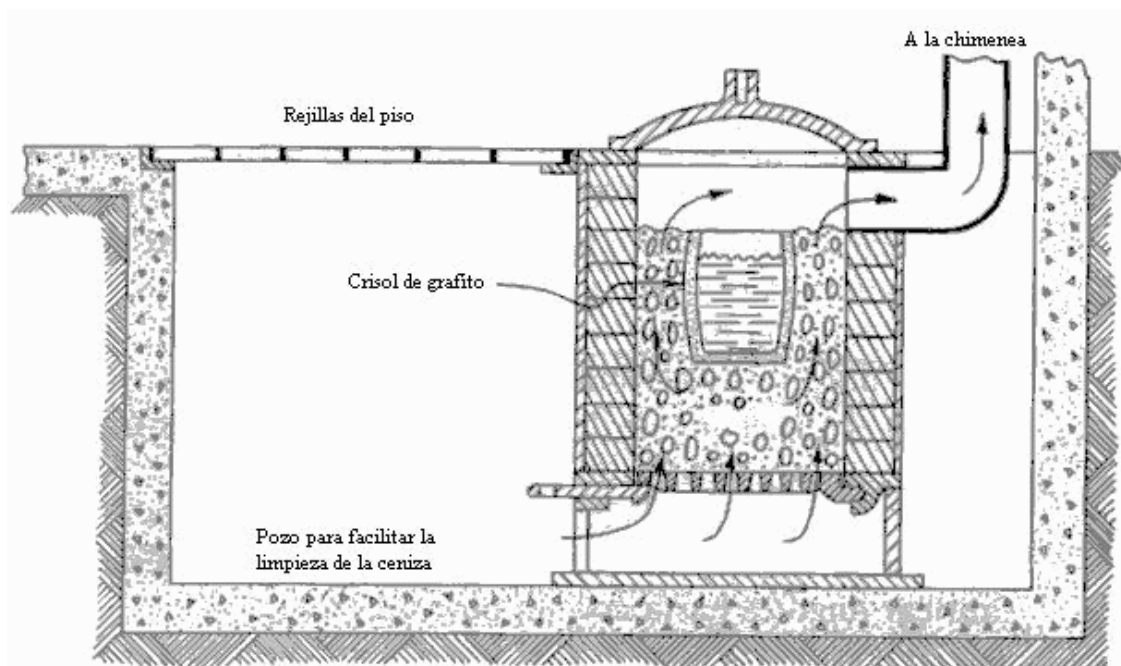
Desde el punto de vista químico la acción del horno de crisol abierto consiste en reducir por oxidación el contenido de carbono de la carga y eliminar impurezas como silicio, fósforo, manganeso y azufre, que se combinan con la caliza y forman la escoria.

Estas reacciones tienen lugar mientras el metal del horno se encuentra a la temperatura de fusión, y el horno se mantiene entre 1.550 y 1.650 °C durante varias horas hasta que el metal fundido tenga el contenido de carbono deseado. Un operario experto puede juzgar el contenido de carbono del metal a partir de su aspecto, pero por lo general se prueba la fundición extrayendo una pequeña cantidad de metal del horno, enfriándola y sometiéndola a examen físico o análisis químico.

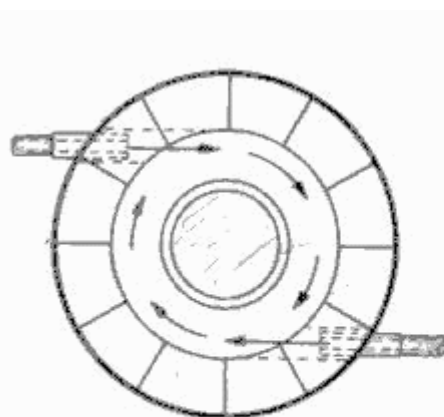
Cuando el contenido en carbono de la fundición alcanza el nivel deseado, se sangra el horno a través de un orificio situado en la parte trasera. El acero fundido fluye por un canal corto hasta una gran cuchara situada a ras de suelo, por debajo del horno.

Desde la cuchara se vierte el acero en moldes de hierro colado para formar lingotes, que suelen tener una sección cuadrada de unos 50 cm de lado, y una longitud de 1,5 m. Estos lingotes —la materia prima para todas las formas de fabricación del acero— pesan algo menos de 3 toneladas. Recientemente se han puesto en práctica métodos para procesar el acero de forma continua sin tener que pasar por el proceso de fabricación de lingotes.

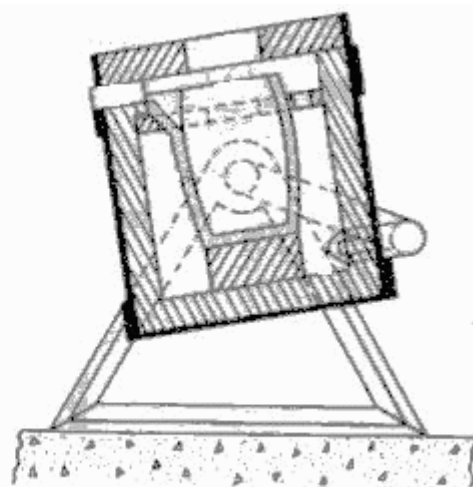




*Horno estacionario con coque*



*Vista de planta del horno mostrando la colocación de los quemadores para funcionamiento con aceite o gas.*



*Horno bascular calentado con gas.*

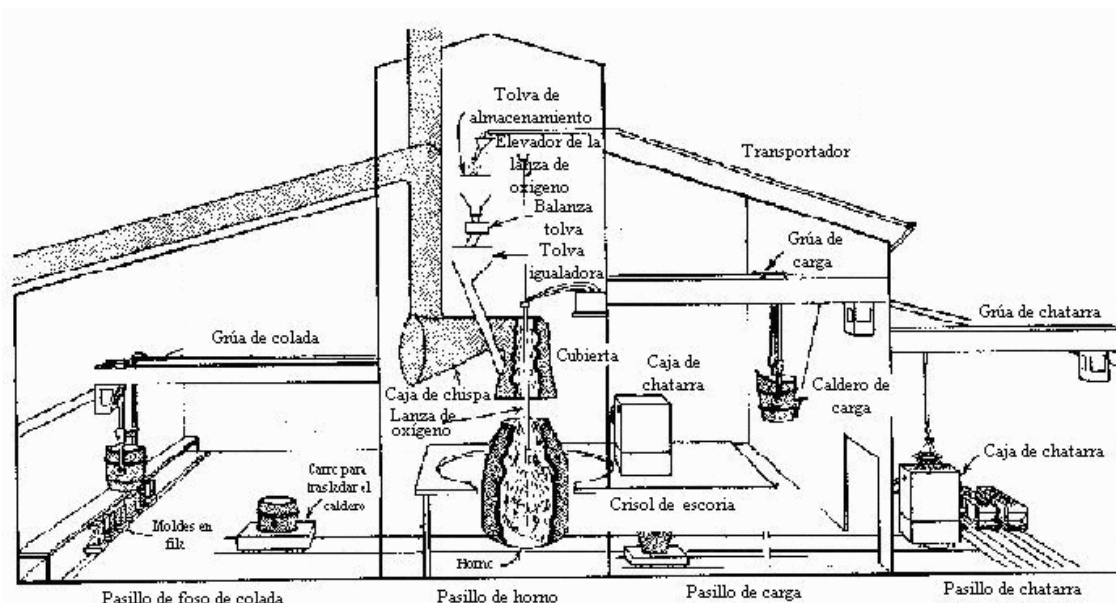
**Figura f3 Horno de crisol para metales no ferrosos**

### 3.2.6.2. PROCESO BÁSICO DE OXÍGENO

El proceso más antiguo para fabricar acero en grandes cantidades es el proceso Bessemer, que empleaba un horno de gran altura en forma de pera, denominado convertidor Bessemer, que podía inclinarse en sentido lateral para la carga y el vertido. Al hacer pasar grandes cantidades de aire a través del metal fundido, el oxígeno del aire se combinaba químicamente con las impurezas y las eliminaba.



En el proceso básico de oxígeno, el acero también se refina en un horno en forma de pera que se puede inclinar en sentido lateral. Sin embargo, el aire se sustituye por un chorro de oxígeno casi puro a alta presión. Cuando el horno se ha cargado y colocado en posición vertical, se hace descender en su interior una lanza de oxígeno. La punta de la lanza, refrigerada por agua, suele estar situada a unos 2 m por encima de la carga, aunque esta distancia se puede variar según interese. A continuación se inyectan en el horno miles de metros cúbicos de oxígeno a velocidades supersónicas. El oxígeno se combina con el carbono y otros elementos no deseados e inicia una reacción de agitación que quema con rapidez las impurezas del arrabio y lo transforma en acero. El proceso de refinado tarda 50 minutos o menos, y es posible fabricar unas 275 toneladas de acero en una hora.



*Esquema de una planta de oxígeno para producción de acero*

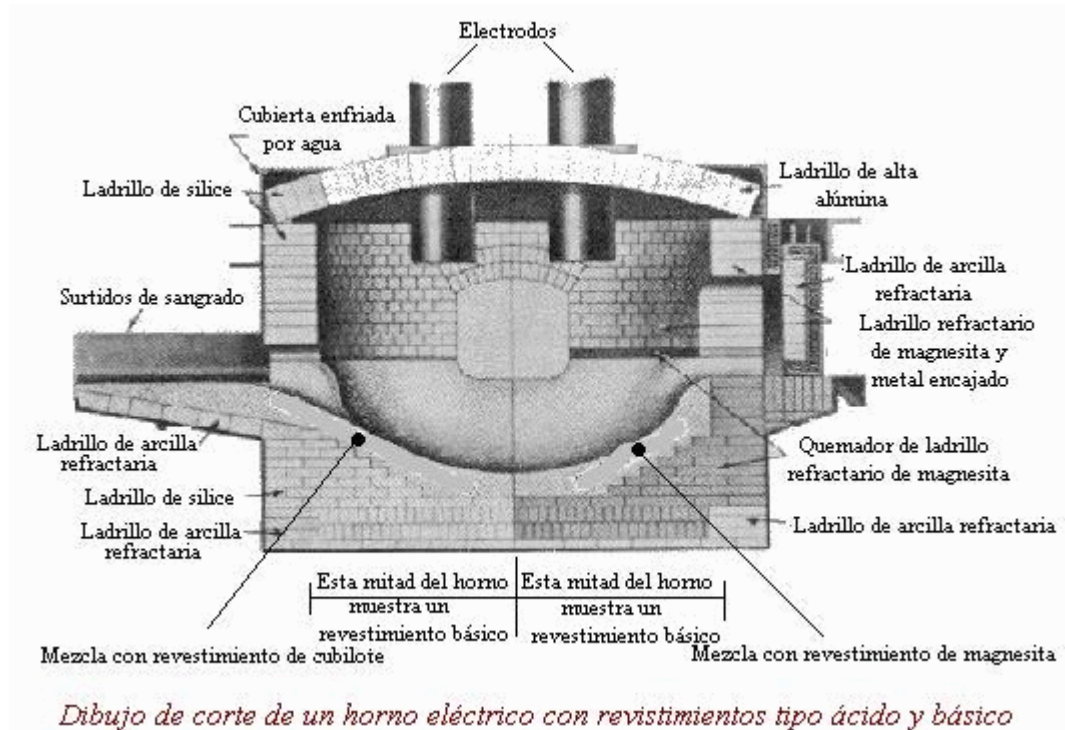
**Figura f4 Horno básico de oxígeno**

### 3.2.6.3. Acero de horno eléctrico

En algunos hornos el calor para fundir y refinar el acero procede de la electricidad y no de la combustión de gas. Como las condiciones de refinado de estos hornos se pueden regular más estrictamente que las de los hornos de crisol abierto o los hornos básicos de oxígeno, los hornos eléctricos son sobre todo útiles para producir acero inoxidable y aceros aleados que deben ser fabricados según unas especificaciones muy exigentes. El refinado se produce en una cámara hermética, donde la temperatura y otras condiciones se controlan de forma rigurosa mediante dispositivos automáticos. En las primeras fases de este proceso de refinado se inyecta oxígeno de alta pureza a través de una lanza, lo que aumenta la temperatura del horno y disminuye el tiempo necesario para producir el acero. La cantidad de oxígeno que entra en el horno puede regularse con precisión en todo momento, lo que evita reacciones de oxidación no deseadas.

En la mayoría de los casos, la carga está formada casi exclusivamente por material de chatarra. Antes de poder utilizarla, la chatarra debe ser analizada y clasificada, porque su contenido en aleaciones afecta a la composición del metal refinado. También se añaden otros materiales, como pequeñas cantidades de mineral de hierro y cal seca, para contribuir a eliminar el carbono y otras impurezas. Los elementos adicionales para la aleación se introducen con la carga o después, cuando se vierte a la cuchara el acero refinado.

Una vez cargado el horno se hacen descender unos electrodos hasta la superficie del metal. La corriente eléctrica fluye por uno de los electrodos, forma un arco eléctrico hasta la carga metálica, recorre el metal y vuelve a formar un arco hasta el siguiente electrodo. La resistencia del metal al flujo de corriente genera calor, que —junto con el producido por el arco eléctrico— funde el metal con rapidez. Hay otros tipos de horno eléctrico donde se emplea una espiral para generar calor.



**Figura f5 Horno de arco eléctrico**

### 3.3. CONTROL DEL PROCESO

Para obtener un acero de calidad el proceso debe controlarse en todas sus fases empezando, como ya se ha comentado, por un estricto control de las materias primas cargadas en el horno.

Durante el proceso se toman varias muestras del baño y de las escorias para comprobar la marcha del afino y poder ir ajustando la composición del acero. Para ello se utilizan técnicas instrumentales de análisis (espectómetros) que permiten obtener resultados en un corto espacio de tiempo, haciendo posible un control a tiempo real y la adopción de las correcciones precisas de forma casi instantánea, lográndose así la composición química deseada.

Los dos elementos que más pueden influir en las características y propiedades del acero obtenido, el carbono y el azufre, se controlan de forma adicional mediante un aparato de combustión LECO. Pero además de la composición del baño y de la escoria, se controla de forma rigurosa la temperatura del baño, pues es la que determina las condiciones y la velocidad a la que se producen las distintas reacciones químicas durante el afino.

### 3.3.1. PROCESOS DE ACABADO

- Laminado en caliente y colada continua
- Lingote al rojo vivo

El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, raíles (rieles) de ferrocarril o perfiles en H o en T. Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o modelándolos de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar su resistencia.

El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

El primer par de rodillos por el que pasa el lingote se conoce como tren de desbaste o de eliminación de asperezas. Después del tren de desbaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta. Los rodillos para producir raíles o rieles de ferrocarril o perfiles en H, en T o en L tienen estrías para proporcionar la forma adecuada.

Los procesos modernos de fabricación requieren gran cantidad de chapa de acero delgada. Los trenes o rodillos de laminado continuo producen tiras y láminas con anchuras de hasta 2,5 m. Estos laminadores procesan con rapidez la chapa de acero antes de que se enfríe y no pueda ser trabajada. Las planchas de acero caliente de más de 10 cm de espesor se pasan por una serie de cilindros que reducen progresivamente su espesor hasta unos 0,1 cm y aumentan su longitud de 4 a 370 metros. Los trenes de laminado continuo están equipados con una serie de accesorios como rodillos de borde, aparatos de decapado o eliminación y dispositivos para enrollar de modo automático la chapa cuando llega al final del tren. Los rodillos de borde son grupos de rodillos verticales situados a ambos lados de la lámina para mantener su anchura. Los aparatos de decapado eliminan la costra que se forma en la superficie de la lámina apartándola mecánicamente, retirándola mediante un chorro de aire o doblando de forma abrupta la chapa en algún punto del recorrido. Las bobinas de chapa terminadas se colocan sobre una cinta transportadora y se llevan a otro lugar para ser recocidas y cortadas en chapas individuales. Una forma más eficiente para producir chapa de acero delgada es hacer pasar por los rodillos planchas de menor espesor. Con los métodos convencionales de fundición sigue siendo necesario pasar los lingotes por un tren de desbaste para producir planchas lo bastante delgadas para el tren de laminado continuo.

El sistema de colada continua, en cambio, produce una plancha continua de acero con un espesor inferior a 5 cm, lo que elimina la necesidad de trenes de desbaste y laminado en bruto.

### **3.3.2. TUBOS**

Los tubos más baratos se forman doblando una tira plana de acero caliente en forma cilíndrica y soldando los bordes para cerrar el tubo. En los tubos más pequeños, los bordes de la tira suelen superponerse y se pasan entre un par de rodillos curvados según el diámetro externo del tubo. La presión de los rodillos es suficiente para soldar los bordes. Los tubos sin soldaduras se fabrican a partir de barras sólidas haciéndolas pasar entre un par de rodillos inclinados entre los que está situada una barra metálica con punta, llamada mandril, que perfora las barras y forma el interior del tubo mientras los rodillos forman el exterior.

### **3.3.3. HOJALATA**

El producto de acero recubierto más importante es la hojalata estañada que se emplea para la fabricación de latas y envases. El material de las latas contiene más de un 99% de acero. En algunas instalaciones, las láminas de acero se pasan por un baño de estaño fundido (después de laminarlas primero en caliente y luego en frío) para estañarlas. El método de recubrimiento más común es el proceso electrolítico. La chapa de acero se desenrolla poco a poco de la bobina y se le aplica una solución química. Al mismo tiempo se hace pasar una corriente eléctrica a través de un trozo de estaño puro situado en esa misma solución, lo que hace que el estaño se disuelva poco a poco y se deposite sobre el acero. Con este sistema, medio kilogramo de estaño basta para recubrir 20 metros cuadrados de acero. En la hojalata delgada, la chapa recibe un segundo laminado en frío antes de recubrirla de estaño, lo que aumenta la resistencia de la chapa además de su delgadez. Las latas hechas de hojalata delgada tienen una resistencia similar a las ordinarias, pero contienen menos acero, con lo que se reduce su peso y su coste. También pueden fabricarse envases ligeros adhiriendo una delgadísima lámina de acero estañado sobre papel o cartón. Otros procesos de fabricación de acero son la forja, la fundición y el uso de troqueles.

### **3.3.4. HIERRO FORJADO**

El proceso antiguo para fabricar la aleación resistente y maleable conocida como hierro forjado se diferencia con claridad de otras formas de fabricación de acero. Debido a que el proceso, conocido como pudelización, exigía un mayor trabajo manual, era imposible producir hierro forjado en grandes cantidades. El desarrollo de nuevos sistemas con convertidores Bessemer y hornos de crisol abierto permitieron producir un volumen mayor de hierro forjado.

Sin embargo, el hierro forjado ya no se fabrica habitualmente con fines comerciales, debido a que se puede sustituir en casi todas las aplicaciones por acero de bajo contenido en carbono, con menor costo de producción y calidad más uniforme.

El horno de pudelización empleado en el proceso antiguo tiene un techo abovedado de poca altura y un crisol cóncavo en el que se coloca el metal en bruto, separado por una pared de la cámara de combustión donde se quema carbón bituminoso. La llama de la cámara de combustión asciende por encima de la pared, incide en el techo abovedado y reverbera sobre el contenido del crisol. Cuando el horno ha adquirido un calor moderado, el operario que maneja el horno recubre

el crisol y las paredes con una pasta de óxido de hierro, por lo general hematites. A continuación, el horno se carga con unos 250 kg de arrabio y se cierra la puerta. Al cabo de unos 30 minutos, el arrabio se ha fundido, y el operario añade a la carga más óxido de hierro o residuos de laminado, mezclándolos con el hierro con una barra de hierro curvada. El silicio y la mayor parte del manganeso contenidos en el hierro se oxidan, y se elimina parte del azufre y el fósforo. A continuación se eleva un poco la temperatura del horno, y el carbono empieza a quemarse formando óxidos de carbono gaseosos. Según se desprende gas la escoria aumenta de volumen y el nivel de la carga sube. Al quemarse el carbono, la temperatura de fusión aumenta, y la carga se vuelve cada vez más pastosa y vuelve a su nivel anterior. A medida que se incrementa la pureza del hierro, el operario remueve la carga con la barra para garantizar una composición uniforme y una cohesión adecuada de las partículas. La masa resultante, pastosa y esponjosa, se divide en pedazos o bolas de unos 80 o 90 kg. Las bolas se retiran del horno con unas tenazas y se colocan directamente en una prensa que expulsa de la bola la mayor parte de la escoria de silicio mezclada y suelta entre sí los granos de hierro puro. A continuación se corta el hierro en piezas planas que se apilan unas sobre otras, se calientan hasta la temperatura de soldadura y se laminan para formar una sola pieza. A veces se repite el proceso de laminado para mejorar la calidad del producto.

La técnica moderna para fabricar hierro forjado emplea hierro fundido procedente de un convertidor Bessemer y escoria fundida, que suele prepararse fundiendo mineral de hierro, residuos de laminado y arena en un horno de crisol abierto. Cuando el hierro fundido, que lleva disuelta una gran cantidad de gas, se vierte en la cuchara que contiene la escoria fundida, el metal se solidifica de modo casi instantáneo y libera el gas disuelto. La fuerza ejercida por el gas hace estallar el metal en partículas diminutas que son más pesadas que la escoria y se acumulan en el fondo de la cuchara, donde se aglomeran formando una masa esponjosa similar a las bolas producidas en un horno de pudelización. Cuando se vierte la escoria de la parte superior de la cuchara se retira la bola de hierro y se la somete al mismo tratamiento que el producto del horno de pudelización.

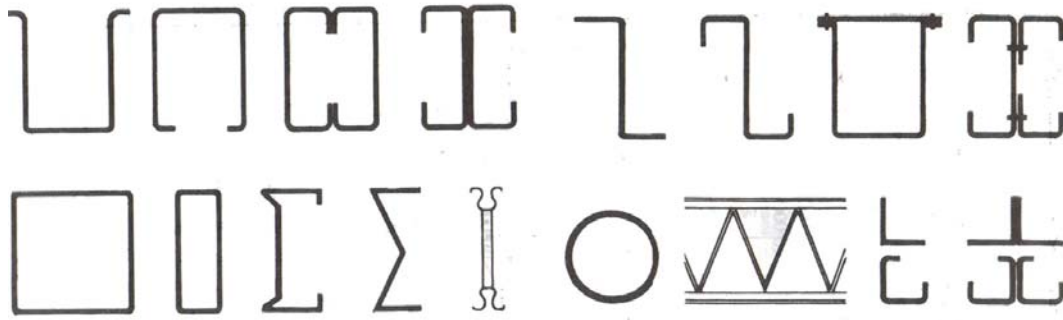
### **3.3.5. ACERO ESTRUCTURAL**

El acero estructural es acero al carbono, acero de baja aleación y alta resistencia y baja aleación con 50000 lbf/pulg<sup>2</sup> (344.75MN/m<sup>2</sup>) de límite elástico; acero de alta resistencia manganeso-vanadio, el tipo de acero resistente al clima, y acero de alta resistencia y baja aleación con columbio, vanadio, columbio-vanadio, y vanadio-nitrógeno.

Los mismos aceros se utilizan para la fabricación de tornillos pasantes, rondanas, láminas, solera, placa y barras de alta resistencias.

### **3.3.6. Perfiles comerciales**

El acero estructural se obtiene en forma de ángulos, canales, vigas I, columnas H, formas T, formas Z, placas, columnas tubulares redondas, lámina de piloteado, vigas de alma abierta (vigas de barras), y perfiles para marcos de acero ligero (ver figura F-222).



*Figura f6 diferentes perfiles de acero ligero*

### 3.4. CLASIFICACIÓN DEL ACERO

Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultrarresistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

#### 3.4.1. ACEROS AL CARBONO

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

#### 3.4.2. ACEROS ALEADOS

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.

#### 3.4.3. ACEROS DE BAJA ALEACIÓN ULTRARRESISTENTES

Esta familia es la más reciente de las cinco grandes clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.



#### **3.4.4. ACEROS INOXIDABLES**

Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

#### **3.4.5. ACEROS DE HERRAMIENTAS**

Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen volframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

#### **3.5. ESTRUCTURA DEL ACERO**

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita, un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una profunda mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes.

Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por completo compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevarse la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en una forma alotrópica de aleación de hierro y carbono conocida como austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y perlita, pero si el enfriamiento es repentino la austenita se convierte en martensita, una modificación alotrópica de gran dureza similar a la ferrita pero con carbono en solución sólida.

#### **3.6. TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO**

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden

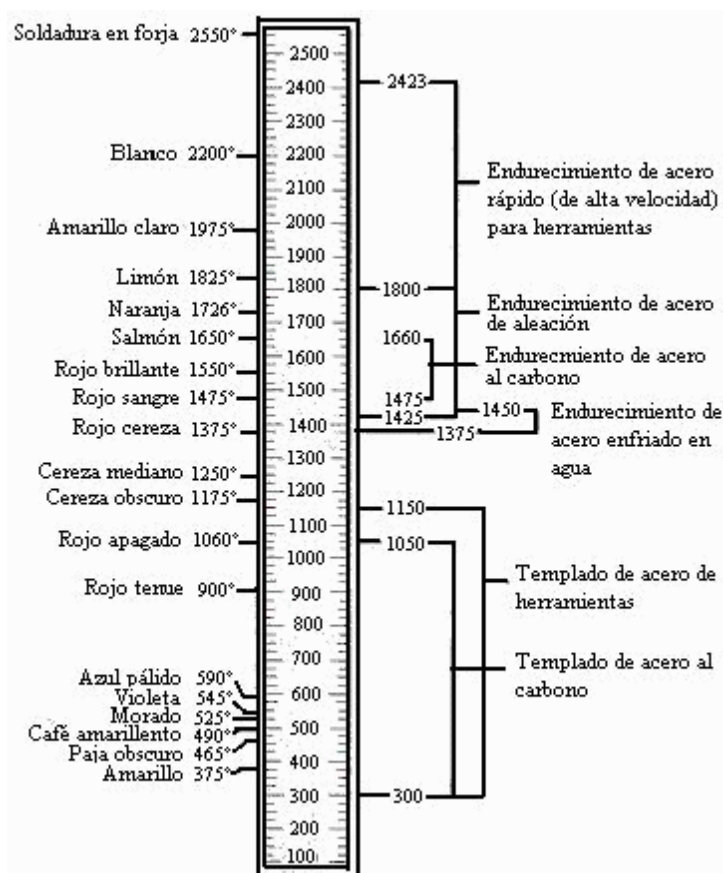
reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro - hierro - carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión.

### 3.7. ENDURECIMIENTO DEL ACERO

El proceso de endurecimiento del acero consiste en el calentamiento del metal de manera uniforme a la temperatura correcta (ver figura de temperaturas para endurecido de metales) y luego enfriarlo con agua, aceite, aire o en una cámara refrigerada. El endurecimiento produce una estructura granular fina que aumenta la resistencia a la tracción (tensión) y disminuye la ductilidad.



*Figura f7 La temperatura en función del acero*



El acero al carbono para herramientas se puede endurecer al calentarse hasta su temperatura crítica, la cual se adquiere aproximadamente entre los 1450 °F y 1525 °F (790 a 830 °C) lo cual se identifica cuando el metal adquiere el color rojo cereza brillante. Cuando se calienta el acero la perlita se combina con la ferrita, lo que produce una estructura de grano fino llamada austenita. Cuando se enfría la austenita de manera brusca con agua, aceite o aire, se transforma en martensita, material que es muy duro y frágil.

### 3.8. TEMPLE (REVENIDO)

Después que se ha endurecido el acero es muy quebradizo o frágil lo que impide su manejo pues se rompe con el mínimo golpe debido a la tensión interior generada por el proceso de endurecimiento. Para contrarrestar la fragilidad se recomienda el temple del acero (en algunos textos a este proceso se le llama revenido y al endurecido temple). Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza. El proceso consiste en limpiar la pieza con un abrasivo para luego calentarla hasta la temperatura adecuada (ver tabla), para después enfriarla con rapidez en el mismo medio que se utilizó para endurecerla.

*Tabla F2 de temperaturas para temprar acero endurecido*

Color	Grados F	Grados C	Tipos de aceros
Paja claro	430	220	Herramientas como brocas, machuelos
Paja mediano	460	240	Punzones dados y fresas
Paja oscuro	490	255	Cizallas y martillos
Morado	520	270	Árboles y cinceles para madera
Azul oscuro	570	300	Cuchillos y cinceles para acero
Azul claro	600	320	Destornilladores y resortes

### 3.9. RECOCIDO

Cuando se tiene que maquinar a un acero endurecido, por lo regular hay que recocerlo o ablandarlo. El recocido es un proceso para reducir los esfuerzos internos y ablandar el acero. El proceso consiste en calentar al acero por arriba de su temperatura crítica y dejarlo enfriar con lentitud en el horno cerrado o envuelto en ceniza, cal, asbesto o vermiculita.

### 3.10. CEMENTADO

Consiste en el endurecimiento de la superficie externa del acero al bajo carbono, quedando el núcleo blando y dúctil. Como el carbono es el que genera la dureza en los aceros en el método de cementado se tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de carbono en los aceros de bajo contenido de carbono antes de ser endurecido. El carbono se agrega al calentar al acero a su temperatura crítica mientras se encuentra en contacto con un material carbonoso. Los tres métodos de cementación más comunes son: empackado para carburación, baño líquido y gas.

### 3.11. CARBURIZACIÓN POR EMPAQUETADO

Este procedimiento consiste en meter al material de acero con bajo contenido carbónico en una caja cerrada con material carbonáceo y calentarla hasta 1650 o 1700 °F (900 a 927 °C) durante 4

a 6 horas. En este tiempo el carbón que se encuentra en la caja penetra a la superficie de la pieza a endurecer. Entre más tiempo se deje a la pieza en la caja con carbón de mayor profundidad será la capa dura. Una vez caliente la pieza a endurecer a la temperatura adecuada se enfría rápidamente en agua o salmuera. Para evitar deformaciones y disminuir la tensión superficial se recomienda dejar enfriar la pieza en la caja para posteriormente sacarla y volverla a calentar entre 1400 y 1500 °F (rojo cereza) y proceder al enfriamiento por inmersión. La capa endurecida más utilizada tiene un espesor de 0.38 mm, sin embargo se pueden tener espesores de hasta 4 mm.

### **3.12. CARBURIZACIÓN EN BAÑO LÍQUIDO**

El acero a cementar se sumerge en un baño de cianuro de sodio líquido. También se puede utilizar cianuro de potasio pero sus vapores son muy peligrosos. Se mantiene la temperatura a 1500 °F (845 °C) durante 15 minutos a 1 hora, según la profundidad que se requiera. A esta temperatura el acero absorberá el carbono y el nitrógeno del cianuro. Después se debe enfriar con rapidez al acero en agua o salmuera. Con este procedimiento se logran capas con espesores de 0.75 mm.

### **3.13. CARBURIZACIÓN CON GAS**

En este procedimiento se utilizan gases carburizantes para la cementación. La pieza de acero con bajo contenido carbónico se coloca en un tambor al que se introduce gas para carburizar como derivados de los hidrocarburos o gas natural. El procedimiento consiste en mantener al horno, el gas y la pieza entre 1650 y 1750 °F (900 y 927 °C). Después de un tiempo predeterminado se corta el gas carburizante y se deja enfriar el horno. Luego se saca la pieza y se recalienta a 1400 °F (760 °C) y se enfría con rapidez en agua o salmuera. Con este procedimiento se logran piezas cuya capa dura tiene un espesor hasta de 6 mm, pero por lo regular no exceden de 0.7 mm.

### **3.14. CARBURADO, CIANURADO Y NITRURADO**

Existen varios procedimientos de endurecimiento superficial con la utilización del nitrógeno y cianuro a los que por lo regular se les conoce como carbonitrurado o cianurado. En todos estos procesos con ayuda de las sales del cianuro y del amoníaco se logran superficies duras como en los métodos anteriores.

## DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “ACEROS”

### 1. INTRODUCCIÓN

Esta sección esta dedicada al análisis de los aceros. Comprobaremos el comportamiento del acero sometido a sollicitaciones distintas, el de mayor % de C, debido a sus características soporta tensiones más elevadas en los distintos tipos de ensayos [**Ensayo de Tracción, Compresión, Flexión y Corte**] y además tiene, indudablemente, deformaciones menores que su similar. La dureza va en incremento con el %. Sometido a grandes deformaciones estáticas [Ensayo de plegado], no hay grandes discrepancias ya que la diferencia de % de C de su estructura no es grande como para hablar de un material dúctil y otro frágil, pero si, la hora de evaluar la energía necesaria para producir la ruptura [Ensayo de Impacto] los valores son mayores para el material más tenaz como el de menor % de C. En la sollicitación dinámica [Ensayo de Fatiga] el acero SAE 1045 soportar más número de ciclos que el SAE 1015 aún con tensiones más elevadas. El trabajo esta completado con un Análisis Químico completo y un Examen Metalográfico para saber con certeza con que materiales trabajamos.

**Tabla F3 propiedades de los principales metales**

PROPIEDADES DE LOS METALES							
MATERIAL	PESO ESPECIFICO (Kg/dm <sup>3</sup> )	TEMPERAT URA DE FUSION (°c)	MODULO DE ELASTICID AD (Kg/mm <sup>2</sup> )	CONDUCTIBI DAD CALORIFICA (cm*s*°C)	COEFICI ENTE DE DILATA CIÓN LINEAL	CALOR ESPECIFICO cal / g*°c	CONDUCTIVI DAD ELECTRICA ((ohm*mm <sup>2</sup> )/m)
Acero con 0,2 % C	7.85	1500	21000	0.12	11 * 10 <sup>6</sup>	0.11	8.3
Acero con 0,6 % C	7.84	1470	21000	0.11	11 * 10 <sup>6</sup>	0.11	7.8
Acero con 0,35 % C	7.85	1480	21000	0.12	11 * 10 <sup>6</sup>	0.11	8
Aluminio al 95,5%	2.7	659	7000	0.53	23.8 * 10 <sup>6</sup>	0.22	37-35
Duraluminio (Al-Cu-Mg)	2.8	520-650	7200	0.35	23 * 10 <sup>6</sup>		20
Plomo	11.34	327	1800	0.084	29 * 10 <sup>6</sup>	0.031	4.8
Hierro Puro (Acero)	7.86	1530	21070	0.16	12 * 10 <sup>6</sup>	0.111	10
Fundición de hierro	7.1-7.3	1152-1350		0.07-0.11	9 * 10 <sup>6</sup>	0.031	0.5-2
Oro	19.3	1063	8120	0.75	14 * 10 <sup>6</sup>		45
Cobre	8.9	1083	12500	0.94	17 * 10 <sup>6</sup>	0.093	57-55
Niquel	8.8	1452	21000	0.14	13 * 10 <sup>6</sup>	0.11	11.5
Platino	21.4	1774	16700	0.17	9 * 10 <sup>6</sup>	0.04	9
Plata	10.5	960	7000	1.01	20 * 10 <sup>6</sup>	0.057	62.5
Zinc	4.114	419	11000	0.26	29 * 10 <sup>6</sup>	0.09	16.5
Estaño	7.28	232	4150	0.15	27 * 10 <sup>6</sup>	0.055	8.3

**Fuente: AISI-SAE**

## **2. TERMINOLOGÍA**

### **i. Acero**

Metal conformado de hierro y carbono y generalmente de otras pequeñas cantidades de manganeso, fósforo, sulfuro y silicón.

### **ii. Acero al carbono**

Tipo básico de acero que contiene menos del 3% de elementos que no sean hierro ni carbono.

### **iii. Acero de aleación**

Acero que contiene otro metal que fue añadido intencionalmente con el fin de mejorar ciertas propiedades del metal.

### **iv. Acero de alto carbono**

Acero al carbono que contiene más de 0.5% de carbono.

### **v. Acero de bajo carbono**

Acero al carbono que contiene menos de 0.3% de carbono.

### **vi. Acero de mediano carbono**

Acero al carbono que contiene entre 0.3 y 0.5% de carbono.

### **vii. Acero inoxidable**

Tipo de acero que contiene más del 15% de cromo y demuestra excelente resistencia a la corrosión.

### **viii. Acero para herramientas**

Tipo de acero diseñado con alta resistencia al desgaste, tenacidad y fuerza.

### **ix. Aluminio**

Metal plateado claro que es blando, ligero y tiene alta relación resistencia-peso.

### **x. Cobre**

Metal rojizo que es muy dúctil, conduce calor y electricidad y es resistente a la corrosión. El cobre es a menudo utilizado para hacer cables de electricidad.

### **xi. Composición química**

Combinación de materiales a nivel atómico.

### **xii. Cromo**

Metal brillante, duro y de color gris utilizado en aleaciones ferrosas para añadir dureza y resistencia al desgaste al acero.

### **xiii. Designaciones AISI-SAE**

La clasificación más común en los Estados Unidos para los aceros al carbono y aceros de aleación.

**xiv. Ductibilidad**

Capacidad del metal para ser laminado, estirado o formado sin quebrarse.

**xv. Dureza**

Capacidad del metal para resistir a la penetración.

**xvi. Elemento de aleación**

Elemento que es intencionalmente añadido al metal con el fin de cambiar sus propiedades.

**xvii. Grado**

Asignación numérica que describe los contenidos de un metal de aleación.

**xviii. Horno de arco eléctrico**

Tipo de horno que se utiliza durante el proceso de siderurgia y que emite cargas eléctricas entre los electrodos para quemar la mezcla de arrabio y otros materiales con el fin de producir acero.

**xix. Impurezas**

Sustancias inconvenientes que reducen la calidad del material.

**xx. Metales no ferrosos**

Metal que no contiene (de manera intencional) fierro.

**xxi. Resistencia a la corrosión**

Capacidad del metal para resistir el deterioro causado por su exposición al medio ambiente

**xxii. Templabilidad**

Capacidad del metal para ser templado mediante un proceso normal de tratamiento térmico.

**xxiii. Tratamiento térmico**

Proceso de trabajos en caliente y en frío que se utiliza para cambiar la estructura del metal y alterar sus propiedades mecánicas

**xxiv. Unified Numbering System**

Sistema común de clasificación que se utiliza tanto para los metales ferrosos como los no ferrosos.

**3. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS**

Los aceros se clasifican de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas, existen diferentes normas internacionales pero las más reconocidas y utilizadas mundialmente son SAE, ASTM, UNE, IRAM, API, etc. (véase Ensayos tabla F 1-1 Clasificación de los aceros, F 2-2 aplicaciones según la clasificación y F 3 -3 clasificación según la norma UNE).

La clasificación esta basada en el:

- Tratamiento térmico
- Calentado a ° C
- Enfriado a ° C

- Revenido a ° C
- Propiedades físicas
- Límite de rotura
- Límite de fluencia
- Alargamiento
- Estricción
- N° de dureza brinell
- Estado
- Composición química

Las denominaciones dependen del tipo de elemento o acabo de la materia (tubos, barras, etc.).

Los principales productos representantes de los materiales metálicos son:

- Fundición de hierro gris
- Hierro maleable
- Aceros
- Fundición de hierro blanco

Su temperatura de fusión va desde los 1360 ° C hasta los 1425 ° C y uno de sus principales problemas es la corrosión.

#### **4. PROPIEDADES DE LOS ACEROS**

Las principales propiedades de los materiales incluyen densidad, presión de vapor, expansión térmica, conductividad térmica, propiedades eléctricas y magnéticas, así como las propiedades de ingeniería.

En los procesos de manufactura son de gran importancia las propiedades de ingeniería, de las que destacan las siguientes:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la torsión
- Ductilidad
- Prueba al impacto o de durabilidad
- Dureza

Cada una de las propiedades antes señaladas requiere de un análisis específico y detallado, lo que se da en asignaturas como las de resistencia de materiales I y II. En este capítulo sólo se presentan algunas de sus principales características

Los ensayos de laboratorio para determinar estas características son:

- Ensayos de características

- Químico: Determinar la composición de los materiales.
- Estructuras: Cristales: Determinar la cristalización, se realiza mediante un microscopio electrónico. Microscópicos: Determinar el grano. Macroscópicos: Determinar la fibra
- Térmicos:  
Puntos de fusión.  
Puntos críticos.  
Constituyentes
- Ensayos destructivos: (E.D.)
- Ensayos de propiedades mecánicas:
- Estáticos:  
Durezas  
Tracción  
Compresión  
Cizalladura  
Flexión  
Pandeo  
Fluencia
- Dinámicos:  
Resistencia al choque  
Desgaste  
Fatiga
- Ensayos tecnológicos: Determ. el comportamiento de los materiales ante operaciones industriales
- Doblado, Plegado, Forja, Embutición, Soldadura, Laminación, etc.
- Ensayos No destructivos: (Por orden de importancia)
  - a) Rayos X.
  - b) Rayos Gamma: Se usa un isótopo reactivo, uso de radiografías.
  - c) Ultrasonidos.
  - d) Partículas magnéticas.
  - e) Líquidos penetrantes.
  - f) Corrientes Inducidas.
  - g) Magnéticos.
  - h) Sónicos: Es el más utilizado, un mat. sin grietas tiene un sonido agudo; si el material tiene grietas el sonido es más grave.

## 5. RESISTENCIA A LA TENSION

Se determina por el estirado de los dos extremos de una probeta con dimensiones perfectamente determinadas y con marcas previamente hechas.

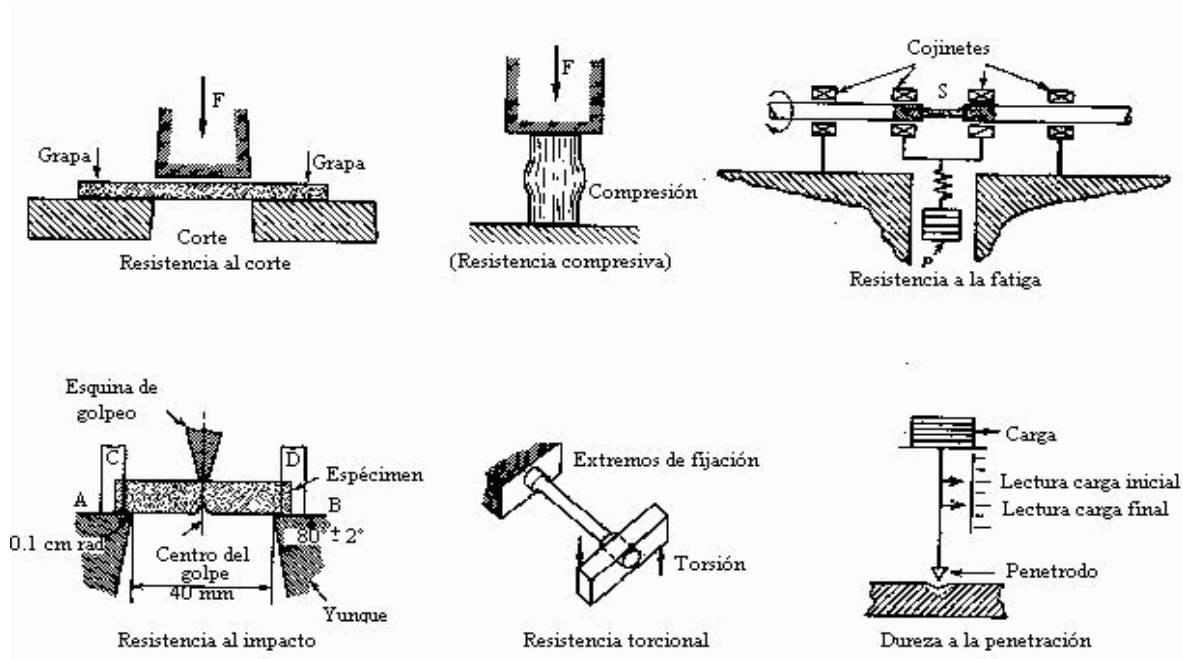
Al aplicar fuerza en los dos extremos se mide la deformación relacionándola con la fuerza aplicada hasta que la probeta rebasa su límite de deformación elástica y se deforma permanentemente o se rompe.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la tensión se plasman en series de curvas que describen el comportamiento de los materiales al ser estirados.

