

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



**“MODERNIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA APRENDIZAJE EN LA
ASIGNATURA DE HIDRÁULICA – I (CIV 229)”
(Texto Guía de Laboratorio)**

Trabajo Dirigido por Adscripción para Optar al Diploma Académico
de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presentado por: AQUINO ZAMORANO LEYLA MARIBEL
VARGAS BELLIDO LILIANA ANGÉLICA

Tutor: Ing. Msc. Marco Escobar Seleme

COCHABAMBA – BOLIVIA

Junio, 2011



INDICE

I. VISCOSIDAD

1.	INTRODUCCIÓN.	1
2.	OBJETIVOS.	1
3.	MARCO TEÓRICO.	2
3.1.	Tipos de Viscosidad.	2
	a) Viscosidad Cinemática.	2
	b) Viscosidad Dinámica.	2
4.	EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	3
5.	DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	3
5.1.	Procedimiento.	3
6.	MEMORIA DE CÁLCULO.	4
6.1.	Determinación de Viscosidad del Fluido	4
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	5

II. CAVITACIÓN.

1.	INTRODUCCIÓN.	6
2.	OBJETIVOS.	6
3.	MARCO TEÓRICO.	6
3.1.	Definición.	6
3.2.	Descripción.	7
3.3.	Tipo de Cavitación.	7
3.4.	Cavitación en Bombas y Hélice.	8
	3.4.1. Cavitación de Succión.	8
	3.4.2. Cavitación de Descarga.	8
3.5.	Capilaridad.	9
4.	EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	10
5.	REALIZACION DE LA PRÁCTICA.	10
5.1.	Desarrollo de Practica.	10
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	15

III. PRINCIPIO DE ARQUIMIDES.

1.	INTRODUCCIÓN.	16
2.	JUSTIFICACIÓN.	16
3.	OBJETIVOS.	16
4.	MARCO TEÓRICO.	17
5.	EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	19
6.	DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	19
6.1.	Memoria de Calculo.	20
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	22



IV. PRESION HIDROSTÁTICA.	
1. INTRODUCCIÓN.	23
2. OBJETIVOS.	23
3. MARCO TEÓRICO.	23
4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	24
5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	24
5.1. Pasos a seguir.	25
V. MANÓMETROS.	
1. INTRODUCCIÓN.	28
2. OBJETIVOS.	28
3. MARCO TEÓRICO.	28
3.1. Tipos de Manómetros.	28
3.2. Descripción.	28
3.3. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	30
4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	30
4.1. Determinación del Diagrama PRESIÓN-DEFORMACIÓN.	30
5. JUSTIFICACIÓN.	32
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	32
VI. PRINCIPIO DE BERNOULLI.	
1. INTRODUCCIÓN.	33
2. OBJETIVOS.	33
3. MARCO TEÓRICO.	34
3.1. Principio de Bernoulli.	34
3.2. Ecuación de la energía Modificada para el Flujo de Fluidos.	35
4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	36
5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	37
5.1. Determinación de las Presiones y Velocidades.	37
5.2. Ejemplo de Aplicación.	38
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	39
VII. FLUJO EN ORIFICIOS.	
1. INTRODUCCIÓN.	40
2. OBJETIVOS.	40
3. MARCO TEÓRICO.	40
3.1. Principio de Torricelli.	40
4. METODOLOGIA.	42
4.1. Equipo Y Material Utilizado.	43
4.2.1. Desarrollo De La Práctica.	43
5. Ejemplo de Aplicación.	43
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	45



VIII. NÚMERO DE REYNOLDS.

1. INTRODUCCIÓN.	46
2. OBJETIVOS.	47
3. MARCO TEÓRICO.	47
3.1. Experimento de Reynolds.....	49
4. METODOLOGIA.....	49
4.1. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	49
4.2. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	51
5. Memoria de Calculo.	52
6. CONCLUSIONES.	52

IX. PÉRDIDAS EN TUBERIAS.

1. INTRODUCCIÓN.	54
2. OBJETIVOS.	55
3. MARCO TEÓRICO.	55
3.1. Determinación del Factor de Fricción.	60
4. METODOLOGIA.	61
4.1. Equipo Necesario.	61
4.2. Procedimiento.	62
5. EJEMPLO DE APLICACIÓN.	63
5.1 CONCLUSIONES	69
5.2 RECOMENDACIONES.	69