Varias de las características de ingeniería se proporcionan con relación a la resistencia a la tensión. Así en algunas ocasiones se tienen referencias como las siguientes:

- La resistencia al corte de un material es generalmente el 50% del esfuerzo a la tensión.
- La resistencia a la torsión es alrededor del 75% de la resistencia a la tensión.
- La resistencia a la compresión de materiales relativamente frágiles es de tres o cuatro veces la resistencia a la tensión.

En los siguientes diagramas se muestran algunos de los procedimientos comunes para aplicar las pruebas de resistencia al corte, la compresión, la fatiga o durabilidad, el impacto, la torsión y de dureza.



*Figura f8 Dibujos esquemáticos de los métodos usados para determinar propiedades del acero*



## 6. FLEXIÓN

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

Sin embargo y por comodidad para realizar el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de este esfuerzo se emplea generalmente a las mismas comportándose como vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio (flexión práctica u ordinaria).

En estas condiciones además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone al un esfuerzo cortante, cuya influencia en el cálculo de la resistencia del material varía con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con esta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, como puede comprobarse fácilmente en la figura, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos.

Es por esta razón que la distancia entre los soportes de la probeta se han normalizado convenientemente en función de la altura o diámetro de la misma, pudiendo aceptar entonces que la acción del esfuerzo de corte resulta prácticamente despreciable. Para ensayos más precisos la aplicación de la carga se hace por intermedio de dos fuerzas con lo que se logra “flexión pura”.



*Figura f 9 Probeta sometida a flexión – Fuente: Laboratorio de la E. E. T.*

## 7. DUREZA

Por lo regular se obtiene por medio del método denominado resistencia a la penetración, la cual consiste en medir la marca producida por un penetrador con características perfectamente definidas y una carga también definida; entre más profunda es la marca generada por el penetrador de menor dureza es el material.

Existen varias escalas de dureza, estas dependen del tipo de penetradores que se utilizan y las normas que se apliquen. Las principales pruebas de dureza son Rockwell, Brinell y Vickers.

Las dos primeras utilizan penetradores con cargas para generar marcas en los metales a probar, posteriormente se mide la profundidad de las marcas. En algunas publicaciones se considera a la prueba Rockwell como la prueba del sistema inglés y a la Brinell como la del sistema métrico. (observe las tablas Ensayos F3-3 de relación de durezas).

La dureza Vickers se logra por medio de una prueba denominada el métodos Escleroscópico Shore en el que consiste en dejar caer un martinete de diamante de 2,3 g, sobre el material a probar y medir la altura del rebote. A mayor rebote mayor será su dureza.



*Figura f 10 Durómetro Brinell y Rockwell - Fuente: Laboratorio de la E. E. T.*

## 8. PLEGADO

El plegado a temperatura ambiente es un ensayo tecnológico derivado del de flexión, se realiza para determinar la ductilidad de los materiales metálicos (de él no se obtiene ningún valor específico).

Este ensayo es solicitado por las especificaciones en la recepción de aceros en barras y perfiles, para la comprobación de la tenacidad de los mismos y después de haber sido sometido al tratamiento térmico de recocido. El material se coloca entre los soportes cilíndricos, aplicando la carga lentamente hasta obtener el ángulo de plegado especificado para el mismo, o bien cuando se observa la aparición de las primeras fisuras en la cara inferior o la sometida a tracción.



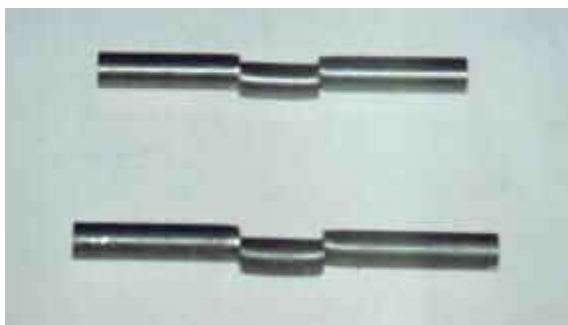
*Figura f 11 Probeta sometida a plegado - Fuente: Laboratorio de la E. E. T.*

## 9. CORTE

El ensayo de corte tiene poca aplicación práctica, pues no permite deducir de él algunas de las características mecánicas de importancia del material que se ensaya; es por ello que rara vez lo solicitan las especificaciones.



*Figura f 12 Dispositivo de ensayo de corte  
Fuente: Laboratorio de la E. E. T.*



*Figura f 13 Probetas ensayadas a Corte - Fuente: Laboratorio de la E. E. T.*

## 10. CHOQUE

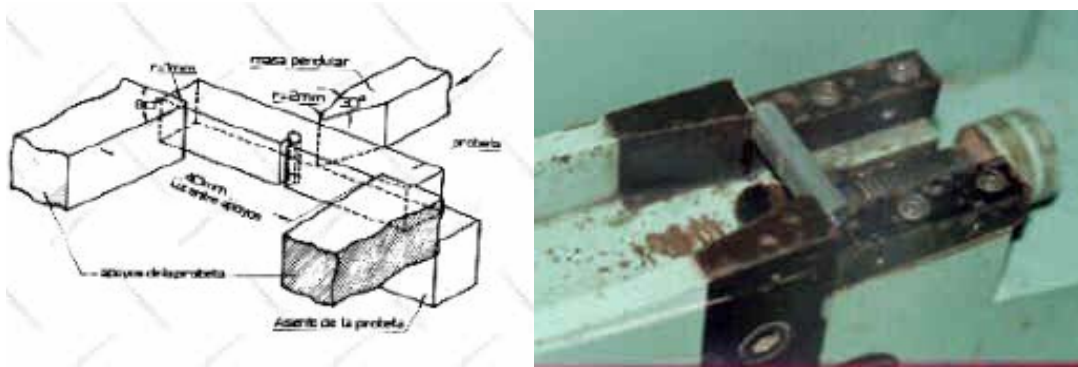
En elementos sometidos a efectos exteriores instantáneos o variaciones bruscas de las cargas, las que pueden aparecer circunstancialmente, su falla se produce generalmente, al no aceptar deformaciones plásticas o por fragilidad, aun en aquellos metales considerados como dúctiles. En estos casos es conveniente analizar el comportamiento del material en experiencias de choque o impacto.

El ensayo de tracción estático nos da valores correctos de la ductilidad de un metal, no resulta preciso para determinar su grado de tenacidad o fragilidad, en condiciones variables de trabajo.

Los ensayos de choque determinan, pues, la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas, por el trabajo necesario para introducir la fractura de la probeta de un solo

choque, el que se refiere a la unidad de área, para obtener lo que se denomina resiliencia. Este nuevo concepto, tampoco nos ofrece una propiedad definida del material, sino que constituye un índice comparativo de su plasticidad, con respecto a las obtenidas en otros ensayos realizados en idénticas condiciones, por lo que se debe tener muy en cuenta los distintos factores que inciden sobre ella.

Resumiendo diremos que el objeto del ensayo de choque es el de comprobar si una maquina o estructura fallará por fragilidad bajo las condiciones que le impone su empleo, muy especialmente cuando las piezas experimentan concentración de tensiones, por cambios bruscos de sección, maquinados incorrectos, fileteados, etcétera, o bien verificar el correcto tratamiento térmico del material ensayado.



**Figura f 14 Probeta CHARPY lista para ensayar**

**Fuente: Laboratorio de la E. E. T.**

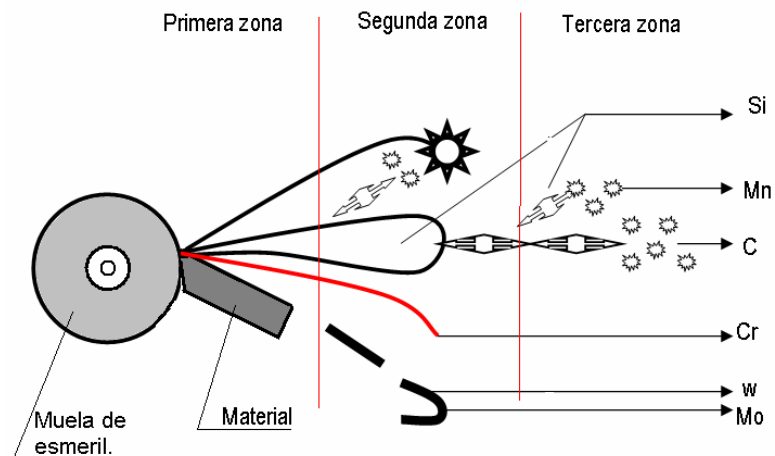
## 11. FATIGA

En el estudio de los materiales en servicio, como componentes de órganos de máquinas o estructuras, debe tenerse en cuenta que las solicitaciones predominantes a que generalmente están sometidos no resultan estáticas ni cuasi estáticas, muy por lo contrario en la mayoría de los casos se encuentran afectados a cambios de tensiones, ya sean de tracción, compresión, flexión o torsión, que se repiten sistemáticamente y que producen la rotura del material para valores de la misma considerablemente menores que las calculadas en ensayos estáticos.

Este tipo de rotura que necesariamente se produce en el tiempo, se denomina de *fatiga* aunque es común identificarla como *roturas por tensiones repetidas*, tensiones que pueden actuar individualmente o combinadas.

## 12. ANÁLISIS DEL TIPO DE ACERO SEGÚN CARACTERÍSTICAS DE LA CHISPAS

Una de las formas no convencionales para determinar el tipo de acero es sacándole chispas, para este proceso es necesario utilizar un esmeril y aplicar el metal al mismo y observar las chispas desprendidas, en este proceso podemos observar tres zonas con sus respectivas peculiaridades mostradas en la Fig F 2










**Figura f 15 zonas del análisis de las chispas**  
**Fuente: Laboratorio de la E. E. T.**

Donde las formas de las chispas están asociadas a los elementos constituyentes del acero analizado:








**Tabla F4 Formas de la chispa**

Formas de la chispa	
Elemento	Forma
C	Espinas
Mn	Ramillete (flores)
W	Haz recto intermitente
Si	Gotas
Mo	Lanzas rectas
Ni	Lanzas hacia abajo
Cr	Haz rojizo y reducido

**Tabla F5 Análisis de tipos de Aceros según características de las Chispas**

FORMA DE LAS CHISPAS	IMÁGENES DE CHISPAS	TIPO DE ACERO	AISI-STANDARD	Composición en %
Ramillete con espinas, y puntas de lanza color rojo		Acero templado y revenido	4140	0,42 C 1,1 Cr 0,2 Mo
Líneas continuas, algunas espinas, formado por estallidos de Carbono		Acero endurecido		0,21 C 1,3 Mn 1,2 Cr
Líneas continuas, más espinas se formaron por estallidos de Carbono		Acero al carbono para herramientas	1045	0,45 C 0,3 Si 0,7 Mn
Muchos estallidos de Carbono que empiezan al pie del haz, muchos ramos		Acero al carbono para herramientas	W1	1,05 C 0,2 Si 0,2 Mn
Antes de los estallidos de Carbono se incrementa la luz en el flujo primario. Muchos ramos pequeños		Acero aleado con Mn-Si	S4	0,60 C 1,0 Si 1,1 Mn 0,3 Cr
Flujo de líneas amarilla, aclarando en el centro, formando espinas en los extremos		Acero para herramientas aleado Mn	02	0,90 C 2,0 Mn 0,4 Cr 0,1 V
Pocos estallidos finos de Carbono seguidos por club liso luminoso		Acero para herramientas aleado W	S1	0,60 C 0,6 Si 1,1 Cr 0,2 V 2,0 W

**Tabla F5 (Continuación) Análisis de tipos de Aceros según características de las Chispas**

Un flujo delgado y lineal, el cuadro de la chispa vivo, líneas discontinuas en las cabezas		Acero para herramientas aleado Cr-W	O1	1,05 C 1,0 Mn 1,0 Cr 1,2 W
Haz corto Templado: con pocos Endurecido: con muchos ramos luminosos		Acero para herramientas aleado con Cr carbono alto, ledeburita alta	D2	1,55 C 12,0 Cr 0,7 Mo 1,0 V
El flujo de líneas continuas, alguno los estallidos de carbono, línea coloreada de naranja en la cabeza		Acero para trabajo en caliente, alta aleación	H13	0,40 C 1,0 Si 5,3 Cr 1,4 Mo 1,0 V
El flujo de líneas rojo oscuro con brillo en la punta de la lanza, pocas espinas		Acero de alta velocidad	M2	0,90 C 4,1 Cr 5,0 Mo 1,9 V 6,4 W
Líneas del flujo rojas, punteadas oscuras con brillos en las cabezas de la línea		Acero de alta velocidad	T42	1,23 C 4,1 Cr 3,8 Mo 3,3 V 10,0 W 10,5 Co
Haz corto con espina como los estallidos de carbono		Acero inoxidable	420	0,40 C 13,0 Cr
Flujo continuo, línea sin los estallidos de carbono		Acero inoxidable	304	<0,07 C 18,5 Cr 9,0 Ni

## PRÁCTICA N° 10

### “ADITIVOS”

#### 1. GENERALIDADES

Los aditivos son productos que, introducidos en pequeña porción en el hormigón, modifican algunas de sus propiedades originales, se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado entre un 0.1 % y 5 % del peso del cemento.

Su empleo se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual del hormigón. Sin embargo su empleo debe ser considerado cuidadosamente, siendo importante verificar cual es su influencia en otras características distintas de las que se desea modificar.

En primera aproximación, su proporción de empleo debe establecerse de acuerdo a las especificaciones del fabricante, debiendo posteriormente verificarse según los resultados obtenidos en obra o, preferentemente, mediante mezclas de prueba.

El empleo de los aditivos permite controlar algunas propiedades del hormigón, tales como las siguientes:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido

#### 2. CLASIFICACIÓN

La norma ASTM C 494 “Chemical Admixtures for Concrete”, distingue siete tipos:

- TIPO A : Reductor de Agua
- TIPO B : Retardador de Fraguado
- TIPO C : Acelerador de Fraguado
- TIPO D : Reductor de agua y Retardador.
- TIPO E : Reductor de Agua y Acelerador.
- TIPO F : Reductor de Agua de Alto Efecto.
- TIPO G : Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C260 “Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete”.

Por su parte el código de buena práctica “Aditivos, Clasificación, Requisitos y Ensayos”, elaborado por el Centro Tecnológico del Hormigón (CTH), establece la siguiente clasificación:



- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- Plastificante.
- Plastificante-Retardador.
- Plastificante-Acelerador.
- Superplastificante.
- Superplastificante retardador.
- Incorporador de aire.

Finalmente, la norma francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons” establecen una clasificación más amplia, motivo por el cual será utilizada como base para el presente texto:

**2.1. Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco:**

Plastificantes – Reductores de agua.  
Incorporadores de aire.  
Polvos minerales Plastificantes  
Estabilizadores

**2.2. Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:**

Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento.  
Retardadores de Fraguado.

**2.3. Aditivos que modifican el contenido de aire:**

Incorporadores de Aire  
Antiespumantes.  
Agentes formadores de Gas.  
Agentes formadores de Espuma.

**2.4. Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:**

Incorporadores de Aire.  
Anticongelantes.  
Impermeabilizantes.

**2.5. Aditivos misceláneos**

Aditivos de cohesión – emulsiones  
Aditivos combinados  
Colorantes  
Agentes formadores de espuma

Debido a que esta clasificación esta hecha desde el punto de vista de su influencia en determinadas propiedades del hormigón, algunos productos utilizados para confeccionar estos aditivos se repiten en más de un grupo.

## **2.1. ADITIVOS QUE MODIFICAN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL HORMIGÓN FRESCO**

La ionización de los filamentos del aditivo produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación. Los granos de cemento quedan individualizados y defloculados, facilitándose aun más el mojado, lo que produce una hidratación y reducción del esfuerzo de cizalle necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que explica su efecto como plastificante.

Por otro lado las moléculas del aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas. Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de microburbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga a la superficie, actividad que aumenta con la longitud de la cadena molecular. El efecto de incorporación de aire no siempre se ve expresado en un mayor volumen de aire al hacer el ensayo en un aerómetro, pues se supone que el aditivo convierte el aire atrapado en burbujas microscópicas retenidas en su masa, las que actúan como rodamiento entre las partículas sólidas, contribuyendo al aumento de la docilidad del hormigón.

### **2.1.1. Plastificantes reductores de agua**

Se definen como aditivos que permiten, para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua en un hormigón dado o que, para una misma cantidad de agua aumentan considerablemente esta docilidad o, incluso permiten obtener estos dos efectos simultáneamente.

- El aumento de docilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con alta densidad de armadura o con efectos superficiales especiales sin necesidad de incrementar cantidad de agua de amasado y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias especificadas.
- La disminución de la dosis de agua y en consecuencia de la razón agua-cemento, manteniendo una determinada trabajabilidad, permite aumentar la compacidad del hormigón y, por consiguiente, su resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Por la misma razón, la retracción y en consecuencia, la tendencia a la fisuración se ven disminuidas.

La acción de los aditivos plastificantes puede ser causada por el efecto combinado de acciones de tipo físico, químico y físico-químico, dependiendo la preponderancia de alguna de ellas de su composición. La acción física deriva principalmente de la incorporación de aire que producen algunos aditivos, cuyas burbujas, al actuar como especies de rodamientos entre las partículas sólidas, disminuyen la fricción interna.

La acción química proviene principalmente de una disminución de la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento, especialmente de los aluminatos. Se obtiene de este modo una acción mas completa (mejor mojado) de los granos de cemento, lo que permite también disminuir el roce interno entre las partículas.

## Efectos

El principal efecto producido por los aditivos plastificadores - reductores de agua incide sobre la trabajabilidad del hormigón en su estado fresco. Este efecto puede traducirse en una reducción de la dosis de agua, si se mantiene constante la docilidad o fluidez del hormigón, o en un aumento de su docilidad, si se mantiene constante la dosis de agua del hormigón.

### 2.1.2. Superplastificante o Fluidificante

Corresponden a una nueva generación de aditivo plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, constituyendo una evolución de los aditivos reductores de agua, en que la absorción y la capacidad de dispersión del cemento es mucho mas acentuada. Esto se traduce en un enorme aumento de la trabajabilidad del hormigón, sin modificar la cantidad de agua. El resultado es un hormigón muy fluido (autonivelante), de baja tendencia a la segregación.

Pueden utilizarse también como reductores de agua, siendo posible en este caso, dado su apreciable efecto, alcanzar disminuciones en la cantidad de agua entre 20% y 30%. Ello permite obtener un fuerte incremento en las resistencias, especialmente en las primeras edades, por lo que pueden utilizarse como aceleradores de endurecimiento o aditivos para hormigones de alta resistencia.

## Efectos

Los superplastificadores se emplean en dosis mayores que los plastificadores reductores de agua, (0.8 a 3%) y pueden ser agregados al final del amasado sin diluir previamente en el agua.

- El efecto sobre la trabajabilidad del hormigón se mantiene entre 30 y 60 minutos según el aditivo, característica que hace conveniente agregarlo inmediatamente antes del termino del amasado y obliga a una rápida colocación.
- El efecto se termina una vez transcurrido el tiempo señalado, volviendo el hormigón a su docilidad inicial. Eventualmente puede agregarse una nueva dosis, remezclando el hormigón con el fin de prolongar el efecto por otro periodo.
- Los hormigones fluidos obtenidos con estos aditivos pueden ser colocados con gran facilidad, pues son prácticamente autonivelantes y por lo tanto se reduce el trabajo de colocación y se elimina la necesidad de vibrar salvo en zonas densamente armadas.
- Cuando los aditivos fluidificantes se emplean como reductores de agua se obtiene un incremento de algunas características del hormigón endurecido, especialmente su resistencia, durabilidad e impermeabilidad.
- Por otra parte, debido a que no producen incorporación de aire, el efecto en las resistencias es superior al obtenido con los plastificantes-reductores de agua, especialmente en las primeras edades, lo que resulta muy conveniente para su empleo en hormigones pretensados, prefabricado y obras en que se requiere desarrollo rápido de resistencias.
- Otro factor importante a tener en consideración, es sobre la base de ensayos de laboratorio y aplicaciones en obra indican que la sobredosis de aditivo superplastificantes o su

aplicación en un hormigón de composición inadecuada puede producir una fuerte segregación, depositándose las partículas sólidas en una masa compacta y dura, mientras el agua de amasado sube a la superficie del hormigón.

### 2.1.3. Incorporador de aire

Están destinados a producir la incorporación de aire en forma de pequeñas burbujas, en su mayoría de un tamaño comprendido entre 0.01 y 1 mm, con una distribución uniforme de las masas del hormigón.

La proporción de burbujas recomendable depende del tamaño máximo del árido más grueso del hormigón, empleándose por regla general los siguientes valores:

**Tabla Ad. 1 % de Aire Recomendado**

Tamaño máximo	40 mm	20 mm	10 mm
% aire recomendado	4	5	7

El empleo de los incorporadores de aire esta orientado básicamente a aumentar la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de temperaturas bajo y sobre cero (cielo y deshielo), que puedan conducir al congelamiento del agua contenida en el hormigón. Sin embargo, hacen también efecto sobre otras propiedades del hormigón, entre las cuales pueden citarse las siguientes:

- Reducción de la permeabilidad del agua y líquidos en general.
- Aumento de la consistencia del hormigón, en una forma similar al obtenido por la adición de granos finos.
- Aumento de la fluidez del hormigón.
- Disminución de la exudación del agua de amasado del hormigón.
- Disminución de la resistencia.

Este último efecto debe ser especialmente considerado, pues la disminución de la resistencia provocada por la incorporación de burbujas no alcanza a ser compensada por la disminución de la cantidad de agua de amasado posible de producir por efecto de la mayor fluidez.

#### Efectos

La incorporación de aire en el hormigón produce diversos efectos sobre éste, tanto mientras se mantiene en estado plástico como cuando ya ha endurecido.

Debe señalarse que el efecto principal buscado con el uso de los incorporadores de aire es el aumento de la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo, que pueden producirse en los períodos en que las temperaturas ambiente descienden bajo 0°C, caso en el cual su empleo debe considerarse imprescindible.

Sin embargo, la incorporación de aire tiene también otros efectos secundarios de importancia, algunos de características favorables para el uso del hormigón, los cuales se analizan en los párrafos que siguen:

- Efecto frente a los ciclos alternados de hielo – deshielo  
Cuando existen bajas temperaturas ambiente que conducen a procesos de hielo y deshielo alternativos, las burbujas de aire incorporado en el hormigón actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Ello permite reducir las presiones hidráulicas y, con ello, las tensiones internas que se originan por este motivo, impidiendo así el deterioro progresivo que se producirá en un hormigón que no contenga aire incorporado.
- Efecto sobre la trabajabilidad del hormigón

Las burbujas de aire formadas en el hormigón fresco actúan al mismo tiempo como un fluido, aumentando su docilidad, y como un inerte, ya que, por su tamaño, equivalen a partículas de tamaño inferior a 2 mm, con la ventaja de tener un mejor coeficiente de forma, de ser elásticas y deformables, lo que les permite deslizarse sin rozamiento.

Se varían por lo tanto, las propiedades reológicas del hormigón, aumentando la cohesión con lo cual se reduce la tendencia a la segregación y la exudación, lo que facilita su puesta en obra.

Por otra parte, al disminuirse la exudación se evita la acumulación de agua bajo las barras de acero y los áridos gruesos, mejorando su adherencia, así como también disminuye la formación de lechada en las superficies.

Se debe considerar que la incorporación de aire produce disminuciones en las resistencias mecánicas del orden de 3 a 5% por cada 1% de aire incorporado. Esta pérdida de resistencia se compensa en parte al bajar la razón agua-cemento por el efecto plastificador antes mencionado.

- Efecto sobre la impermeabilidad  
En el hormigón endurecido, las microburbujas producidas por el aditivo Incorporador de aire se interponen en la red de canaliculos interna que existe en todo hormigón, lo cual permite limitar la ascensión de agua por capilaridad. El hormigón resultante es, en consecuencia, más impermeable e, indirectamente, por ello más resistente a la acción de agentes agresivos.

#### **2.1.4. Expansores – Estabilizadores**

Estos aditivos forman burbujas de gas por reacción de algunos de sus compuestos entre sí o con los productos de la hidratación del cemento. Esta reacción se produce en el interior del hormigón mientras este se mantiene fresco, de manera que, al quedar atrapadas las burbujas producidas, se genera una expansión del hormigón, motivo por el cual el empleo de este tipo de aditivos se puede orientar a producir dos efectos:

- Si el hormigón esta libre para expandirse, el aumento de volumen generado permite compensar la disminución de volumen que normalmente experimenta el hormigón por efecto de la retracción hidráulica.

- Si el hormigón está confinado, el aumento de volumen puede generar un efecto de compresión, el cual puede compensar las tensiones de tracción que experimenta el hormigón por efecto de la retracción hidráulica.

## **Efectos**

Como se ha indicado anteriormente, los aditivos expansores producen un aumento de volumen en el hormigón mientras este se mantiene aun en estado fresco. Posteriormente se produce una retracción hidráulica y como efecto secundario debe mencionarse que la formación de burbujas se traduce en la disminución de la resistencia.

## **2.2. ADITIVOS QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO**

Entre estos productos se cuentan los aceleradores y retardadores de fraguado. Estos son productos solubles en agua, que actúan químicamente modificando las velocidades de disolución de los diversos constituyentes del cemento. Su acción es compleja y con frecuencia difícil de explicar puesto que de por sí son también las reacciones de hidratación de los distintos tipos de cemento.

A partir del momento en que el cemento se mezcla con agua, ésta se satura, principalmente de cal y de sulfatos procedentes del yeso y de los álcalis. El aluminato tricalcico se hidrata rápidamente produciendo un aluminato cálcico hidratado y un sulfoaluminato, posteriormente se hidratan los silicatos tricalcico y bicálcico, dando lugar a diversos compuestos hidratados. Estos fenómenos que son de gran complejidad en el cemento, lo son aun más cuando el cemento contiene alguna adición o cuando se ha agregado algún aditivo químico.

### **2.2.1. Aceleradores de fraguado y endurecimiento**

Son productos que adelantan el inicio de fraguado y aceleran el endurecimiento, permitiendo la obtención de resistencias más altas a edades tempranas. Las investigaciones han demostrado que los aceleradores inorgánicos actúan principalmente acelerando la hidratación del silicato tricalcico, y, en algunos casos, también la del aluminato tricalcico, como ocurre con algunos aceleradores capaces de producir un fraguado casi instantáneo. Los aceleradores producen un aumento de la resistencia inicial del hormigón, principalmente en los primeros días, acortando, además, los tiempos inicial y final de fraguado.

Por estas características, los aceleradores son utilizados con los siguientes fines:

- Cuando se desea reducir el periodo de espera para la puesta en servicio de un elemento estructural.
- Para atenuar el efecto retardador producido sobre las resistencias iniciales del hormigón en los periodos de baja temperatura.

## **Efecto**

El efecto producido por un acelerador depende de la dosis de cemento, por lo que no es posible dar valores medios sobre su efecto, el cual debe ser estudiado en cada caso en particular.

- Efecto sobre el tiempo de fraguado

**Tabla Ad 2 Tiempo de Fraguado**

% Ca Cl <sub>2</sub>	Tiempo de fraguado	
	Principio (h)	Fin (h)
0	4.45	11.0
1	3.0	8.0
2	1.5	5.0

**Fuente: Sika Bolivia**

- Efecto sobre las resistencias

**Tabla Ad3 Resistencia a la compresión**

% CaCl <sub>2</sub>	Resistencias a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) A las edades y temperaturas que se indican			
	1 día		7 días	
	5°C	20°C	5°C	20°C
0	7	80	375	495
1	40	130	420	530
2	70	160	425	540

**Fuente: Sika Bolivia**

Como puede verse, las resistencias mecánicas a la compresión se ven fuertemente aumentadas en las primeras edades (1 día), efecto que tiende a disminuir a edades superiores (7 días), por lo que puede preverse que tenderán a igualarse a edades superiores, pudiendo incluso esperarse resistencias mas bajas a edades sobre 28 días.

- Efecto sobre la retracción

La retracción hidráulica posterior al fraguado de la pasta de cemento se ve aumentada por la adición de cloruros, con lo que también aumenta el riesgo de fisuración.

- Corrosión de las armaduras

La experiencia ha demostrado que la adición de cloruros puede favorecer la corrosión de las armaduras del hormigón armado manteniendo un ambiente húmedo.

Debido a ello las normas establecen valores límites de contenido totales de cloruros en este tipo de hormigones.

### 2.2.2. Retardadores

Su función principal es retardar el principio de fraguado de la pasta de cemento, manteniendo constante, en lo que sea posible, el tiempo de fraguado y las resistencias en las distintas edades.

El mecanismo de acción de los retardadores no es totalmente conocido. Sin embargo se supone que el aditivo es absorbido por los granos de cemento, produciéndose una capa relativamente impermeable, la cual posterga el proceso de hidratación normal, en particular del aluminato tricalcico.

Esta capa es finalmente penetrada por el agua, iniciándose el fraguado de acuerdo a su mecanismo habitual.

### Efecto

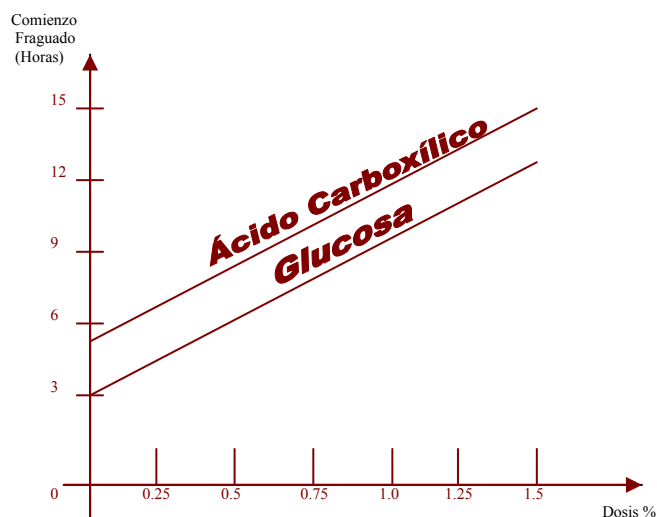
- Efecto sobre el tiempo de fraguado  
El efecto varía según el producto y la dosis empleada como se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla Ad 4 Efecto del aditivo**

<b>2.3. PRODUCTO</b>	<b>Dosis</b>	<b>Principio de fraguado (h)</b>	<b>Fin de fraguado (h)</b>
Sin aditivo	0	3,10	7,00
Sacarosa	0,5 %	5,30	13,00
	1,0 %	10,00	16,00
Glucosa	1,0 %	9,00	15,00
	2,0 %	14,00	22,30
Ácido fosfórico	0,5 %	4,5	12,00
	1,0 %	6,0	14,00
	2,0 %	8,0	20,00

**Fuente: Sika Bolivia**

Por otra parte en la figura Ad 1 se observa la influencia de la dosis de dos productos retardadores sobre el comienzo de fraguado, el que como puede verse se modifica en forma aproximadamente lineal con la dosis de aditivo utilizada.



**Fig. Ad 1 Efecto de la dosis de retardador sobre el tiempo de fraguado**



Los antecedentes presentados permiten observar que el efecto de cada tipo de aditivo retardador es significativamente diferente, lo cual confirma la recomendación de estudiar cada aditivo en las condiciones que se va a utilizar.

- **Efecto sobre el calor de hidratación**  
En general, las experiencias demuestran que el calor desprendido en las primeras 24 horas es tanto mas bajo cuanto mayor haya sido el retardo producido. Sin embargo, el calor total desarrollado es igual después de algunos días y a los 7 días puede ser incluso superior el del mortero con el retardador que sin él.
- **Efecto sobre las resistencias mecánicas**  
En general, las experiencias indican que las resistencias mecánicas son inferiores hasta los 3 días, pero después de esta edad tienden a igualarse para superarse a los 28 y 90 días, efecto que es tanto más notorio cuanto mayor sea el retardo.
- **Efecto sobre la retracción**  
Tal como se manifiesta con las otras características del hormigón, algunas experiencias efectuadas indican que aparentemente el empleo de un aditivo retardador disminuye la retracción inicial, pero el valor final de esta puede aumentar por sobre el del hormigón sin aditivo. Sin embargo debe señalarse que este punto no ha sido lo suficientemente investigado para establecer su plena validez.
- **Efecto sobre la trabajabilidad**  
En general los retardadores tienen un efecto plastificante sobre el hormigón fresco, mejorando la docilidad o permitiendo una reducción del agua de amasado.

## **2.3. ADITIVOS QUE MODIFICAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

### **2.3.1. Hidrófugos de masa**

Los hidrófugos están destinados a reducir la penetración o paso de agua a través del mortero u hormigón. Se denomina hidrófugo de masa aquel que se incorpora en el mortero u hormigón en el momento del amasado. Se excluyen, por lo tanto, los productos aplicados superficialmente, los que se denominan impermeabilizantes superficiales.

El agua puede incorporarse en la masa de una estructura por dos procesos diferentes: presión hidrostática o capilaridad. En el primero, el agua tiende a atravesar la masa del hormigón, escurriendo a través de las discontinuidades que este posee en su interior en forma de fisuras y poros intercomunicados. En la capilaridad el desplazamiento del agua se produce debido a la existencia de microfisuras de tamaño capilar, que permiten la ascensión del agua por efecto de su tensión superficial. Por este motivo, la altura alcanzada por el agua que asciende a través de los capilares es mayor cuanto más finos son.

Por las características señaladas, para aumentar la impermeabilidad del hormigón es necesario obturar las fisuras, microfisuras y poros que posee normalmente y que derivan de la generación

de tensiones internas de tracción durante el proceso de hidratación y endurecimiento y de la evaporación de parte del agua de amasado, incorporada para lograr una adecuada trabajabilidad mientras esta aun en estado fresco.

Esta obturación se logra con la incorporación de granos muy finos, aportados por el cemento y la arena que intervienen en su composición. Sin embargo, dado que estos granos finos solo pueden ser incorporados en cantidad limitada porque se afectan otras propiedades del hormigón o por razones de costo, un buen procedimiento para lograr esta impermeabilidad lo constituyen los hidrófugos de masa.

En general, los hidrófugos se recomiendan para hormigones con dosis moderadas de cemento, puesto que en ellos pueden desarrollar su efecto obturador de los poros, microfisuras y fisuras capilares que poseen.

En hormigones con dosis alta de cemento el efecto de obturación lo produce este ultimo componente, por lo que para obtener un mayor efecto es conveniente el uso de aditivos plastificantes – reductores de agua y/o incorporadores de aire, los que contribuyen a aumentar la compacidad del hormigón y, en consecuencia, su impermeabilidad.

Debe tenerse presente que no es posible lograr impermeabilidad sobre la base de hidrófugos en hormigones defectuosos con un gran volumen de huecos, poros o nidos de piedra.

Los hidrófugos se comercializan en forma de polvo o líquido mas o menos pastoso y se utilizan en dosis del que varían de un 0.5% al 5% del peso del cemento.

Finalmente, debe considerarse también que indirectamente los plastificantes - reductores de agua también tienen características impermeabilizantes, pues, al disminuir la dosis de agua manteniendo la docilidad del hormigón, producen un aumento en la compacidad.

Por su parte, los incorporadores de aire también contribuyen a la impermeabilidad frente a la capilaridad al interponer burbujas de aire, que disminuyen el efecto de la tensión superficial del agua, en las vías de filtración que constituyen las fisuras y microfisuras.

### **Efectos**

El efecto principal de los hidrófugos se relaciona con la disminución de la permeabilidad de los hormigones y morteros.

Las experiencias obtenidas con el uso de hidrófugos indican que estos, además de reducir la permeabilidad del hormigón, pueden tener efectos sobre las propiedades.

- Pueden producir un retardo del fraguado de la pasta de cemento, especialmente si contiene lignosulfatos con azúcares.
- Aumentan la docilidad del hormigón
- Disminuye la exudación
- Pueden disminuir las resistencias mecánicas, especialmente si el hidrófugo incorpora aire.
- Pueden producir un aumento de la retracción hidráulica.

Por este motivo, antes de emplear un hidrófugo de masa es conveniente solicitar informaciones sobre los efectos secundarios que pueden derivar de su empleo.

Los hidrófugos actúan físicamente, obturando los poros, microfisuras y fisuras existentes en el hormigón por intermedio de dos procesos de distinta índole.

- Por presencia de partículas extra – finas con elevada superficie específica y que contribuyen a aumentar la compacidad de la mezcla.
- Por llenado de las discontinuidades internas con una capa superficial impermeable o formando geles que obstruyen los intersticios al aumentar de volumen por acción del agua.

### **2.3.2. Anticongelantes**

Los anticongelantes son productos solubles, análogos a los acelerantes, que activan la hidratación del cemento. Ello permite obtener desprendimiento más rápido del calor de hidratación del cemento, aumentando así en algunos grados la temperatura del hormigón durante el amasado.

Por otra parte, rebajan la temperatura de congelación del agua del hormigón. Estos efectos combinados permiten que el hormigón se endurezca antes que se produzca su congelamiento por efectos de las bajas temperaturas durante el hormigonado en tiempo frío. El empleo de este tipo de aditivos, unido al uso de las medidas de protección recomendadas en la tecnología para el hormigonado a bajas temperaturas, permite el trabajo hasta con temperaturas de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Dado que el efecto de este tipo de aditivos depende de la concentración que se use en proporción al agua de amasado del hormigón y de la clase de cemento empleado, es conveniente verificar en la práctica su aplicabilidad o, al menos, obtener información sobre otras experiencias de uso en condiciones similares al de la obra en construcción.

## **2.4. ADITIVOS MISCELÁNEAS**

### **2.4.1. Aditivos de cohesión – emulsiones**

Las emulsiones están formadas por una fase continua (agua) y una fase discontinua (partículas extrafinas, generalmente resinas), que no se mezclan íntimamente entre sí, pero que permanecen en régimen estable durante todo el lapso de su empleo. Si su composición es la adecuada, su principal aporte lo constituye el aumento de la cohesión entre partículas de cemento, lo cual se traduce en una mayor resistencia a la tracción.

La combinación de ambos componentes – cemento y resina realza las propiedades que poseen por sí mismos los aglomerantes hidráulicos, pero para que su utilización en combinación con el cemento sea efectiva, las partículas de resina deben ser lo mas pequeñas posibles ( $\leq 0.1\mu$ ). Dichas partículas se dispersan dentro de la masa de la pasta de cemento, ubicándose en los microporos que dejan entre si los granos de cemento. Se produce así la reacción normal de endurecimiento por contacto entre cemento y agua, quedando todos los poros rellenos con resina, formando un tejido que atrapa la masa del cemento.

Esta aleación tiene mejores características que el cemento solo en lo que se relaciona con la adhesividad, resistencia a la abrasión, al proceso de hielo-deshielo, resistencia a la flexotracción y a compresión.

### **Efectos**

Los aditivos de cohesión actúan tanto en las propiedades de los morteros frescos como endurecidos, siendo sus principales efectos los siguientes:

- ❖ Efecto sobre mortero fresco
  - Aumenta la necesidad de agua en la mezcla
  - Disminuye la exudación
  - Aumenta la incorporación de aire
  - Retarda el fraguado
- ❖ Efecto sobre el mortero endurecido
  - El módulo de elasticidad disminuye, aumentando el alargamiento de rotura.
  - La fisurabilidad disminuye como consecuencia de la disminución del modulo de elasticidad y aumento de la resistencia a tracción.
  - Aumenta significativamente la adherencia de un hormigón fresco al colocarlo sobre una base de mortero a un hormigón endurecido.
  - Aumenta apreciablemente la resistencia al desgaste y a la abrasión.
- ❖ Los efectos de los aditivos de cohesión dependen básicamente de:
  - La composición del polímero
  - La dimensión de las moléculas
  - La presencia de otros aditivos
  - La proporción polímero / cemento, la edad del mortero y la temperatura ambiente.

Las aplicaciones de los aditivos de cohesión derivan de su efecto sobre la adherencia de los morteros colocados en capas delgadas, tales como:

- Afinados de superficies
- Capas de nivelación
- Capas de desgaste
- Estucos de fachadas
- Morteros de albañilerías
- Morteros de reparación

### **2.4.2. Aditivos combinados**

Estos productos combinan los efectos de dos o más de los aditivos antes descritos, destacándose entre ellos: Plastificantes – retardadores, plastificantes – aceleradores, plastificantes – incorporadores de aire, etc.

Para ellos son validos los mismos conceptos que se han dado sobre cada uno independientemente. Presentan la ventaja de actuar simultáneamente sobre distintas propiedades del hormigón, sin tener que recurrir al empleo de dos aditivos en forma conjunta, lo que puede inducir a errores de aplicación, especialmente cuando su dosis es muy diferente.

Sin embargo, como consecuencia de los efectos secundarios que se derivan de los aditivos componentes, deben ser formulados para que su efecto sea más bien moderado. Ello puede constituir una limitación para algunos casos particulares en que sea necesario un efecto mayor de uno de los aditivos componentes, no siendo posible actuar independientemente sobre él.

Por ejemplo, un plastificante retardador tiene un efecto limitado sobre el retardo y en los casos en que se necesita un retardo mayor que el que puede producir un aditivo combinado, será necesario emplear un plastificante y un retardador separadamente.

### **2.4.3. Colorantes**

El color de los morteros y hormigones, depende del color de los áridos y del cemento, siendo este último el que le confiere el color gris que le es característico, siendo la tonalidad mas o menos oscura según sea su composición, principalmente en lo que concierne al contenido de adiciones, presencia de óxidos metálicos, especialmente óxidos de hierro, etc.

En comparación con los cementos Pórtland, el contenido de escoria de alto horno (cementos siderúrgicos) le confiere una tonalidad tanto mas clara cuanto mayor es el contenido de escoria. Por el contrario, los hormigones fabricados con cementos puzolanicos resultan con una tonalidad algo más oscura. Una coloración más clara puede obtenerse empleando cementos blancos, los que se obtienen mediante una fabricación especial en la que se cuida particularmente la composición y el contenido de óxidos. En las obras de hormigón a la vista, en la prefabricación o en algunos tipos de recubrimientos en base a cemento, la coloración es un aspecto significativo lo que lleva a elegir el cemento y los áridos según la tonalidad deseada.

Estos casos resulta adecuado preocuparse también de la confección de las mezclas y cuidar los procedimientos de vaciado, colocación y compactación del hormigón para obtener un tono uniforme, sin manchas y defectos locales como segregaciones, porosidades, nidos de piedra, chorreaduras de lechada, etc.

En algunos casos especiales, las preocupaciones anteriores deben complementarse, si por razones arquitectónicas o de otra índole se requiere incorporar un color diferente del normal a la masa de morteros y hormigones, caso en el cual es necesario recurrir al empleo de aditivos colorantes.

Los colorantes o pigmentos son polvos finos constituidos generalmente por óxidos metálicos. Su granulometría suele estar comprendida entre 0.01 y 10  $\mu$  lo que se traduce en una superficie específica Blaine entre 5.000 y 20.000 cm<sup>2</sup>/g.

Algunos requisitos que deben cumplir los pigmentos para ser utilizados en mezclas de cemento, son las siguientes:

- Poder colorante y regularidad de tono. En general se requiere que el producto confiera el color deseado aplicado en dosis de 1 a 3% del peso del cemento y no mayor que 5%, ya que en este caso podría afectar las resistencias mecánicas al producir un mayor requerimiento de agua.
- Mojabilidad y fácil dispersión. Los colorantes que se mojan con dificultad o tienden a flotar hacen difícil su incorporación uniforme a las mezclas.
- Estabilidad a los agentes atmosféricos y a la luz, como también frente a la cal y los álcalis del cemento.
- Limitado contenido de sales para evitar eflorescencias
- Neutralidad química con el cemento.
- Su incorporación no debe afectar al fraguado y endurecimiento ni provocar hinchamientos en el hormigón.