X. BOMBAS.

1. INTRODUCCIÓN.	70
2. OBJETIVOS.	70
3. MARCO TEÓRICO.	70
3.1. Definición de Bombas.	71
3.2. Clasificación de Bombas.	71
3.3. Funcionamiento.	71
3.4. Funcionamiento en Serie y Paralelo de Bombas.	73
3.4.1. Funcionamiento en Paralelo de Bombas.	73
3.4.2. Funcionamiento en Serie de Bombas.	74
4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	75
5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	75
5.1. Determinación de la Potencia en las Bombas.	75
6. EJEMPLO DE APLICACIÓN.	76
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77

XI. TURBINAS PELTON.

1. INTRODUCCIÓN.	78
2. OBJETIVOS.	78
3. MARCO TEÓRICO.	78
3.1. Historia.	78
3.2. Funcionamiento.	79



3.3.	Aplicaciones.	79
3.4.	Clasificación de Turbinas Pelton.	80
3.5.	Potencia en los Saltos de Agua.	81
4.	EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.	82
5.	DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	82
5.1	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EN LOS SALTOS DE AGUA.....	83
6.	EJEMPLO DE APLICACIÓN.	83
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	85

VISCOSIDAD DE FLUIDOS

1. INTRODUCCIÓN



El poder estudiar la viscosidad de una sustancia nos ayuda a concluir cuanto varia con respecto a la temperatura, si es mas viscoso o menos viscoso, etc.

La medida de la viscosidad de un fluido es una práctica muy ilustrativa para los estudiantes de Hidráulica, ya que han de realizar medidas con distintos instrumentos.

En la simulación de esta experiencia, conocemos los datos para poder calcular la densidad del material del que están hechos los perdigones y la densidad del fluido (glicerina y agua).

El diámetro de un perdigón está entre determinados límites. El usuario solamente tiene que dejar caer la esfera en la columna de fluido y medir el tiempo que tarda dicha esfera en desplazarse entre dos marcas, pulsando en los botones que ponen en marcha y paran el cronómetro respectivamente.

2. OBJETIVOS

- Determinar la viscosidad de un fluido



- Observar el comportamiento de un fluido con distintas viscosidades.

3. MARCO TEÓRICO.

Los gases y los líquidos tienen una propiedad conocida como la viscosidad, la cual se puede definir como la resistencia a fluir ofrecida por un líquido, resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia. La viscosidad se produce por el efecto de corte o deslizamiento resultante del movimiento de una capa de fluido con respecto a otro y es completamente distinta de la atracción molecular. Se puede considerar como causada por la fricción interna de las moléculas y se presenta tanto en gases ideales como en líquidos y gases reales.

3.1 TIPOS DE VISCOSIDAD.

a) Viscosidad Cinemática.

Se denomina Ley de Viscosidad “Newton”, a todos los fluidos que cumplan se les denomina Fluidos Newtonianos y nos que no cumplen Fluidos no Newtonianos.

De aquí despejamos la velocidad límite

$$\text{Con: } \gamma = \rho \cdot g \quad \text{y} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \Rightarrow \quad v_L = \frac{2 \cdot g \left(\frac{\gamma_e}{\gamma_f} - 1 \right) \cdot r^2}{9 \cdot \nu} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

v_L : velocidad límite
 ν : viscosidad cinemática
 γ_e : peso específico de la esfera
 γ_f : peso específico del fluido
 r : radio de la esfera

b) Viscosidad Dinámica.

Es la relación entre la viscosidad Cinemática con la densidad de masa.

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Donde:

- μ : Viscosidad Dinámica.
- ρ : Densidad.
- ν : Viscosidad cinemática.

4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

El equipo necesario para esta práctica consiste de lo siguiente:

- a) 2 recipientes (uno con agua y otro con glicerina).
- b) Varias esferas de distinto material y diámetro.
- c) Un fluxómetro.
- d) Cronometro.
- e) Una planilla de datos.