#### **2.4.3.1. Recomendaciones para el empleo de pigmentos**

El pigmento colorante debe agregarse como un material adicional durante la fabricación del mortero u hormigón que se desea colorear. Para lograr una buena homogeneidad es recomendable dispersar primero el pigmento en el cemento, mezclándolo luego con los áridos para finalmente incorporar el agua.

Para la elección de un pigmento, debe considerarse que algunos pigmentos se decoloran por efecto de la luz, de la temperatura, o por reacción con algún compuesto del cemento.

Por las razones expuestas, previamente a su empleo en obras de hormigón visto, es conveniente reunir antecedentes respecto de su empleo en otras aplicaciones anteriores, verificar su aplicabilidad en las mismas condiciones de obra y, si es necesario, confeccionar muros de prueba con el fin de someterlos a la aprobación de los responsables de las especificaciones técnicas de arquitectura.

**Tabla Ad 5 Lista de pigmentos recomendados**

<b>Colores</b>		<b>Naturaleza de los pigmentos utilizados</b>		<b>3. OBSERVACIONES</b>
<b>Nombres</b>	<b>Media (nanometros)</b>	<b>Nombres</b>	<b>Formulas</b>	
Rojo	680	Oxido ferrico Ocre rojo	$\alpha \text{Fe}_2\text{O}_3$ (tierra coloreada)	
Pardo (Tostado)	630	Oxido ferrico Tierra de siena Tierra de sombra tostada	$\alpha \text{Fe}_2\text{O}_3 + \alpha \text{FeOOH}$ (tierra coloreada)	Tierra que conviene evitar
Amarillo	570	Hidroxido de hierro Cromato barico Ocre amarillo	$\alpha \text{FeOOH}$ $\text{BaCrO}_4$ (tierra coloreada)	Desconfiar del amarillo de cinc
Verde	530	Oxido de cromo hidratado Oxido de cromo Tierra de verona	$\text{CrOOH}$ $\alpha \text{Cr}_2\text{O}_3$ (tierra coloreada)	No utilizar verde de cobalto ni verde de cromo.
Azul	470	Oxido de cobalto Azul cobalto	$\text{Co}_2\text{O}_3$ $\text{CoOAl}_2\text{O}_3$	Evitar el azul ultramar
Violeta	420	Violeta de manganeso Violeta ultramar		
Blanco		Dióxido de titanio	$\text{TiO}_2$ Cal, cemento blanco Caliza molida	No usar ni el blanco de cinc, ni el albayalde.
Negro		Oxido de hierro	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ FeO Oxido magnetico Oxido de manganeso	Algunos pueden virar a pardo.

#### 2.4.4. Agentes formadores de espuma

Se utilizan para confeccionar hormigones celulares, incluyendo burbujas de diámetro entre 0.5 y 4 mm que reemplazan a los áridos con el fin de obtener una mezcla de baja densidad. Con este procedimiento la densidad puede variar de 0.4 a 1.0 kg/dm<sup>3</sup> según sea la cantidad de espuma incorporada. Los agentes espumantes deben producir burbujas estables y resistentes a la presión que por sobre ellos ejercen los componentes del hormigón durante el periodo en que este permanece en estado fresco.

Los espumantes, al ser agitados en agua, producen espuma, la cual al ser dispersada durante el amasado en la más del hormigón, incorpora las burbujas, de aire para disminuir la densidad. Para lograr este objetivo, los morteros u hormigones celulares se confeccionan agregando primero la espuma, preparada agitando el aditivo espumante en agua, a una lechada de cemento o a un mortero fino, a los cuales posteriormente se les agrega el resto de los componentes del hormigón.

**Efectos**

La incorporación de las burbujas de aire tiene como consecuencia que las resistencias mecánicas disminuyan considerablemente, en función de la dosis de aditivo y, consecuentemente, de la densidad aparente resultante.

**3. RESUMEN**

Del subtítulo 2 se hace el siguiente resumen:

Del subtítulo 2 se hace el siguiente resumen:

**Aireantes y Plastificantes – aireantes:**

Forma de actuación, influencia en el conjunto

Mejora aspecto, Resistente, Trabajabilidad, Impermeabilidad

Resistencia a las heladas

Resistencia a agentes agresivos

**Fluidificantes:**

Físico – mecánico

Físico – químico

Resistencias, Trabajabilidad, Reducción de agua de amasado

Otras propiedades: Retraso del fraguado y endurecimiento.

**Impermeabilizantes**

Forma de actuación, influencia

Resistencia, Trabajabilidad, Impermeabilidad

**Colorantes:**

Orgánicos

Inorgánicos

**De volumen constante:**

Forma de actuación, Aplicaciones

**Curado**

Forma de actuación, Aplicaciones

**Modificadores de fraguado**

Forma de actuación

Retardadores, Aceleradores



## DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES “ADITIVOS”

### 1. DEFINICIONES

- **Aditivos:**
  - ✓ La cantidad máxima que se puede utilizar es de un 5% calculado sobre el peso del cemento. Si se utiliza en obra hay que hacer siempre ensayos previos.
  - ✓ Lo normal es que los aditivos se añadan en la fabricación y que sea el fabricante el que garantice el hormigón.
  - ✓ También se comprobará que los aditivos estén homologados, para lo cual deberá llevar su correspondiente etiqueta en la que aparezca su función principal, la secundaria si la tiene y los efectos secundarios que pueda tener.
- **Adiciones:**
  - ✓ Se podrán utilizar como adiciones en el hormigón las cenizas volantes y el humo de sílice, aunque se recomienda que vayan incluidos en el cemento.

### 2. DETERMINACIÓN DE LA FINURA DE UNA ADICIÓN

- Solo para cenizas volantes, no para el humo de sílice.
- El ensayo se basa en el arrastre mediante chorro de agua y dispersión de las partículas de las cenizas volantes de tamaño inferior a la luz del tamiz.
- **PROCEDIMIENTO:**
  - ✓ Se coge una cantidad de cenizas volantes y se desecan hasta peso constante ( $P_i$ )
  - ✓ Se introducen en un recipiente donde se les somete a chorro de agua, recogiendo todo en un tubo.
  - ✓ Posteriormente se vierte el contenido del tubo sobre el tamiz normalizado, agitándolo para facilitar el arrastre, repitiendo esta operación hasta que el agua quede clara.
  - ✓ Se filtra lo retenido en el tamiz y se deseca en estufa hasta peso constante ( $P_f$ )
  - ✓ Siendo:  $\% Finos = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \leq 40\%$  (sobre el tamiz de  $45\mu$  según EHE)

Tabla Ad 8 Aditivos para concreto y mortero de uso general en construcción

Tipo de aditivo	Efecto sobre el concreto o el mortero	Ingrediente que se usan por lo general	Método de adición	Ventajas	Desventajas	Uso principal en concreto y mortero
Aceleradores	Acelera la hidratación del cemento	Cloruro de calcio	Máx. 2 lb Por saco de cemento de 94 lb (0.7464 kg/35.081 kg)	Acorta el tiempo de fraguado; desarrolla resistencia prematuramente; baja el punto de congelación del agua a 3 °F (-16.11 °C); aumenta la producción de calor debido a la hidratación	Aumenta la dilatación y la contracción; reduce la resistencia al ataque de sulfatos; aumenta la eflorescencia y la corrosión de los aceros sujetos a alta tensión	En tiempo de frío para acelerar el fraguado y la resistencia; para reducir el tiempo de protección; se usa para concreto y para mortero
Agentes atrapadores de aire	Introduce diminutas burbujas de aire en todo el concreto	Resina, sebo de buey, estearatos, resina vinsol, sulfato de sodio de laurillo, agentes espumantes	Generalmente ¼ - 1 ½ onzas/100 lb de cemento (0.0078-0.0467 kg/37.32 kg de cemento)	Aumenta la plasticidad y la cohesividad; reduce el escurrimiento; aumenta considerablemente la resistencia a la congelación y a la descongelación	Requiere de control cuidadoso; puede requerir pruebas de revenimiento más frecuentes; ocasiona cierta pérdida de resistencia	Para todo concreto expuesto a congelación, descongelación y aplicación de sal; principalmente para el concreto
Pigmentos de color	Ya sea integrado o como recubrimiento de color	Para rojo, amarillo, café y negro, óxidos de fierro; para verde, óxido de cromo 98% puro y azul de cobalto 98% puro	No más del 10% por peso del cemento, generalmente 3 a 6 lb por saco de cemento (1.1196-2.2392 kg por saco)	Colores permanentes para los pisos de concreto; para exteriores, úsense solamente colores que no se decoloren	Se reduce la resistencia al aumentar la cantidad de los colores; aumenta el requerimiento de agua, lo que provoca una mayor contracción al secarse	Pisos de color andadores y terrazas; tanto para mortero como para concreto
Látex (tipo de ligamento no reemulsificable)	Mejora la adhesión y aumenta las resistencias a la tensión y a la flexión	Látex del tipo de polímero orgánico y agentes expulsos de aire (no deben usarse cementos atrapadores de aire)	Por lo general, 4 galones por saco de cemento de 94 lb (15.14 litros por cada 35.081 kg de cemento)	Aumenta la retención de agua, la adhesión a los substratos, la resistencia a la tensión y la resistencia a la congelación y descongelación	Más difícil de acabar; deben evitarse los acabados a llana de acero	Recubrimiento de reflejo, coronamiento, nivelación de hiladas y parcheo
Polvos inertes, finamente divididos	Corrige la graduación de agregados deficientes en	Vidrio pulverizado, arena (sílicea), harina de pizarra, polvo de piedra, cal	De acuerdo con las instrucciones del fabricante	Corrige la deficiencia de finos en agregados gruesos; mejora la fluidez	Aumenta las necesidades de agua y la contracción en el secado; disminuye	Para mejorar la fluidez; principalmente se usa en concreto

	finos				la resistencia en las mezclas ricas	
Agentes plastificadores (llamados correctamente agentes reductores de agua)	Bajan la relación agua – cemento; lubrican las partículas sólidas que hay en la mezcla (agregados)	Polímeros polihidroxilados, lignosulfonatos o ácidos carboxílicos hidroxilados con cloruro de calcio o algún otro acelerador en alguna formulación	De acuerdo con las instrucciones del fabricante	Reducen el contenido de agua; aumentan la trabajabilidad y plasticidad	Puede volver lenta la hidratación y disminuir la resistencia prematura	Para hacer la mezcla más trabajable y plástica; principalmente se usa en morteros
Polvos puzolánicos, finamente divididos	Reaccionan con la cal libre durante la hidratación del cemento para formar materiales cementicios	Cenizas volcánicas, cenizas voladoras, (residuos de combustión de carbón mineral), pizarra y arcilla calcinados; materiales silicios, cementos naturales, algunas escorias	De acuerdo con las instrucciones del fabricante	Controlan la reacción de los álcalis con los agregados; mejoran la plasticidad; reducen la generación de calor y la dilatación y la contracción; aumentan la resistencia después de 28 días; aumentan la resistencia al ataque de los sulfatos; pueden aumentar la impermeabilidad	Pueden ocasionar contracción excesiva en el secado; reducción de la durabilidad; reducen la resistencia prematura	Para controlar la reacción entre álcalis y agregados; para aumentar la resistencia al ataque de los sulfatos; se usan principalmente en concreto
Retardadores	Hacen más lenta la hidratación del cemento	Óxido de zinc, lingo-sulfonato de calcio, derivados del ácido adípico	De acuerdo con las instrucciones del fabricante	Hacen lento el fraguado; reducen el calor debido a la hidratación; reducen la dilatación y la contracción	Ocasionan cierta pérdida prematura de resistencia; requieren d control cuidadoso; pueden requerir pruebas de revenimiento más frecuentes	Para clima muy caliente, y concreto denso; se usan principalmente en concreto
Compuestos impermeabilizantes (reductores de permeabilidad)	Reducen la atracción capilar de los huecos del concreto o el mortero	Ácido esteárico o sus compuesto, principalmente estearato de calcio; emulsiones asfálticas	0.1 – 4% del peso del cemento	Disminuyen la absorción de agua del concreto o el mortero si no existe presión hidrostática	Reducen la resistencia; no vuelven totalmente impermeable el concreto	Para losas y muros de cimentación de sótanos, así otro tipo de obras de concreto en contacto con la tierra; tanto para mortero como para concreto

*Tabla Ad 9 Aditivos que se usan para tratamientos superficiales del concreto*

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Ingredientes que se usan por lo general</b>	<b>Método de aplicación</b>	<b>Uso principal</b>
Abrasiva	Agregado abrasivo	Se mezcla y se aplica como tratamiento superficial a pisos de concreto acabados de vaciar	Superficies de pisos que deben ser antiderrapantes
Con colores	Óxidos metálicos	Se mezclan en forma integral con el mortero o el concreto, o se aplican a las superficies de pisos de concreto acabados de vaciar.	Para dar color al concreto o al mortero
Endurecida	EN general fluorosilicatos de zinc o de magnesio	Se mezclan en forma integral con el mortero o el concreto, o se aplican a las superficies después de haber curado el piso de concreto	Para endurecer la superficie
No produce chispa	Agregado metálico, generalmente partícula de hierro	Se mezcla, a tierra eléctricamente y se aplica como tratamiento superficial a pisos de concreto acabados de vaciar	Superficies de pisos en las que es un riesgo la electricidad estática; áreas en las que se usan o almacenan materiales altamente explosivos o inflamables
Resistente al desgaste fuerte	Agregado metálico, generalmente partícula de hierro	Se mezcla y aplica como tratamiento superficial a pisos de concreto acabados de vaciar	Superficies de pisos en las que se necesita dureza, durabilidad y resistencia al desgaste.

*Tabla Ad 10 Aditivos especiales para mortero y concreto*

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Ingredientes que se usa generalmente</b>	<b>Método de aplicación</b>	<b>Uso principal</b>
Impermeabilizado metálico	Partículas de hierro pulverizado con material oxidante	Se aplica a grietas, agujeros y sobre la superficie del concreto	Para impermeabilizar concreto después que hubo penetración de agua
Pasta de asiento (grouting) y parcheo	Partículas de hierro finamente divididas o aditivos no metálicos y no corrosivos para dar resistencia, para compensación de la contracción y como elementos endurecedores	Se aplica a superficies preparadas correctamente para obtener un material de alta resistencia y baja contracción que proporcione una instalación de larga duración	Para asentar columnas, miembros de acero, etc., sobre muros de concreto o de mampostería; también para la instalación de maquinaria pesada
Reductor de eflorescencia	Carbonato de bario	Por lo general se mezcla con cemento al manufacturarlo o con las mezclas de mortero	Para reducir la eflorescencia en el enladrillado
Reductor de nata	Materiales silicios naturales	Se mezcla generalmente con el concreto o con otros aditivos	Para reducir la formación de nata

## PRÁCTICA DE CAMPO N° 11

### “MATERIAL BITUMINOSO”

#### 1. INTRODUCCIÓN

El asfalto es un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos.

El asfalto es un constituyente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, y a veces pueden ser casi enteramente asfaltos. Existen algunos petróleos crudos, sin embargo, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto, los petróleos se clasifican por lo común en:

- Petróleos crudos en base asfáltica.
- Petróleos crudos en base parafínica (contiene parafina pero no asfalto).
- Petróleos crudos en base mixta (contiene parafina y asfalto).

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados mas cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera es como el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Debido a que el asfalto es la base o el constituyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. En consecuencia, el asfalto es obtenido como residuo o producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos arquitectónicos o ingenieriles.

El asfalto es además un material bituminoso porque contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono ( $CS_2$ ). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún. Consecuentemente, tanto el petróleo asfáltico como el alquitrán son referidos en forma conjunta, como materiales bituminosos. Sin embargo, el asfalto de petróleo no debe ser confundido con el alquitrán, ya que sus propiedades difieren en forma considerable. El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como elementos completamente separados.

El asfalto de petróleo para uso en pavimentos es comúnmente llamado asfalto de pavimentación o cemento asfáltico para distinguirlo del asfalto hecho para otros usos, como ser con propósitos industriales o para techados.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como ser oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no lo afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

Los pavimentos asfálticos son a veces, no con toda propiedad, llamados pavimentos flexibles, quizás como consecuencia de que el asfalto sea un material viscoso y termo plástico.

El asfalto de petróleo es el principal asfalto de pavimentación usado actualmente aunque aún se emplee en EE.UU. y otros países asfalto nativo o natural. El alcance del asfalto nativo o natural usado es, sin embargo, relativamente pequeño. En efecto, sólo unos pocos miles de toneladas de asfalto natural se emplean en los EE.UU. cada año, comparado con los 35 millones o más de toneladas de asfalto de petróleo. El asfalto natural es durable y ha sido usado a lo largo de toda la historia. El Asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños. El asfalto natural no es uniforme y contiene cantidades variables de materias extrañas

## **2. HISTORIA DEL ASFALTO**

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos. La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. En esta zona se encuentra en efecto la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). 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. Excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80 km al noreste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción. Dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos o mampuestos, en la realización de pavimentos interiores (de 3 a 6 cm de espesor), para tratamientos superficiales externos de protección y como revestimiento impermeable en los baños públicos. Este género de aplicaciones se repite en numerosas regiones de Mesopotamia, al igual que en el Valle del Indo (Mohenjo-Daro). A la sazón, los Egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C.

Teniendo en cuenta el gran número de aplicaciones posibles y conocidas de los ligantes hidrocarbonados, es normal que se encuentren numerosas alusiones en la literatura al respecto. Es así como en la Biblia, se menciona en varias oportunidades su uso- a propósito del Arca de Noé, de la Torre de Babel, de la Cuna de Moisés, de las Murallas de Jericó, etc. Numerosas

citaciones figuran en casi todos los libros Griegos o Latinos, que según los casos, describen los yacimientos de betún natural o de asfalto, la fabricación del alquitrán de madera, los diversos usos o curiosas propiedades de este producto.

Los Arabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época. Se utiliza para el tratamiento de enfermedades a la piel y como desinfectante tópico. Dada las propiedades combustibles que presentan los ligantes hidrocarbonados, es que en la antigüedad se utilizaban con fines bélicos o destructivos, en forma de bolas de betún encendidas las cuales eran catapultadas y en forma de baños incandescentes, prolongándose hasta la Edad Media. Por último, cabe destacar el papel desempeñado por los ligantes hidrocarbonados en el calafateo y protección de los cascos de las embarcaciones.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la Isla de Trinidad, por Cristóbal Colón. Un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este Lago de Betún y tomó posesión de él para la Corona Británica. Se puede considerar que el 19 de agosto de 1681, abrió una nueva era para los ligantes hidrocarbonados, dado que los ingleses Joakin Becher y Henry Serie registraron una patente relativa a "un nuevo método para extraer brea y alquitrán del carbón de piedra", que según sus autores permitía obtener un alquitrán tan bueno como el de Suecia.

Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Vaï de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle del Ródano. A partir de estos yacimientos se elaboró el "mastic de asfalto", aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Las primeras aplicaciones tuvieron lugar en las afueras de Burdeos y en Lyon. En el año 1781, Lord Dundonald realiza los primeros estudios relativos a la calidad y utilización de la alquitrán de hulla y barniz de hulla.

En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera Paris-Perpiñan utilizó el asfalto de Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers), y en 1870 en los Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el "asfalto" se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició significativamente su uso vial.

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.

### **3. EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Los materiales bituminosos se pueden dividir en dos grandes grupos, betunes y alquitranes. Si bien ambos son termoplásticos y poseen una alta adhesividad con los áridos, se diferencian en que los alquitranes presentan una mayor variación de viscosidad frente a la temperatura y durabilidad.

### **3.1. BETUNES**

Es el procedente de la destilación del petróleo. Estos betunes pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, con bajo contenido de líquidos. Es un material que debe ser calentado bastante a altas temperaturas para llegar a ser usado como líquido. Se llaman también "betunes asfálticos". Estos pueden ser:

### **3.2. NATURALES**

Es formado cuando el petróleo es conducido a través de grietas hasta la superficie. La acción del sol y el viento hace que se provoque un proceso natural de destilación, dejando una sustancia plástica de color negro. Este tipo de asfalto era utilizado en el pasado en la construcción de carreteras y procedía de Trinidad y Venezuela.

### **3.3. ARTIFICIALES**

Este procede obteniéndose como subproducto por refinado del petróleo. También se denomina, de acuerdo con las normas UNE, "mastique asfáltico" a la mezcla de productos asfálticos con áridos minerales de granulometría definida y materia mineral fina que cuando se calienta pueda ser vertida; pero requiere manipulación mecánica para su formación.

### **3.4. ALQUITRANES**

El "alquitrán" producto bituminoso, viscoso o líquido que resulta de la destilación destructiva (cracking) de materias orgánicas. A la palabra alquitrán debe ir otra palabra que indique su procedencia y el proceso de fabricación. Se denomina "brea" al residuo fusible, semisólido o sólido de color negro o marrón oscuro que queda cuando se somete al alquitrán o sus derivados a una evaporación parcial o destilación fraccionada.

### **3.5. BETUNES FLUIDIFICADOS (CUT-BACKS)**

Se obtiene por mezcla del betún asfáltico con otros derivados del petróleo para facilitar la puesta en obra y ser posteriormente eliminados por evaporación. Este material resultante tiene al final mayor poder de penetración que el original.

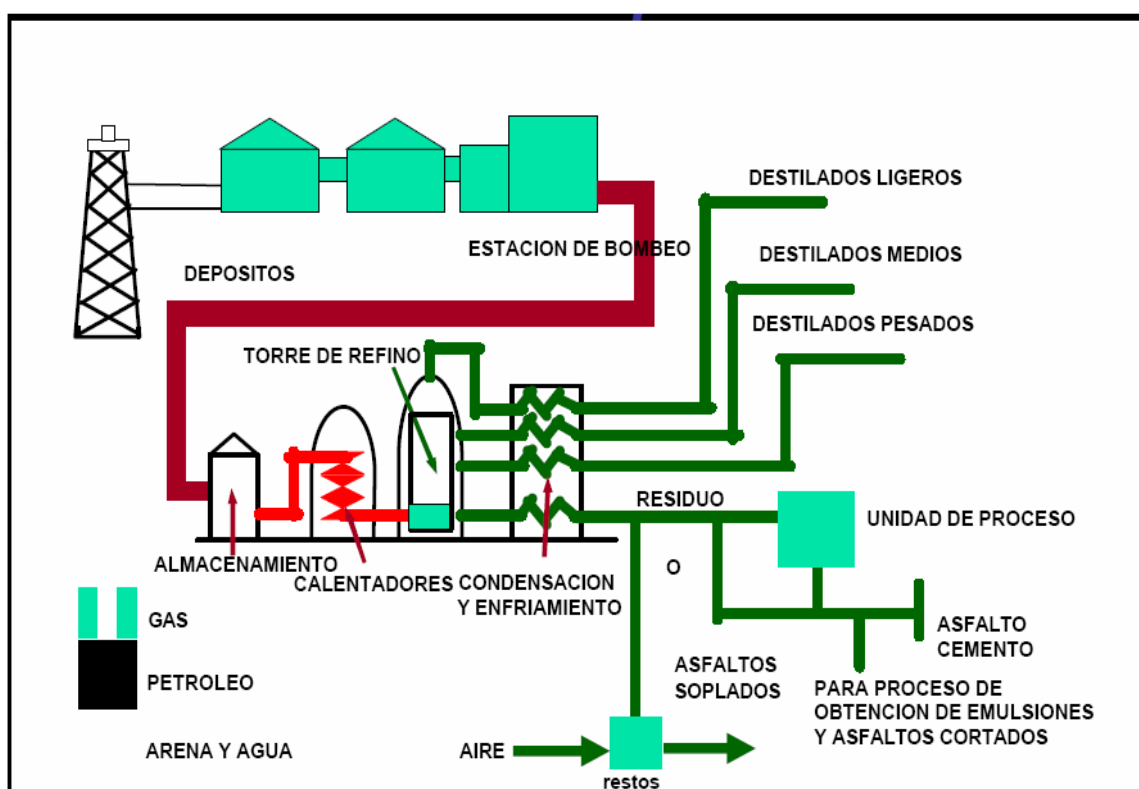
### **3.6. EMULSIONES BITUMINOSAS**

Con el objeto de facilitar la puesta en obra del betún y de poderlo aplicar en tiempos lluviosos, o con áridos húmedos o a bajas temperaturas. La emulsión con agua y un tercer producto llamado "emulsionante" que impide la rotura de la emulsión y facilita la dispersión de las partículas del betún. La emulsión se obtiene al mezclar y agitar betún fundido y agua caliente (con emulsionante), pero tan pronto como se deja en reposo las partículas dispersas empiezan a unirse haciéndose cada vez más grandes hasta que se produce la separación del betún y del agua. Este es el tipo de emulsión normalmente utilizado en la construcción de carreteras.



#### 4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA O EN CALIENTE

En la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada) que de preferencia deberá estar triturado. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento y secado hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 o 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico AC-20 el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto (véase la fig. Bi -1).



*Figura Bi 1 Diagrama de flujo de una Refinería en operación*

*Fuente: Elaboración Propia*

Las plantas de asfalto se pueden obtener en las 3 configuraciones favoritas en los mercados mundiales y, cada una, en diferentes modelos que permiten satisfacer las necesidades de producción específicas de cada cliente.

Dependiendo del modelo una planta de mezcla asfáltica esta comprendida por:

- Unidades de fríos
- Tambor secador

- Tambor secador mezclador
- Quemador
- Mezclador
- Pesaje
- Colector de polvo
- Unidad de mezcla caliente
- Control automático
- Caldera
- Tanque de asfalto

#### 4.1. PLANTAS TIPOS BATCH

Las plantas tipo Batch han sido aceptadas tradicionalmente como las más precisas por cuanto el secado se hace separadamente y la dosificación se hace íntegramente por peso. La gradación no es necesariamente exacta pues, con frecuencia, se hace solo en la unidad de gradación que, normalmente, tiene un área de trabajo muy pequeña lo que da como resultado una sobre-entrega de finos.

Sus muchos componentes las hacen demasiado costosas. Los diseños modernos acuden al control electrónico en todas las operaciones, eliminando la unidad de gradación, con lo que el costo se reduce sensiblemente y las facilidades de transporte, montaje y mantenimiento se hacen evidentes (véase la fig. Bi -2).



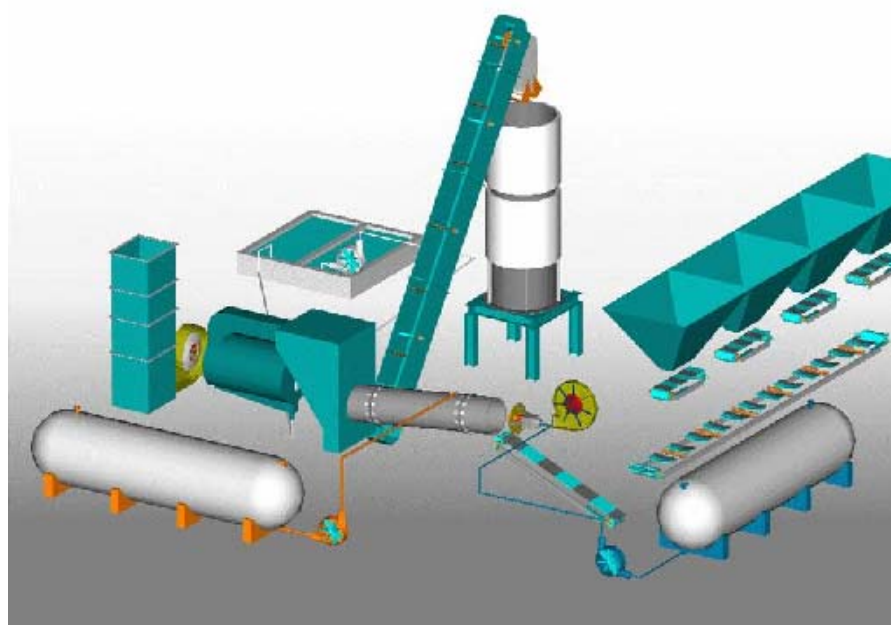
*Figura Bi 2 Diagrama de flujo de una planta tipo Batch*

*Fuente: [www.abl.com](http://www.abl.com)*

## 4.2. PLANTAS TIPO DRUM-MIX

Los modelos anteriores al 90 presentaban gradación y dosificación imprecisas, secado deficiente, mezcla incompleta y oxidación del asfalto. En las plantas modernas estos inconvenientes se han solucionado alargando el tambor a, por lo menos, cinco veces el diámetro para obtener mejores secado y mezcla y prevenir sobrecalentamiento del asfalto y gobernando TODO el proceso mediante controles electrónicos que aseguran temperaturas y tiempos de residencia correctos y dosificación y gradación que cumplen con las especificaciones más exigentes de los entes estatales.

De otra parte, son las más económicas, fáciles de trasladar, montar y mantener y su operación es muy sencilla (véase la fig. Bi – 3).



*Figura Bi 3 Diagrama de flujo de una planta tipo Drum-mix*

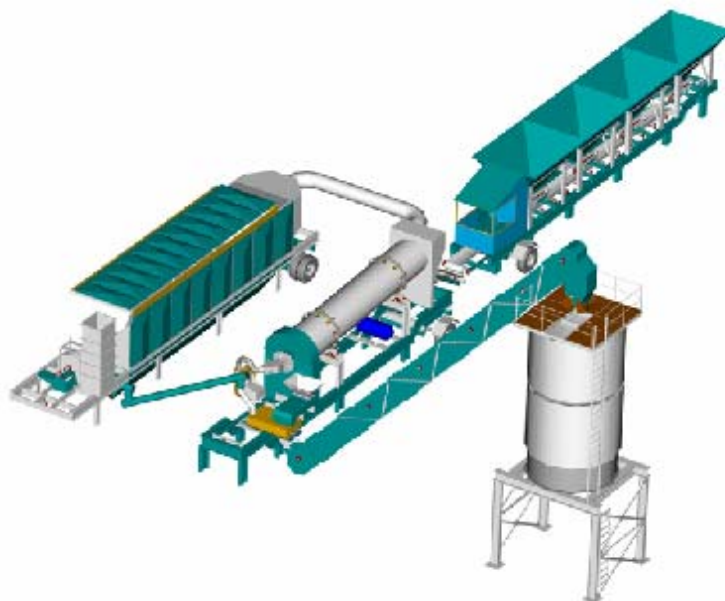
*Fuente: [www.abl.com](http://www.abl.com)*

## 4.3. PLANTAS TIPO CONTINUO EN CONTRAFLUJO

Los modelos anteriores como las plantas KA de la desaparecida Barber Greene presentan problemas de dosificación asfalto-agregados pues esta se hace sin una sincronización diferente al criterio del operador y utilizan una unidad de gradación que las hace engorrosas y de difícil mantenimiento.

Superan los inconvenientes de oxidación mediante un secado exterior que resulta muy bueno en su desempeño. Las unidades de diseño reciente eliminan la unidad de gradación e involucran, en mayor o menor grado, el control electrónico, con el que se consiguen muy buenos resultados. En las más modernas el peso de materiales se obtiene en seco, justo antes de entrar al tambor, para corregir inconvenientes de sincronización y variación de humedad. El control de polvo debe ser

de tipo seco, muchísimo mejor si es un filtro de mangas, con lo que el costo se eleva significativamente (véase la fig. Bi – 4).



**Figura Bi 4 Diagrama de flujo de una planta tipo continua en contraflujo**

**Fuente: [www.abl.com](http://www.abl.com)**

## **5. FACTORES QUE DEBEN CONTROLARSE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Para que una carpeta sea estable, duradera, impermeable y antiderrapante, se deben controlar los siguientes factores:

- Granulometría del material pétreo
- Contenido de asfalto
- Características del cemento asfáltico
- Temperatura de mezcla

El diseño de mezclas asfálticas en caliente se realiza mediante pruebas de estabilidad, utilizando uno de los siguientes métodos (no se detallarán los métodos, ya que se verá en semestres superiores):

- Método Marshall<sup>1</sup>
- Método de Nottingham
- Método Hubbard-Field
- Método Hveem
- Método Triaxial de Smith
- Investigaciones SHRP (“Strategic Highway Research Program”)

<sup>1</sup> Texto Carreteras II – Carrera de Ingeniería Civil UMSS – Ing. Jaime Ayllón A.

### **5.1. GRANULOMETRÍA**

Existen varias composiciones granulométricas del material pétreo, de acuerdo a las características de la obra y a la especificación técnica utilizada. Las mezclas con un contenido de partículas pétreas de mayor tamaño tienen mayor estabilidad. El tamaño máximo de las partículas no debe ser mayor a  $2/3$  del espesor de la carpeta.

### **5.2. CONTENIDO DE ASFALTO**

El contenido óptimo para la preparación de la mezcla debe ser el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de las partículas pétreas, sin llenar completamente los vacíos, ya que éstos deben ser llenados con las partículas más finas.

Por una parte la mezcla debe contener un porcentaje mínimo de vacíos para evitar las exudaciones del asfalto, que pueden provocar la formación de surcos u ondulaciones; por otra parte deberá tener un porcentaje máximo de vacíos, ya que si este valor se excede, se puede ocasionar el endurecimiento del asfalto por efecto de los agentes atmosféricos, dando como resultado una carpeta quebradiza.

### **5.3. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

Se debe elegir el cemento asfáltico más adecuado a las condiciones climatológicas del lugar donde se encuentra la obra. Un asfalto muy duro puede dar lugar a un pavimento quebradizo con problemas de desintegración y exceso de agrietamientos.

### **5.4. TEMPERATURA DE MEZCLA**

Tiene una mayor incidencia en el endurecimiento del asfalto. Por ejemplo, en un asfalto de buena calidad, un aumento de 50° F en su temperatura, produce una disminución de 20 puntos en la penetración.

## **6. Usos**

### **6.1. USOS DEL ASFALTO**

De acuerdo a su origen y sus características químicas y físicas el asfalto puede usarse:

- Asfalto natural. Este se ha empleado en la fabricación de asfalto emulsificado para carreteras y calles, en tejados y como impermeabilizante. Aún en nuestros días se usa como aglutinante para pisos de carreteras y como material para pavimentos, tejados, materiales impermeabilizantes, mastique asfáltico, revestimiento para tuberías y conductos, y para otros usos especializados.
- La gilsonita se emplea mucho en la fabricación de barnices negros mezclándola con aceites secantes y resinas, residuos de petróleo y otros asfaltos.

- El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

## 6.2. USOS DEL BETÚN

Su principal aplicación es la impermeabilización y revestimiento de carreteras debido a su resistencia a agentes químicos. También es usado como aislante en cables eléctricos, protección de cañerías, techado de construcciones civiles, elaboración de *mastiques* y barnices.

## 6.3. USOS ALQUITRÁN

- Se emplean en carreteras, en la pavimentación de caminos secundarios y de bajo costo, debido a que los alquitranes son fácilmente perjudicados o deteriorados por agentes externos en comparación con el asfalto (subproducto del petróleo).
- El empleo del alquitrán en caminos y otros fines obliga a una ejecución y buen mantenimiento de las obras y permanente sellado o rellenados de los cuales vienen a ser desventajas.
- El alquitrán se usa mucho en la impermeabilización de tierras, tanques de agua, depósitos, postes que son hincados en la tierra como aislantes entre cimientos y muros de elevación evitando la humedad capital (es la humedad de abajo va ascendiendo hasta llegar a humedecer la superficie especialmente esto ocurre en la noche al no llegar la luz solar sobre esta). Para impermeabilizar terrazas y techos se trata el alquitrán con diesel a fuego de leña.

## 7. PREGUNTAS DE CONTROL

- Desarrollar la clasificación de los petróleos del subtítulo 1.
- Describir la composición química del asfalto.
- De que fecha data la utilización del asfalto
- Explique que son las emulsiones asfálticas
- Desarrolle el procedimiento empleado para la mezcla asfáltica de la planta que visito y su componentes del subtítulo 4.

## ENSAYOS DE LABORATORIO “MATERIALES BITUMINOSOS”

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de los ensayos es determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado tipo de mezcla asfáltica, en este caso, se consideraron las especificaciones técnicas de la Normativa Española, en donde se indican los intervalos permisibles de las propiedades fundamentales para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente como lo son: la Densidad, la Estabilidad, la Deformación, el Contenido de Vacíos en la Mezcla y el Contenido de Vacíos en el Agregado Mineral. El criterio elegido para obtener el contenido óptimo de asfalto de la mezcla, se basó fundamentalmente en su contenido de vacíos, ya que su cantidad, afecta directamente el comportamiento de un pavimento ante las deformaciones plásticas permanentes.

### 2. TIPOS DE ASFALTOS UTILIZADOS EN BOLIVIA

#### 2.1. CEMENTO ASFÁLTICO

Son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Estos pueden proceder de depósitos naturales, que son enormes lagos de asfalto mezclado con un material mineral, agua y otras impurezas. Una vez refinados se puede obtener hasta un 97% de bitúmen. Estos asfaltos refinados son muy duros y se les da la consistencia, mezclándolos con aceites o residuos provenientes de la destilación del petróleo de base asfáltica.

Los asfaltos mas usados en Bolivia son los que provienen de la destilación del petróleo. Desde el punto de vista de la obtención de asfaltos, los petróleos se dividen en petróleos de base asfáltica, de base intermedia y de base parafínica. Los asfaltos para pavimentos se obtienen de los dos primeros tipos mediante destilación, quedando como residuos de este proceso. La mayor o menor dureza del asfalto depende de las condiciones de destilación, tales como presión, temperatura y tiempo.

Estos asfaltos reciben el nombre de "destilado directo" para diferenciarlos de aquellos obtenidos por oxidación, que toman el nombre de “oxidados”, y que son empleados en impermeabilizaciones. El residuo proveniente del petróleo de base parafínica está constituido por parafina semisólida y coke. El aspecto de este residuo es aceitoso o grasoso y no tiene propiedades cohesivas; al contacto con el aire se oxida lentamente dejando un residuo polvoroso o escamoso que no tiene ningún poder ligante.

Los cementos asfálticos se dividen en grados según su dureza o consistencia, que es medida mediante el ensayo de penetración medido en 1/10 mm, valor que es inverso a la dureza. De acuerdo a esto, los cementos asfálticos más comúnmente usados son los siguientes:

CA 40- 50 (En mastic para sellado de juntas de pavimento de hormigón).

CA 60 - 70 (En concreto asfáltico).



CA 85:- 100 (En concreto asfáltico).  
CA 120- 150(Tratamientos superficiales).

Las dos cifras indican los límites máximos y mínimos de la penetración.

En la tabla Bi-1 se indican las especificaciones que deben cumplir estos asfaltos.

## **2.2. PROPIEDADES O CARACTERÍSTICAS DESEABLES DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres propiedades o características del asfalto importantes: (1) consistencia (llamada también fluidez, plasticidad o viscosidad), (2) pureza y (3) seguridad.

### **2.3. CONSISTENCIA**

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, porque son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia. La clasificación de los cementos asfálticos se realiza en base al valor de la consistencia a una temperatura de referencia.

Si se expone al aire cemento asfáltico en películas delgadas y se lo somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta. Por lo tanto, un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico, por endurecimiento, que muchos años de servicio en el camino terminado.

Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración. (Para asfaltos sopladados el ensayo de punto de ablandamiento).

### **2.4. PUREZA**

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99,5 por ciento solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, puede causar espumas al asfalto cuando se calienta por encima de los 100°C (212°F).



## 2.5. SEGURIDAD

La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175°C (347°F).

El cemento asfáltico, si se lo somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura normalmente usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

**Tabla Bi-1 Requisitos para la especificación de un cemento asfáltico**

	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150		200 - 300	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación copa abierta de Cleveland °C.	232		232		232		218		177	
Ductilidad a 25°C, 5cm/ min, cm.	100		100		100		100			
Solubilidad en Tricloroetileno,%	99		99		99		99		99	
Ensayo de película delgada, 3.2mm, 163°C, 5hrs.										
Pérdida por calentamiento, %		0.8		0.8		1.0		1.3		1.5
Penetración por residuo, % del original.	58		54		50		46		40	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm.			50		75		100		100	
Ensayo de la mancha con: Solvente Nafta Standard Solvente Nafta - Xilol, % Xilol Solvente Heptano – Xilol, % Xilol	Negativa para todos los grados									
	Negativa para todos los grados									
	Negativa para todos los grados									

## 2.6. ASFALTOS DILUIDOS

Según la terminología del "Asphalt Institute", Asfalto líquido se define como: "Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300".

Están compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil que puede ser bencina, kerosene, aceite o agua con emulsificador. El fluidificante se agrega con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los áridos a baja temperatura. Una vez elaborada la mezcla, los fluidificantes se evaporan, dejando el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona las partículas de agregado.

De acuerdo al fluidificante, más o menos volátil, estos asfaltos se dividen en:

## 2.7. ASFALTOS CORTADOS DE CURADO RÁPIDO

Cuyo fluidificante es bencina, se designan con las letras RC (rapid curing) seguidas con un número que indica el grado de viscosidad cinemática que tienen, medida en centistokes. De acuerdo a esto, se tienen los siguientes asfaltos RC:

**Tabla Bi-2 Asfaltos RC**

Grado	Residuo asfáltico en volumen
RC-70	55%
RC-250	65%
RC-800	75%
RC-3000	80%

**Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases**

## 2.8. ASFALTOS CORTADOS DE CURADO MEDIO

cuyo fluidificante es kerosene, se designan con las letras MC (medium curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen. Los asfaltos MC son los siguientes:

**Tabla Bi-3 Asfaltos MC**

Grado	Residuo asfáltico en volumen
MC-30	50%
MC-70	55%
MC-250	67%
MC-800	75%
MC-3000	80%

**Fuente: Gustavo Cano – Apuntes de clases**

## 2.9. ASFALTOS LÍQUIDOS DE CURADO LENTO

Cuyo fluidificante era aceite, relativamente poco volátil, se designaban con las letras SC (slow curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen. Los SC mas usados fueron SC-70 y SC.250.

Al grupo SC-250 pertenece el combustible llamado “Bunker C”, que fue muy usado en las carpetas de los caminos del país. Desde el año 1975 prácticamente ya no se usa en Bolivia y las normas AASHTO lo han discontinuado.

## 2.10. EMULSIÓN ASFÁLTICA

Cuyo fluidificante es el agua, y como es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles, como son el asfalto y el agua, se le incorpora una pequeña cantidad de un agente emulsificador, generalmente de base jabonosa o solución alcalina, el cual mantiene estable el sistema de las fases continuas, que es el agua, y discontinua que esta constituida por pequeños glóbulos de asfalto en suspensión, de un tamaño que fluctúa entre 1 y 10 micrones. Los agentes

emulsificantes forman una película protectora alrededor de los glóbulos de asfalto estableciéndoles una determinada polaridad en la superficie, lo que hace que estos se repelan, manteniéndose estable la emulsión. Cuando una emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado, y el agua fluye o se evapora separándose de las piedras recubiertas por el asfalto. Hay agentes emulsificadores que permiten que esta rotura o quiebre sea instantáneo y otros mas poderosos que retardan este fenómeno. De acuerdo a esto las emulsiones se dividen en:

- Emulsión asfáltica de quiebre rápido, la que se designa con las letras RS (rapid setting).
- Emulsión asfáltica de quiebre medio, la que se designa con las letras MS (medium setting)
- Emulsión asfáltica de quiebre lento, la que se designa con las letras SS (slow setting).

Como se sabe, existen áridos de polaridad positiva y negativa; por lo tanto, para tener buena adherencia es necesario tener la emulsión eléctricamente afín al árido. Esta cualidad se la confiere el agente emulsificador que puede darles polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas las primeras, afines a áridos de carga negativa, como lo son de origen calizos, y catiónicas las segundas, afines a áridos de carga positiva como son los de origen cuarzosos o silíceos.

Las emulsiones catiónicas se designan con las mismas letras anteriormente dichas y anteponiéndoles la letra “C”, como por ejemplo las CRS-1 y CSS-1. Si el residuo asfáltico de las emulsiones medias y lentas es de penetración 40-90 se le agrega la letra “h” (CSS-1h, MS-2h). Las especificaciones que deben cumplir los asfaltos líquidos están indicados en las tablas Bi – 4,5 y 6.

**Tabla Bi -4 Asfaltos cortados de curado rápido**

	RC - 70		Rc - 250		RC - 800		RC - 3000	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Viscosidad cinemática a 60°C centistokes	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (copa abierta Tag.)°C			27		27		27	
Agua, %		0.2		0.2		0.2		0.2
Ensayo de destilación: Porcentaje en volumen del destilado total a 360°C								
A 190°C	10							
A 225°C	50		35		15		25	
A 260°C	70		60		45		70	
A 315°C	85		80		75			
Residuo de destilación a 360°C, % volumen	55		65		75		80	
Ensayos en el residuo de la destilación								
Penetración 100g, 5 seg a 25°C	80	120	80	120	80	120	800	120
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno,%	99.9		99.9		99.9		99.9	
Ensayo de la mancha con:								
Nafta Standard	Negativa para todos los grados							
Solvente Nafta – Xilol, % Xilol	Negativa para todos los grados							
Solvente Heptano - % Xilol	Negativa para todos los grados							

**Tabla Bi -5 Asfaltos cortados de curado medio**

	MC - 30		MC - 70		MC - 250		MC - 800		MC - 3000	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Viscosidad cinemática a 60°C centistokes	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (copa abierta Tag.)°C	38		38		66		66		66	
Agua, %		0.2		0.2		0.2		0.2		0.2
Ensayo de destilación: Porcentaje en volumen del destilado total a 360°C		25		20		10				
A 225°C		70		60		55		0		
A 260°C	40	93	65	90	60	87	45	35	0	15
A 315°C	75						80		15	75
Residuo de destilación a 360°C, % volumen	50		55		67		75		80	
Ensayos en el residuo de la destilación										
Penetración 100g, 5 seg a 25°C		250	120	250	120	250	120			
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	120		100		100		100		120	
Solubilidad en Tricloroetileno, %	100		99.0		99.0		99.0	250	100	250
	99.0								99.0	
Ensayo de la mancha con:	Negativa para todos los grados									
Nafta Standard										
Solvente Nafta – Xilol, % Xilol										
Solvente Heptano - % Xilol										

### 3. ENSAYOS A CEMENTOS ASFÁLTICOS

#### 3.1. ENSAYO DE VISCOSIDAD

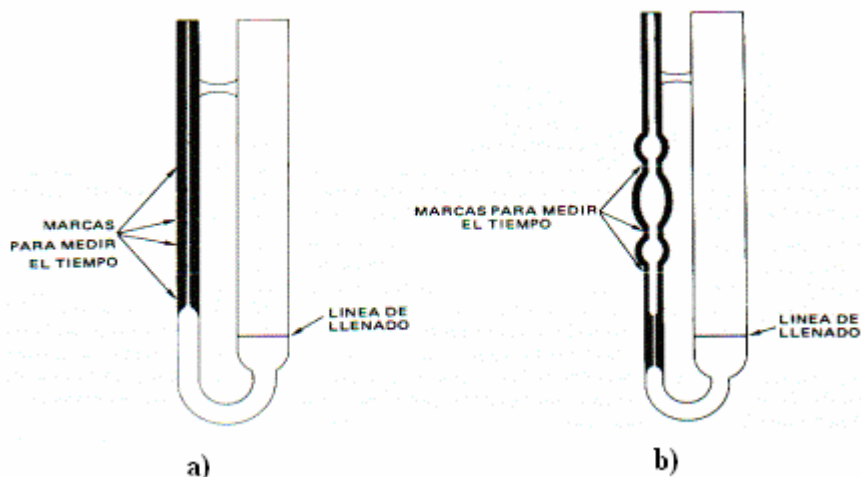
Las especificaciones de los cementos asfálticos clasificados según su viscosidad se basan por lo común en los rangos de viscosidad a 60°C (140°F). También se especifica generalmente una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es dar valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Se eligió la temperatura de 60°C (140°F) porque se aproxima a la máxima temperatura superficial de las calzadas en servicio pavimentadas con mezclas asfálticas en los Estados Unidos y en cualquier otra parte del mundo en donde la construcción de caminos progresa; y la de 135°C (275°F), porque se aproxima a la de mezclado y distribución de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Para el ensayo de viscosidad a 60°C (140°F) se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Los dos tipos más comunes en uso son: el viscosímetro de vacío del Asphalt Institute (Fig. Bi 5 a) y el viscosímetro de vacío de Cannon-Manning (Fig. Bi 5 b). Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un "factor de calibración", cuyo uso se describe luego. Generalmente, los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores.

**Tabla Bi - 6 Requisitos para emulsiones asfálticas catiónicas**

	Quiebre Rápido				Quiebre medio				Quiebre lento			
	CRS - 1		CRS - 2		CMS - 2		CMS - 2h		CSS - 1		CSS - 1h	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, seg									20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, seg	20	100	100	400	50	450	50	450				
Sedimentación, 5 días, %		5		5		5		5		5		5
Ensayo de estabilidad, 1 día, %		1		1		1		1		1		1
Demulsibilidad, 35 ml, %.	40		40									
Cubrimiento y resistencia al agua:												
Cubrimiento agregado seco					Bueno		Bueno					
Cubrimiento luego de esparcido					Regular		Regular					
Cubrimiento agregado húmedo					Regular		Regular					
Cubrimiento, luego de esparcido					Regular		Regular					
Ensayo carga de partícula	(+)		(+)		(+)		(+)		(+)		(+)	
Ensayo mezclado con cemento, %										2.0		2.0
Aceite destilado, por volumen de emulsión, %		3		3		12		12				
Residuo, %	60		65		65		65		57		57	
Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40	
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	97		97		97		97		97		97	
Ensayo de la mancha con: Nafta Standard Solvente Nafta-Xilol, % Xilol Solvente Heptano-Xilol, % Xilol.	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados											

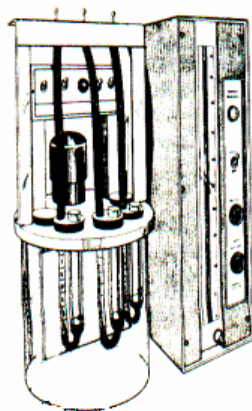
**Fuente: AASHTO M 208**



**Figura Bi - 5 a) Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute b) Viscosímetro de vacío de Cannon - Manning**

El viscosímetro se monta en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente (Fig. Bi - 6). Se vierte asfalto precalentado en el tubo grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro lleno se mantiene en el baño por un cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C (140°F). Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro. En la figura Bi-6 se muestra un dispositivo para el control del vacío. También se conecta al sistema una bomba de vacío.

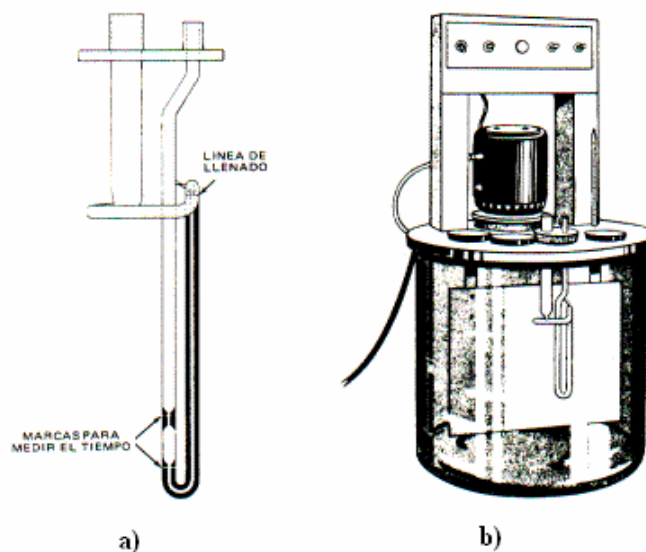
Luego que el baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C (140°F), se aplica vacío y se mide con un cronómetro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos de las marcas. Multiplicando este tiempo por el factor de calibración del viscosímetro se obtiene el valor de la viscosidad en poises, la unidad patrón para medir viscosidad absoluta.



**Figura Bi - 6 Viscosímetro en el baño**

El viscosímetro de vacío del Asphalt Institute tiene muchas marcas para medir el tiempo. Seleccionando el par apropiado, se puede usar para asfaltos con una amplia variación de consistencias.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C (275°F) para fluir a lo largo de tubos capilares bajo fuerzas gravitacionales únicamente. Por lo tanto, se usa un tipo distinto de viscosímetro, ya que no se requiere vacío. El más usado es el viscosímetro de brazos cruzados Zeitfuchs (Fig. Bi-7a). También se lo calibra con aceites normalizados.



**Figura Bi – 7 a) Viscosímetro de brazos cruzados b) Viscosímetro en el baño**

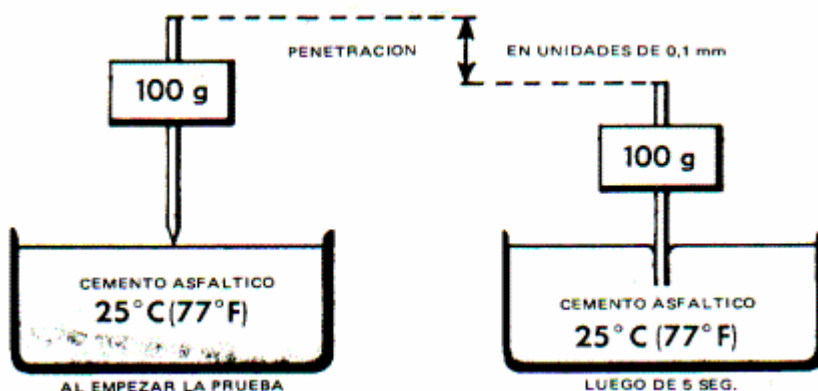
Como estos ensayos se hacen a 135°C (275°F), para el baño se requiere un aceite claro apropiado. Se monta el viscosímetro en el baño (Fig. Bi-7 b) y se vuelca el asfalto en la abertura mayor hasta que llegue a la línea de llenado. Como antes, se deja que el sistema alcance la temperatura de equilibrio. Para que el asfalto comience a fluir por el sifón que está justo encima de la línea de llenado, es necesario aplicar una pequeña presión en la abertura mayor o un ligero vacío en la menor. Entonces el asfalto fluirá hacia abajo en la sección vertical del tubo capilar debido a la gravedad. Cuando el asfalto alcanza la primera de las marcas se comienza a medir el tiempo hasta que alcanza la segunda. El intervalo de tiempo, multiplicado por el factor de calibración del viscosímetro, da la viscosidad cinemática en centistokes.

Es necesario destacar que las medidas de viscosidad para 135°C (275°F) se expresan en centistokes y para 60°C (140°F), en poises. En el ensayo de viscosidad cinemática, la gravedad induce el flujo (resultados en centistokes) y la cantidad de flujo a través del tubo capilar depende de la densidad del material. En el ensayo de viscosidad absoluta, los resultados se dan en poises, y el flujo a través del tubo capilar se induce por medio de un vacío parcial, siendo los efectos gravitacionales despreciables. Estas unidades poises y stokes o centipoises y centistokes - pueden ser convertidas unas en otras aplicando, simplemente, un factor debido a la densidad.

### 3.2. ENSAYO DE PENETRACIÓN

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados. En la figura Bi-8 puede verse el ensayo de penetración normal. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

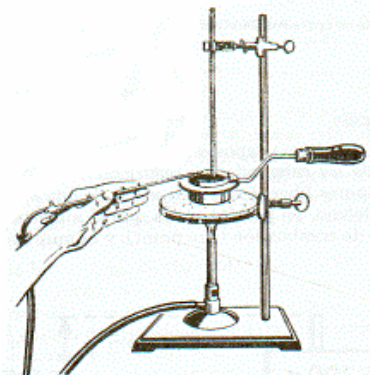
Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración, o ambos.



*Fig. Bi-8 Ensayo de penetración*

### 3.3. ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN

Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura, sin embargo, está bastante por debajo, en general, de la que el material entra en combustión permanente. Se la denomina punto de combustión (fire point), y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.



*Fig. Bi-9 Ensayo punto de inflamación “vaso abierto de Cleveland”*

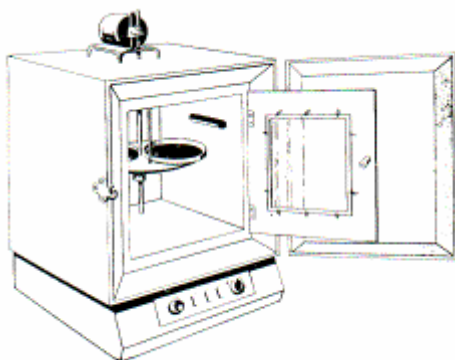


El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "vaso abierto Cleveland" (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

### 3.4. ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO

Este no es en realidad un ensayo, sino un procedimiento destinado a someter a una muestra de asfalto a condiciones de endurecimiento aproximadas a aquellas que ocurren durante las operaciones normales de una planta de mezclado en caliente. Para medir la resistencia al endurecimiento del material bajo estas condiciones, se hacen al asfalto ensayos de penetración o de viscosidad antes y después del ensayo.

Se coloca una muestra de 50 ml de cemento asfáltico en un recipiente cilíndrico de fondo plano de 140 mm (5,5 pulgadas) de diámetro interno y 10 mm (3/8 pulgada) de profundidad. El espesor de la capa de asfalto es de 3 mm (1/8 pulgada) aproximadamente. El recipiente conteniendo a la muestra se coloca en un plato que gira alrededor de 5 a 6 revoluciones por minuto durante 5 horas dentro de un horno ventilado mantenido a 163°C (325°F). Luego se vuelca el cemento asfáltico en un recipiente normalizado para hacerle el ensayo de viscosidad o de penetración.

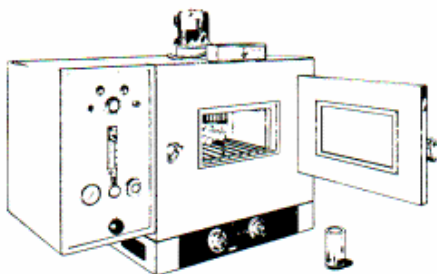


*Fig. Bi-10 Ensayo de película delgada en horno*

### 3.5. ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA RODANTE EN HORNO

Este ensayo es una variante del anterior, desarrollado por agencias del oeste de los Estados Unidos. El propósito es el mismo pero cambian los equipos y procedimientos de ensayo. La figura Bi-11 muestra el horno usado para el ensayo de película delgada rodante y también el frasco de diseño especial para contener la muestra. Se vuelca en el frasco una determinada cantidad de cemento asfáltico y se lo coloca en un soporte que rota con cierta velocidad alrededor de un eje horizontal, con el horno mantenido a una temperatura constante de 163°C (325°F). Al rotar el frasco, el cemento asfáltico es expuesto constantemente en películas nuevas. En cada rotación, el orificio del frasco de la muestra pasa por un chorro de aire caliente que barre los

vapores acumulados en el recipiente. En este horno, se puede acomodar un mayor número de muestras que en el horno del ensayo de película delgada. El tiempo requerido para alcanzar determinadas condiciones de endurecimiento en la muestra es también menor para este ensayo.

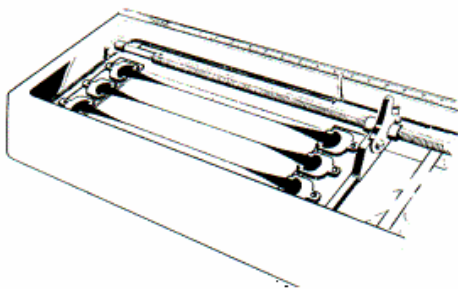


*Fig. Bi-11 Ensayo de película delgada rodante en horno*

### 3.6. ENSAYO DE DUCTILIDAD

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo "extensión" para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones y medidas normalizadas. Se la lleva a la temperatura de ensayo de la norma, generalmente 25°C (77°F) y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo.



*Fig. Bi-12 Ensayo de ductilidad*

### 3.7. ENSAYO DE SOLUBILIDAD

El ensayo de solubilidad es una medida de la pureza del cemento asfáltico. La parte del mismo soluble en bisulfuro de carbono representa los constituyentes activos de cementación. Solo la materia inerte, como sales, carbón libre, o contaminantes inorgánicos, no son solubles.

En este ensayo se usa generalmente tricloroetileno, que es menos peligroso que el bisulfuro de carbono y otros solventes. La mayoría de los cementos asfálticos son igualmente solubles en cualquiera de ellos.

El proceso para determinar la solubilidad es muy simple. Se disuelven aproximadamente 2 grs. de asfalto en 100 ml de solvente y se filtra la solución a través de una plancha de asbesto colocada en un crisol de porcelana (Gooch). Se pesa el material retenido por el filtro y se lo expresa como porcentaje de la muestra original, obteniéndose el porcentaje soluble en bisulfuro de carbono.

## 4. ENSAYOS A ASFALTO DILUIDO

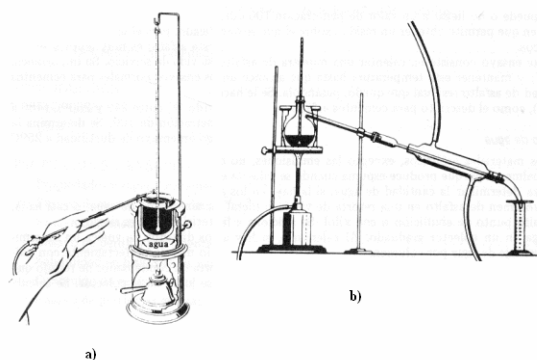
### 4.1. VISCOSIDAD CINEMÁTICA

El ensayo de viscosidad cinemática se utiliza como base para clasificar los asfaltos líquidos en los grados RC, MC y SC. El procedimiento es similar al descrito para cementos asfálticos. La diferencia está en que se hace a 60°C. Como alternativa se utiliza para determinar el estado de fluidez de los asfaltos a diferentes temperaturas, el Viscosímetro Saybolt Furol.

### 4.2. PUNTO DE INFLAMACIÓN

El objetivo y significado del ensayo de punto de inflamación son los mismos que los ya vistos para el cemento asfáltico. En los materiales SC se usa el “vaso abierto de Cleveland”; para los RC y MC, el ensayo es sustancialmente el mismo salvo que se usa calor indirecto por la naturaleza volátil de los diluyentes. Se realiza con el “vaso abierto de Tag” (Fig. Bi-12a), en que el vaso es de vidrio y no de metal y se calienta en un baño de agua y no a llama directa.

En general las temperaturas de uso de los asfaltos diluidos esta por encima del punto de inflamación. La temperatura de inflamación de los de curado rápido puede ser tan baja como 27°C. Cuanto mas volátil es el solvente del asfalto diluido, más riesgoso es su uso.



**Fig. Bi-13 a) “Ensayo Vaso abierto de Tag” b) Ensayo de destilación para asfaltos diluidos**

### **4.3. DESTILACIÓN**

Como se indicó previamente los RC-MC y en algunos casos los SC son mezclas de cemento asfáltico y solvente. Las propiedades de estos materiales son de importancia en su aplicación y comportamiento.

La destilación determina las proporciones relativas en que se encuentran presentes, en el asfalto fluidificado, el bitumen y solvente; para esto se procede a tomar 200 ml de material en un matraz, el cual se conecta a un tubo condensador, se comienza a calentar y el destilado se recibe en una probeta, dicho equipo de destilación debe estar de acuerdo a norma AASHTO. Se determina la cantidad de material condensado a diversas temperaturas establecidas y ésta es una indicación de las características de volatilidad del solvente. Después que se alcanzan 360°C se considera que todo el material remanente en el frasco de destilación es cemento asfáltico. A los RC y MC se le efectúa al residuo proveniente de la destilación los ensayos de penetración, ductilidad, ensaye de la mancha y solubilidad tal como se describen para un cemento asfáltico.

El destilado que evapora a diversas temperaturas es de poco interés en los SC. Los destilados que evaporan bajo la temperatura final, 360°C, son de naturaleza aceitosa de modo que su velocidad de evaporación es muy lenta. Por lo tanto se mide la cantidad total drenado hasta 360°C. En un SC el residuo de la destilación a 360°C se considera representativo de la porción asfáltica. Su consistencia se determina en el ensaye de viscosidad cinemática. El ensaye de solubilidad del SC se realiza al material y no al residuo.

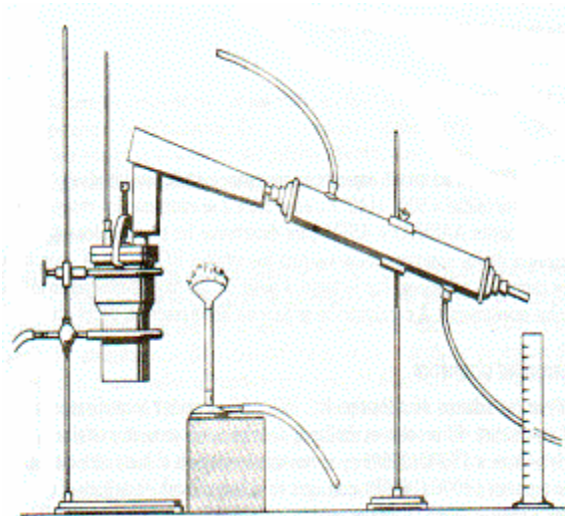
## **5. ENSAYOS A EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Por estar las emulsiones asfálticas constituidas por fases continua y discontinua, es indispensable conocer su comportamiento durante el tiempo y es por eso que los ensayos tendientes a medir la calidad de dichas emulsiones se agrupan para definir la composición, (destilación y carga de partícula), consistencia (viscosidad) y estabilidad (demulsibilidad, sedimentación y mezcla cemento).

### **5.1. DESTILACIÓN**

El ensaye de destilación se usa para determinar las proporciones relativas de cemento asfáltico y agua presentes en la emulsión. Algunos grados de asfalto emulsificado, también contienen aceites; la destilación entrega información acerca de la cantidad de este material en la emulsión. También este ensayo permite analizar el residuo mediante ensayos adicionales como, penetración, solubilidad y ductilidad, que son descritos en los cementos asfálticos. El procedimiento de ensaye es muy similar al descrito para asfaltos cortados. Una muestra de 200 gr de emulsión se destila a 260°C. La diferencia al destilar una emulsión es que se usa un recipiente de hierro y anillos quemadores en vez de un matraz de vidrio y mechero Bunsen. El equipo está diseñado para evitar los problemas que pueden originarse con la formación de espuma al calentar la emulsión. La temperatura final de destilación de 260°C se mantiene durante 15 min. Con el objeto de obtener un residuo homogéneo.

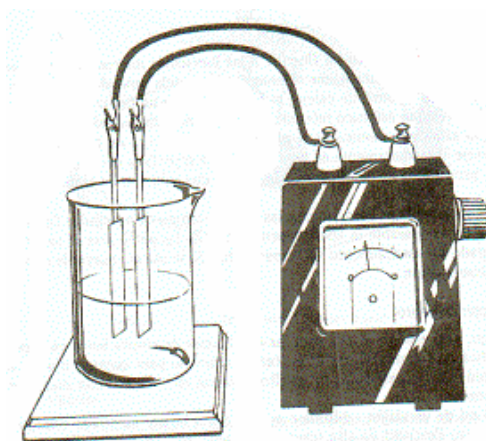
Los grados medio y rápido de las emulsiones catiónicas pueden incluir aceite en el destilado, cuya cantidad máxima está limitada por especificaciones. El material destilado, se recibe en una probeta graduada, incluye tanto el agua como el aceite presentes en la emulsión. Ya que estos dos materiales se separan, las cantidades de cada uno de ellos pueden determinarse directamente en la probeta graduada.



*Fig. Bi-14 Ensayo de destilación para emulsiones asfálticas*

## 5.2. CARGA DE PARTÍCULA

El ensayo de carga de partícula se hace para identificar las emulsiones catiónicas de rotura rápida y media. Se materializa sumergiendo un par de electrodos, positivo (ánodo) y negativo (cátodo), conectados a una fuente de corriente eléctrica continua, en una muestra de emulsión. Luego de 30 minutos, o cuando la intensidad de corriente decrece 2 miliamperes, se observan los electrodos y se determina cual tiene una capa apreciable de asfalto depositado. Si está en el cátodo, estamos en presencia de una emulsión asfáltica catiónica.



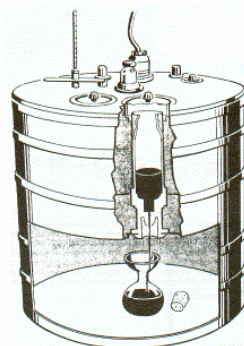
*Fig. Bi-15 Ensayo de carga de partículas*

### 5.3. VISCOSIDAD

Se utiliza el ensaye Saybolt-Furol, para medir la consistencia de las emulsiones asfálticas. Por conveniencia y precisión se usan dos temperaturas de ensaye, las cuales cubren el rango de trabajo. Estas temperaturas son 25° y 50°C (77 ó 122°F). Su elección depende de las características viscosas de la emulsión, según su tipo y grado.

Para hacer el ensayo a 25°C se calienta una muestra hasta la temperatura de ensayo, revolviéndola cuidadosamente. Se la vuelca a través de un colador en un tubo normalizado que tiene un orificio tapado. Se saca luego el tapón y se mide el tiempo que tardan en salir 60 ml de asfalto. Este intervalo de tiempo medido en segundos, es la viscosidad de Saybolt Furol. Es obvio que cuanto más viscoso es el material, mayor es el tiempo que necesita un determinado volumen para fluir por el orificio. Por lo tanto un incremento en el número de viscosidad indica un aumento en la viscosidad de la emulsión.

Para el ensayo a 50°C, se debe calentar la muestra a  $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  y se la vuelca, colocándola, en el tubo. Se la lleva a la temperatura de ensayo, se saca el tapón y se cronometrea el tiempo, como ya se describió antes.



*Fig. Bi-16 Ensayo de viscosidad Saybolt*

### 5.4. DEMULSIBILIDAD O DESEMULSIÓN

El ensaye de demulsibilidad indica la rapidez relativa a la cual los glóbulos coloidales de asfalto en las emulsiones del tipo rápido quebraran cuando se esparce en delgadas capas sobre un suelo o agregado. El cloruro de calcio hace que los diminutos glóbulos de asfalto presentes en las emulsiones asfálticas coagulen.

En este ensaye, una solución de cloruro de calcio y agua se mezcla totalmente con la emulsión (muestra de 100gr), luego se coloca sobre un tamiz 1,4 mm para determinar cuantos glóbulos de asfalto coagulan y se lava. Al ensayar las emulsiones CRS se usa una solución de cloruro de calcio muy débil. Las especificaciones prescriben la concentración de la solución y la cantidad mínima de asfalto que debe ser retenida en el tamiz 1,4mm (N°14). La cantidad de residuo asfáltico retenido nos da el grado de coalescencia.

Se espera que estas emulsiones tengan un alto grado de demulsibilidad ya que se desea que quiebren inmediatamente al entrar en contacto con el agregado.

## **5.5. SEDIMENTACIÓN**

El ensaye de sedimentación indica la tendencia de las partículas de asfalto a perder la estabilidad, durante el almacenamiento de la emulsión. Detecta la propensión de los glóbulos de asfalto a sedimentar durante el almacenamiento. Este ensayo sirve también como indicador de la calidad de la emulsión aun cuando esta no sea almacenada. Una falla en el ensaye de sedimentación indica que algo anda mal en el proceso de emulsificación.

Se colocan dos muestras de 500 ml en sendos tubos de vidrio graduados y se los deja descansar tapados, durante 5 días. Luego se toman pequeñas muestras de las partes superior e inferior de cada tubo, se coloca cada muestra en un recipiente y se pesa. La muestra se calienta hasta que evapore toda el agua y luego se pesa el residuo. Los pesos obtenidos se usan para encontrar la diferencia entre el contenido de cemento asfáltico de las porciones superior e inferior del cilindro. Esto da una medida de la sedimentación.

## **5.6. MEZCLA CON CEMENTO**

El ensaye de mezcla de cemento representa, para las emulsiones lentas, lo mismo que el ensaye de demulsibilidad para las emulsiones rápidas.

En este ensaye se mezcla una muestra de 100 ml de emulsión diluida con agua destilada hasta un 55% del residuo con cemento portland de alta resistencia inicial, revolviéndolos y luego se lava sobre un tamiz 1,4mm (Nº14) y se determina la cantidad de material retenido en el mismo. Las especificaciones generalmente limitan la cantidad de material que puede ser retenida sobre el tamiz.

## **5.7. CAPACIDAD DE RECUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL AGUA**

Este ensayo tiene un triple propósito. Su objetivo es determinar la capacidad de una emulsión asfáltica para; (1) cubrir totalmente el agregado, (2) soportar el mezclado sin que se rompa la película formada y (3) resistir la acción de lavado del agua cuando se completó el mezclado. Este ensayo principalmente, ayuda en la elección de emulsiones asfálticas apropiadas para mezclar con agregados gruesos calcáreos.

Se cubre con polvo de carbonato de calcio el agregado elegido y se mezcla con la emulsión asfáltica. Se coloca aproximadamente la mitad de la mezcla sobre un papel absorbente para un examen visual de la superficie del agregado cubierta de emulsión asfáltica. Se lava con agua el resto de la muestra y se enjuaga hasta que el agua salga clara. Se coloca este material sobre un papel absorbente y se evalúa el recubrimiento. Se cubre otra muestra de agregado con polvo de carbonato de calcio y se mezcla con una cantidad de agua dada. Se agrega la emulsión asfáltica y se mezcla cuidadosamente. Se hacen las mismas evaluaciones ya vistas anteriormente.



## PRÁCTICA DE CAMPO N° 12

### “PINTURAS”

#### 1. INTRODUCCIÓN

Son mezclas líquidas, generalmente coloreadas, que, aplicadas por extensión, pulverización o inmersión, forman una capa o película opaca en la superficie de los materiales de construcción, a los cuales protege y decora.

Las pinturas están constituidas por un pigmento sólido y el aglutinante o vehículo líquido, formando ambos una dispersión.

#### 2. HISTORIA

El uso de la pintura es anterior a cualquier registro escrito, incluso a las pinturas de las cavernas, a los diseños pintados en vasijas de barro y al uso de la pintura para danzas ceremoniales y fiestas religiosas. Desde los tiempos antiguos hasta muy recientemente, la formulación de la pintura ha cambiado sólo muy ligeramente en principio, pero con los descubrimientos e investigaciones actuales en el campo de los plásticos, cauchos y adhesivos, las formulas que se preparan ahora son totalmente diferentes a cualquier otra conocida anteriormente.

Los antiguos egipcios utilizaban cal, ocre, negro de humo, plomo blanco y sustancias formuladas en secreto, como los sólidos para la pintura blanca, que combinan con resinas naturales (aceites desecantes), resinas (asfalto), yema de huevo, clara de huevo (caseína) y ceras (de abeja) para el ligador o adhesivo (vehículo). Entre las más antiguas culturas, la fabricación de pintura era un arte secreto y ésta se usaba principalmente para la decoración. El mismo patrón de desarrollo, uso y fabricación se podría rastrear en Oriente, entre los mayas de Centroamérica, los Incas de Sudamérica y los aztecas de México. Aunque los griegos fueron talvez los primeros en reconocer el valor de la pintura como recubrimiento protector.

Así, la utilización artística de la pintura rigió la historia de ésta hasta cerca de 1700, cuando las otras funciones de la pintura empezaron a adquirir igual o mayor importancia. Desde ese tiempo, estos otros usos, como protección contra la corrosión en metales, impermeabilizante de mampostería, protección de la madera contra la intemperie, mantenimiento de condiciones higiénicas y control de la iluminación, por mencionar solo unos ejemplos, llegaron a constituir las funciones principales de la pintura.

El descubrimiento y uso de pigmentos blancos son casi paralelos al uso de la pintura como recubrimiento protector. El plomo blanco se conocía desde 2500 a.C.; el óxido de zinc se introdujo en Europa en 1840, el sulfato básico de plomo en 1855 y el bióxido de titanio en 1918. Aunque la producción de sustancias sintéticas se inició en 1870 con el plástico y el celuloide, no fue si no después de la Primera Guerra Mundial que se consideró su empleo en las pinturas. En realidad, todo el campo de la pintura y de su aplicación está cambiando constantemente debido al uso de sustancias sintéticas.



### 3. PROCESO DE FABRICACIÓN

No es posible una descripción sencilla de la fabricación de la pintura debido a la inmensa variedad de pinturas que se están produciendo. En la actualidad, el laboratorio es el punto de partida para su fabricación. En él se descubren fórmulas y se someten a severas pruebas de aplicación, uso y manufactura. Cuando una fórmula pasa con éxito las pruebas, en muchos casos se continúa probando en plantas piloto antes de iniciarse la producción a gran escala.

#### 3.1. OPERACIÓN DE MEZCLADO

El proceso real de fabricación se inicia con la mezcla de las materias primas, se seguirá el proceso para pintura de casas. La fórmula de laboratorio da las cantidades de materias primas y la secuencia en que éstas se colocan en la mezcladora. Los ingredientes pueden incluir un vehículo que consiste en varios aceites y barnices, agentes impregnadores y algunas veces solventes y un sólido para pintura blanca consiste en pigmentos blancos y secos, pigmentos colorantes y extendedores. La mezcladora es un recipiente de acero de forma simétrica con un eje vertical a motor al cual se ajustan las hojas; a los lados del recipiente hay hojas estacionarias ajustadas.

El propósito fundamental de la operación de mezclado es distribuir los ingredientes en una pasta uniforme e impregnar lo mejor posible los sólidos para pintura blanca con el vehículo. Después de la mezcladora, la pasta pasa a la operación de pulverización.



*Figura P 1 Maquina de mezclar – Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.2. OPERACIÓN DE PULVERIZACIÓN

Esta operación de dispersión a alta velocidad. Es necesaria por que los pigmentos secos y finos del sólido para pintura, aunque estén finamente pulverizados, tienden a unirse entre sí, formando partículas mayores. La operación de pulverización dispersa estas grandes partículas y hace que se mojen en el vehículo.

#### 3.3. ADELGAZAMIENTO, TEÑIDO Y TAMIZADO

Los últimos pasos son adelgazamiento, teñido y tamizado antes de verter la pintura en recipientes, etiquetarla y enviarla para su uso. La pasta obtenida por la operación de pulverización se tiene que adelgazar para obtener la viscosidad final deseada. Cuando llega en recipientes provenientes de la operación de pulverización, una mezcladora similar a una batidora de huevos se introduce en el recipiente. La fórmula puede necesitar cantidades adicionales de barnices, aceites, adelgazadores, secadores y otros líquidos, pero nunca otros ingredientes secos.

Se agregan estos líquidos y la mezcladora revuelve todo en una masa uniforme adelgazada. En esta etapa se hace la tinción. En la fórmula se especifica aproximadamente la cantidad correcta de tinción de color que se debe agregar, pero pocas veces es el color que se desea exactamente, y de aquí en adelante, se somete a la pintura a revisiones de control de calidad para ajustarla hasta lograr el tono final. Una vez adelgazada y teñida, la pintura se cuela o tamiza y se vierte en latas que se pueden etiquetar y empacar para su venta.

### 3.4. CÓDIGO COLOR

Los fabricantes de pintura usan la avanzada tecnología de computadoras para codificar las pinturas por color y producir catálogos (véase tabla P1 y P2) especiales que actualmente pueden dotar al cliente con una selección de colores casi ilimitada. La mayoría de los proveedores de pintura y tienda de pintura tienen una máquina mezcladora de colores en el cual, después de la selección de un color y su número, se coloca el galón de pintura blanca y se agregan cualesquiera pigmentos necesarios.

**Tabla P1 Código de colores para seguridad**

Color básico	Riesgos físicos o equipo identificado	Áreas de uso sugeridas
Rojo	(1) Equipo y aparatos para protección contra incendio (2) Para indicar “peligro” (3) Para indicar “paro”	(1) Cajas de alarma de incendio, recipientes de arena y agua, extinguidores, hidrantes, posiciones de mangueras, tuberías y válvulas de sistemas de rociado y demás tubería que conduzcan materiales para protección contra fuego o control del mismo. (2) Recipientes líquidos inflamables, barreras en obstrucciones temporales y riesgos posibles en construcciones temporales (3) Barras de paro de emergencia en maquinaria peligrosa, botones de paro de interruptores eléctricos para paro de emergencia
Anaranjado	(1) Partes peligrosas de maquinaria en movimiento (2) Tuberías que conduzcan materiales peligrosos	(1) Interior de guardas móviles; orillas expuestas de rodillo, engranajes y cosas semejantes (2) Tuberías que conduzcan agua caliente o corrosiva, productos inflamables, explosivos o venenosos
Amarillo	(1) Para indicar precaución (2) Tuberías que conduzcan materiales peligrosos	(1) Orillas expuestas o no resguardadas de plataformas, pozos y depresiones; dispositivos o equipos suspendidos de cielos, etc., que llegan hasta áreas de operación normal; pasamanos guardas, los escalones primero y último de escaleras que se necesite precaución; cubiertas interiores de interruptores y cajas de fusibles; borde de las puertas de elevadores que cierren horizontalmente; pasillos con puertas, vigas y tuberías que estén a baja altura; pilares, postes o columnas; avisos de precaución. (2) Tuberías que conduzcan agua caliente o corrosiva, productos inflamables, explosivos o venenosos
Verde	(1) Para indicar “seguridad” (2) Tuberías que conduzcan materiales seguros	(1) Dispensarios de primeros auxilios, botiquines, etc.; tableros de boletines de seguridad, duchas de seguridad, avisos con instrucciones de seguridad, botones de arranque de seguridad. (2) Tuberías que conduzcan agua fría, salmuera, aire, etc.
Azul	(1) Para advertir contra el movimiento o uso de equipo que se esté trabajando durante trabajos de construcción (2) Tuberías que lleven conduit eléctrico	(1) Equipo eléctrico, elevadores, escaleras, otros equipos y partes de andamiaje (2) Tuberías que lleven conducto eléctrico
Púrpura	(1) Riesgo de radiación	(1) Áreas con riesgos de radiación; recipientes que contengan material radiactivo
Negro, blanco o una combinación de éstos	(1) Para indicar áreas despejadas y de tráfico	(1) Extremos cerrados de pasillos, líneas de dirección de escaleras, señales de dirección, ubicación de botes de basura (se emplea en blanco uniforme, negro uniforme, franjas de un solo color, franjas alternadas de negro y blanco o en cuadros blanco y negro, a manera de tablero de damas)

**Fuente: Robert Smith A. - Seguridad Industrial**

**Tabla P2 Código de colores para tuberías**

Color	Clasificación	Lugares de uso
Rojo	Clase F	Tuberías principales, ramales y alimentadores de rociadores
Anaranjado o amarillo	Clase D	Materiales peligrosos; materiales fácilmente inflamables o explosivos, como aceites, combustibles, gasolina o nafta; sustancias químicas corrosivas o tóxicas, tales como ácidos, álcalis y sulfuro de hidrógeno; materiales a altas temperaturas y presiones tales como vapor de agua, agua y aire a alta presión
Colores verdes o acromáticos tales como el blanco, negro, gris o aluminio	Clase S	Materiales seguros que no representen peligro o que representen muy poco peligro para la vida o la propiedad; materiales a presiones y temperaturas bajas que no sean ni tóxicos ni venenosos y que no produzcan fuego o explosiones
Azul brillante	Clase P	Materiales entubados para el propósito expreso de disminuir los riesgos de materiales peligrosos; todos los materiales de protección que no sean contra incendio

**Fuente: Robert Smith A. - Seguridad Industrial**

Las pinturas de colores difieren de las blancas en que absorben selectivamente la luz incidente. La luz refractada (reflejada) da el color. Mientras más oscura sea la pintura, mayor será el poder de cubrimiento (véase tabla P3).

**Tabla P3 Código de colores para tuberías**

Color	Reflexión de la luz (%)
Blanco simple	85-89
Blanco hueso	69-70
Amarillo canario	68-72
Marfil suave	70
Aluminio	70
Crema	65-69
Verde claro	66
Marfil	61-63
Durazno	58-59
Azul cielo	58
Orquídea claro	57
Ante	47
Verde Chicharo	40
Canela	34
Azul pavo real	34
Gris acero	30
Café	9

**Fuente: Robert Smith A. - Seguridad Industrial**

#### 4. CLASES DE PINTURA

Las pinturas se denominan, generalmente, por la naturaleza del aglutinante o vehículo y también por el nombre del pigmento; las más corrientes son: pinturas a la cal, silicato, fresco, cola o temple, al aceite u óleo, cera, asfálticas y celulósicas.

#### **4.1. PINTURAS A LA CAL**

La pintura corriente a la cal, está formada por una lechada de cal grasa o con pigmentos en proporción no mayor de 10 a 15 %. Se emplean lechadas claras, dándose, por lo menos, dos manos cruzadas, con brochas grandes de blanquear o aerógrafo. Si el hidrato está en exceso, se agrieta y descascara.

Cuando se desea obtener un blanqueado de mejor calidad se emplean pigmentos especialmente preparados, denominados a la cal, añadiéndoles agua de cola, etc.

#### **4.2. PINTURAS AL FRESCO**

Se ejecuta sobre enlucidos convenientemente preparados y sin secar empleando colores a la cal puestos en suspensión en vehículos o aglutinantes.

Las superficies a pintar al fresco se preparan con un primer enlucido hecho con mortero de cal hidráulica o cal grasa y puzolana y arena silíceas en la proporción de 1 : 3 y cuando ha fraguado, se aplica otro enlucido formado por una parte de cal grasa apagada en polvo y dos partes de arena silícea fina y consistencia plástica. Cuando este segundo enlucido ha empezado a endurecerse de forma que resista una ligera presión con los dedos, se aplica la pintura estando todavía fresco el mortero formando, al secar, un solo cuerpo.

#### **4.3. PINTURA AL SILICATO**

El vehículo de esta pintura es el silicato potásico o sódico (vidrio soluble) en disolución acuosa a partes iguales, pudiéndose emplear todos los colores o pigmentos menos los de plomo. Las manos sucesivas deberán ser más ricas en silicato, pero teniendo la precaución de que no se formen superficies brillantes porque se descascaran, debiendo ser disueltas con agua antes de que se seque o fragüe. Estas pinturas, a las veinticuatro horas son insolubles en agua.

#### **4.4. PINTURA A LA COLA O TEMPLE**

Sólo se aplica en interiores y en especial para decoración de paredes y techos enlucidos de yeso. Las primeras manos de imprimación se dan con agua de cola caliente ligeramente teñida y luego la de color, teniendo presente que al secar esta pintura baja mucho de tono; que si tiene exceso de cola, se descascara, y se desprende en forma de polvo; apreciando fácilmente si tiene la cantidad precisa de cola, pintando un trozo y pasando la mano no debe desprenderse. Esta aplicación de la pintura se simplifica usando pinturas al temple en pasta, que ya llevan la cola, y para su empleo sólo hay que añadir la cantidad de agua necesaria, debiendo haber aplicado una mano a la superficie a pintar con cola vegetal.

#### **4.5. PINTURA AL ÓLEO**

Son las pinturas que se preparan con aceites vegetales como vehículo o aglutinante, siendo el más usado el de linaza. Para diluir se utiliza aguarrás, y como pigmento o colores, aquéllos más convenientes según el objeto a cubrir. Las primeras manos de imprimación, tanto para interiores

como para exteriores, se suelen diluir con aguarrás, pero las finales, para exteriores, deberán ser tan sólo con aceite de linaza puro sin diluir.