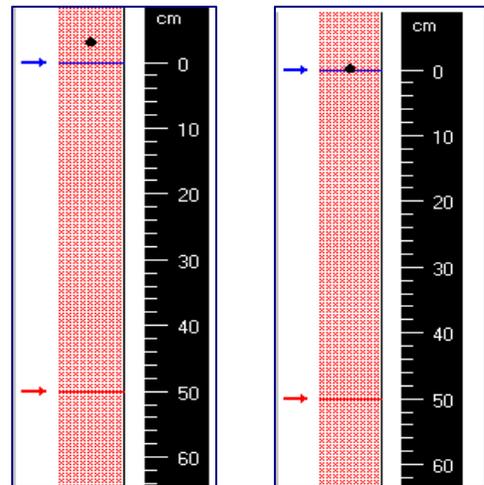
5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

5.1 Procedimiento

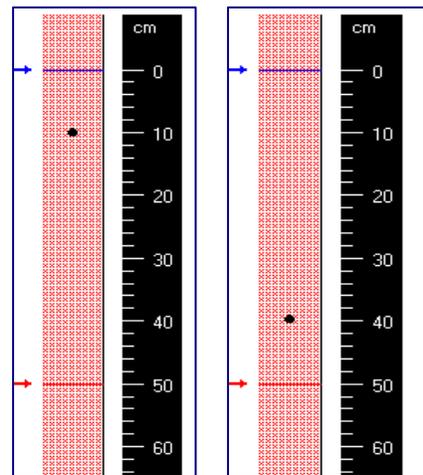
Paso 1). Depositar una esfera en la columna de fluido.

Las esfera tienen un diámetro que está establecido dentro de ciertos límites.

Paso 2). Cuando la esfera pase por la marca superior, pulsar el botón que pone en marcha el cronómetro.



Paso 3). observar el desplazamiento de la esfera por la columna de fluido

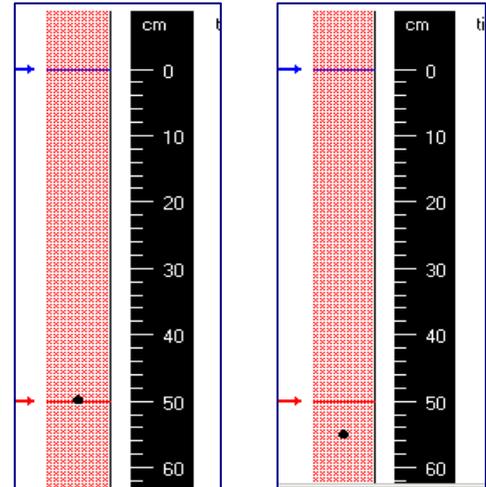


Paso 4). prepararse para detener el cronometro cuando la esfera este cerca de la marca inferior

Paso 5). Cuando la esfera pase por la marca inferior, pulsar el botón que detiene el cronómetro.

Paso 6). Modificar si se desea la distancia entre las marcas en el tubo de fluido, hasta llevar la flecha a la posición deseada.

Paso 7). Calcular la viscosidad varias veces y sacar un promedio.



Registrar las mediciones en forma ordenada, acompañar de cálculos intermedios que fundamenten el resultado final. Se tiene a disposición planillas ejemplo para la compilación de datos.

6. MEMORIA DE CÁLCULO

6.1 Determinación de la viscosidad del fluido

Con la ecuación 1 mostrada anteriormente despejar y calcular la viscosidad del fluido hallando previamente todos los valores de las variables de la ecuación; hacer esto para cada medición realizada. Realizar estas mediciones en lo posible para distintos materiales y tamaños de esferas.

Estos cálculos presentados en la planilla de resultados junto con los datos levantados.