En las maderas deberán ser pintados previamente los nudos con una disolución de goma laca en alcohol, o se pegarán papeles de estaño con goma laca para evitar salga la resina con el calor. Los hierros deberán desoxidarse y desengrasar y dar una primera mano de imprimación.

#### **4.6. PINTURAS AL BARNIZ O ESMALTE**

Cuando se emplea el barniz como vehículo, y en el que se ponen en suspensión los colores. Las primeras manos se diluyen con aguarrás, y en la última, sólo barniz. Se mejora mucho esta pintura puliendo cada mano con lija fina.

#### **4.7. PINTURAS BITUMINOSAS O ASFÁLTICAS**

Las superficies recubiertas con esta pintura quedan muy brillantes, pudiendo obtenerse mates agregando negro de humo. Es una de las mejores pinturas protectoras de la oxidación del hierro y fundición, por su resistencia al agua, conservándose bien en ausencia de luz y enterradas, como las tuberías de agua y gas, esclusas, etc, y son incompatibles con las de óleo y cola.

#### **4.8. PINTURAS A LA CELULOSA O AL "DUCO"**

Son suspensiones coloidales de éteres celulósicos (nitrocelulosa o acetilcelulosa) en líquidos muy volátiles, y los que se agregan sustancias plastificantes, resinas y pigmentos, para darle flexibilidad, brillo, adherencia, dureza y color.

Las pinturas celulósicas para madera no se pueden aplicar directamente por absorber rápidamente los líquidos volátiles, debiendo ser preparada con una masilla tapaporos basado en barnices transparentes celulósicos, conteniendo algo de aceites vegetales y colas, alisándose después la superficie con lija. La primera mano se da con pintura rica en resina, y las sucesivas menos, debiéndose alisar y pulir cada aplicación antes de la siguiente. Un gran brillo se consigue aplicando una última mano de barniz basado en aceite.

La madera deberá estar bien seca, para evitar su movimiento, siendo la de haya y caoba las que dan mejores resultados.

Estas pinturas se aplican con pincel o con aerófogos o pistola de aire comprimido. Las pinturas celulósicas para metales ofrecen dificultad para adherirse a superficies lisas; hay que empezar por desengrasar con benzol y aplicar la primera mano adherente basado en barnices al aceite; y se aplica después una serie de manos de empastes y esmaltes pulidos, disminuyéndose la proporción de resinas en las sucesivas capas.

Estas pinturas se caracterizan por ser insolubles en agua, elásticas, pudiendo resistir golpes hasta cierto punto; son duras y brillantes, resistentes a los ácidos y bases y tienen gran poder aislante. Si se les agrega como pigmento bronce de aluminio del 10 al 30 por 100, se obtienen unas pinturas muy ligeras, cubridoras y tienen gran poder reflejante, empleándose en construcciones metálicas, reflectores y radiadores.

#### **4.9. PINTURAS RESISTENTES AL CALOR O IGNÍFUGAS**

Se preparan pinturas que pueden resistir hasta 600 °C., empleando como pigmento polvo de aluminio o grafito y vehículos basado en aceites minerales, que con el calor se queman más o menos, y el pigmento se une sólidamente al soporte. Se emplean también cuerpos amónicos que, por la acción del calor, desprenden amoníaco gaseoso, formando una capa aislante y ácido bórico, fosfato y silicato, que dan una costra incombustible.

Modernamente se preparan pinturas con caucho clorado y resinas de urea, que resisten el fuego de las bombas incendiarias. Las siliconas se emplean en forma de barnices aislantes del fuego, en electrotecnia, por resistir permanentemente temperaturas de 175° C y accidentalmente hasta los 250 °C.

#### **4.10. PINTURAS RESISTENTES A LOS ÁCIDOS Y BASES**

Se fabrican con aceite de madera y 30 a 40 % de resinas sintéticas.

#### **4.11. PINTURAS ANTIOXIDANTES**

Son las que se emplean para proteger el hierro de la oxidación. Corrientemente se preparan con minio de plomo en proporción de un 50 a 80 %, y aceite de linaza cocido o aceite de madera, aplicados por extensión con brocha como primera mano de imprimación, y después se aplican las otras manos o capas de color.

Modernamente se emplean, con muy buen resultado, las pinturas a base de resinas alquídicas, por ser muy adherentes, y en las que entra en su constitución el caucho clorado.

#### **4.12. PINTURAS LUMINOSAS**

Comprenden los siguientes tipos reflejantes, fosforescentes y fluorescentes.

- Pinturas reflejantes: Son las constituidas por perlas de vidrio de pequeño diámetro, pegadas con un adhesivo y lanzadas con soplete sobre una superficie.
- Pinturas fosforescentes: Son las que, expuestas a la luz visible siguen luminosas en la oscuridad, debido a que devuelven la luz absorbida anteriormente, estando constituidas por pigmentos radiactivos generalmente el bromuro de sodio y sulfuro de cinc.
- Pinturas fluorescentes: Emiten luz bajo la acción directa de radiaciones invisibles, como los rayos ultravioleta (luz negra), rayos X, como las pantallas de radiografía y tubos de alumbrado, y la iluminación cesa cuando lo hace la energía excitadora.

#### **4.13. PINTURAS PLÁSTICAS**

Están constituidas por una emulsión acuosa de resinas o materias plásticas que secan por polimerización y de pigmentos inalterables a la luz dispersados en ella.

Se caracterizan por su gran poder cubridor, aun en paramentos húmedos, lavables; una vez secas, dan bellos tonos mates o satinados, que no cambian con el tiempo y son de gran duración.

## **5. TÉCNICA DE LA PINTURA**

### **5.1. PREPARACIÓN DEL SOPORTE**

La superficie que se va a pintar debe estar seca, desengrasada, sin óxido ni polvo, para lo cual se emplean cepillos, sopletes de arena, ácidos y álcalis cuando son metales. Las capas de pintura vieja se quitan mediante rascadores, sopletes y líquidos decapantes, a base de disolventes orgánicos, como benzol, sulfuro de carbono, acetona, etc.

Los poros, grietas, desconchados, etc, se rellenan con empastes para dejar las superficies lisas y uniformes. Se hacen con un pigmento mineral y aceite de linaza o barniz y un cuerpo de relleno, para las maderas. En los paneles se emplea yeso con agua de cola, y sobre los metales se utilizan empastes compuestos de 60 a 70% de pigmento. Se emplean también empastes a base de nitrocelulosa.

Los empastes se aplican con espátula, en forma de masilla; con brocha o pincel y con el aerógrafo o pistola de aire comprimido, los líquidos. Los empastes, una vez secos, se repasan con papel de lija en paredes y madera, y alisan con piedra pómez, agua y fieltro, sobre metales.

### **5.2. IMPRIMACIONES**

La primera mano de pintura que se da a un cuerpo debe ser muy adherente, con objeto de lograr, además de su protección, la de servir de soporte a las restantes manos de color.

Su naturaleza varía con la clase de pintura, estando casi siempre compuestas del vehículo o aglutinante, ligeramente coloreado con el pigmento y un diluyente. Con pinturas al temple se emplea agua de cola y con pinturas al óleo, aceite de linaza y aguarrás.

### **5.3. APLICACIÓN DE LA PINTURA**

Las pinturas se dan con pinceles y brochas, con aerógrafo pistola, pulverizando con aire comprimido, con rodillos de goma y por inmersión.

Las brochas y pinceles se hacen con pelos de diversos animales, siendo corrientes el cerdo. Pueden ser redondas o planas, clasificándose por números o por los gramos de pelo que contienen. Modernamente se hacen de materias plásticas como el nylon.

Los aerógrafos o pistolas constan de un recipiente que contiene la pintura con el aire a presión (1-6 atmósferas) el compresor y el pulverizador, con orificio que varía desde 0.2 mm a 7 mm, formándose un cono de 2 cm a 1 m de diámetro.

#### **5.4. SECADO**

Las pinturas se secan generalmente al aire con mayor o menor rapidez, según el clima, aireación y clase. Las pinturas celulósicas tardan desde treinta a sesenta minutos, las pinturas a la cola y aguada, unas ocho a diez horas; los barnices grasos y las pinturas al óleo, doce a veinticuatro horas.

Los barnices para metales se pueden secar en estufas calentadas a 100 - 200°C, preparándolos más grasos que los aéreos, con lo cual se alcanzan mayores resistencias.

#### **5.5. BRUÑIDO**

Se practica para dejar rugosas las superficies y hacer desaparecer las desigualdades con objeto de que tengan más adherencia las siguientes manos de pintura. Se hace con papel de lija, piedra pómez y con aceite, papel de vidrio y agua.

#### **5.6. PULIMENTO**

La madera se pulimenta con barniz de goma laca en disolución alcohólica extendiéndose en capas delgadas con una muñequilla a la que se agrega unas gotas de aceite de pulir (aceite de parafina).

Los metales se pulimentan después de haber sido esmerilados ligeramente con pasta de pulir, y se pulimenta con mezclas especiales a base de aceite, disolventes, agua, etc, con lo que se consigue adquieran un gran brillo.

#### **5.7. CONSUMO DE COLOR**

Varía con la clase de pintura, soporte, densidad, aplicación, poder de cubrición del pigmento, etc. En números redondos, se pueden tomar aproximadamente: 70 a 150 gr./m<sup>2</sup>, para la pintura a la cola; 80 a 100 gr./m<sup>2</sup>, para la pintura al óleo; 90 a 110 gr./m<sup>2</sup>, para los barnices – lacas y 150 a 200 gr./m<sup>2</sup>, para las pinturas celulósicas.

#### **5.8. DURACIÓN**

Tiene mucha influencia el número de manos, constitución de la pintura, medio, clima, etc., no pudiendo darse con aproximación. Para los elementos ferrosos a la intemperie se exige una duración de cinco a diez años, que se logra más o menos. Las pinturas celulósicas duran de dos a cuatro años.



**Tabla P4 Tipos de recubrimientos orgánicos (pinturas) y método de aplicación en obra**

Tipo de pintura	Dónde se usa	Cómo se aplica
Acabados transparentes	Superficies de madera en interior y exterior	Brocha, atomizador, rodillo
Acabados transparentes para pisos	Pisos de madera interiores	Brocha, atomizador, rodillo
A prueba de agua	Muros interiores o exteriores bajo el nivel del terreno (no se usa cuando hay presión hidrostática)	Brocha, atomizador, llana, escobillado
A prueba de humedad	Concreto o mampostería interior y exterior sobre o bajo el nivel del terreno	Brocha, atomizador, llana, escobillado
Compuestos rellenadores	Sellador de uniones exteriores entre materiales	Pistola de relleno
Esmaltes	Guarniciones, puertas, ventanas, etc., y áreas húmedas y de cocina	Brocha, atomizador, rodillo
Intumescente	Metales, madera y materiales inflamables	Brocha, atomizador
Lacas	Gabinets de madera y materiales inflamables	Brocha, atomizador
Luten o mástique	Relleno de agujero pequeño en madera	A mano, llana pequeña
Pinturas asfálticas	Muros de mampostería y concreto; hierro y acero	Brocha, escobilla
Pintura inhibidores de herrumbre	Metales ferrosos en exterior e interior	Brocha, atomizador, rodillo
Pinturas lisas	Muros y plafones interiores	Brocha, atomizador, rodillo
Pinturas metálicas	Como capa base o acabado protector o como reflejante solar en interior y exterior	Brocha, atomizador
Pinturas multicolores	Muros interiores	Atomizador, brocha
Pinturas para casas	Estructuras interiores acabados en madera	Brocha, atomizador, rodillo
Pintura para mampostería	Superficies exteriores e interiores de concreto, mampostería, estuco o cemento	Brocha, atomizador, rodillo
Pinturas para piso de cemento	Pisos de cemento interiores	Brocha, atomizador
Pinturas para pórticos y guarniciones	Guarniciones, puertas, ventanas, molduras, etc., exteriores	Brocha, rodillo
Repelentes del agua	Concreto, mampostería, etc., exterior sobre el nivel del terreno	Atomizador, brocha, rodillo
Resanadores	Para rellenar grietas, hoyos y poros de la madera	Brocha, a mano, llana pequeña
Resistente al fuego y a la flama	Áreas interiores de la madera, vistas, ventanas, etc.	Brocha, atomizador, rodillo
Tintas	Madera interior y exterior	Brocha, tela, esponja
Tintas para tejas o ripios	Tejados y cubiertas laterales de madera en exterior	Brocha, tela, esponja, atomizador

**Fuente: Guía técnica de Productos Monopol**

## 6. MEJORAMIENTO QUÍMICO DE LAS SUPERFICIES

Las distintas clases de recubrimientos se aplican a una superficie o sustrato para producir un sistema de pintura que consta de:

- a) sustrato
- b) pintura de imprimación o *primer* (directamente en contacto con la superficie)
- c) capa inferior
- d) capa superior o final de pintura

El resultado final, dependerá de la adherencia entre sí de las distintas capas, las propiedades individuales de estas y la cadena del eslabón más débil. Este eslabón débil suele ser la unión sustrato-primer, o el propio sustrato. De ahí la necesidad de estudiar la superficie antes de pintarla, ya que suele ser recomendable o necesaria la utilización de algún tratamiento físico (cepillado y lijado en la madera desengrasado y limpieza por chorro de arena del acero, y el llenado y sellado de superficies porosas o dañadas) químico, para mejorar el resultado del pintado posterior.

Estos tratamientos están encaminados a mejorar el sustrato o evitar la degradación del mismo, debido a que su fabricación ha podido ser defectuosa ; ser un material muy poroso o abollado ; e incluso ser deteriorado durante el almacenamiento. A continuación explicaremos las distintas mejoras, desde el pto. de vista químico, para conseguir en las superficies plásticas una mejor adhesión de la pintura, la protección de la madera contra la biodegradación y la protección de los metales contra la corrosión.

### 6.1. SUPERFICIES PLÁSTICAS

En general los plásticos, una vez limpiada su superficie no presentan problemas de adhesión de la pintura. Como excepciones se encuentran el polietileno y el polipropileno, que son polímeros que presentan superficies de baja energía, difíciles de mojar y donde los disolventes penetran con dificultad. Además la capa superficial del plástico es muy débil y la pintura al adherirse la levantará y separará del resto.

La solución pasa por modificar la superficie del plástico, reticulando esa capa débil con el resto del plástico y provocando su oxidación, de manera que aumenta su energía superficial.

Tipos de tratamientos:

- **Descarga en corona**

La película de plástico pasa sobre un rodillo de metal aislado, que esta puesto a tierra y situado por debajo de un electrodo de barra. Por el electrodo pasa una corriente alterna que oscila a una alta frecuencia y voltaje. Desde el electrodo hay una descarga continua hacia la película plástica y hacia el rodillo con toma de tierra, produciéndose un plasma (gas) en el que sus moléculas se rompen en átomos, radicales libres, iones, electrones y fotones. Estas partículas reactivas impactan sobre la superficie oxidándola y rompiendo

los enlaces C-H y C-C. Las recombinaciones subsiguientes de los radicales libres C· reticulan la débil capa en el resto del polímero. Estos cambios repercutirán aumentando la tensión superficial crítica del plástico. Esta superficie ya es más mojabable por las pinturas, debido también a las fuertes atracciones que surgen entre pintura y plástico.

- **Tratamiento por llama**

En este método se pone en contacto la porción oxidante de la llama con la superficie plástica brevemente. La  $T^a$  de la llama es alta y la llama es un plasma. Así el plástico es modificado por oxidación por el plasma, y por recombinación de los radicales libres del polímero con los del plasma.

Aunque estas son las técnicas más utilizadas, vale cualquier sistema de oxidación de la superficie, como el tratamiento con : ácidos oxidantes, halógenos, o con fotoiniciadores irradiados con luz UV.

## **6.2. PROTECCIÓN DE LA MADERA**

La madera esta expuesta más que cualquier otra superficie, a bacterias y a las esporas de los hongos. Los hongos que más daño causan a la madera son : los miembros de la familia basidiomicetos, los ascomicetos y los deuteromicetos. Aparte de estos que producen una degradación estructural, otros muchos manchan la superficie de la madera, provocando una fuerte depreciación de la madera.

Incluso las maderas que parecen totalmente sanas, seguro que tienen esporas en la superficie, que pueden haber penetrado hasta células por debajo de ella. Se puede evitar que los hongos ataquen a la madera si la tratamos químicamente y si mantenemos bajo su contenido en humedad (los hongos que provocan la podredumbre son activos cuando la humedad de la madera supera el 20%). Estos tratamientos se pueden hacer en disolventes o en medio acuoso, pero para conseguir óptimos resultados se deben aplicar en la fábrica con equipos especiales.

Productos activos contra los mohos : pentaclorofenol, óxido de tributiltina y naftenatos de cobre y zinc (en dtes.) ; y mezclas de sulfato de cobre, dicromato sódico o potásico, y pentóxido de arsénico hidratado (en agua).

## **6.3. PROTECCIÓN DE LOS METALES CONTRA LA CORROSIÓN**

La corrosión es la conversión de un metal a su forma hidratada de óxido. La superficie del hierro nunca es uniforme y si entra en contacto con una delgada capa de electrolito acuoso, pequeños desequilibrios eléctricos de un sitio a otro conducirán a la formación de una célula electrolítica. Dentro del metal, los electrones fluyen desde los puntos anódicos a los catódicos, y dentro del electrolito los iones migratorios se encuentran para formar hidróxido ferroso soluble, cuando hay presente oxígeno suficiente, hay una oxidación hasta producir óxido férrico insoluble. Vemos que la corrosión (disolución de un metal), es un proceso electroquímico que requiere un etapa adicional de oxidación. Si el producto final de la corrosión puede formar una capa impermeable, insoluble y fuertemente adherida a la superficie del metal, la corrosión decrecerá.

Técnicas para inhibir la corrosión:

- Mantener la superficie seca, para que no se pueda formar sobre ella ningún electrolito conductor.
- Eliminar áreas catódicas de oxígeno.
- Formar una película impermeable a los electrones en los puntos catódicos.
- Formar una película impermeable a los cationes metálicos en los pto. anódicos.

No existe pintura alguna que sea completamente impermeable al agua o al oxígeno, por ello es necesario incluir en la pintura pigmentos anticorrosivos, o aplicar un tratamiento químico inorgánico antes de pintar, o ambas. Estos pretratamientos químicos inorgánicos, también llamados capas de transformación, se emplean para:

- Pasivar la superficie formando sobre ella una capa relativamente estable, fuertemente adherida que inhibe la corrosión.
- Preparar la superficie para que la capa de pintura posterior se adhiera a ella sin problemas.
- Las capas de transformación, son delgadas y se estropean con facilidad. Las posteriores capas de pintura las protegen, y si contienen pigmentos de inhibición evitan los posibles daños.

Algunos de los pretratamientos más utilizados son el cromado del aluminio y el fosfatado del hierro.

#### **6.4. PINTURAS RESISTENTES AL FUEGO Y A LA FLAMA**

Estas pinturas son de dos tipos: **1)** Las que no permiten la combustión y por tanto impiden la propagación de la flama, y **2)** Las que no solo impiden la combustión si no se dilatan y detienen la transmisión del calor a los materiales combustibles. Por definición, el segundo tipo se denomina pintura intumescente. Los materiales pintados con este tipo, en realidad crean una zona a prueba de fuego cuando los afecta el calor.

Los recubrimientos intumescentes se obtienen con una clasificación de su comportamiento ante el fuego, aprobada por Underwriter's Laboratories Inc. Las clasificaciones de fuego se basan en el número de capas de pintura intumescente. Estos recubrimientos alcanzan una clasificación de hasta 2 horas de resistencia al fuego, sobre acero estructural y proporcionan una protección tipo A a madera y madera laminada. También se puede obtener un recubrimiento intumescente para aspersión, con una clasificación de hasta 4 horas para acero estructural a prueba de fuego.

Cuando se contempla el uso de la pintura intumescente, debe consultarse a los fabricantes de pintura, revisar los códigos ambientales y locales contra incendio y revisar cómo y por quién va a aplicarse la pintura intumescente. Los tipos de pintura resistentes al fuego, a la flama y a prueba de fuego deben aplicarse por pintores que hayan sido aprobados por los fabricantes. Siempre debe revisarse la clasificación del comportamiento ante el fuego y la instalación aprobada de cada uno de estos tipos de pintura.

## 6.5. PINTURAS RESISTENTES A LOS HONGOS, ANTIBACTERIANAS Y CONTRA INSECTOS

La mayoría de las pinturas se pueden hacer resistentes a hongos, pudrición e insectos, si se les agrega ingredientes contrarrestantes. Se pueden obtener agentes bacterianos para pinturas, pero tienen las mismas características y propiedades que las utilizadas para hongos, pudrición e insectos.

## 6.6. RECUBRIMIENTO TRANSPARENTES

Por lo general estos no tienen la durabilidad de los recubrimientos pigmentados en uso exterior y se usan principalmente para embellecer y proteger superficies sin oscurecer su apariencia natural. Usualmente el barniz es una combinación de aceites desecantes y resinas fortificadas, ya sea naturales o sintéticas, que secan debida a la acción química inducida por secamiento por aire u horneado, y por la evaporación del disolvente seguida por la oxidación y la polimerización de las resinas y los aceites desecantes. Los disolventes comunes para barniz son la trementina y extractos minerales. El barniz no sólo se usa como recubrimiento transparente si no también en gran medida como vehículo para pinturas de color, a fin de obtener secado rápido y una superficie tersa. Los tipos de aceites y resinas y la relación aceite-resina con los factores que controlan las propiedades del barniz. Los aceites contribuyen a dar elasticidad y las resinas a la dureza de la película terminada.

El barniz que se usa como vehículo para muchas de las pinturas pigmentadas, excepto en pinturas para exteriores de casas, se formula para determinar el uso final de la pintura. Lo usan y manejan casi exclusivamente los fabricantes de pinturas.

La palabra ***laca*** se aplica con frecuencia a cualquier recubrimiento que seca rápidamente y sólo por evaporación del disolvente. Una laca verdadera contiene nitrocelulosa como ingrediente básico no volátil que se caracteriza por su secado rápido y olor distintivo, con resinas, plastificadores y aceites secadores agregados solamente par mejorar la adhesión y elasticidad (flexibilidad) de la película. El término laca también incluye cualquier compuesto transparente que seca al aire o de tipo horneado cuya base por lo general es nitrocelulosa o resinas celulosas modificadas. Los plastificadores sólo mejoran la flexibilidad de la película de laca y son aceites tratados especialmente, o bien, compuestos químicos como el aceite ricino soplado o ftalto bibutílico. Los disolventes para lacas son ciertos acetatos, acetonas y alcoholes. Secan de 5 a 15 minutos y endurecen la película de media hora a cuatro horas.

Existen lacas transparentes o pigmentadas y por lo común se aplican por baño en pequeños objetos o por aspersión. La película es dura y delgada, pero no es tan durable cuando se expone al sol y a la humedad, como la que forman los barnices de alta graduación.

El barniz de ***gomalaca*** es una solución de resina de laca refinada en alcohol desnaturalizado que actúa más como laca que como barniz, ya que seca rápidamente por evaporación del alcohol. Se obtiene en color blanco (blanqueado) y en gran gama de anaranjados. Se suministra “pedazos”, es decir, la relación de libras (kilogramos) de resina para un galón (1litro) de alcohol. Los pedazos de 4, 4.5 y 5, abarcan las consistencias de gomalacas ligera, mediana y espesa, que son las de uso más común. La gomalaca se usa para obtener un acabado transparente en trabajos de

madera, para sellar nudos y manchas de resina en la madera antes de pintarla, y para sellar recubrimientos bituminosos antes de aplicar las pinturas pigmentadas. La gomalaca no se debe mantener más de seis meses en forma líquida.

Actualmente se produce gomalaca sintética de resinas naturales, hule de nitrilo, o de una mezcla de resina natural con hule de nitrilo o con resinas sintéticas modificadas, suministradas así substitutos de la gomalaca.

## PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO “PINTURAS”

### 1. INTRODUCCIÓN

Son mezclas líquidas, generalmente coloreadas, que, aplicadas por extensión, pulverización o inmersión, forman una

### 2. TOMA DE LA MUESTRA

Se agitará previamente la pintura con una varilla o agitador, para homogeneizarlas lo más posible, y si hay varios recipientes, se tomará de algunos de ellos, al azar, para obtener una muestra media.

### 3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

#### 3.1. RESUMEN

El método se basa en calibrar el volumen de un recipiente con agua destilada a 25°C, o a una temperatura previamente convenida, y pesar el contenido de pintura líquida contenido en el recipiente a la misma temperatura de calibración. La densidad se calcula en gramos por mililitro a la temperatura especificada.

#### 3.2. APARATOS

- Picnómetro, de cualquier tipo, con una capacidad de 20 a 100 ml. Su diseño debe ser tal que permita llenarlo fácilmente con productos de alta viscosidad, ajustarlo al volumen exacto y taparlo para evitar la pérdida de materias volátiles.
- Termómetros, graduados con una sensibilidad de 0.1°C.
- Baño de temperatura constante, regulable a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- Balanza analítica.

Nota: Los picnómetros especializados, cuando están llenos, pueden tener masas que excedan la capacidad de las balanzas analíticas comunes. En tales casos, se puede usar una balanza de mayor capacidad, con escala graduada al 0.01 gr. El promedio de los resultados de esta balanza tiene la precisión y exactitud necesarias.

- Desecador y balanza provista de un desecador

#### 3.3. CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

Determinar el volumen del recipiente a la temperatura especificada según se indica a continuación.

Limpiar y secar el recipiente y llevarlo hasta masa constante. Para recipientes de vidrio puede usarse ácido crómico o solventes no residuales y para recipientes de metal pueden usarse solventes. Repetir estas operaciones hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas no exceda en 0,001% de la masa del recipiente. Deben evitarse las impresiones de los dedos sobre el recipiente puesto que ello hace variar su masa. Registrar la masa, **M**, en gramos.

Llenar el recipiente con agua destilada recién hervida, a una temperatura levemente inferior a la especificada y tapar el recipiente dejando abierto el orificio de rebalse.

Retirar inmediatamente el exceso de agua o el agua acumulada en las depresiones lavando con acetona o alcohol etílico y secando con un material absorbente. Evitar que queden burbujas de aire ocluidas dentro del recipiente.

Llevar el recipiente y su contenido a la temperatura especificada usando el baño de temperatura constante. Esto puede producir un leve flujo de agua en el orificio de rebalse debido a la expansión del agua producida con el aumento de temperatura. Eliminar el flujo de agua secando cuidadosamente con un material absorbente, evitando absorber agua a través del orificio, e inmediatamente tapar el tubo de rebalse cuando éste exista y si es necesario secar el lado exterior del recipiente.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, no se debe eliminar el agua que rebalse después de la primera limpieza. Pesar inmediatamente el recipiente lleno y registrar la masa, **m**, en gramos con aproximación a 1 mg.

### 3.4. PROCEDIMIENTO

Homogeneizar completamente la muestra. repetir los pasos señalados en la sección c, sustituyendo el agua destilada por la muestra y la acetona o alcohol etílico por un disolvente apropiado, lavando cuidadosamente las superficies esmeriladas y uniones. Registrar la masa **m1**, del recipiente lleno y la masa, **m'**, del recipiente vacío, en gramos.

### 3.5. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

#### a) Cálculo del volumen del recipiente

Calcular el volumen del recipiente, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$V = \frac{m - M}{\rho}$$

Donde:

V : Volumen, ml, del recipiente, debe ser el promedio de tres determinaciones, como mínimo.

M : Masa, gr, del recipiente y el agua.

m : Masa, gr, del recipiente seco.

$\rho$  : Densidad absoluta del agua, gr/ml, a la temperatura de ensayo, de acuerdo a la tabla P 3.5



**Tabla P5 Densidad absoluta del agua, gr/ml.**

Temperatura ,°C	Densidad Absoluta, gr/ml
15	0,999 127
16	0,998 971
17	0,998 772
18	0,998 623
19	0,998 433
20	0,998 231
21	0,998 020
22	0,997 798
23	0,997 566
24	0,997 324
25	0,997 072
26	0,996 811
27	0,996 540
28	0,996 260
29	0,996 972
30	0,995 684

**Fuente: Mecánica de los Fluidos – Schaum****b) Cálculo de la densidad de la muestra:**

Calcular la densidad de la muestra, gr/ml, de acuerdo a la expresión:

$$\rho = \frac{m1 - m'}{V}$$

Donde:

$\rho$  : Densidad, gr/ml, de la muestra.

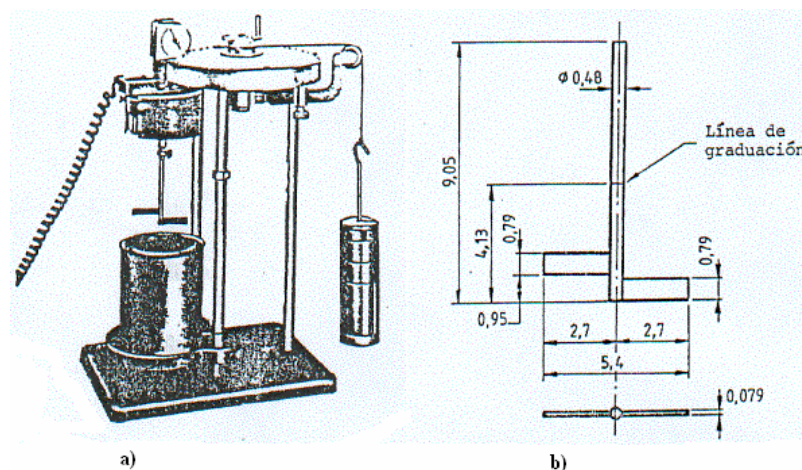
$m1$  : Masa, gr, del recipiente lleno.

$m'$  : Masa, gr, del recipiente vacío.

**4. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO STORMER****4.1. RESUMEN**

El método se basa en determinar la carga en gramos necesaria para producir una velocidad de 200 r.p.m. en un motor de paleta sumergido en el producto.

## 4.2. APARATOS



**Figura P 2 a) Viscosímetro Stormer con rotor de paleta y contador estroboscópico b) Rotor tipo paleta**

- Viscosímetro Stormer, con motor del tipo paleta y un estroboscopio, según se indica en las figuras 3.39 y 3.40. El instrumento puede usarse sin el estroboscopio, pero esto implica una velocidad y exactitud menores. El contador estroboscópico entrega una lectura directa de las 200 r.p.m.
- Recipiente, de 500 ml de capacidad y de 85 mm de diámetro.
- Termómetro, con escala de 20°C a 70°C, graduado cada 2°C.
- Cronómetro, capaz de medir hasta 0,2 seg.
- Juego de pesas, que cubran el rango entre 5 y 100 gr.

## 4.3. REACTIVOS

Dos aceites patrones, calibrados con respecto a su viscosidad absoluta, y que estén en el rango de viscosidad de la muestra. Estos aceites deben tener una diferencia mínima de viscosidad de 0,5 Pa x s.

Nota: El rango normal del viscosímetro Stormer es cubierto por aceites que tengan viscosidades de Pa x s (70 UK), Pa x s (85 UK) y 1,4 Pa x s (95 UK).

Como aceites patrones son apropiados los aceites de silicona, hidrocarburo, semilla de linaza. Estos aceites pueden ser calibrados con cualquier aparato que mida la viscosidad absoluta.

Asignarle a cada aceite un valor de carga necesaria para producir 200 r.p.m., convirtiendo sus valores de viscosidad en Pa x s, a la carga en gramos, mediante la siguiente formula:

$$C = \frac{61\eta + 906.6\rho}{30}$$

Donde:

C : Carga de aceite, gramos, necesaria para producir 200 r.p.m.

$\eta$  : Viscosidad del aceite, Pa x s.

$\rho$  : Densidad del aceite, gr/ml

#### 4.4. CALIBRACIÓN DEL APARATO

Sacar del viscosímetro el rotor y el portapesas. Asegurarse que la cuerda esté enrollada en forma pareja en el carrete y no se sobreponga a si misma.

Colocar en la cuerda una masa de 5 gr y soltar el freno. El viscosímetro puede usarse satisfactoriamente si inicia la carrera desde este punto muerto y continúa haciéndolo por varias revoluciones del carrete. Si el instrumento no es capaz de iniciar la carrera sin ayuda al agregar la masa de 5 gr, debe ser reacondicionado antes de su uso.

Revisar que las dimensiones del rotor tipo paleta estén dentro de  $\pm 0,01$  cm de las dimensiones indicadas en la figura 3.40.

Seleccionar dos aceites patrones que tengan valores de carga para producir 200 r.p.m. dentro del rango de los valores esperados para la muestra. Ajustar la temperatura de los aceites patrones y del aparato a  $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$ . Si no se puede obtener la temperatura especificada, registrar la temperatura del aceite, con una aproximación de  $0,2^\circ\text{C}$ , al comienzo y al final del ensayo.

Determinar la carga en gramos necesaria para producir 200 r.p.m. con cada uno de los aceites, usando el procedimiento A, o el procedimiento B mas adelante descritos. El aparato Stormer está calibrado en forma satisfactoria si la carga medida, corregida si es necesario con respecto a la temperatura, cae dentro de un rango de  $\pm 15\%$  de los valores de carga asignados a los aceites.

#### 4.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Homogeneizar completamente la muestra y vaciarla en el recipiente de 500 ml, llenándolo hasta 20 ml del borde. Llevar la muestra a una temperatura de  $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$  y mantenerla a dicha temperatura durante el ensayo. La temperatura del aparato Stormer debe ser la misma. Si no puede obtenerse la temperatura especificada, registrar la temperatura de la muestra, con una aproximación de  $0,2^\circ\text{C}$ , al comienzo y al final del ensayo.

Cuando se haya alcanzado la temperatura de equilibrio de la muestra, agitarla vigorosamente teniendo cuidado de evitar la oclusión de aire y colocar inmediatamente el recipiente en la plataforma del viscosímetro de manera tal que el rotor tipo paleta quede sumergido en el material hasta la marca indicada en el eje del rotor.

#### 4.6. PROCEDIMIENTO A – SIN ESTROBOSCOPIO.

Colocar pesas en el soporte del viscosímetro y determinar la carga que produce 100 revoluciones en el rango de 25 a 35 seg. A partir del valor obtenido, seleccionar dos cargas que den dos lecturas diferentes (tiempo necesario para dar 100 revoluciones) dentro del rango de 27 a 33 seg. Empezar a contar el tiempo después de que el rotor haya dado por lo menos 10 revoluciones. Repetir las mediciones, hasta que se obtengan como mínimo dos lecturas para cada carga que estén en un rango de 0,5 seg.

#### 4.7. PROCEDIMIENTO B – CON ESTROBOSCOPIO

Conectar el circuito de la lámpara a un circuito de corriente alterna correspondiente al voltaje señalado por el fabricante. Colocar pesas en el soporte del viscosímetro y determinar la carga que produce 100 revoluciones en el rango de 25 a 35 seg. A partir del valor obtenido, seleccionar, con una aproximación de 5 gr, un peso necesario para producir 200 r.p.m., en el contador del estroboscopio, punto en el cual las líneas parecen estar estacionarias (Figura P4.8).

En el caso de que las líneas se muevan en la dirección de la rotación de las paletas, la velocidad es mayor que 200 r.p.m., debiendo entonces quitarse pesas del soporte. En forma inversa, cuando las líneas se muevan en dirección opuesta a la rotación de las paletas, la velocidad es menor que 200 r.p.m., debiendo entonces agregarse peso al soporte.

Repetir las determinaciones, hasta obtener valores de cargas dentro del rango de 5 gr.

#### 4.8. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Procedimiento A: Calcular, con la aproximación de 5 gr, la carga necesaria para producir 100 revoluciones en 30 seg, mediante la interpolación de los valores de carga necesarios para producir 100 revoluciones entre 27 y 33 seg, registrados en el punto “I”.

Corregir el valor obtenido si la temperatura de la muestra fue diferente a la especificada.

A partir de la tabla P 4-8.1, determinar las unidades Krebs correspondientes a la carga necesaria para producir 100 revoluciones en 30 seg, según lo anterior.

Procedimiento B: A partir de la tabla P 4-8.2, determinar las unidades Krebs correspondiente a la carga necesaria para producir 200 r.p.m.



*Fig. P 4.8 Abertura de las líneas del estroboscopio cuando el contador está ajustado exactamente a 200 r.p.m.*

**Tabla P 4-8.1 Tabla Krebs – Stormer**

<b>CARGA,</b>	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500
<b>Tiempo, s</b>																		
27	49	58	63	69	74	79	83	86	89	92	95	97	100	102	104	106	109	111
28	51	59	65	70	75	80	84	87	90	93	96	98	100	102	105	107	110	112
29	53	60	66	71	76	81	85	88	91	94	97	99	101	103	105	107	110	112
30	54	61	67	72	77	82	86	89	92	95	98	100	102	104	106	108	110	112
31	55	62	68	73	78	82	86	90	93	95	98	100	102	104	106	108	111	113
32	56	63	69	74	79	83	87	90	93	96	99	101	103	105	107	109	111	113
33	57	64	70	75	80	84	88	91	94	96	99	101	103	105	107	109	112	114

<b>CARGA,</b>	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	925	950	1000
<b>Tiempo, s</b>																			
27	113	114	116	118	120	121	123	124	126	127	129	130	131	132	133	134	136	139	
28	114	115	117	118	120	121	123	124	126	127	129	130	131	132	133	134	137	139	
29	114	115	117	119	121	122	124	125	127	128	130	131	132	133	134	135	138	139	
30	114	116	118	120	121	122	124	125	127	128	130	131	133	134	135	136	138	140	
31	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	138	140	
32	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	138	140	
33	116	117	119	121	122	123	126	126	128	129	131	132	134	135	136	137	139	141	

**Tabla P 4-8.2. Unidades Krebs correspondientes a la carga necesaria para producir una rotación de 200 r.p.m.**

g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK		g / UK	
		100	61	200	82	300	95	400	104	500	112	600	120	700	125	800	131	900	136	1000	140
		105	62	205	83																
		110	63	210	83	310	96	410	105	510	113	610	120	710	126	810	132	910	136	1010	140
		115	64	215	84																
		120	65	220	85	320	97	420	106	520	114	620	121	720	126	820	132	920	137	1020	140
		125	67	225	86																
		130	68	230	86	330	98	430	106	530	114	630	121	730	127	830	133	930	137	1030	140
		135	69	235	87																
		140	70	240	88	340	99	440	107	540	115	640	122	740	127	840	133	940	138	1040	140
		145	71	245	88																
		150	72	250	89	350	100	450	108	550	116	650	122	750	128	850	134	950	138	1050	141
		155	73	255	90																
		160	74	260	90	360	101	460	109	560	117	660	123	760	129	860	134	960	138	1060	141
		165	75	265	91																
70	53	170	76	270	91	370	102	470	110	570	118	670	123	770	129	870	135	970	139	1070	141
75	54	175	77	275	92																
80	55	180	78	280	93	380	102	480	110	580	118	680	124	780	130	880	135	980	139	1080	141
85	57	185	79	285	93																
90	58	190	80	290	94	390	103	490	111	590	119	690	124	790	131	890	136	990	140	1090	141
95	60	195	81	295	94																

## **5. FINURA**

Se opera con tamices de tela de cobre de 6.400 ó 15.400 mallas/cm<sup>2</sup>, y empleando el agua para los pigmentos insolubles en ella como medio de facilitar el paso de las partículas pues dada la finura de las mallas se obstruyen si se opera en seco. Cuando son los pigmentos solubles en agua, pintura y esmaltes, se emplea el petróleo como líquido de lavado. Con pigmentos metálicos de aluminio y bronce se empleará alcohol desnaturalizado. Se pesa el tamiz desecado al miligramo y 25 gr de los pigmentos pesados y pinturas y 2 gr para los ligeros. Se deseca y pesa después del lavado y se refiere a 100 el residuo hallado.

## **6. DUREZA**

Se aprecia mediante un lápiz de estaño puro terminado en un cono de 8 mm de diámetro de base y 10 mm de altura apoyado normalmente y cargado con 500 gr. Se le desplaza a una velocidad comprendida entre 0.5 y 1 cm/seg, no debiendo dejar señal. Para los barnices, además, se utilizan filos duros cortantes y con determinada carga, no debiendo ser rayada la superficie pintada o barnizada.

## **7. TIEMPO DE SECADO**

Es el que debe medir para poder aplicar sobre una superficie pintada otra mano de pintura. Se determina aproximadamente apoyando un dedo sobre una superficie pintada y observando cuándo deja de adherirse. El endurecimiento final es el tiempo transcurrido desde que se aplica una pintura hasta que, ejerciendo con el dedo una presión de 500 gr no deja huella. El tiempo de secado al polvo es el necesario para que, aplicado sobre la superficie pintada un papel de filtro cargado con 10 gr/cm<sup>2</sup> durante dos minutos, no se adhiera ni deje huella. El tiempo de secado a la película dura, el transcurrido hasta que una presión de 100 gr/cm<sup>2</sup>, y durante cinco minutos no se adhiera. También es el tiempo transcurrido hasta poder frotar ligeramente la superficie pintada con un papel esmeril del número 0, sin dejar huella, o hasta peso constante de la probeta. El tiempo de secado completo es aquel necesario para que no deje huella una presión de 1 Kg/cm<sup>2</sup> durante diez minutos.

La pintura se aplica sobre soportes de 20 cm de lado, de metal o vidrio, que se conservarán en una habitación sin corriente de aire, a una temperatura de 20°C. y de tal forma que reciban la luz, pero no los rayos solares. La humedad relativa será del 75 %.

## **8. PODER CUBRIDOR**

Se determina por comparación con un color tipo, empastando pesos iguales de uno y otro con cantidades de aceite de linaza pesado y aplicándose sobre iguales superficies hasta ocultar o cubrir bien el color del fondo. Pesando después los recipientes y pinceles, se determina el tanto por ciento de color gastado por unidad de superficie.

Otro procedimiento consiste en cubrir con una pintura una superficie que tenga 50 X 50 cm, con cuadrados blancos y negros de 5 centímetros de lado sobre linóleo aceitado o, mejor aún, recubierto con un barniz celulósico, Se pesa el recipiente y brocha o pincel, aproximando al

medio gramo. Se moja la brocha de pintura y se va dando un brochazo en cada cuadro, extendiéndola a continuación con la misma brocha, primero en un sentido y después en el perpendicular a él, y si no se logra ocultar los cuadrados, se añade poco a poco más pintura hasta lograrlo. La transparencia se aprecia extendiendo el color sobre un vidrio y, una vez seco, se aplica sobre un papel que lleva trazadas unas líneas negras en tinta china.

## **9. INTENSIDAD DE COLOR O TONO**

Se determina por comparación con otros colores semejantes, observando el tinte más o menos intenso que comunica a una sustancia dada, con la que se mezcla en determinadas proporciones.

## **10. INFLAMABILIDAD**

De una pintura seca se aprecia sometiéndola a temperaturas elevadas en estufas especiales o directamente a una llama de potencia calorífica conocida y observando cuándo empieza a arder. Se clasifica como "inflamable" cuando emite vapor inflamable por debajo, de 300 °C y de "seguridad", cuando puede alcanzar una temperatura de 400 °C, sin inflamarse.

## **11. CONTINUIDAD**

De una pintura protectora de metales se aprecia si forma una superficie continua uniéndola a un polo de la batería formada por dos pilas secas de 3,5 voltios, y el otro polo, a un pincel metálico formado por hilos de cobre de 0,5 mm de diámetro, intercalando en el circuito un pequeño teléfono de 25Ω. Deslizando el pincel sobre la capa de pintura, las soluciones de continuidad se apreciarán por un ruido en el micrófono al cerrarse el circuito.

## **12. IMPERMEABILIDAD**

Se determina recubriendo esferas de 4 cm. de diámetro, de madera de haya, con las manos de pintura deseadas, y una vez secas, se sumergen veinticuatro horas en agua a 20°, y el aumento de peso, referido a tanto por ciento de la esfera, define la permeabilidad.