TIPO DE FLUIDO	MATERIAL DE ESFERAS	DIAMETRO (mm)	RADIO (mm)	γ ESFERAS (kg/m ³)	γ FLUIDO (kg/m ³)	TIEMPO PROMEDIO (seg.)	VL (m/s)	VISCOSIDAD CINEMATICA	VISCOSIDAD DINAMICA
AGUA	vidrio	8,5	4,25	24525	997,07	1,273	0,785	1,18E-03	1,18E-06
	plastico	10,7	5,35	9025,2		9,073	0,11	4,57E-03	4,57E-06
GLICERINA	vidrio	8,5	4,25	24525	2524,48	5,867	0,136	2,46E-03	9,57E-06
	plastico	10,7	5,35	9025,2		α	0	α	α

$$\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{GLICERINA} = 257,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{VIDRIO} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{plastico} = 920 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{H_2O}(T=23,5^\circ) = 997,07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{tabla 4 (cap. 1)}$$

$$\gamma_{glicerina} = \rho G * g$$

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Comentar los resultados obtenidos, comparando con lo esperado de acuerdo a la teoría investigada en la *parte teórica*, describir si se alcanzaron los objetivos de la práctica y también dar posibles explicaciones del porque de las variaciones observadas.

CAVITACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La cavitación es un fenómeno muy importante de la mecánica de los fluidos y de particular influencia en el funcionamiento de toda máquina hidráulica. En las últimas décadas la tecnología del diseño de turbinas y bombas centrífugas ha tenido un avance importante, el cual sumado a los incrementos en los costos de fabricación, ha llevado a desarrollar equipos con mayores velocidades específicas para minimizar esta influencia, lo que determina un incremento en el riesgo de problemas en la succión, especialmente cuando operan fuera de su condición de diseño.

El proceso físico de la cavitación es casi exactamente igual que el que ocurre durante la ebullición. La mayor diferencia entre ambos consiste en cómo se efectúa el cambio de fase. La ebullición eleva la presión de vapor del líquido por encima de la presión ambiente local para producir el cambio a fase gaseosa, mientras que la cavitación es causada por una caída de la presión local por debajo de la presión de vapor.

Para que la cavitación se produzca, las "burbujas" necesitan una superficie donde nuclearse. Esta superficie puede ser la pared de un contenedor o depósito, impurezas del líquido o cualquier otra irregularidad.

El factor más determinante en cómo se produce la cavitación es la temperatura del líquido. Al variar la temperatura del líquido varía también la presión de vapor de forma importante, haciendo más fácil o difícil que para una presión local ambiente dada la presión de vapor caiga a un valor que provoque cavitación.

2. OBJETIVOS

- Visualizar y medir el fenómeno de cavitación
- Describir los diferentes tipos de cavitación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. DEFINICIÓN

Por cavitación se entiende la formación de bolsas localizadas de vapor dentro del líquido, pero casi siempre en las proximidades de las superficies sólidas que limitan el líquido. En contraste con la

ebullición, la cual puede ser causada por la introducción de calor o por una reducción de la presión estática ambiente del líquido, la cavitación es una vaporización local del líquido, inducido por una reducción hidrodinámica de la presión.

3.2. DESCRIPCIÓN

La cavitación o aspiración en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli (Principio de Bernoulli). Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implosionan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno.

La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido. Estas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que, además de dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando implosionan, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida.

El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en las diferentes partes de la máquina. Se puede presentar también cavitación en otros procesos como, por ejemplo, en hélices de barcos y aviones, bombas y tejidos vascularizados de algunas plantas. Se suele llamar corrosión por cavitación al fenómeno por el que la cavitación arranca la capa de óxido (pasivación) que cubre el metal y lo protege, de tal forma que entre esta zona (ánodo) y la que permanece pasivada (cubierta por óxido) se forma un par galvánico en el que el ánodo (el que se corroe) que es la zona que ha perdido su capa de óxido y la que lo mantiene (cátodo).

3.3. TIPOS DE CAVITACIÓN

Por lo dicho precedentemente hay dos tipos de cavitación, uno con flujo y otro estando el líquido estático:

- Cavitación por flujo
- Cavitación por ondas Ejemplos del primer tipo los tenemos en tuberías donde la presión estática del líquido alcanza valores próximos al de la presión de vapor del mismo, tal como puede ocurrir en la garganta de un TUBO VENTURI, a la entrada del rodete de una bomba centrífuga o a la SALIDA DEL RODETE DE UNA TURBINA HIDRÁULICA de reacción.