## **13. TENACIDAD**

Se determina midiendo la resistencia a la tracción de una película de pintura. La película se obtiene sobre un papel fuerte de dibujo de lavado, sujeto, en estado húmedo, a un tablero, y, una vez seco, se le da dos manos cruzadas de azúcar o goma arábica al 15% en peso. Sobre el papel así preparado se extiende una capa de pintura del espesor que se quiera, pues pesando el recipiente y pincel antes y después, sabiendo la densidad de la pintura, el cociente nos da el volumen, y dividiendo por la superficie pintada se determina el espesor.

Las capas de pintura con dos manos, generalmente suelen tener 0,1 mm de espesor, y como no tiene resistencia apenas, se emplean de 0,2. Una vez secas, a los siete días, en atmósfera seca, a 15 a 18° C, y a la luz, sin que le dé el sol, se cortan tiras de 5 cm de ancho y 30 de largo, en el sentido de las últimas pinceladas, las cuales se sumergen en agua tibia a 30°, para que se

despeguen, y lavan cuidadosamente sobre un vidrio para desprender el azúcar o goma, dejándose secar sobre papel secante, y se cuelgan con unas pinzas al aire hasta su ensayo.

La tenacidad o resistencia a la tracción se determina con las películas de pintura mediante el dinamómetro de Schopper, empleado para el ensayo de papeles y telas. De no disponer de este aparato, se puede determinar también fijando los extremos de una tira a dos carretes de película fotográfica; a uno de ellos se fija un recipiente para recibir perdigones de la balanza Michaelis, y fija el otro carrete a un soporte. Las películas de buena pintura, de 5 cm de ancho y 0,1 mm de espesor, tienen una resistencia de 1 a 3 kilogramos.

#### **14. DETERMINACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD**

A través del método del mandril cilíndrico.

##### **14.1. RESUMEN**

El método se basa en doblar una lámina, a la cual se le ha aplicado una película de pintura de espesor uniforme, sobre mandriles cilíndricos de diferente diámetros y determinar la flexibilidad a partir del mandril de mayor diámetro que produce un agrietamiento de la película de pintura o producto afín.

##### **14.2. APARATOS**

- Mandriles cilíndricos, serie de seis barras de acero cilíndrico, con los diámetros siguientes: 25 mm; 19 mm; 12,7 mm; 9,5 mm; 6,4 mm y 3,2 mm.
- Soportes adecuados para sujetar firmemente los mandriles.
- Láminas metálicas, con un espesor de 0,8 mm.
- Aplicador de película o atomizador.

##### **14.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Preparar láminas de acero perfectamente lisas y uniformes y de bordes ligeramente redondeados para eliminar cualquier imperfección. Las láminas deben lijarse previamente con una lija al agua, debiendo estar limpias y libres de polvo y grasa en el momento de su uso. Aplicar sobre las láminas de acero una película uniforme de la muestra de ensayo mediante el aplicador, de modo de obtener un espesor de acuerdo a lo indicado en la norma del producto. Dejar secar al aire o en estufa durante siete días a  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa y medir el espesor de película seca.

###### **14.3.1. Acondicionamiento de la muestra**

Dejar las láminas de acero durante 24 horas como mínimo a  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa. Realizar el ensayo de las muestras en el mismo ambiente o inmediatamente después de su acondicionamiento.



#### **14.4. PROCEDIMIENTO**

Efectuar el ensayo en duplicado con cada mandril. Colocar una lámina de ensayo acondicionada sobre el mandril especificado en la norma del producto o, si ésta no existe, en aquel mandril, dejando como mínimo 50 mm de la lámina sobresaliendo a cada lado. Doblar la lámina con los dedos aproximadamente 180° alrededor del mandril, en 1,5 s. Sacar la lámina de ensayo del mandril y examinar inmediatamente si existen grietas en la zona de doblado.

Si no se observan grietas, repetir el procedimiento usando en forma sucesiva mandriles de diámetros menores al inicial en áreas no ensayadas previamente del espécimen de ensayo, hasta que aparezca alguna falla en la película o hasta que se emplee el mandril de menor diámetro.

#### **15. RESISTENCIA A LOS AGENTES ATMOSFÉRICOS**

Las pinturas aplicadas sobre madera o planchas de hierro se someten a la acción de la luz, aire, agua, calor, frío, vapores, líquidos, etc, durante un año, examinándose la apariencia e integridad de la película y la protección ejercida sobre el soporte. Se somete a películas desprendidas de un soporte a estos agentes, y compara los resultados obtenidos de tenacidad, elasticidad, fragilidad con otras conservadas en aire seco y sin experimentar las acciones atmosféricas.

Como este ensayo es muy largo, se pueden hacer ensayos acelerados o de envejecimiento con película y paneles sometiéndolos a la acción de luz ultravioleta, chorros de vapor de agua y gases, riegos con agua, ácidos, bases y sales en disolución, temperaturas de + 5° y -10° centígrados, etc.

#### **16. ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE PINTURAS**

Para determinar la naturaleza, composición y proporción de los distintos elementos que constituyen las pinturas, hay que hacer análisis físico - químicos para caracterizarlos, como densidad, índice de refracción, acidez, saponificación, índice de yodo, punto de solidificación, ebullición, etc.

#### **17. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE PELÍCULA SECA**

##### **17.1. APLICACIÓN**

Este ensayo establece un método de determinación del espesor de película seca. Este ensayo se aplica a películas de pintura barnices y productos afines, no magnéticos, que se aplican sobre un material a base de fierro. No se aplica a películas que sean fácilmente deformables bajo la carga del instrumento de medición.

##### **17.2. APARATOS**

Micrómetro magnético: Operado en forma mecánica o eléctrica. Los instrumentos operados mecánicamente incluyen un magneto en forma de herradura cuyo contacto se coloca directamente sobre la superficie de la muestra. Los instrumentos operados eléctricamente utilizan una sonda instrumental separada que aloja el magneto la cual debe ser colocada directamente sobre la

superficie de la muestra. En ambos casos, el espesor de película se lee en la escala del instrumento. De acuerdo a las instrucciones del aparato, la medición debe efectuarse en superficies planas, o curvas y en forma horizontal o vertical.

### **17.3. CALIBRACIÓN DEL APARATO**

Calibrar el aparato en un área libre de campos magnéticos. No debe existir una vibración aparente en la pieza de ensayo cuando se esté calibrando el aparato. Usar una sección de la lámina de ensayo que no esté recubierta. Si no existen zonas sin recubrimiento, pueden usarse láminas no recubiertas del mismo material sobre el cual se agrega el recubrimiento para efectuar el ensayo. La calibración del aparato debe efectuarse en un mínimo de tres puntos de la superficie no recubierta. Usar hojas delgadas de material no magnético para efectuar la calibración, midiendo su espesor con un micrómetro, de acuerdo a las instrucciones dadas por el fabricante. Seleccionar las hojas delgadas cuyo espesor esté dentro del rango del espesor de la película de ensayo. .

Sostener el contacto del instrumento firmemente sobre la superficie en forma perpendicular al plano de la medición tanto durante la calibración como en la medición de la muestra. Seguir las instrucciones del fabricante para la calibración específica del aparato.

### **17.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Cuando este método se use en terreno la muestra es la estructura recubierta o el artículo al cual se le evaluará el espesor de película seca.

Para uso en laboratorio aplicar el material de ensayo sobre láminas de composición y superficie predeterminadas en la norma correspondiente.

### **17.5. PROCEDIMIENTO**

Usar el aparato previamente calibrado. Asegurarse que el recubrimiento esté seco antes de usar el aparato. Verificar que el extremo magnético del aparato y la superficie de ensayo se encuentren limpias. Cualquier contaminante, ya sea magnético o no magnético, afectará las lecturas del aparato. Efectuar las mediciones en áreas en las cuales no exista vibraciones o campos eléctricos o magnéticos. Si las lecturas del espesor caen fuera del rango determinado durante la calibración, repetir el procedimiento de calibración en el rango de las mediciones. Comprobar frecuentemente la calibración del aparato durante su uso, de modo de asegurar que el aparato sigue midiendo en forma apropiada. Efectuar un número suficiente de lecturas para caracterizar la muestra, de acuerdo al siguiente criterio.

- En las mediciones de laboratorio, el mínimo recomendable son tres determinaciones por cada lámina de 75 x 150 mm, o proporcionalmente más lecturas si las láminas son de tamaño mayor.
- En las mediciones en terreno, el mínimo recomendable son cinco determinaciones al azar por cada 10 m<sup>2</sup> de superficie. Cada una de las cinco determinaciones indicadas debe corresponder al valor promedio de tres lecturas separadas dentro del área de un círculo de 12 mm de diámetro.

- Efectuar las mediciones como mínimo a 25 mm de cualquier borde o esquina de la muestra. Si es necesario medir a una distancia menor a 25 mm, volver a comprobar la calibración en el área específica para determinar el efecto, si es que existe, que causa el borde en la medición.

## **PRÁCTICA DE CAMPO N° 13**

### **“PLÁSTICOS”**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

Plásticos, materiales polímeros orgánicos (compuestos formados por moléculas orgánicas gigantes) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nailon.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones, algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticos (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoestables (no se ablandan con el calor).

#### **2. HISTORIA Y MANUFACTURA**

Los plásticos son una consecuencia de la integración del conocimiento científico diversificado y no relacionado con éstos. Las investigaciones básicas en la química, física y biología de productos naturales de gran peso molecular, como celulosa, algodón, filamentos, resinas naturales, hule, fécula y lana contribuyeron en parte a este conocimiento. Otra parte proveniente del mejoramiento de métodos e instrumentos utilizados en investigación. Al principio se usaron métodos de óptica, luego vinieron las técnicas de ultramicroscopía, rayos X y química coloidal, y de ultracentrifugado. Hoy, con la ciencia comparativamente nueva de la física nuclear, son posibles nuevas y vastas áreas de investigación.

##### **2.1. LOS PRIMEROS PLÁSTICOS**

El origen de los plásticos y las lavas puede datar de 1833, cuando Branconnot, profesor de química de Nancy, expuso la preparación de una “xiloidina” mediante tratamiento de fécula, aserrín y algodón con ácido nítrico. Descubrió que este material era soluble en vinagre de madera y trato de hacer recubrimientos, películas y artículos moldeados con él. En 1834, Von Liebig preparó melanina, pero todavía transcurrían cien años antes de que se produjera en volumen. En 1846, Shoenbein, experimentando con nitrocelulosa, predijo que éste podría sustituir a la pólvora, lo cual propicio que los militares de toda Europa iniciaran de inmediato intensas pruebas. Debido a que se emplearon métodos de preparación muy primitivos, en muchos lugares hubo explosiones desastrosas. Estos desastres interrumpieron este tipo de producción y permitieron que prosiguieran las investigaciones y se encontraron los medios para estabilizar el producto.

EL arte de moldear plásticos se inició con la sencilla prensa hidráulica manual, la cual se construyó casi inmediatamente después que Goodyear descubrió la vulcanización del caucho en 1839.

En 1865, Schutzenberger acetiló celulosa con el fin de producir una sustancia no explosiva similar a la nitrocelulosa.

## **2.2. CELULOIDE**

Un impresor norteamericano, Hyatt, fabricó el primer plástico satisfactorio; las primeras patentes de los Hyatt se emitieron en 1870 y 1872. En 1871 se formó la Celluloid Manufacturing Company. El primer empleo de celuloide fue como molde de placas dentales y luego en forma de lámina, como cortina para ventanilla de automóvil, así como los hoy famosos cuellos de celuloide. Los Hyatts también fueron los primeros en intentar el moldeo por inyección, el cual se rescató más tarde, los alemanes utilizaron con éxito.

## **2.3. ACETATO DE CELULOSA**

En 1879, Franchimont descubrió que la reacción de esterificación se podía catalizar mediante ácido sulfúrico. En 1882, Stevens demostró que el acetato de amilo se podía usar como disolvente para la nitrocelulosa. Su trabajo le condujo finalmente a lograr las primeras películas fotográficas transparentes y flexibles, desarrolladas luego por Goodwin, de Newark Nueva Jersey, entre 1887 y 1898. En 1894, Cross y de Van patentaron en Inglaterra un procedimiento para producir un tipo de acetato de celulosa, y en 1911, en Francia Dreyfus perfeccionó el proceso de fabricación del compuesto acetilado y su hidrólisis. El acetato de celulosa se utilizó primero como película fotográfica de seguridad. Durante la primera guerra mundial se empleó para recubrir las salas de los aviones, y después de la guerra sirvió como fibra de acetato de rayón para vidrios de seguridad, el moldeo por inyección, también se usó para mangos de herramientas, armazones de gafas, y muchos otros artículos.

La experimentación con fibras sintéticas se inició en 1884, con el descubrimiento de Chardonnet de un método para producir fibras a partir de la nitrocelulosa.

## **2.4. PLÁSTICOS DE CASEÍNA**

Éstos se iniciaron en 1894, cuando Spitteler y Kricheldorf condensaron la caseína con formaldehído. La producción de plásticos de caseína comenzó en 1900 en Francia y Alemania, y en 1914 en Inglaterra. Durante la primera guerra mundial se deshizo el monopolio, y en 1919 USA también emprendió la producción. Sin embargo pronto se manifestaron las limitaciones de los plásticos de caseína en relación con la humedad y su estabilidad dimensional, y actualmente el uso de la caseína se ha limitado casi por completo a la producción de botones.

## **2.5. ÉSTERES DE CELULOSA**

En 1905, Von Suida concibió la idea de un método para teñir la celulosa mediante su etilación. Lilienfeld en Austria, Leuchs en Alemania y Dreyfus en Francia, se estudiaron simultáneamente

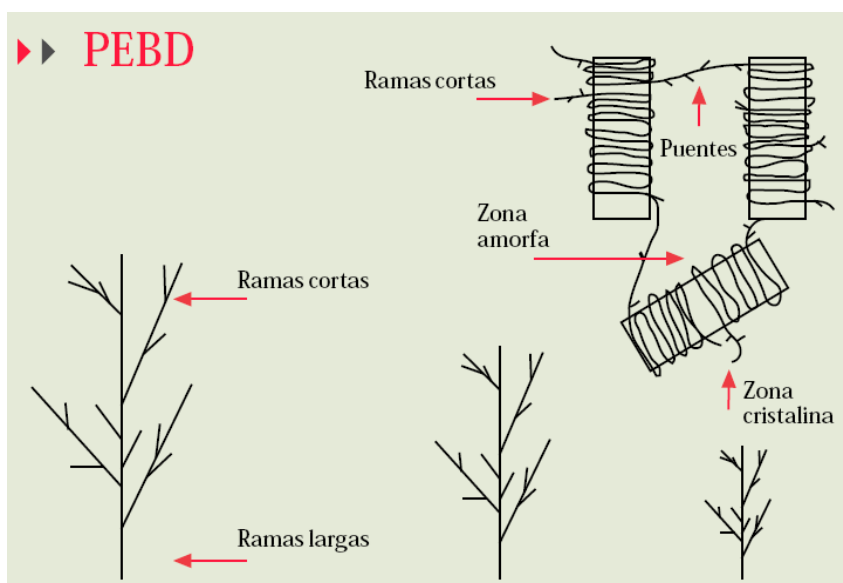
los ésteres de celulosa. Se descubrió que éstos eran solubles en líquidos orgánicos y tenían gran potencial en la producción de plásticos, lacas y fibras.

**Baquelita.**-En 1909, Bekeland elaboró en Estados Unidos las resinas de fenol-formaldehído, mejor conocidas como Baquelita.

## 2.6. POLÍMEROS

Aunque desde 1833 Berzelius introdujo la palabra polímero – que él usaba para indicar la presencia de los átomos en las mismas proporciones en compuestos que tenían distintos pesos moleculares- no fue sino hasta el periodo entre las dos guerras que se pudo lograr una definición clara de concepto.

Un polímero es una sustancia (a menudo sintética) formada por moléculas formadas por la unión entre sí de un número considerable de moléculas simples. El número de moléculas que se unen para formar una molécula de polímero de 2 a 100 hasta miles. La molécula simple que sufre este cambio se conoce como monómero, y la unión de éstos para formar polímeros se llama polimerización. Las moléculas del monómero pueden ser iguales, pero pueden ser dos o más variedades de monómeros las que intervengan en la formación de un polímero determinado. El plástico de polietileno, que es un polímero, que está formado por la unión de moléculas de etileno, mientras que el hule sintético de estireno, que es un copolímero requiere la unión de monómeros de estireno y butadieno. Los polímeros de condensación son aquellos que en la unión de las moléculas implica la formación y eliminación de agua o una sustancia simple en cada etapa del proceso.



**Figura Pl1 polietileno de baja densidad, fue el primero en ser descubierto en 1930 (modelo simplificado de la estructura molecular)**

**Fuente: Gustavo Cano - Apuntes de clases**

## 2.7. COMPARACIÓN ENTRE PRODUCTOS SINTÉTICOS Y NATURALES

En Europa, Staudinger estudió las propiedades comparadas entre productos naturales y sintéticos. En 1926 demostró la interrelación existente entre la estructura determinada físicamente y tamaño y estructura determinados químicamente mediante análisis. Mostró que los productos sintéticos tiene muchas propiedades en común con los productos naturales y que los sintéticos se pueden usar como prototipos en su evaluación.

Se descubrió que la *resinificación* era el resultado de dos tipos de reacciones químicas: 1) la que incluía una reacción de condensación en que el polímero difiere del material inicial por los elementos, eliminados durante la condensación, y 2) la que comprende una reacción de polimerización, en que el polímero y el material inicial tienen la misma composición química.

Por investigaciones realizadas en Estados Unidos, se llegó a los conceptos funcionales que permiten una clara distinción entre la química de las resinas termoplásticas y el comportamiento del producto de tipo de termofraguado.

## 3. FORMACIÓN DE PLÁSTICOS

La característica común de todos los plásticos es la de estar formados por moléculas gigantes *macromoléculas* con un peso molecular comprendido entre 10.000 y varios millones.

Estas macromoléculas (también llamadas polímeros) se forman por unión de otras moléculas más pequeñas denominadas monómeros. La unión se realiza en secuencia, un monómero después de otro, formando una cadena, en la que cada monómero que se repite forma un eslabón, siendo el número de eslabones o número de unidades monoméricas el grado de polimerización.

Los plásticos son productos sintéticos, que se fabrican a partir de otros ya elaborados por el hombre. Los plásticos conocidos en la actualidad se pueden fabricar de dos maneras distintas:

- i. **Policondensación** (polimerización por pasos). Es una reacción en la cual dos moléculas diferentes se unen dando origen a un producto nuevo. Por ejemplo, un diácido reacciona dando lugar al poliéster.
- ii. **Poliadición** (polimerización en cadena). En la reacción que se produce entre dos monómeros con doble o triple enlace se origina un componente nuevo.

## 4. MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Existen diferentes métodos de fabricación de materiales plásticos, dependiendo el producto final, entre ellos tenemos:

- **Moldeo por inyección:** Casi exclusivo de los termoplásticos. Introducimos en una cámara de calentamiento y se reblandece. Después se inyecta a baja presión a un molde. Dejamos enfriar y se endurece.
- **Moldeo por compresión:** Calentamos las partículas del plástico. Se comprimen en un molde caliente y toman su forma. Normalmente se emplea en termoestables.
- **Moldeo por extrusión:** Podemos obtener barras, tubos, perfiles . . . Introducimos el plástico en un cilindro caliente y se reblandece. Por medio de un tornillo sin fin se

arrastra hacia el exterior. Sale por una boquilla que le da la forma. Normalmente para termoplásticos.

- **Moldeo por transferencia:** Es un método intermedio entre inyección y compresión. Primero se funde, se inyecta en el molde y después se comprime. Para termoestables.
- **Moldeo a chorro:** Similar al de inyección, se emplea únicamente en termoestables.
- **Moldeo por soplado:** Calentamos una lámina, se comprime contra la pared del molde por aire o gas. Se emplea en termoestables.
- **Laminado:** Se realiza en dos fases: Primero impregnamos láminas de papel o fieltro, que forman la armadura, y dejamos secar. En la segunda fase colocamos unas sobre otras y, por calor y presión, obtenemos láminas de diferentes espesores y formas.
- Moldeo en bolso.
- Postformados.
- Plásticos espumosos.

## 5. TIPOS Y USOS

Existe gran variedad de materiales plásticos por lo limitamos a dar una lista tabla PL 1 y PL 2 es una lista de los plásticos empleados en la construcción y los que se usan actualmente en otros campos, ya que es muy probable de que de una manera u otra estos últimos también llegaron a constituir materiales de construcción.

En construcción, la palabra plástico y resina a menudo se usan indistintamente en relación con productos sintéticos. En este libro, la palabra resina se usa en relación con recubrimientos orgánicos (pinturas). En la tabla PL 3 se indican los nombres de los derivados de plásticos y resinas de uso común.

Los materiales hechos de plástico que se relacionan directamente con la construcción se estudian en secciones separadas. A causa de la estrecha relación entre plásticos, hules y adhesivos, fibras, textiles y pinturas, es aconsejable buscar información por separado (véase tabla PL 4).

**Tabla PL 1 Características químicas y físicas de plásticos utilizados en construcción**

Tipo de plástico	Derivación	Características químicas y físicas	Soluble o atacado por
ABC termoplástico	Copolímero acrílico-nitrilo-butadieno-estireno; un polímero termoplástico mezclado que se puede producir de tres monómeros o que puede ser una mezcla de copolímeros	Estabilidad dimensional dentro de una gama de temperaturas de $-40$ a $160^{\circ}\text{F}$ ( $-4.44$ a $71.1^{\circ}\text{C}$ ); es combustibles pero de lenta ignición; baja absorción de agua	Es atacado por ácidos nítrico y sulfúrico, aldehídos, acetonas, ésteres e hidrocarburos clorados
Acetato de celulosa termoplástico	Reacción de celulosa con ácido acético, anhídrido acético, y ácido sulfúrico como catalizador	Inflamable, no interrumpe por sí mismo la ignición; tenaz, resistente al alto impacto; sujeto a cambio bidimensional debido al flujo de frío, calor o absorción de la humedad	Soluble en acetona
Acetato de celulosa-butilato termoplástico	Reacción de celulosa purificada con anhídrido acético y butírico, con ácido sulfúrico como catalizador	Similar al acetato de celulosa	Soluble en acetona
Acetato de celulosa-propionato termoplástico	Similar al butirato acetato de celulosa, pero hecho con anhídrido propiónico en lugar de anhídrido butírico	Similar al acetato de celulosa	Soluble en acetona

**Fuente: NB 045**



**Tabla PL 1 Características químicas y físicas de plásticos utilizados en construcción (continuación)**

<b>Tipo de plástico</b>	<b>Derivación</b>	<b>Características químicas y físicas</b>	<b>Soluble o atacado por</b>
Alfílico termofraguado	Una clase especial de resinas de poliéster derivada de ésteres de alcohol alilo y ácidos bibásicos	Alta resistencia a sustancias químicas, humedad, abrasión y calor; curado aún sin aplicación de calor o presión; es transparente	Depende del tipo de alilo
Alquídico termofraguado	Un producto de reacción de termofraguado de un alcohol polihídrico y un ácido polibásico en presencia de un agente desecante que actúa como modificador; un alquídico es realmente una resina de poliéster; que tiene una derivación similar pero que no está modificada por aceite	Resistencia a exposición severa, al clima u al calor; tenacidad, flexibilidad, y buen adhesión; es transparente	Soluble en extractos minerales
Acrílico termoplástico	Un polímero o copolímero termoplástico de ácido acrílico, ácido metacrílico, ésteres de estos ácidos acrilonitrilo	Claridad y transparencia, baja densidad específica, resistencia al impacto, estabilidad a la intemperie, ignición lenta. Éstas se pueden convertir en resinas de termofraguado agregándoles anhídrido acrílico, acrilamida, o ésteres de glicol de ácido acrílico. Tienen la rara propiedad de transferir luz a través del cuerpo del plástico emitiéndola por el borde o el extremo de la hoja, varilla, barra u objeto, con poco o ningún cambio de temperatura.	Soluble en hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos clorados, ésteres y cetonas
Caseína termofraguado o termoplástico	Caseína de leche acidificada con ácido sulfúrico, clorhídrico o láctico diluido	No es inflamable, es tenaz, pero tiene escasa resistencia al agua y poca estabilidad dimensional; no es adecuada para fabricación rápida	Soluble en agua
Nitrato de celulosa (nitrocelulosa) termoplástico	Celulosa tratado con una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico concentrados	Resistente al agua, hidrocarburos, ácidos diluidos, y álcalis; altamente inflamable; se decolora con larga exposición al sol	Soluble en acetona
Etilcelulosa termoplástico	Celulosa alcalina y cloruro o sulfato etílico, en presencia de agentes deshidratadores	Película tenaz que mantiene su flexibilidad a bajas temperaturas; menor densidad de los plásticos de celulosa comerciales	Soluble en la mayoría de los líquidos orgánicos
Epóxico termofraguado	Resina termofraguada basada en la reactividad del grupo de epóxidos	Tenacidad, alta adhesividad; resistente a la corrosión y a los disolventes, aceites y sustancias químicas comunes	Atacado por reductores epóxidos catalizados
Plásticos de fluorocarbono termoplástico	Compuesto de carbono y flúor con o sin hidrógeno	Químicamente inerte, no flameable; resistente a altas temperaturas, sustancias químicas, humedad, clima, ozono y radiación ultravioleta	Depende del tipo de plástico de fluorocarbono
Furanos termofraguado	Formaldehído y acetileno que reaccionan para formar endole de butilo	Alta resistencia química; resistencia a altas temperaturas, ácidos, álcalis, alcoholes e hidrocarburos; tiene alta adhesividad; de color negro u oscuro	Depende del tipo de furano
Melaminas termofraguado	Resina sintética hecha de melamina y formaldehído	Resistente al calor y al agua, y como recubrimiento orgánico tiene una velocidad excepcionalmente alta de curado y dureza; resistente al agua, disolventes y jabones	Atacado por cetona; en pintura (recubrimientos orgánicos) lo afectan los extractos minerales y el agua
Resina de fenol-formaldehído termofraguado	Condensación de fenol sustituto de fenoles con aldehídos como el formaldehído, acetaldehído y furfural	Color de gris a negro; duro; resistente a la humedad, disolventes y calor hasta 299°F (200°C); dimensionalmente estable, no combustible	Se descompone por ácidos oxidantes
Poliamidas termoplástico	Polimerización de un ácido bibásico y una diamina	Resistente a los disolventes y álcalis comunes; baja absorción de agua; fuerte, tenaz y elástico	Atacado por ácidos minerales fuertes
Polibuteno termoplástico	Cualquiera de los diversos polímeros isotácticos termoplásticos de isobuteno de pesos moleculares variables	Combustible; resistente a la abrasión, agrietamiento y al clima	Atacado por disolventes de hidrocarburos

**Tabla PL 1 Características químicas y físicas de plásticos utilizados en construcción (continuación)**

<b>Tipo de plástico</b>	<b>Derivación</b>	<b>Características químicas y físicas</b>	<b>Soluble o atacado por</b>
Policarbonato termoplástico	Resina termoplástica derivada del poliéster bisfenol A y el fósforo A del ácido carbónico. De ácidos bicarboxílicos con alcoholes hidroxilados; éstos constituyen un tipo especial de resina alquídica y no son modificados por ácidos grasos o aceites desecantes	Transparente; resistente al clima y al ozono; combustible pero autoextinguible; resistencia al alto impacto; dimensionalmente estable; resistente a manchas y a calor	Soluble en hidrocarburos clorados; atacado por álcalis fuertes e hidrocarburos aromáticos
Poliéster termofraguado	Policondensación de ácidos bicarboxílicos con alcoholes hidroxilados; éstos constituyen un tipo especial de resina alquídica y no son modificados por ácidos grasos o aceites desecantes	Se cura a temperatura ambiental cuando es catalizado, y requiere poca o ninguna presión; resistente a sustancias químicas corrosivas, disolventes, etc.; son combustibles y requieren la adición de agentes retardadores del fuego	Depende del tipo de material de poliéster
Polietileno termofraguado	Polimerización de etileno con peróxido catalizador	Material tenaz, blanco, flexible, resistente a disolventes y soluciones corrosivas; buena resistencia al impacto	Atacado por surfactantes
Poliestireno termoplástico	Estireno polimerizado	Transparente; alta resistencia y resistencia al impacto; excelente aislador eléctrico y térmico; resistente a ácidos orgánicos, álcalis y alcoholes; combustible pero no autoextinguible	Soluble en disolventes hidrocarburos
Politerpeno termoplástico	Polimerización de trementina en presencia de catalizadores como el cloruro de aluminio o ácidos minerales	Líquido soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos	Soluble en disolventes orgánicos
Poliuretano termoplástico o termofraguado	Reacción de condensación de un poliisocianato y un material conteniendo hidróxido como un poliol o aceite desecante	Fibra; módulo elástico alto. Recubrimientos: dureza, brillo, flexibilidad, resistencia a la abrasión, adhesividad; resistente al impacto, clima, ácidos y álcalis. Elastómeros: resistencia a la abrasión, clima y disolventes orgánicos. Espumas: flexibles y rígidas, excelente conductividad térmica; resistentes a la flama	Depende del tipo de poliuretano
Polivinilo termoplástico	Cualquiera de una serie de polímeros (resinas) derivados por polimerización o copolimerización de monómeros vinílicos, incluyendo el cloruro y el acetato vinílicos, acrilonitrilo, estireno, los ésteres vinílicos y muchos otros – específicamente cloruro de polivinilo, acetato, alcohol, etc.	En general, resistente al clima, aceites grasos, ácidos, hongos, humedad e hidrocarburos del petróleo pero autoextinguible; resistente a la abrasión. Asegúrese siempre de las propiedades particulares del tipo de vinilo	Depende del tipo de vinilo
Silicón	Cualquiera del gran grupo de polímeros de siloxano orgánicos; el silicón se calienta en cloruro de metilo para producir metilclorosilanos, que se separan y purifican por destilación y los compuestos deseados se mezclan con agua	Baja tensión superficial; extrema repelencia al agua; resistente al clima, oxidación y altas temperaturas. Los tipos no halogenados son combustibles	Soluble en disolventes orgánicos
Urea-formaldehído termofraguado	Urea y formaldehído se unen en un proceso de dos etapas en presencia de piridina, amonio o ciertos alcoholes, con calor y control de pH para formar intermedios que se convierten en resinas de termofraguado mediante calor y presión en presencia de catalizadores	Excelente difusión de la luz, fuerte; rígido; resistente al desgaste, disolventes domésticos, aceite y manchas; buena estabilidad dimensional	Atacado por ácidos fuertes, álcalis y disolventes
Zien	Derivado del procesamiento de maíz	Resistente a ácidos diluidos, alcoholes anhidros, trementina, ésteres y aceites; combustible	Soluble en alcohol

**Tabla PL 2 Tipos de plásticos, sus nombres comunes y registrados, y usos en el campo de la construcción**

<b>Tipo de plástico</b>	<b>Nombre común o registrado</b>	<b>Uso principal en construcción</b>	<b>Usos menores en construcción</b>
ABC <i>termoplástico</i>	Lustran, Abson, Dylel, Cicolac, Kralastic	Tubería y conectores; gabinetes para ducha; gabinetes de tina de baño, etc.	Teléfonos, paneles para edificios
Acetato de celulosa <i>termoplástico</i>	Tenite, Lumerith, Plastacele, Clofán	Recubrimientos orgánicos; láminas, varillas, tubos y películas	Piel y fibras artificiales; película transparente
Acrílico <i>termoplástico</i>	Lucite, Plexiglás	Domos, tragaluces, recubrimientos, orgánicos, adhesivos, vidrios de seguridad, acabados de herramientas, accesorios de iluminación.	Fibras (acrilán, orlón, crelán, zefran) para textiles, alfombras, etc.; anuncios, acabados textiles
Alilo <i>termofraguado</i>	Adhesivos de contacto	Adhesivos para laminación y recubrimiento	Barnices, lacas, acabados resistentes al fuego para muebles, compuestos ara moldeo
Alquídico <i>termofraguado</i>	Alquídico	Vehículo para recubrimientos orgánicos para interior y exterior, y esmaltes horneados	Textiles; compuestos de caucho o hule; se usan en todo el campo de la electricidad
Butirato acetato de celulosa <i>termoplástico</i>	Celofán	Similar al acetato de celulosa	Similar al acetato de celulosa
Caseína <i>termofraguado o termoplástico</i>	Goma de caseína	Adhesivos domésticos	Adhesivos para laminación de madera interior
Celulosa etílica <i>termoplástico</i>	Gomas domésticas	Adhesivo fundido en caliente	Recubrimiento para cables, papales, textiles, etc.
Epóxico <i>termofraguado</i>	Epóxicos	Adhesivos en general; adhesivos de material a material; matriz para pisos de terrazo y pisos sin uniones; recubrimiento de superficies; recubrimientos orgánicos especiales	Cementos y morteros especiales; recubrimientos orgánicos para pisos
Fenol-formaldehído <i>termofraguado</i>	Fenólicos, baquelita	Recubrimientos orgánicos; esmaltes horneado	Adhesivos, acabados para herramientas; laminaciones e impregnaciones
Furanos <i>termofraguado</i>	Teflón, aclar, halón, fluorel	Estructuras infladas, toldos y de cables; lámina, película, tubos, varillas, cintas y fibras; recubrimientos protectores; color oscuro	Aislamiento para alambres y cable para altas temperaturas; refrigerantes, empaques
Poliamidas <i>termoplástico</i>	Fiberthin, nylon, facilon	Lienzos alquitranados; estructuras inflables, toldos y de cables; alfombras	Hojas laminadas para recubrimiento; rodillos; herramientas; recubrimientos flexibles para pisos
Propionato acetato de celulosa <i>termoplástico</i>	Celofán	Similar al acetato de celulosa	Similar al acetato de celulosa
Melaminas <i>termoplástico</i>	Melamina	Laminados plásticos	Recubrimientos orgánicos (combinados con alquídicos y acrílicos); accesorios para la luz
Nitrato de celulosa (nitrocelulosa) <i>termoplástico</i>	Piroxilina de celuloide	Similar al acetato de celulosa	Similar al acetato de celulosa
Polibuteno <i>termoplástico</i>	Vistanex	Cintas sensibles a la presión; compuestos calafateadores y selladores	Adhesivos de fusión en caliente; aislamiento de cables y selladores especiales
Policarbonato <i>termoplástico</i>	Rowles, lexan	Material de vidrio irrompible	Accesorios para luz eléctrica, productos moldeados, película
Poliéster <i>termoplástico</i>	Dacrón, mular	Plásticos reforzados; matriz para pisos sin uniones y terrazo	Espumas, recubrimientos protectores, textiles (dacrón); laminaciones, adhesivos
Poliestireno <i>termoplástico</i>	Styron, Stirofoam	Aislamiento térmico de espuma; transparente, traslúcido, opaco y de color	Equipo eléctrico; accesorios para luz eléctrica
Polietileno <i>termoplástico</i>	Polietileno	Películas para impermeabilizar; tubería para sistemas hidráulicos automáticos exteriores	Accesorios para luz eléctrica; hojas y películas; uso en el campo de la electricidad
Politerpeno <i>termoplástico</i>	Politerpeno	Recubrimientos orgánicos	Pulidores de cera; curado del concreto

**Tabla PL 2 Tipos de plásticos, sus nombres comunes y registrados, y usos en el campo de la construcción (continuación)**

<b>Tipo de plástico</b>	<b>Nombre común o registrado</b>	<b>Uso principal en construcción</b>	<b>Usos menores en construcción</b>
Politerpeno <i>termoplástico</i>	Politerpeno	Recubrimientos orgánicos	Pulidores de cera; curado del concreto
Poliuretano	Fibra, recubrimiento, elastómeros y espumas de poliuretano	Fibras; cerdas para brochas. Recubrimientos: recubrimientos hornados, orgánicos, fórmulas de dos compuestos, y techados. Elastómeros: agentes selladores y calafateadores. Espumas: Aislamiento térmico	Recubrimientos de madera retardadores del fuego. Adhesivos, películas, plástico reforzado. Aislamiento de tubería y ductos; bajoalfombras
Polivinilo <i>termoplástico</i>	Vinilos, PVC, Hi-tem, Geon, PVA	Recubrimientos orgánicos, adhesivos, películas, cementos y morteros; tubería, cubiertas laterales, canaletas, pisos, superficies para atletismo, césped artificial; cintas sensibles a la presión	Marcos de ventana y puertas; aislamiento eléctrico; películas y hojas; fibras, recubrimientos protectores; agentes selladores y de laminación
Silicón	RTV, silicones, siloxanos	Líquidos; adhesivos, recubrimientos resistentes al agua y protectores; impermeabilización de concreto.	Sellador y calafateador, aislamiento eléctrico, películas
Urea-Formaldehído <i>Termofraguado</i>	Plaskon	Esmaltes hornados; laminación, recubrimientos orgánicos	Adhesivos; cajas para radio, televisores, equipos de alta fidelidad, maquinaria de oficina, etc.
Zien	Zien	Adhesivos, laminación de madera	Imitación de goma; recubrimientos resistentes a la grasa

**Tabla PL 3 Clasificación de plásticos y resinas de acuerdo con su derivación**

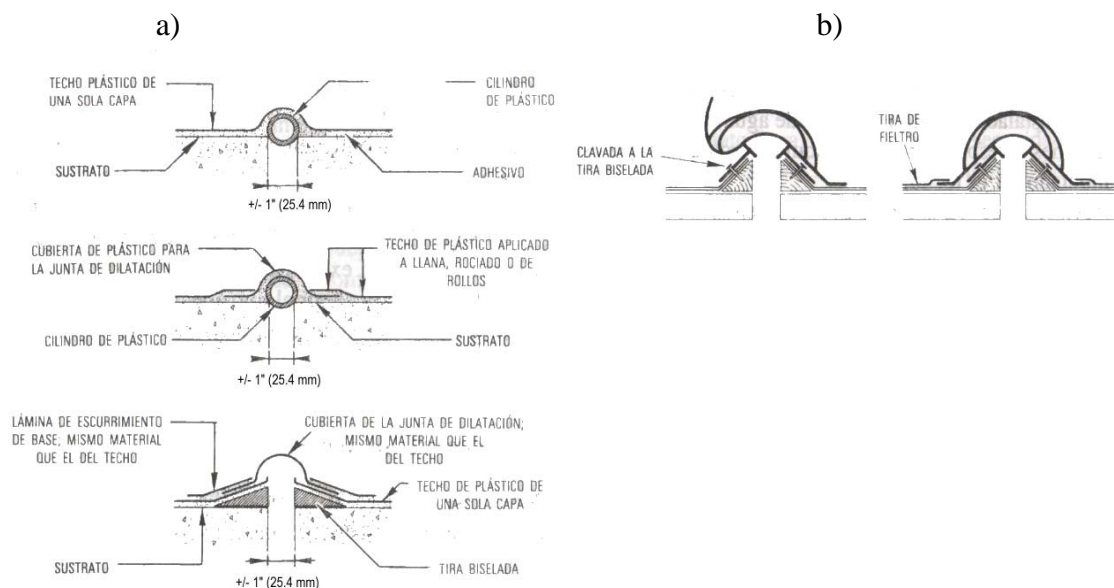
<b>Polímeros naturales</b>			
<b>Hidrocarburos</b>	<b>Celulosa</b>	<b>Polimerización</b>	<b>Condensación</b>
Hule o caucho clorado, clorhidrato de caucho	Butirato acetato de celulosa, propionato acetato de celulosa, nitrato de celulosa, celulosa etílica	Acrilato, alilo, halocarburos, polietileno, politerpeno, vinilo	Alilo, epóxico, furano, fenol-formaldehído, poliamidas, poliéster, poliuretano, silicones

**Tabla PL 4 Tipos de cauchos sintéticos**

<b>Tipo de hule</b>	<b>Nombre común o registrado</b>
Polisulfuro de sodio	Tiokol
Poliloropreno	Neopreno
Copolímero butadieno-estireno	SBR
Copolímero acrilonitrilo-butadieno	Hule o caucho nitrilo
Etilo-propileno-dieno	Hules o cauchos EPDM
Poli-isopreno sintético	Coral, Natsyn
Copolímero isobutileno-isopreno	Hule butilo
Poliacrilonitrilo	Hycar
Polisiloxano	Hule de caucho silicon
Poliuretano epiclorohidrina	Vulkolian

## 5.1. CUBIERTAS

Las cubiertas de plásticos son la parte exterior de la techumbre de un edificio se fabrican de uretanos, poliuretanos, resinas de poliéster, vinilos, acrílicos, epóxipos y silicones. Los tipos de plásticos varían según el tipo de material y su uso final.



**Figura Pl 2 a) Detalles típicos de cubiertas para uniones y juntas de expansión para cubiertas de plástico b) Detalles de cubiertas para uniones y juntas de expansión para cubiertas de plástico**

*Condiciones favorables para el uso de cubiertas:*

- Cuando un techo existente, viejo y con goteras, requieres una recubierta
- Cuando se requieres un sistema de cubierta completo, incluyendo aislamiento, membrana de cubierta, superficie acabada para uso, unión, juntas de expansión, soleras de esquinas y fajas.
- 

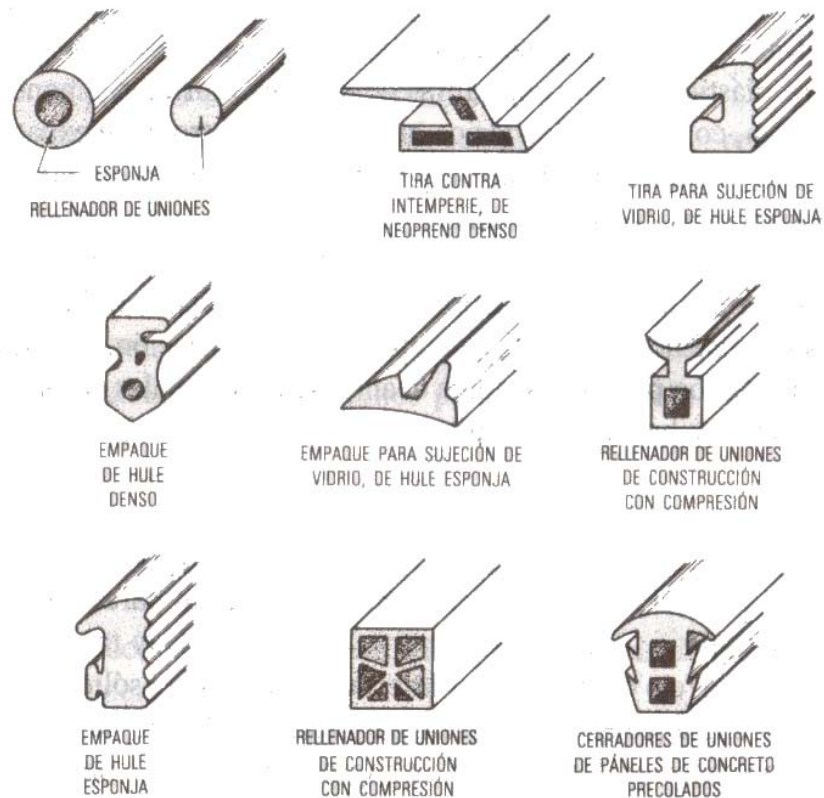
*Condiciones desfavorables para el uso de cubiertas*

- En techos con pendientes mayores de 1 a 12.
- En áreas donde existen estrictas restricciones

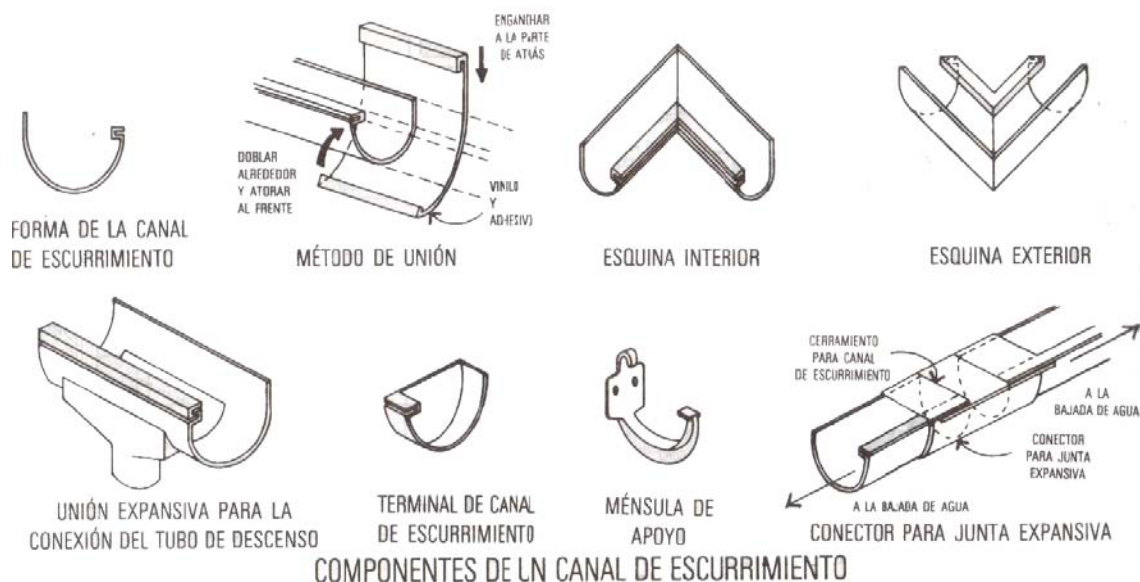
## 5.2. EMPAQUES, CANALES DE ESCURRIMIENTO Y BAJADAS DE AGUA, CALZAS Y TAPONES PARA AGUA.

Los empaques, calzas, tapones para agua y otras diversas formas extruidas de plástico de vinilo, neopreno, nylon, uretano, y otras resinas sintéticas. Estos pequeños componentes diversos se usan con los metales, concreto, madera, mampostería y con otros plásticos, como coberturas de uniones, burletes, tapones de agua, colocación de vidrios, uniones de control y de expansión (véase dilatación).

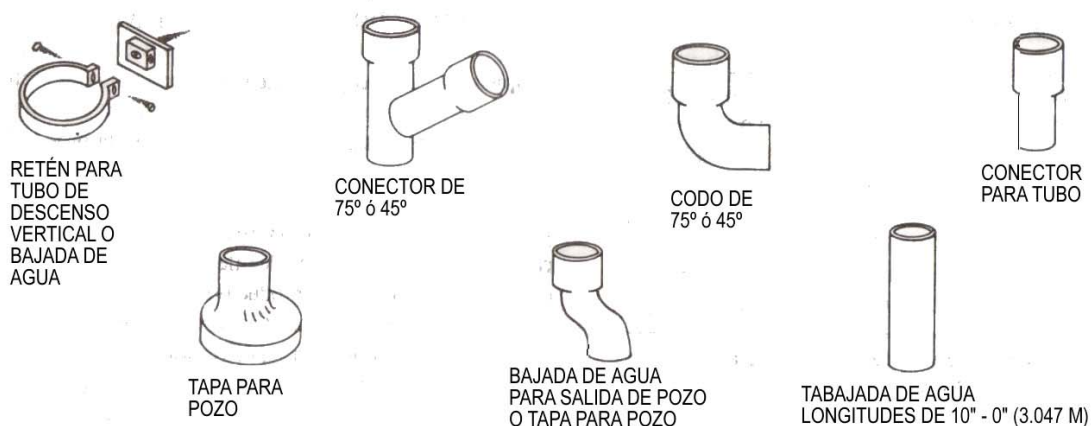
Los canales de escurrimiento y bajadas de agua de plásticos se hacen de vinilo en colores blanco, café o gris carbón. Todas las conexiones, ángulos, componentes de dilatación, uniones y apoyos son parte del sistema cuando se usan canales de escurrimiento y bajadas de vinilo.



**Figura Pl 3** Tipos de plásticos obtenidos por extrusión para colocación de vidrio, tiras contra intemperie o burletes, selladores de uniones, etc.



**Figura Pl 4 canales de escurrimiento y accesorios de vinilo**



**Figura Pl 5 Bajadas de agua y accesorios de vinilo**

**Los empaques de plásticos** se usan para colocación de vidrio y sistemas de muros de cortina. Hay tres tipos 1) tipo cierre o cremallera; al insertarse una unidad sólida dentro del empaque, ésta queda rígida y estable; 2) Tipo de engranaje por fricción; una unidad se engrana o trava con otra para constituir un conjunto unificado rígido; y 3) tipo a compresión, en que los empaques se comprimen en un espacio dado.



***Las calzas, empaques de uniones, cintas de relleno de juntas de construcción*** y otros diversos componentes de plásticos; estos son: 1) los que se instalan en planta, taller o fábrica, y 2) los que se instalan en obra.

***Los retenes para agua y los rellenos de uniones de expansión***; coberturas o ambas, han eliminado en gran medida el uso de fuelles metálicos para uniones de expansión. Los materiales de plástico para uniones e expansión no sólo incluyen los retenes para agua sino también varios sistemas para uniones de expansión de cubiertas, muros de cortina, sistema de paneles, etc.

***Los canales de escurrimiento y las bajadas de agua*** constan de un sistema completo para su instalación, incluyendo el cemento y el limpiador de superficie.

### **5.3. Pisos**

Los pisos de plástico incluyen una amplia variedad de materiales plásticos que se usan para pisos interiores y exteriores, que van desde las losetas y láminas de diseño y color más conocida, pisos de color sin costuras, y de imitación terrazo sin imitaciones para su utilización más reciente y amplia en superficies exteriores e interiores para servicio y juego de fútbol, pistas, tenis, almacenamientos, garajes e estacionamiento e incluso superficies interiores para patinaje.

El material para piso que más se usa en construcciones es el vinílico. Los materiales de vinilo para piso resiliente<sup>1</sup> o elástico se dividen en tres tipos principales: 1) vinilo sólido, 2) vinilo y combinados, y 3) una capa delgada de vinilo aplicada a otros tipos de materiales resilientes para pisos. Éstos tienen buena flexibilidad, son durables, de fácil mantenimiento y muy coloridos, y tienen buena resistencia a grasas y álcalis.

#### **5.3.1. Pisos de lámina vinílica**

La lámina vinílica se fabrica en gran variedad de grosores: 0.069, 0.080, 0.100, 0.110, 0.180 y 0.224 pulg. (1.75, 2.03, 2.54, 2.79, 4.57 y 5.69 mm). Se obtienen en rollos de 6, 9 y 12 pies (1.829, 2.743 y 3.658 m) de ancho, y hasta 50 pies (15.740 m) de largo. Existen láminas de superficie lisa o grabada, con o sin capa base o capa intermedia de espuma, que puede ser gruesa o delgada. El vinilo más grueso se utiliza en áreas de tránsito intenso.

Las tiras decoradas son de ½ y 1 pulg. (12.7 y 25.4 mm) de ancho y por lo común se encuentran en una gama limitada de colores. Las fajas decoradas varían según el fabricante así como los colores, texturas, repujados y modelos varían mucho, y cada fabricante produce constantemente nuevos tipos.

#### **5.3.2. Loseta de vinilo**

Las losetas de vinilo (vinilo puro) se fabrican en dos grosores,  $\frac{3}{32}$  y  $\frac{1}{8}$  pulg. (2.35 y 3.18 mm); en cuadrados de 9x9, 12x12, 18x18 y 36x36 pulg. (22.86, 30.48, 45.75, y 91.44 cm), y en rectángulos de 18x36 pulg. (45.72x91.44 cm). Por lo general también existen otros tamaños de

---

<sup>1</sup> Que proviene de la resina



varios fabricantes, así mismo varían los colores, texturas, modelos fajillas y tiras decoradas similares a los materiales de las láminas.

### 5.3.3. Loseta de vinilo y fibra

Las losetas de vinilo y fibra se fabrican en tres grosores,  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{3}{32}$  y  $\frac{1}{8}$  pulg. (1.59, 2.35 y 3.18 mm); en cuadrados de 9x9 y de 12x12 pulg. (22.86 y 30.48 cm). Algunos fabricantes producen tamaños mayores en la loseta más gruesa. Hay gran variedad de colores, texturas y modelos. Por lo general, las tiras decoradas se limitan a  $\frac{1}{2}$  y 1 pulg. (12.7 y 25.4 mm) de ancho, y 2 pies de longitud (0.610 m) en todos los grosores; por lo común también están limitadas a 4 colores además del negro y blanco. Existe una amplia variedad de insertos.

## 6. TUBERÍA Y TUBOS DE DRENAJE

Todos los tipos de tubería y tubo de drenaje de plástico tienen resistencia a una gama más amplia de sustancias químicas que la tubería de metal. En la fabricación de tubería de plástico se utilizan siete materiales, todos ellos termoplásticos: acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), polietileno (PE), polibutileno (PB), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilo clorado (CPVC) y plástico de caucho estireno (SR).

La tubería de plástico es combustible, y su temperatura de ignición es de 700 a 800 °F (371.11 a 416.67 °C). Sin embargo, debido a que colapsa antes de arder, no deja que el fuego pase de un lado a otro.

La expansión térmica de la tubería de plástico debida a cambios de temperatura es muy considerable, como se observan en la tabla *PL 5* y *PL 6*, y se deben tomar precauciones respecto a su expansión cuando se tiendan grandes tramos de tubería tanto horizontal como verticalmente.

**Tabla PL 5 Expansión térmica de tubería PVC**

Expansión con cambio de temperatura (pulg x °F, mm x °C)															
Longitud		Temperatura													
pies	m	40 °F	4.45 °C	50 °F	10 °C	60 °F	10.56 °C	70 °F	21.11 °C	80 °F	26.67 °C	90 °F	32.22 °C	100 °F	37.78 °C
20	6.096	0.278	7.06	0.348	8.84	0.418	10.62	0.487	12.37	0.557	14.15	0.626	15.9	0.696	17.68
40	12.192	0.557	14.12	0.696	17.65	0.825	21.23	0.974	24.74	1.114	28.30	1.253	31.8	1.392	35.36
60	18.288	0.835	21.18	1.044	26.52	1.253	31.85	1.462	37.11	1.670	42.44	1.879	47.7	2.088	53.04
80	24.384	1.114	28.25	1.392	35.36	1.670	42.47	1.949	49.48	2.227	56.59	2.506	63.6	2.784	70.71
100	30.48	1.382	35.31	1.740	44.20	2.088	53.09	2.436	61.85	2.784	70.74	3.132	79.5	3.480	88.39

**Tabla PL 6 Expansión térmica de tubería ABS**

Expansión con cambio de temperatura (pulg x °F, mm x °C)															
Longitud		Temperatura													
pies	m	40 °F	4.45 °C	50 °F	10 °C	60 °F	10.56 °C	70 °F	21.11 °C	80 °F	26.67 °C	90 °F	32.22 °C	100 °F	37.78 °C
20	6.096	0.536	13.61	0.67	17.02	0.804	20.42	0.938	23.83	1.072	27.23	1.206	30.63	1.34	34.04
40	12.192	1.072	27.23	1.34	34.04	1.608	40.84	1.876	47.65	2.144	54.46	2.412	61.27	2.68	68.07
60	18.288	1.608	40.84	2.01	51.05	2.412	61.27	2.814	71.48	3.216	81.69	3.618	91.90	4.02	102.11
80	24.384	2.144	54.46	2.68	68.07	3.216	81.69	3.752	95.38	4.288	108.52	4.824	122.53	5.36	136.14
100	30.48	2.680	68.07	3.35	85.09	4.020	102.1	4.690	119.13	5.360	137.14	6.030	153.16	6.70	170.18

La presión de operación de las tuberías de PVC y CPVC se reducirá al incrementarse la temperatura de operación por arriba de 22.8°C (73°F). Para calcular esta reducción, multiplicar la presión de operación mostrada en los catálogos por los factores de corrección que se muestran a continuación:

**Tabla Pl 7 Temperatura Factores de Operación de Corrección**

°F	°C	PVC	CPVC
73	22.8	1.00	1.00
80	26.7	0.88	1.00
90	32.2	0.75	0.91
100	37.8	0.62	0.82
110	43.3	0.50	0.77
120	48.9	0.40	0.65
130	54.4	0.30	0.62
140	60.0	0.22	0.50
150	65.6	NR <sup>2</sup>	0.47
160	71.1	NR	0.40
170	76.7	NR	0.32
180	82.2	NR	0.25
200	93.3	NR	0.20

**Fuente: NB 512**

La tubería y tubo de drenaje de plástico es resistente a hongos, termitas y bacterias. Los roedores y algunos insectos a veces roen la tubería de plástico enterrada, para obtener comida agua.

La tubería y tubo de drenaje de plástico se une por varios métodos que varían de acuerdo con las características físicas de cada tipo (ver tabla pl 8). Los métodos básicos son: 1) cemento disolvente, que implica el uso del cemento disolvente para soldar químicamente los tubos y los accesorios, 2) accesorios acoplables, que se insertan en el tubo y se aseguran con abrazaderas de acero inoxidable, 3) selladores elastoméricos para accesorios y tubería con remate de campana, 4) accesorios roscados, que se usan en los tipos de tubería de plástico con rosca, y 5) fusión con calor, que se usa una tubería de plástico para la cual no existe disolvente para soldarla químicamente.

La tubería y tubo de drenaje se obtienen en tamaños que varían de ½ pulg (12.7 mm) a 48 pulg (1.219m) de diámetro y de 13' -7'' (4.14 m) a 20; - 0'' (6.095 m) de longitud. Existe todo tipo de accesorios para los diversos tipos de tubería y tubo de drenaje de plástico y una amplia variedad de accesorios de transición para conectar tubería (véase fig. Pl 7 y Pl 6).

Para tubos que requieren presiones arriba de 200 lb/pulg<sup>2</sup>, se obtiene un tubo de plástico reforzado recubierto con fibra de vidrio y resina epóxica para presiones de 250 y 350 lb/pulg<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> No se recomienda usar los materiales de PVC para temperaturas de operación por encima de 60°C (140°F), para FlowGuard Gold® RD 11 de 82.2°C (180°F) y para CPVC cédulas 40 y 80 de 93.3°C (200°F).

**Tabla Pl 8 Tipos de tubo plástico**

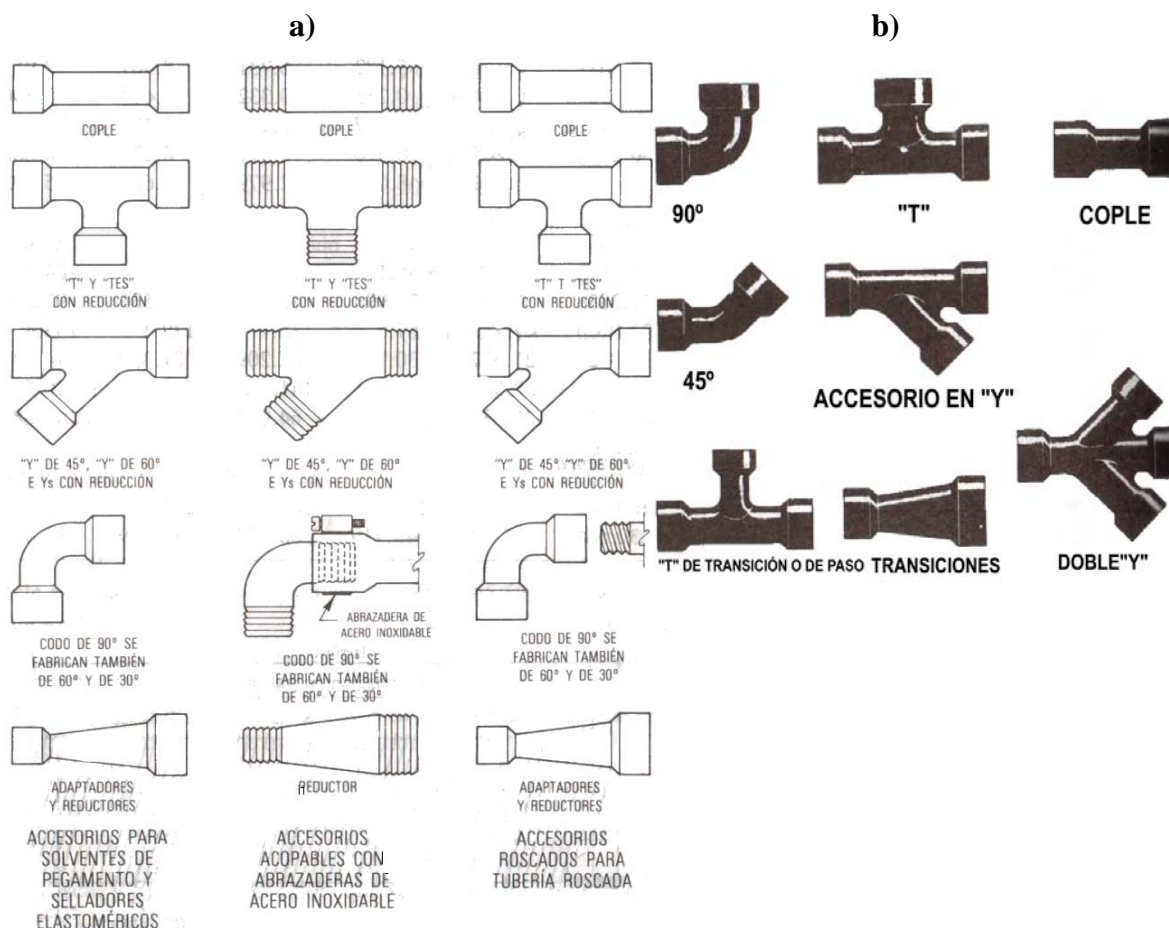
Material	Tipo	Temperatura máxima de operación <sup>3</sup>		Métodos de unión	Usos principales
		°F	°C		
Acrilonitrilo-butadieno-estireno	ABS rígido	100p <sup>4</sup> 180sp	37.78p 82.22sp <sup>5</sup>	Cemento disolvente, filamentoación. Conectores de transición	Tubería para drenaje, desechos, respiradores, albañal, alambrado e hidráulica
Polietileno	PE flexible	100 p 190sp	37.78p 82.22sp	Accesorios de inserción, fusión de campana, fusión de remate, accesorios de transmisión	Servicio y conductores de gas y agua, desechos químicos, y sistemas de irrigación
Polibutileno	PB flexible	180 p 200sp	82.22p 93.33sp	Accesorios de inserción, fusión de campana, fusión de remate, accesorios de transmisión	Servicio y conductores de gas y agua, sistemas de irrigación
Cloruro de polivinilo	PVC rígido	100 p 180sp	37.78p 82.22sp	Cemento disolvente, sellado elastomérico, filamentoación, conectores mecánicos, accesorios de transmisión	Servicio y conductores de agua y gas, drenajes, desechos, respiradores, albañales de casa y conductores para alambrado; tuberías para procesos industriales y sistemas de irrigación
Cloruro de polivinilo clorado	CPVC rígido	180 p	82.22p	Cemento disolvente, filamentoación, conectores mecánicos, accesorios de transmisión	Tuberías para agua fría y caliente y para procesos químicos
Polipropileno	PP rígido	100 p 180sp	37.78p 82.22sp	Conectores mecánicos, fusión de campana, fusión de remate, filamentoación	Tuberías para desechos y procesos químicos
Hule estireno plástico	SR rígido	150sp	65.56sp	Cemento disolvente, accesorios de transición, sellado elástico	Drenajes pluviales, sistemas de desagüe subterráneos, y campos de distribución de albañales

**Figura Pl 6 Accesorios para tubos PVC**

<sup>3</sup> Las proporciones de presión se basan en una temperatura de operación de 73 °F (22.76°C); los límites de ausencia de presión se pueden exceder si el tiempo de exposición es corto.

<sup>4</sup> P trabajara bajo presión

<sup>5</sup> SP trabajara sin presión



**Figura Pl 7 a) Tipos comunes de accesorios para tubería de plástico b) Accesorios comunes típico de inserción con abrazaderas en tubería de plástico**

## 6.1. Usos

La tubería y tubo de drenaje de plástico se usa para agua, albañales, drenajes, deshechos y lumbreras, distribución de gas, tubería para procesos químicos e industriales, irrigación, y conductos eléctricos y de comunicaciones.

En el campo de la construcción se usan extensamente los tubos ABS, PVC y CPVC, y en áreas especiales de la construcción se usan los PE, PB, PP y SR. En la tabla P83 se resumen los datos de cada tipo.

*Condiciones favorables para el uso de tuberías de plástico:*

- Para albañales, drenajes, tubos de deshechos y ventilación, y drenajes pluviales en la construcción de edificios.
- Para tubería industrial y química
- Para conductores eléctricos y de comunicaciones.

- Para irrigación de césped, campos de atletismo, campos de golf, etc.
- Para albañales, tuberías para desechos industriales y químicos tuberías exterior para gas.

*Condiciones desfavorables para el uso tuberías de plástico:*

- Para desechos industriales que corroen la tubería de plástico.
- Para tubería de gas dentro de edificios.

## PROPIEDADES Y ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS “PLÁSTICOS”

### 1. INTRODUCCIÓN

El término plástico es esencialmente una clasificación comercial, a la que no se puede aplicar una definición científica estricta. Se emplea para definir un producto de origen sintético a la que se le puede dar forma en estado fluido, en una etapa de su fabricación, y que no es de hule, madera, vidrio, resina natural, piel ni metal. Esto se puede afirmar en relación con sus características:

- 1) De estructura no cristalina
- 2) No son conductores de la electricidad
- 3) Conductividad del calor relativamente baja
- 4) Resistente a los ambientes químicos y corrosivos
- 5) Bajas temperaturas de ablandamiento
- 6) Se conforman fácilmente a estructuras complejas
- 7) Muestran deformaciones aun después de que se retira una carga aplicada; esto se conoce como comportamiento viscoelástico

### 2. TERMINOLOGÍA

#### i. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Proceso usado para la determinación de las proporciones en que figuran los distintos tamaños en granos que constituyen un árido.

#### ii. ARENA

Árido o fracción del mismo que al ser tamizado en el tamiz 5mm de malla. Pasa en su totalidad por dicho tamiz.

#### iii. TERMOPLÁSTICO

Material plástico que requiere calor para poder darle forma y que después de enfriarlo mantiene su forma. Los termoplásticos están compuestos de cadenas de polímeros con enlaces entre cadenas del tipo de enlaces secundarios entre dipolos. Los termoplásticos pueden reblandecerse repetidamente cuando se calientan y endurecen cuando se enfrían. Termoplásticos típicos son polietileno, vinilos, acrílicos, celulósicos y nylons.

#### iv. PLÁSTICO TERMOESTABLE

Material plástico que experimenta una reacción química por la acción del calor, catalizadores, etc., generando una estructura macromolecular reticular entrecruzada. Los plásticos termoestables no pueden volverse a fundir y procesar puesto que cuando se calientan se degradan y se descomponen. Los plásticos termoestables típicos son fenólicos, poliésteres insaturados y epoxis.

- v. MONÓMERO**  
Compuesto molecular simple que puede unirse de forma covalente con otros para formar cadenas moleculares largas (polímeros). Ej. El etileno.
- vi. CADENA POLIMÉRICA**  
Un compuesto de gran masa molecular cuya estructura consiste en un gran número de pequeñas unidades que se repiten, denominadas meros. Los átomos de carbono son los átomos mayoritarios en las cadenas principales en la mayoría de los polímeros.
- vii. MERO**  
Unidad que se repite en la cadena polimérica de la molécula.
- viii. POLIMERIZACIÓN**  
Reacción química por la cual se forman moléculas de gran masa molecular a partir de monómeros.
- ix. COPOLIMERIZACIÓN**  
Reacción química en la cual se forman moléculas de gran masa molecular a partir de dos o más tipos de monómeros.
- x. POLIMERIZACIÓN EN CADENA**  
El mecanismo de polimerización por el cual cada molécula polimérica aumenta su tamaño rápidamente una vez que el crecimiento ha comenzado. Este tipo de reacción ocurre en tres pasos. Iniciación de la cadena, propagación de la cadena y terminación de la cadena. El nombre implica una reacción en cadena y se inicia usualmente por medio de alguna fuente externa. Ej. La cadena de polimerización del etileno en polietileno.
- xi. GRADO DE POLIMERIZACIÓN**  
Masa molecular de una cadena polimérica dividido por la masa molecular de su mero.
- xii. FUNCIONALIDAD**  
Número de localizaciones con un enlace activo en un monómero. Si el monómero tiene dos posiciones activas se dice que es bifuncional.
- xiii. HOMOPOLÍMERO**  
Un polímero consistente en un solo tipo de unidades de monómeros.
- xiv. COPOLÍMEROS**  
Cadena polimérica consistente en dos o más tipos de unidades de monómeros.
- xv. ENTRECRUZAMIENTO**  
Formación de enlaces primarios de valencia entre moléculas de cadenas poliméricas. Cuando ocurre un entrecruzamiento extensivo como en el caso de las resinas termoestables, el entrecruzamiento genera una supermolécula con todos los átomos.
- xvi. POLIMERIZACIÓN POR ETAPAS**  
Mecanismo de polimerización por el cual el crecimiento de la molécula del polímero sucede por una reacción intermolecular en etapas. Sólo está involucrado un tipo de reacción. Las unidades de monómero pueden reaccionar entre sí o con cualquier molécula

polimérica de cualquier tamaño. Se asume que los grupos activos de los extremos de un monómero o cadena polimérica tienen la misma reactividad sin importar la longitud del polímero. Frecuentemente se condensa algún subproducto como el agua en el proceso de polimerización. Ej. La polimerización del nylon 6,6 a partir del ácido adípico a la hexametildiamina.

**xvii. POLIMERIZACIÓN EN MASA**

Polimerización directa de monómeros líquidos en un polímero en una reacción en la cual el polímero permanece soluble en su propio monómero.

**xviii. POLIMERIZACIÓN EN SOLUCIÓN**

En este proceso se utiliza un solvente el cual disuelve al monómero, al polímero y al iniciador de la polimerización. Diluyendo el monómero con el solvente se reduce la velocidad de polimerización y el calor liberado por la reacción de polimerización es absorbido por el disolvente.

**xix. POLIMERIZACIÓN EN SUSPENSIÓN**

En este proceso se utiliza agua como medio de la reacción y el monómero es dispersado más que disuelto en el medio. El polímero se obtiene en forma de pequeñas perlas que son filtradas, lavadas y secadas para formar polvo para el moldeo.

**xx. MOLDEO POR INYECCIÓN**

Proceso de moldeo por el cual un material plástico reblandecido por el calor es forzado por un tornillo de vuelta cilíndrico a entrar en una cavidad de moldeo relativamente fría donde se da al plástico la forma deseada.

**xxi. MOLDEO POR SOPLADO**

Método de fabricación de plásticos en el cual un tubo hueco es forzado a la forma interior de la cavidad del molde por presión interior de aire.

**xxii. EXTRUSIÓN**

El material plástico reblandecido pasa a través de un orificio, produciendo un producto continuo. Ej. El tubo de plástico extrusionado.

**xxiii. MOLDEO POR COMPRESIÓN**

Un proceso de moldeo de plásticos termoestables en el cual el compuesto a moldear es situado en primer lugar en la cavidad del molde. Se cierra el molde y se aplica calor y presión hasta que se cura el material.

**xxiv. MOLDEO POR TRANSFERENCIA**

Proceso de moldeo de plásticos termoestables en el cual el material a moldear es primeramente reblandecido por el calor en una cámara de transferencia y después es forzado por medio de alta presión a una o más cavidades del molde para un curado final.

**xxv. RELLENO**

Sustancia inerte de bajo costo añadida a los plásticos para hacerlos menos costosos. Pueden utilizarse también los rellenos para mejorar algunas propiedades físicas como la resistencia a la tensión, resistencia al impacto, dureza, resistencia al desgaste, etc.



**xxvi. ELASTÓMERO**

Material que a temperatura ambiente se alarga bajo una pequeña tensión al menos dos veces su longitud y vuelve rápidamente a casi su longitud original al eliminar la tensión.

**xxvii. VULCANIZACIÓN**

Reacción química que causa el cruzamiento de las cadenas poliméricas. La vulcanización generalmente se refiere al entrecruzamiento de las cadenas moleculares de caucho con el azufre, pero la palabra puede también utilizarse para otras reacciones de entrecruzamiento de polímero como las que ocurren.

**3. PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS**

Las propiedades de los polímeros dependen completamente de su estructura molecular. En las siguientes tablas se presenta el efecto de las ramificaciones sobre las propiedades del polietileno y el efecto de la cristalinidad.

***Tabla Pl 9 Efecto de las ramificaciones sobre las propiedades del polietileno***

<b>Propiedad</b>	<b>PE lineal</b>	<b>PE ramificado</b>
Densidad	Mayor	Menor
Rigidez	Mayor	Menor
Resistencia al impacto	Menor	Mayor
Fluidez	Menor	Mayor
Permeabilidad a gases	Menor	Mayor

***Tabla Pl 10 Efecto de la cristalinidad sobre las propiedades de los polímeros***

<b>Propiedad</b>	<b>Polímero cristalino</b>	<b>Polímero amorfo</b>
Densidad (en el mismo material)	Aumenta con la cristalinidad	Menor que en el cristalino
Dureza	Mayor	Menor
Rigidez	Mayor	Menor
Resistencia al impacto	Menor	Mayor
Contracción en el molde	Mayor	Menor
Temperatura de fusión	Punto definido	Intervalo de fusión
Temperatura deformación bajo carga	Mayor	Menor
Permeabilidad a gases	Menor	Mayor

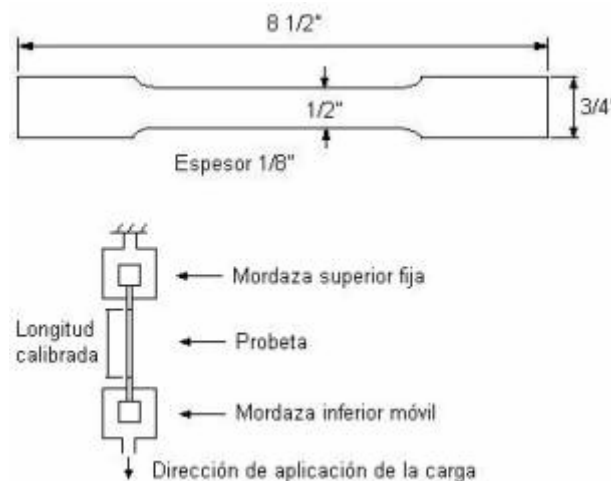
Se han implementado diversas pruebas para caracterizar y evaluar las propiedades de los materiales plásticos. Sin embargo, debe tenerse presente que las propiedades obtenidas sirven solamente como parámetros de comparación y como criterios que orientan en la selección de un material, ya que han sido resultado de ensayos bajo condiciones controladas de laboratorio. El desempeño de un material en una aplicación específica de un producto sólo se puede confirmar bajo las condiciones reales de servicio. A continuación se describen las principales pruebas ASTM para plásticos, su significado y utilización:

- Propiedades Mecánicas
- Propiedades Térmicas
- Pruebas de Permanencia

### 3.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 3.1.1. Resistencia a la tracción (ASTM D638)

Se utiliza una probeta estándar, inyectada o mecanizada a partir de una placa moldeada. Ambos extremos de la probeta son sujetados con las mordazas de una máquina de tracción universal y se somete a carga axial. La prueba termina cuando la probeta falla, o cuando se llega a un nivel de deformación preestablecido por el usuario.

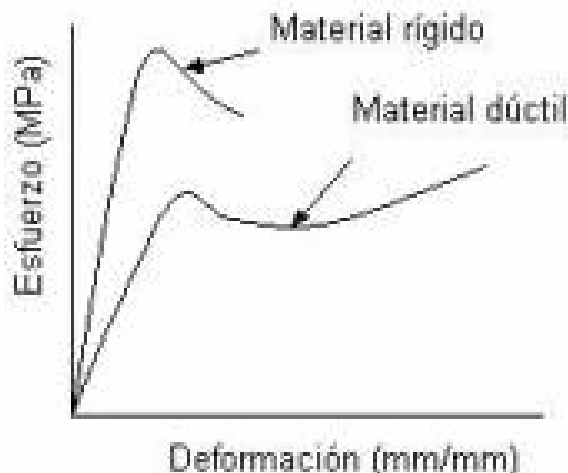


**Figura Pl 8 Dimensiones de la probeta para el ensayo a tracción**

La mordaza móvil de la máquina avanza a una velocidad de 2.5, 5, 50 ó 500 mm/min. A través de un sistema de adquisición de datos la máquina registra el esfuerzo soportado por la probeta y el desplazamiento de la mordaza, calculando la deformación de la probeta con referencia a una longitud inicial calibrada. Los resultados obtenidos de esta prueba son: el esfuerzo o resistencia a la ruptura, el esfuerzo o resistencia a fluencia y sus respectivas deformaciones; el módulo de elasticidad en la zona proporcional, que es una medida de la rigidez de un material.

Estas propiedades son de mucha utilidad en el diseño de piezas y productos. Igualmente, a partir del área bajo la gráfica esfuerzo-deformación, puede estimarse la tenacidad o resistencia al impacto.

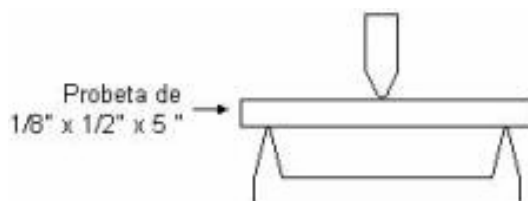
En general, para un mismo tipo de material, entre más rígido sea menor tenacidad y ductilidad ofrecerá.



**Figura Pl 9 Comparación de la deformación de un material rígido y dúctil**

### 3.1.2. Resistencia a la flexión (ASTM D790)

Se coloca una probeta a manera de viga sobre dos soportes espaciados 100 mm. Se aplica una carga en el centro a una velocidad determinada y el esfuerzo en el momento de la falla es lo que se reporta como la resistencia a la flexión o módulo de flexión. Muchos plásticos no se quiebran, por lo que la propiedad a flexión que se reporta es el esfuerzo en la fibra exterior de la viga cuando se ha deformado un 5%. En este caso deberá colocarse un extensómetro en esa cara de la probeta.

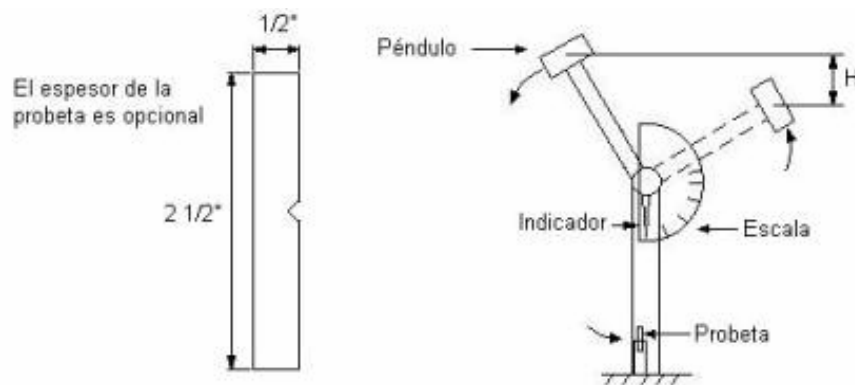


**Figura Pl 10 Ensayo para determinar la resistencia a la flexión**

Esta prueba es comúnmente utilizada para evaluar el desempeño de materiales reforzados.

### 3.1.3. Impacto Izod (ASTM D256)

Para esta prueba se requiere una probeta con una entalla que origina una concentración de esfuerzos. El ensayo consiste en colocar la probeta como una viga empotrada en un extremo e impactarla, por el lado de la entalladura, con un péndulo.



$$E_{\text{PROBETA}} = E_{\text{INICIAL}} - E_{\text{FINAL}} - E_{\text{PERDIDAS}}$$

$$= MgH_1 - MgH_2 - E_{\text{PERDIDAS}}$$

$$= MgH - E_{\text{PERDIDAS}}$$

**Figura Pl 11 Ensayo de para determinar la resistencia la impacto**

La energía que absorbe la probeta en el impacto se calcula al restar a la energía potencial, que posee la masa del péndulo antes del impacto con respecto a la probeta, la energía posterior al impacto y la energía absorbida por las pérdidas de rozamiento propias del equipo de ensayo. El valor de la energía absorbida por la probeta se acostumbra dividirlo por el espesor de la misma, con el fin de reportar el valor de impacto Izod por unidad de espesor de la entalla (J/cm ó ft-lb/in).

Los valores de impacto Izod son muy útiles en la comparación de diferentes grados del mismo material. Para comparar un plástico con otro el impacto Izod no debe ser considerado un indicador confiable del desempeño bajo cargas de impacto, debido a que hay materiales más sensibles a la entalla que otros. Es por esto que el impacto Izod sirve sólo como una guía para evitar concentradores de esfuerzo o para examinar el desempeño de diferentes grados de un mismo tipo de material frente a las entalladuras.

#### **3.1.4. Dureza (ASTM D785 Rockwell, ASTM D2240 Shore)**

El ensayo de dureza consiste en aplicar una carga mediante un indentador, durante un período de tiempo, sobre la superficie de una muestra de material. Se toma como parámetro de dureza la relación entre la carga aplicada y el área de la marca del indentador.

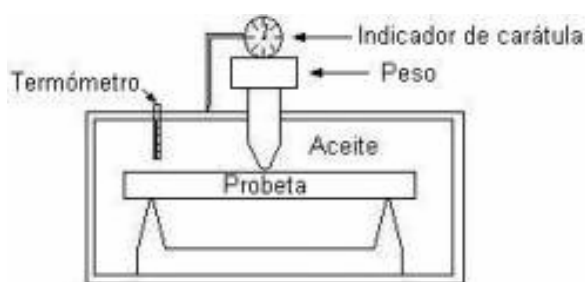
La dureza no es una propiedad intrínseca de un material, sin embargo, la resistencia a la indentación es un indicativo que permite comparar entre diferentes grados de un mismo tipo de material. Igualmente, la dureza permite hacer correlaciones, más o menos directas, con propiedades como la resistencia a la tensión y el módulo de rigidez. El espécimen de material a ensayar debe tener un espesor mínimo de 6 mm. En caso de que la pieza no tenga un espesor semejante, deberá completarse el espesor requerido con capas del material.

Para los materiales plásticos se utilizan principalmente las escalas de dureza Rockwell M y R (plásticos duros) y las escalas Shore A y D (elastómeros y cauchos).

### 3.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

#### 3.2.1. Temperatura de deflexión (ASTM D648)

Las probetas utilizadas tienen dimensiones de 5" x 1/2" con un espesor entre 1/8" y 1/2". La probeta es colocada sobre dos apoyos separados 100 mm, sumergida en un baño de aceite, y se aplica una fuerza en el centro de 455 ó 1820 kPa (en la norma ASTM se indica que la probeta se somete a esfuerzos de 66 ó 264 psi). El aceite es calentado a una velocidad de 2 °C/min. La temperatura a la cual la barra se flexiona 0.25 mm, se registra como temperatura de deflexión (HDT).



*Figura Pl 12 Probeta utilizada en el ensayo de deflexión*

La HDT no debe ser interpretada como la temperatura límite para utilización de un material. Se utiliza para comparar el desempeño de diferentes materiales y para propósitos de control de calidad y desarrollo.

#### 3.2.2. Punto de reblandecimiento Vicat (ASTM D1525)

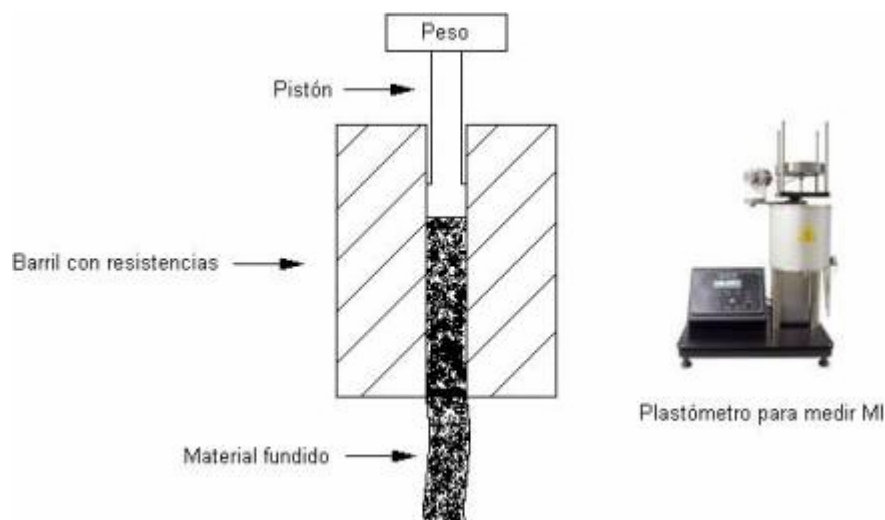
Se utilizan probetas con un ancho de 3/4" y un espesor de 1/8". El procedimiento consiste en sumergir la probeta en un baño de aceite, precalentado a 50 °C, se incrementa la temperatura a una velocidad de 50 °C/hr ó 120 °C/hr y se penetra la probeta con un identador. La temperatura a la cual el identador ha penetrado 1 mm. es la temperatura Vicat. Este valor es un parámetro utilizado en la comparación de las características de reblandecimiento de termoplásticos.

#### 3.2.3. Coeficiente de expansión térmica lineal (ASTM D696)

Se utilizan probetas con longitudes entre 50 y 125 mm. y con sección transversal rectangular, cuadrada o circular. La probeta se coloca en un dilatómetro con un sensor piezoeléctrico que mide cambios pequeños en la longitud. El dilatómetro se sumerge en un baño y se hace variar la temperatura midiendo el cambio de longitud de la probeta y comparándolo con la longitud inicial a temperatura ambiente. Este coeficiente es utilizado en cálculos de diseño.

### 3.2.4. Índice de fundido (Melt Index, MI) (ASTM D1238)

Se utilizan trozos de material (pellets, polvo, hojuelas) que puedan ser introducidos a través del orificio del barril del plastómetro. El barril es precalentado a una temperatura dada y se mantiene dicha temperatura durante todo el ensayo, conservando el material fundido. Se introduce un pistón con una carga que hace fluir el material y se corta la tira que sale. Se toman muestras de esta manera a 1, 2, 3 ó 6 minutos, se pesan y se extrapola para dar el valor de MI en g/10 min.



**Figura Pl 13** *Plastómetro para determinar el índice de fundido*

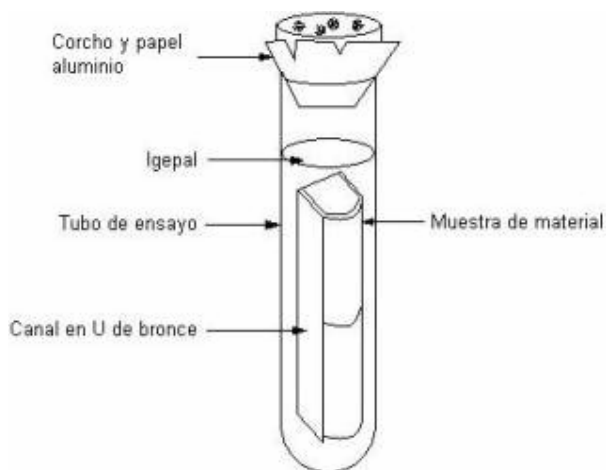
Se utilizan dos cargas: 2.16 kg y 21.6 kg para materiales muy viscosos, como los polietilenos de alto peso molecular. Las temperaturas usualmente utilizadas están entre 190 y 220 °C. El MI es utilizado, principalmente, para efectos de control de calidad por los fabricantes de resinas. No debe ser relacionado con el desempeño del material bajo condiciones de procesamiento ni con la predicción de parámetros de proceso.

## 3.3. PRUEBAS DE PERMANENCIA

### 3.3.1. Resistencia al agrietamiento por esfuerzos ambientales (*Environmental Stress Cracking Resistance ESCR, ASTM 1693*)

Se utilizan trozos de lámina del material cortados con dimensiones de 38 x 13 mm. y espesores entre 1.75 y 3.30 mm. Se doblan en “U” por el lado más angosto y se insertan en un canal de bronce. Las probetas así sujetadas se sumergen en una agente tensoactivo (Igepal) dentro de un tubo de ensayo, el cual es sellado con papel de aluminio y un corcho. El tubo se pone en un baño a 50 °C. Se inspecciona la muestra periódicamente y cualquier grieta visible sobre la superficie curva del espécimen es considerada como falla. Se reporta el tiempo en horas al cabo del cual apareció la grieta. El ESCR es un indicativo de la resistencia de un material para contener una sustancia agresiva. Sin embargo, los resultados obtenidos no pueden extenderse directamente al

desempeño de un producto específico. Es de mucha aplicación en la clasificación de polietilenos aunque también es utilizada para comparar entre otros tipos de materiales.



**Figura Pl 13 Ensayo de agrietamiento**

### 3.3.2. Resistencia química

Las pruebas de resistencia química, básicamente se remiten a observar el efecto de una sustancia dada sobre un material. Este efecto puede manifestarse como solubilización del material, hinchamiento o ser nulo. Estas pruebas se realizan sumergiendo pequeñas cantidades de plástico (pellets, hojuelas) en un tubo de ensayo con la sustancia; se observa el efecto durante un tiempo que puede ser de hasta 24 horas.

### 3.3.3. Envejecimiento a la intemperie (ASTM D1435 y G23)

Estas pruebas se realizan usualmente sobre los productos ya fabricados con el fin de estimar su comportamiento ante diversas condiciones ambientales. Hay pruebas instrumentadas en las cuales se utiliza una cámara con luces ultravioleta y aspersores de humedad con el fin de simular condiciones climáticas diversas. Estas pruebas aceleran el envejecimiento, sin embargo, no se deben correlacionar directamente con el comportamiento bajo condiciones reales por lo que deberá comprobarse definitivamente en operación. También se hacen pruebas exponiendo los productos directamente al ambiente, colocándolos sobre parrillas a diversos ángulos de inclinación. En ambos tipos de pruebas se evalúa el desempeño del producto en cuanto a características como permanencia del color, agrietamiento o pérdida de propiedades físicas. Este tipo de ensayos se utilizan en desarrollo y control de calidad.

### 3.3.4. Absorción de agua (ASTM D570)

Algunos polímeros son higroscópicos, es decir, absorben humedad del ambiente. Estos materiales requieren ser secados antes de ser procesados con el fin de evitar defectos en los productos finales. Este ensayo se hace presecando una muestra del material durante 24 horas a 50 °C; posteriormente se enfría en un desecador. Se pesa y se sumerge en agua durante 24 horas a 23°C.

Se extrae la muestra, se seca con un pedazo de tela y se pesa. El aumento de peso, en porcentaje, con respecto al peso inicial es lo que se reporta como porcentaje de absorción de agua. Esta propiedad es bastante utilizada para la selección de materiales en aplicaciones eléctricas y cuando se requiera asegurar precisión dimensional.

Existen otros tipos de ensayos, normalizados y no normalizados, para evaluar propiedades físicas, eléctricas, ópticas y de desempeño de productos específicos. Lo importante es tener presente que existen criterios para la selección de un material, como lo son sus propiedades, y que pueden ser consultadas en las fichas técnicas que suministra el fabricante de la resina. Es importante aclarar que en las fichas técnicas, aparte de las propiedades de los materiales, se recomiendan sus aplicaciones y parámetros de procesamiento.

#### 4. PROPIEDADES DE LOS PRINCIPALES MATERIALES PLÁSTICOS

Los materiales plásticos tienen una amplia gama de aplicaciones que van desde productos de uso casero hasta piezas y partes de ingeniería. La facilidad para alterar sus propiedades manipulando su composición química y su estructura molecular, ha permitido desarrollar gran cantidad de materiales y grados para diferentes aplicaciones. Algunos termoplásticos bastante utilizados en inyección, son los siguientes:

Polietileno de baja densidad (PEBD)

Polietileno de alta densidad (PEAD)

Polipropileno (PP)

Poliestireno (PS)

Policloruro de vinilo (PVC)

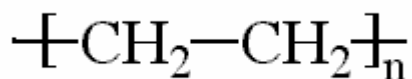
Polietilen tereftalato (PET)

Policarbonato (PC)

Poliacetal (POM)

Poliamida o Nylon (PA)

##### 4.1. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD)



El PEBD es de mucha utilización en productos flexibles, tales como: juguetes, botellas y envases para shampoo, bolsas, recubrimiento de cables, entre otros. Es uno de los plásticos de mayor consumo y su costo actual es del orden de U\$ 700/tm. Es un polímero de adición altamente ramificado con una cristalinidad del 60 al 70%. Se produce también un polietileno lineal de baja densidad (LLDPE). Este es un copolímero de etileno y un comonómero alquílico ramificado. Es de bastante utilización en la fabricación de películas. En general, los PE son materiales de bajo costo, con excelentes propiedades dieléctricas y una resistencia química alta. Como desventajas se pueden mencionar las siguientes: dilatación térmica muy alta, resistencia a la intemperie baja,

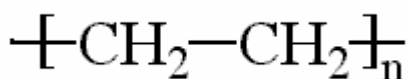


sujeto al agrietamiento por tensión y es inflamable. A continuación se presentan algunas propiedades generales del PEBD.

**Tabla Pl 11 Propiedades del PEBD**

<b>Propiedad (Unidades)</b>	<b>Valor</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.91 – 0.94
Absorción de agua (%)	0.01 – 1.5
Contracción lineal en el molde (%)	2 – 3
Índice del fundido, MI (g/10min)	0.33 – 92.1
ESCR (hrs)	1
Dureza, Rockwell R	60
Shore D	41 – 60
Resistencia a la tracción (Mpa)	6.9 – 25
Resistencia a la fluencia (Mpa)	7.7 – 24.1
Elongación a la ruptura (%)	50 – 650
Elongación a la fluencia (%)	13 – 17.5
Módulo elástico (GPa)	0.139 – 0.35
Módulo a flexión (Gpa)	0.124 – 0.759
Módulo de Poisson	0.38
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	No se rompe
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	40 – 67
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	23 – 52
Expansión térmica lineal, a 20 °C (µm/m - °C)	30 – 230
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	80 – 99
Temperatura de procesamiento (°C)	200 – 213
Resistencia a ácidos	Acid. Oxidantes
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Resistente por debajo de 60 °C

#### 4.2. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)



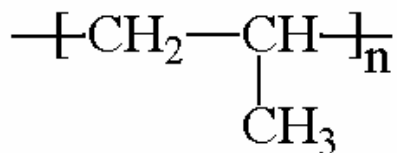
Al igual que el PEBD, el PEAD es uno de los plásticos de mayor consumo volumétrico en el mundo. Es de mucha aplicación en envases soplados y piezas inyectadas que no tengan unos requerimientos mecánicos importantes. Su costo está en el orden de U\$ 680/tm. Es un polímero de adición lineal semicristalino. Por el hecho de ser lineal es más rígido y resistente que el PEBD. El PEAD es producido con pesos moleculares entre 200000 y 500000, pero también puede ser obtenido con pesos mucho mayores. Los PEAD con pesos en el rango de tres a seis millones, son conocidos como polietilenos de ultra-alto peso molecular (UHMWPE). Debido a esto, los

UHMWPE no fluyen, son *termoestables*. A continuación se presentan algunas propiedades generales del PEAD.

**Tabla Pl 12 Propiedades del PEAD**

Propiedad (Unidades)	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.94 – 0.96
Absorción de agua (%)	0.01 – 1.5
Contracción lineal en el molde (%)	0.3 – 2
Índice del fundido, MI (g/10min)	0.1 – 90
ESCR (hrs)	50 – 3000
Dureza, Rockwell R	60 – 65
Shore D	55 – 69
Resistencia a la tracción (Mpa)	10 – 50
Resistencia a la fluencia (Mpa)	2.4 – 31.7
Elongación a la ruptura (%)	10 – 1500
Elongación a la fluencia (%)	6.9 – 15
Módulo elástico (GPa)	0.18 – 1.6
Módulo a flexión (Gpa)	0.179 – 1.7
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	0.21 – 8.01
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	60 – 104
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	41 – 93
Dilatación térmica lineal, a 20 °C (µm/m - °C)	22 – 200
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	67 – 131
Temperatura de procesamiento (°C)	190 – 274
Resistencia a ácidos	Acid. Oxidantes
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Resistente por debajo de 60 °C

#### 4.3. POLIPROPILENO (PP)



El monómero de propileno tiene un grupo metílico unido a uno de los carbonos. Es por esto que el PP puede tener diversos grados de *tacticidad*. El de mayor interés industrial y comercial es el PP isotáctico, debido a que es el que ofrece las mejores propiedades mecánicas. El PP y el PE se asimilan en muchas propiedades, siendo el PP más liviano, más resistente y rígido y con una mayor temperatura de servicio. Hoy en día existe una tendencia hacia la mayor utilización del PP, debido a que es más barato de producir que el PE. El costo actual del PP es del orden de US\$ 650/tm.

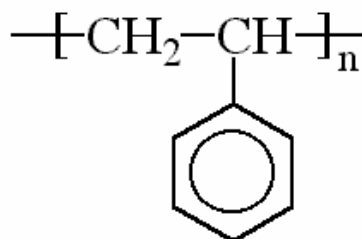
El PP es un material fácil de procesar, ofrece una resistencia química alta, presenta una temperatura de servicio elevada (126 °C) y es un excelente aislante eléctrico. Sin embargo, se descompone por radiación UV, tiene poca resistencia a la intemperie, es inflamable y es susceptible al ataque de disolventes clorados y aromáticos.

A continuación se presentan las propiedades generales del PP:

**Tabla Pl 13 Propiedades del PP**

<b>Propiedad (Unidades)</b>	<b>Valor</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.902 – 0.906
Absorción de agua (%)	0.01 – 0.1
Contracción lineal en el molde (%)	1 – 4
Índice del fundido, MI (g/10min)	0.5 – 136
ESCR (hrs)	1000
Dureza, Rockwell R	70 – 113
Shore D	68 – 83
Resistencia a la tracción (Mpa)	19.7 – 80
Resistencia a la fluencia (Mpa)	12 – 43
Elongación a la ruptura (%)	3 – 887
Elongación a la fluencia (%)	3.5 – 110
Módulo elástico (GPa)	0.5 – 7.6
Módulo a flexión (Gpa)	0.55 – 2.41
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	0.16 – No se rompe
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	13 – 238
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	37 – 148
Expansión térmica lineal, a 20 °C (µm/m - °C)	25 – 185
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	35 – 148
Temperatura de procesamiento (°C)	202 – 252
Resistencia a ácidos	Acid. Oxidantes
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Resistente por debajo de 80 °C

#### 4.4. POLIESTIRENO (PS)



El poliestireno es un material atáctico, amorfo, bastante rígido, transparente, de buena estabilidad dimensional y bajo costo. Como desventajas puede anotarse que es inflamable, posee muy poca resistencia a los disolventes y a la intemperie y los homopolímeros son muy frágiles. Es de mucha utilización en la fabricación de juguetes, carcasas, platos y vasos desechables, gafas y maletas. Existen diversos copolímeros de estireno, los cuales presentan características ópticas y eléctricas similares a las del PS pero con mayores prestaciones mecánicas, esto son:

Estireno-acrilonitrilo (SAN): El acrilonitrilo ( $\text{CH}_2=\text{CHN}$ ) se copolimeriza con el estireno dando como resultado el SAN. Este material tiene una resistencia muy superior a diversos disolventes y grasas.

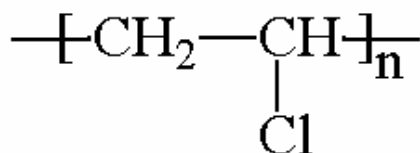
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS): Es un terpolímero, ya que es obtenido por la copolimerización de tres monómeros: acrilonitrilo ( $\text{CH}_2=\text{CHCN}$ ), butadieno ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) y estireno. El ABS se caracteriza por su alta resistencia la impacto, a las sustancias químicas y al calor.

A continuación se muestran algunas propiedades representativas del PS:

**Tabla Pl 14 Propiedades del PS**

<b>Propiedad (Unidades)</b>	<b>Valor</b>
Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	1.04 – 1.07
Absorción de agua (%)	0 – 0.1
Contracción lineal en el molde (%)	0.4 – 0.6
Índice del fundido, MI ( $\text{g/10min}$ )	1.2 – 28
Dureza, Rockwell R	104 – 120
Resistencia a la tracción (Mpa)	17.9 – 70
Resistencia a la fluencia (Mpa)	25 – 69
Elongación a la ruptura (%)	1 – 45
Elongación a la fluencia (%)	1.5 – 2.2
Módulo elástico (GPa)	1.79 – 3.38
Módulo a flexión (Gpa)	2 – 3.3
Resistencia al impacto, Izod ( $\text{J/cm}$ )	0.107 – 1.27
HDT a 0.46 MPa (66 psi) ( $^{\circ}\text{C}$ )	78 – 103
HDT a 1.8 MPa (264 psi) ( $^{\circ}\text{C}$ )	69 – 99
Expansión térmica lineal, a $20^{\circ}\text{C}$ ( $\mu\text{m/m} - ^{\circ}\text{C}$ )	50 – 125
Punto de reblandecimiento Vicat ( $^{\circ}\text{C}$ )	1.03 – 110
Temperatura de procesamiento ( $^{\circ}\text{C}$ )	200 – 218
Resistencia a ácidos	Acid. Oxidantes
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Soluble en hidrocarburos clorados y aromáticos

#### 4.5. POLICLORURO DE VINILO (PVC)



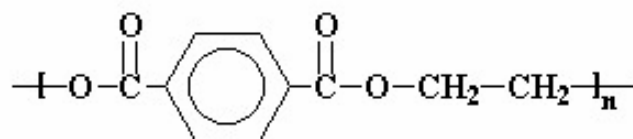
El PVC es un material bastante común a nuestro alrededor. Es el tercer material de mayor consumo después del PE y del PP. Se utiliza frecuentemente en la fabricación de tubería y elementos que van a estar en contacto con el agua y a la intemperie, debido a que no se degrada fácilmente por estos efectos. Se pueden lograr diversos grados de flexibilidad adicionando el material con plastificantes. Otra característica importante para la aplicación del PVC es su resistencia a la llama, debido al contenido de Cloro; cuando el material trata de encenderse los átomos de Cloro se desprenden e inhiben la combustión.

El precio actual del PVC es del orden de U\$ 650/tm. A continuación se presentan algunas propiedades del PVC:

**Tabla Pl 1**  
**5 Propiedades del PVC**

Propiedad (Unidades)	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.16 – 1.45
Absorción de agua (%)	0.07 – 0.4
Contracción lineal en el molde (%)	0.4 – 3.5
Dureza, Rockwell R	79 – 113
Resistencia a la tracción (Mpa)	34 – 59
Resistencia a la fluencia (Mpa)	17 – 52
Elongación a la ruptura (%)	3 – 120
Elongación a la fluencia (%)	1.5 – 2.2
Módulo elástico (GPa)	1.2 – 3.169
Módulo a flexión (Gpa)	1.958 – 3.31
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	0.4 – 10.7
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	66 – 89
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	62 – 86
Expansión térmica lineal, a 20 °C ( m/m - °C)	50
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	63 – 89
Temperatura de procesamiento (°C)	199 – 210
Resistencia a ácidos	Resistente
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Semisoluble en hidrocarburos aromáticos

#### 4.6. POLIETILEN TEREFTALATO (PET)



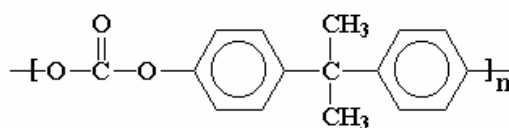
El PET es un material altamente cristalino por lo que puede formar fibras muy fuertes. Es de gran utilización en la industria textil.

También tiene un amplio uso para fabricar envases para bebidas gaseosas, pues ofrece una alta barrera a los gases.

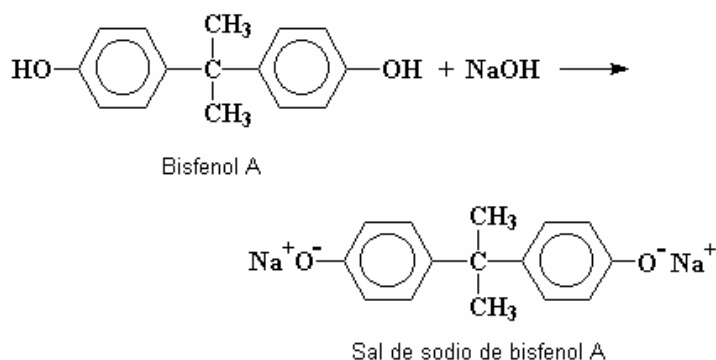
*Tabla Pl 16 Propiedades del PET*

Propiedad (Unidades)	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.3 – 1.33
Absorción de agua (%)	0.15
Contracción lineal en el molde (%)	0.6
Dureza, Rockwell R	110
Resistencia a la tracción (Mpa)	55
Resistencia a la fluencia (Mpa)	50 – 57
Elongación a la ruptura (%)	50 – 350
Elongación a la fluencia (%)	3.8
Módulo elástico (GPa)	2.47 – 3
Módulo a flexión (Gpa)	1
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	1.4
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	68 – 72
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	63 – 100
Expansión térmica lineal, a 20 °C (µm/m - °C)	73 – 92
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	74 – 76
Temperatura de procesamiento (°C)	280 – 300
Resistencia a ácidos	Resistente
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Soluble en solventes clorados y en acetato etílico

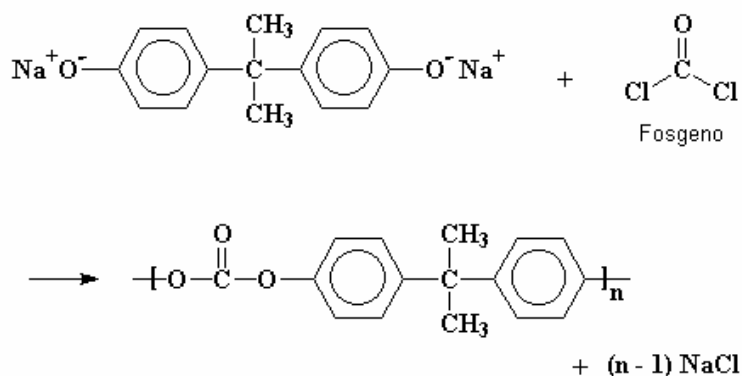
#### 4.7. POLICARBONATO (PC)



El PC es un polímero de adición cuyo proceso de obtención se inicia al hacer reaccionar bisfenol A con hidróxido de sodio, resultando sal sódica de bisfenol A.



La sal sódica de bisfenol A se hace reaccionar con fosgeno, un compuesto utilizado como arma química en la Segunda Guerra Mundial, obteniéndose el policarbonato



El PC es muy utilizado en aplicaciones donde se requiere alta transparencia y resistencia al impacto. Algunos productos fabricados con PC son ventanas irrompibles y lentes. Algunas de las propiedades del PC se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla Pl 17 Propiedades del PEBD**

Propiedad (Unidades)	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.17 – 1.45
Absorción de agua (%)	0.09 – 0.35
Contracción lineal en el molde (%)	0.3 – 0.75
Dureza, Rockwell R	118 – 122
Resistencia a la tracción (Mpa)	54 – 72
Resistencia a la fluencia (Mpa)	58.6 – 70
Elongación a la ruptura (%)	8 – 135
Elongación a la fluencia (%)	6 – 8
Módulo elástico (GPa)	1.6 – 2.4

**Tabla Pl 17 Propiedades del PEBD (continua pagina anterior)**

<b>Propiedad (Unidades)</b>	<b>Valor</b>
Módulo a flexión (Gpa)	1.8 – 4.1
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	0.5 – 9.77
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	115 – 143
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	95 – 154
Expansión térmica lineal, a 20 °C (μm/m - °C)	32 – 120
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	126 – 157
Temperatura de procesamiento (°C)	260 – 332
Resistencia a ácidos	Resistente
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Soluble en hidrocarburos aromáticos, éteres y acetona

## 5. VERIFICACIÓN

### 5.1. CUBIERTAS

- Consúltase siempre al fabricante de cubiertas de plástico para conocer los datos actuales y los métodos de colocación.
- Cuando elija el tipo de cubierta que se usará sobre un techo deteriorado y que gotea, consúltase siempre al fabricante de cubiertas de plásticos, respecto al sistema o sistemas que se pueden aplicar directamente a este tipo particular de material de cubierta existente.
- Cerciórese siempre sobre el tiempo que ampara la garantía y de los puntos que cubre sobre cualquier defecto u omisión en la instalación, unión, bajadas de agua, tragaluces, ventilaciones o respiradores, o cualquier otro equipo estará montado en el techo.
- Revísense los reglamentos gubernamentales de edificación, departamentos de incendio, compañías aseguradoras, para conocer sus restricciones y requisitos relativos a cubiertas de plástico para el o los edificios por construir.
- Cerciórese siempre del tipo de aislamiento, el valor R requerido, y si el aislamiento será parte del sistema de cubierta de plástico o si actuará como sustrato para éste.
- Cuando elija un sistema de cubierta de plástico, revísense siempre los detalles de unión, ya que cada sistema tiene sus propios métodos y detalles de unión.
- Antes de elegir una cubierta de plástico o sistema de cubierta de plástico, consúltase con los fabricantes de éstos sobre la adaptabilidad de sus techos para su colocación en el sustrato particular para cubiertas que se ha elegido para la estructura.



## **5.2. EMPAQUES, CANALES DE ESCURRIMIENTO Y BAJADAS DE AGUA, CALZAS Y TAPONES PARA AGUA**

- Cuando se usen empaques de plástico para colocación de vidrios y sistemas de muros de cortina, siempre se debe consultar a los fabricantes de empaques, vidrios y sistemas de muros de cortina para obtener datos sobre sus resistencia, estabilidad, color y comportamiento respecto al clima.
- Se debe consultar a los fabricantes de ventanas, muros de cortina y de puerta, respecto al tipo correcto de burletes de acuerdo con su uso final. Un ejemplo podría ser un sitio cerca del mar, donde hay aire muy salado o un área donde hay humo-neblina que contiene varias sustancias químicas que pueden atacar a los burletes de plástico.
- Se debe hacer una consulta detallada con los fabricantes de concreto precolado, muros de cortina, toldos u otros sistemas estructurales, respecto a los métodos de sellado de uniones entre unidades.
- Cuando se usen este tipo de componentes plásticos, siempre se debe consultar a los fabricantes acerca de datos del tipo de plástico, su resistencia, etc., en relación con su uso final.
- Cuando se usen canales de escurrimiento de vinilo o de otro tipo de plástico, siempre debe revisarse la cantidad de dilatación, el método de sujeción a la banda de arquitrabe y cuándo deben cementarse y cuándo no.
- Cuando se usen bajadas de agua de vinilo o de otro tipo de plástico, siempre debe revisarse el método de sujeción a la pared y si alguna conexión debe cementarse.
- Siempre se deben solicitar a los fabricantes de canales de escurrimiento y bajadas de agua los datos acerca del tipo de plástico, colores disponibles, tamaños, métodos de unión y tipo de terminación de las bajadas de agua al nivel del suelo.

## **5.3. PISOS**

- La superficie a la cual se va aplicar el piso debe estar limpia, seca y nivelada. Si se usa una capa base, debe ser del tipo que recomiende el fabricante para pisos.
- Los pisos o recubrimientos de superficies no se deben colocar a temperaturas menores de 55 °F (1278°C). EN general, las áreas se deben calentar a 70°F (21.11°C) durante 48 horas antes de la instalación del piso, y despues se deben mantener temperaturas mayores de 55 °F (1278°C).
- Cuando se usen materiales de piso acabado de plástico, se deben revisar cuidadosamente los grosores de los otros materiales de piso terminado que se usarán en la estructura, y dejar una tolerancia adecuada para cualquier diferencia de grosor en la construcción real del edificio, así no habrá cambios visibles de nivel.
- Siempre se debe estar seguro de usar solamente los adhesivos recomendados por el fabricante del piso, y no permitir sustituciones a menos que el fabricante del piso las apruebe por escrito.

- En general, se deben usar sólo limpiadores neutros y ceras emulsionadas para la limpieza y acabado de pisos y superficies de plástico. EN buena práctica usar el tipo de limpiador, material de acabado y/o la cera recomendada por el fabricante de pisos y hacer que el contratista general se responsabilice de la protección, limpieza y encerado de los pisos, a fin de entregar al propietario una construcción totalmente terminada.
- Siempre se debe consultar al fabricante de pisos o superficies de plásticos, sobre el tipo correcto de sustrato o base para el piso; para rehacer o renovar ésta, se debe verificar qué se debe hacer al sustrato existente antes de aplica el nuevo piso o recubrimiento.
- Para aplicación en exteriores, se debe consultar al fabricante para conocer las limitaciones por humedad y las restricciones y precauciones si acaso existe la posibilidad de que llueva durante y después de la aplicación.
- Siempre se debe consultar al fabricante para conocer los métodos de aplicación, acabado, limpieza y mantenimiento del piso o superficie de plástico que se eligio.

#### **5.4. TUBERÍAS Y TUBOS DE DRENAJE**

- Compruebe el tipo de fluido o gas que se va a conducir y luego consúltese a los fabricantes de tuberías de plástico para elegir el tipo correcto.
- Revísense los métodos de instalación para conocer los requerimientos de expansión térmica del tipo de tubería de plástico que se use.
- Cerciórese ancho y profundidad de la zanja, del lecho de asiento y de los métodos de instalación.
- Revísense los tipos de uniones y accesorios que se van a usar y cerciórese de que sean los correctos.
- Consúltese los reglamentos local, municipal y estatal de los departamentos de salubridad para conocer las restricciones y requisitos relacionados con la instalación de tuberías de plástico.

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- ALLEN, E. Construcciones, Como Funciona un Edificio, Principios Elementales. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, 1982. ISBN 84-252-1089-5.
- BIBLIOTECA ATRIUM de la Construcción. Colección Técnica de bibliotecas profesiona-les. Editorial Océano/Centrum, Barcelona, España, 1993
  - ✓ Tomo 1. Materiales para la Construcción. ISBN 84-7764-765-8
  - ✓ Tomo 2. Necesidades Constructivas. ISBN 84-7764-766-6
  - ✓ Tomo 3. Instalaciones de una vivienda. ISBN 84-7764-767-4
  - ✓ Tomo 4. Proyectos de obra singulares. ISBN 84-7764-768-2
  - ✓ Tomo 5. Elementos Constructivos. ISBN 84-7764-769-0
  - ✓ Tomo 6. Características de proyecto. ISBN 84-7764-770-4
- ELDER, A.J.;MARITZ VANDENBERG.Edición Hermann Blume,Madrid ISBN 84-7214-125-X
- FOSTER, M. La construcción de la Arquitectura, Diseño y Estilo. Edición Hermann Blume, 1988. ISBN 84-7214-389-9
- PEARSON, D. El libro de la Arquitectura Natural. En busca de un hogar sano y ecológico. Edición española OASIS, Producciones Generales de Comunicación S.L. 1994 ISBN 84-7901-099, Ref. SL-68.
- PIZZI, C. Mantenimiento de los Edificios, Vivienda individual y colectiva. Ediciones CEPSCO, 1986. ISBN 950-9783-00-5
- REID, P.A.G. Principio de la Construcción. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, 1980. ISBN 84-252-1013-5
- Revista COBIJO. Ediciones H. Blume, Madrid, 1979, 1º edición española ISBN 84-7214-188-8
- WILLIAMS, C. Artesano de lo necesario. Ediciones Hermann Blume, Madrid, España. ISBN 84-7214-157-8

## ROCAS

- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. ProgenSA (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1º edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X.
- ARREDONDO, F. Las Rocas en la Construcción. Serie: Estudio de los Materiales. Consejo Superior de Investigación Científica, Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica.
- BAUD, G. Tecnología de la Construcción. Edición H. Blume, 1º, Barcelona, 1978. ISBN 84-7031-274-X.
- BIBLIOTECA ATRIUM de la Construcción. Colección Técnica de bibliotecas profesiona-les. Editorial Océano/Centrum, Barcelona, España, 1993.
- BRANDES, C. Introducción a la Construcción. Corrección y revisión Arq. C. Brandes. UBA. Edición El politécnico S.A. 1994. ISBN 950-9549-01-0.
- FRITT, O. Construcción de edificios. Editorial Labor, Bs. As.
- NIETO, N. Construcción de edificios. Diseñar para construir. Editor Nemecio M. Nieto, San Juan, 1994. ISBN 968-43-5553-6.

- ORÚS ASSO, F. Materiales de Construcción. Editorial Dossat S.A. Madrid, España, 7º edición. Reimpresión 1985. ISBN 84-237-0401-7.
- PASMÁN, M.F. Materiales de Construcción. Editorial Cesarini Hnos, Bs.As. Argentina, 8º edición. ISBN 950.586.069-5.
- SAMSÓ LOPEZ. Piedras, Granitos y Mármoles. Editorial CEAC S.A. 3º EDICIÓN, Barcelona, España, 1965.
- SAMSÓ LOPEZ, E. Aplicaciones del Mármol. Monografía sobre construcción y arquitectura. Editorial CEAC S.A. Barcelona, España, 1974.
- TOMIO, P.; FILIPPI, F. Il manuale del Porfido. 1º edición e.s.Po. S.R.L. Trento, Italia. 1994.
- WARLAND, E.G. Cantería de edificación. Información y normas sobre el uso adecuado de la piedra y de los métodos a adoptar en su aplicación a la construcción moderna. Editorial Reverté, Barcelona, España.

## AGREGADOS

- BRANDES, C. Introducción a la Construcción. Corrección y revisión Arq. C. Brandes. UBA. Edición El politécnico S.A. 1994. ISBN 950-9549-01-0.
- CASTIARENA, A. Curso de tecnología del hormigón. Editorial Biblos, Bs. As., 1º edición , 1979.
- SABESINSKY FELPERIN, M. Proyectos de hormigones de cemento Pórtland con agregados normales. Librería y Editorial Nigar S.R.L. Bs. As, 1973.

## CERÁMICO

- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. Progenisa (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1º edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X.
- CHANDÍAS, M. Introducción a la construcción de edificios. Editorial Alsina, 1992.
- CROISET, M. Humedad y temperatura en los edificios, condensaciones y confort térmico de verano y de invierno. ETA Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España.
- FRITT, O. Construcción de edificios. Editorial Labor, Bs. As.
- LAWRENCE, M. Albañilería y yesería. Editorial G. Gili S.A. isbn 84-252-1622-2.
- MORENO GARCÍA, F. Técnica de la construcción con ladrillo. Editorial CEAC, Barcelona, España.

## YESO

- DORREGO, F; LUXÁN, M.P.; SOLONGO, R (1998). “Los trabadillos: Origen, utilización, y técnicas de preparación”. Actas del 2º Congreso Nacional de Hª de la Construcción. A Coruña. 22 y 24 de octubre de 1998, 145 – 155 pp.
- GÁRATE ROJAS, I (1999), “Arte de los yesos. Yeserías y estuco”. Editorial Munillalera, Madrid.
- LANDRIEU, M. “Revue des Materiaux de construction”, nº 586-587
- Novo de Miguel, L (1970). “ El yeso en la construcción”. Ediciones CEAC, Barcelona, España.

## CAL

- BLANCO VARELA, M.T. (1996). “Otros materiales cementantes”. En curso la tecnología de la construcción del siglo XXI. Fundación cultural Santa teresa, 29 y 30 de noviembre de 1996.
- CAMUÑAS Y PAREDES, A. (1969). “Materiales de construcción”. Guadiana de publicaciones. Madrid España.

## AGLOMERANTES Y MORTEROS

- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. ProgenSA (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1º edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X.
- CASTIARENA, A. Curso de tecnología del hormigón. Editorial Biblos, Bs. As., 1º edición, 1979.
- CHAMORRO, H. Los materiales aglomerantes. Universidad de Bs As. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Técnicas Constructivas, ISCI, Introducción a los Sistemas Constructivos e Instalaciones, Bs As.
- CHANDÍAS, M. Introducción a la construcción de edificios. Editorial Alsina, 1992.
- MAZZOCCHI, L. Cales y cementos. Editorial G.Gili S.A. Barcelona, 3º edición (cal, yeso, puzolana, arena, gravilla, materiales hidráulicos, cementos hidráulicos).
- PASMAN, M.F. Materiales de Construcción. Editorial Cesarini Hnos, Bs.As. Argentina, 8º edición. ISBN 950.586.069-5.
- Reglamento Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de HOAO y Pretensado. CIRSOC 201. TOMO I. Julio 1982.
- SCHUSTER, E. Morteros, cales, yesos, agregados áridos o inertes. Universidad Nacional, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Córdoba.
- VILAGOUT. Prefabricación del hormigón, tomo 1. Editorial G. Gili S.A. Barcelona, 1975.

## HORMIGÓN

- ADAM. Técnicas. Realización. Patología. Editores técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1975. 1º Edición española. ISBN 84-7146-159-5
- ARCO MOLINA, J.. Los materiales básicos de la Construcción. ProgenSA (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1º edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X. (rocas, madera, tierra, cerámica, aglomerantes, morteros, hormigones, hierro, pintura, vidrio, plásticos y otras materias orgánicas).
- ARREDONDO, V.F. Estudio de materiales: Hormigón. 4º Edición. Instituto Eduardo Torrojas de la Construcción y el Cemento. Madrid, 1963.
- CASTIARENA, A. Curso de tecnología del hormigón. Editorial Biblos, Bs. As., 1º edición , 1979.
- CHANDÍAS, M. Introducción a la construcción de edificios. Editorial Alsina, 1992.
- DREAUX, G. Guías práctica del hormigón. Editores técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1981. 1º Edición española. ISBN 84-7146-2125.
- FRITT, O. Construcción de edificios. Editorial Labor, Bs. As.
- HUMMEL, A. Prontuario del hormigón.
- MANGEL, S.; SEELING, R. Preparación y empleo del hormigón. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, ISBN 84-252087-3.

- MELLACE, R. Estudio de materiales: Dosificación, elaboración y puesta en obra de hormigones normales. Cátedra Construcciones I, FAU. 1º Edición.
- MELLACE, R. Estudio de materiales: Hormigones livianos. Cátedra Construcciones I, FAU. 1º Edición, 1984.
- MELLACE, R.; ARIAS, E. Métodos de dosificación de hormigón normal. Cátedra de Construcciones I, FAU. 1º Edición.
- PINAZO STITJAS, F. Tecnología del Hormigón. Editorial Kliczkowski Publisher. Distribución ASPPAN y CP67. 1974. Tomo 1: El hormigón y sus componentes ISBN 987-9575-57-2 Tomo 2: Elaboración y estado plástico ISBN 987-9575-55-0 Tomo 3: Fraguado y endurecimiento ISBN 987-9575-56-9 Tomo 4: El hormigón endurecido ISBN 987-9575-57-7.
- REBOREDO, A. Manual de construcción sismorresistente de la vivienda en zonas áridas. los edificios bajos. Editor IADIZA, Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas, Centro de Investigación, LAHV, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Mendoza.
- Reglamento CIRSOC 201 y anexos. Proyecto, Cálculo y Ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo 1 y 2. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles. Editor INTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Bs. As. 1982. ISBN 950-532-022-1.
- Reglamento Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de HOAO CIRSOC 2002.
- SABESINSKY FELPERIN, M. Proyectos de hormigones de cemento Pórtland con agregados normales. Librería y Editorial Nigar S.R.L. Bs. As, 1973.
- SCHUSTER, E.; BALBI, L. Hormigones. Editor Fac. de Arquitectura y Urbanismo de Córdoba. 1976.
- SUMMA TEMÁTICA. Febrero 1984.
- VENUAT, M.; PAPADAKIS, M. Control de ensayos de cemento, mortero y hormigones. Ediciones Urno, Bilbao, 1966.

## MADERA

- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. ProgenSA (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1º edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X. "
- FOERSTER, M. Materiales de Construcción. Editorial Labor S.A. Barcelona, España, 1928
- FROMENT G. Las maderas de Construcción. Editorial Victor Lerú SRL, Ba. As., Argentina, 1954
- FRITT, O. Construcción de edificios. Editorial Labor, Bs. As
- JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA. Cartilla de Construcción para madera. Edición del Grupo Andino
- JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para madera. Edición del Grupo Andino, Lima, Perú, 1984 MEMORIA DE 1º CURSO DE CONSTRUCCIÓN EN MADERA. Colegio de Arquitectos de Andalucía Occidental. Sevilla, Noviembre 1991. ISBN 84-8807-03-0
- NIETO, N. Construcción de edificios. Diseñar para construir. Editor Nemecio M. Nieto, San Juan, 1994. ISBN 968-43-5553-6
- ORÚS ASSO, F. Materiales de Construcción. Editorial Dossat S.A. Madrid, España, 7º edición. Reimpresión 1985. ISBN 84-237-0401-7.



- PASMAN, M.F. Materiales de Construcción. Editorial Cesarini Hnos, Bs.As. Argentina, 8° edición. ISBN 950.586.069-5
- Revista COBIJO. Ediciones H. Blume, Madrid, 1979, 1° edición española ISBN 84-7214-188-8
- Revista FORMA N° 3. Abril de 1981.

## METALES

- ALCAN: Manual del Aluminio.
- ARREDONDO, F.; ALAMAN, A. Materiales Metálicos. Serie: Materiales de construcción. Edición Instituto Eduardo Torrojas de la Construcción y del Cemento. Madrid, España, 1963.
- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. Progenza (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1° edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X.
- BRANDES, C. Universidad de Buenos Aires Introducción a la Construcción. Corrección y revisión Arq. C. Brandes. Edición El politécnico S.A. 1994. ISBN 950-9549-01-0.
- FAJRE, N. Construcciones con filigranas. Universidad Nacional, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cátedra de Construcciones de Edificios 2, Tucumán. 2001.
- GONZÁLEZ, A; PALAZÓN A. C. Ensayos industriales de materiales combustibles y lubricantes. Edición Talleres Gráficos Buschi, Bs. As (madera, metales, hormigón).
- HERNANDEZ, M.. El hierro en la construcción. Ediciones ceac, Barcelona, 1963. 4° Edición.
- HOLGADO, P. Introducción a la construcción con acero. Universidad Nacional, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cátedra de Construcciones II, Tucumán. 1° edición, 2001. ISBN 987-43-4204-8.
- HOLGADO, P. El acero como material de construcción. Serie construcción en acero. FAU-UNT, 1998, Tucumán.
- ORÚS ASSO, F. Materiales de Construcción. Editorial Dossat S.A. Madrid, España, 7° edición. Reimpresión 1985. ISBN 84-237-0401-7.
- PEZZANO, P. Sidergugía. Librería y Editorial Alsina, Bs. As. 2° Edición, 1963 " POZA LLEIDA, J. M. de la. El aluminio. Características y Aplicaciones. Editorial Oikos-tau, Barcelona, España.
- Reglamento Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de HOAO y Pretensado CIRSOC. Tomo II, Julio 1982.
- RODRIGUEZ, F.; AZCUÉNAGA, A. Construcciones Metálicas. Patronato de Publicación de la Escuela Especial de Ingeniería industrial. Madrid, 1946. Cap. 1. Clasificación y Fabricación de los hierros, Cap. II Uniones, Cap. VII Naves industriales (pág. 366-389).

## PINTURA

- ALBA - Manual técnico.
- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. Progenza (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1° edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X.
- ARREDONDO, F.; SORIA . Estudio de los materiales X (pintura, plásticos, varios).

- MELLACE, R.; SOSA, M.; LATINA, S. La pintura en la construcción del edificio.
- Pintura. Colección temática. Vivienda N° 397. " PIÑA, A. Pintura

## PLÁSTICO

- ARCO MOLINA, J. Los materiales básicos de la Construcción. ProgenSA (Promotora general de Estudios S.A).- Sevilla, España. 1º edición, 1995. ISBN 84-86505-47-X.
- D'ARSIE, D. Los plásticos reforzados con fibra de vidrio. Editorial mitre y Distal S.R.L. 9º Edición, 1992. ISBN 950-9496-31-6.
- DIETZ, A. G.H. Plásticos para arquitectos y constructores. Editorial G. Gili. S.A. Barcelona, 1973, versión española. ISBN 84-291-2027-0.
- El plástico reforzado con fibra de vidrio. Revista Construcciones N° 286.
- CASTAGNINO, R. E. Los materiales plásticos en la Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Universidad de Bs. As.
- MELLACE, R.; LATINA, S. Estudio de materiales: Los plásticos en la arquitectura. FAU-UNT.
- MIRAVETE, A. Los nuevos materiales en la construcción. Centro Superior Universidad de Zaragoza, 1994.
- Poliestireno expandido. Revista Casa Nueva N° 10. Febrero de 1989.
- Plásticos especiales. Revista Summa N° 79.

## PROPIEDADES

- CHANDÍAS, M. Introducción a la construcción de edificios. Editorial Alsina, 1992.
- BRANDES, C. Introducción a la Construcción. Corrección y revisión Arq. C. Brandes. UBA. Edición El politécnico S.A. 1994. ISBN 950-9549-01-0.
- GUARDIA, A. Algunas ocurrencias para interpretar las propiedades de la materia. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Asociación Cooperadora. Tucumán. 1990.
- PIÑA, A. Propiedades Generales de los Materiales. Universidad de Bs As. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Técnicas Constructivas, ISCI, Introducción a los Sistemas Constructivos e Instalaciones, Bs. As.
- PIZZI, C.. Mantenimiento de los Edificios, Vivienda individual y colectiva. Ediciones CEPSCO, 1986. ISBN 950-9783-00-5.

## SITIOS en la WEB

- [www.kosmos.com.mx/contacto.html](http://www.kosmos.com.mx/contacto.html) (edificio moderno).
- [www.acm.asoc.fi.upm.es/.../fs2002](http://www.acm.asoc.fi.upm.es/.../fs2002)
- [www.segoviamint.org/images/segovia/arquitectura.jpg](http://www.segoviamint.org/images/segovia/arquitectura.jpg) (estructura de entramado)
- [www.recuencia.edu.ec/facultades/frentefacultadearquitectura](http://www.recuencia.edu.ec/facultades/frentefacultadearquitectura) (frente en ladrillo).
- [www.portada-claves-arquitectura.jpg](http://www.portada-claves-arquitectura.jpg) (Zaragoza).
- [www.yucatan.com.mx/especiales/valladolid/arquitectura.jpg](http://www.yucatan.com.mx/especiales/valladolid/arquitectura.jpg).
- [www.rau.edu.uy/uruguay/cultura/arquitec.html](http://www.rau.edu.uy/uruguay/cultura/arquitec.html).



- [www.physiolgenet.com/.../arquitectura\\_files/imagec02.jpg](http://www.physiolgenet.com/.../arquitectura_files/imagec02.jpg) (Barcelona).
- [www.china.org.cn/xi-pic/shanghai/litle/65.jpg](http://www.china.org.cn/xi-pic/shanghai/litle/65.jpg) (edificio moderno).