Los ejemplos del segundo tipo aparecen cuando estando el líquido en reposo, por él se propagan ondas, como las ultrasónicas, denominándose Cavitación Acústica, o típicas ondas por reflexión sobre paredes o superficies libres debido a ondas de compresión o expansión fruto de explosiones y otras perturbaciones como en el caso del golpe de ariete, denominadas Cavitación por Shock

3.4. CAVITACIÓN EN BOMBAS Y HELICES

Los alabes de un rodete de una bomba o de la hélice de un barco se mueven dentro de un fluido, las áreas de bajas presiones se forman cuando el fluido se acelera a través de los álabes. Cuanto más rápido se mueven los álabes menor es la presión alrededor de los mismos. Cuando se alcanza la presión de vapor, el fluido se vaporiza y forma pequeñas burbujas de vapor que al colapsarse causan ondas de presión audibles y desgaste en los álabes.

La cavitación en bombas puede producirse de dos formas diferentes:

3.4.1. CAVITACIÓN DE SUCCIÓN

La cavitación de succión ocurre cuando la succión de la bomba se encuentra en unas condiciones de baja presión/alto vacío que hace que el líquido se transforme en vapor a la entrada del rodete. Este vapor es transportado hasta la zona de descarga de la bomba donde el vacío desaparece y el vapor del líquido es de nuevo comprimido debido a la presión de descarga. Se produce en ese momento una violenta implosión sobre la superficie del rodete. Un rodete que ha trabajado bajo condiciones de cavitación de succión presenta grandes cavidades producidas por los trozos de material arrancados por el fenómeno, esto origina el fallo prematuro de la bomba.

3.4.2. CAVITACIÓN DE DESCARGA

La cavitación de descarga sucede cuando la descarga de la bomba está muy alta. Esto ocurre normalmente en una bomba que está funcionando a menos del 10% de su punto de eficiencia óptima.

La elevada presión de descarga provoca que la mayor parte del fluido circule por dentro de la bomba en vez de salir por la zona de descarga, a este fenómeno se le conoce como "slippage". A medida que el líquido fluye alrededor del rodete debe de pasar a una velocidad muy elevada a través de una pequeña apertura entre el rodete y el tajamar de la bomba. Esta velocidad provoca el vacío en el tajamar (fenómeno similar al que ocurre en un venturi) lo que provoca que el líquido se transforme en vapor. Una bomba funcionando bajo estas condiciones muestra un desgaste prematuro del rodete, tajamar y álabes. Además y debido a la alta presión de funcionamiento es de esperar un fallo prematuro de las juntas de estanqueidad y rodamientos de la bomba. Bajo condiciones extremas puede llegar a romperse el eje del rodete.

3.5 EN RESUMEN: LA CAPILARIDAD es el producto de la unión de tres fuerzas que intervienen en un líquido contenido en un recipiente. Estas tres fuerzas son las tuerzas de Cohesión, la Tensión Superficial y la tuerza de adhesión.

La fuerza de cohesión es debido al intercambio de las moléculas dentro de un fluido debido a que este intercambio se da desde abajo hasta arriba existen moléculas en la superficie que no tienen con quien realizar el intercambio por ello se crea una capa de Stres o tensión en la superficie del fluido que es lo que se denomina **TENSION SUPERFICIAL**.

Por medio a esta **TENSIÓN SUPERFICIAL** es que existe el denominado Menisco, que no es más que la pequeña capa de moléculas formada por la tensión. La Capilaridad o el ascenso capilar (h) se puede obtener mediante la formula siguiente.

$$h = \frac{4 * \sigma * \cos \theta}{\delta * D}$$

donde:

σ = es el peso especifico del fluido.

D = es el diámetro del tubo.

δ = es la tensión superficial.

θ = es el ángulo de contacto.

La altura a la cual un líquido es elevado en un tubo capilar es inversamente

Proporcional al radio del tubo. La capilaridad es la responsable del rápido mojado y la retención de líquidos en telas y papeles absorbentes.



4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

- Banco Hidrostático.
- Aparatos de Capilaridad.
- Tubos capilares de diámetros diversos.
- Sustancias a ensayar.
- Paño de limpieza.

5. REALIZACION DE LA PRÁCTICA:

Para realizar un ensayo de NPSH de una bomba se necesita medir:

- Caudal
- Presión absoluta a la entrada de la bomba
- Altura útil o efectiva
- Velocidad de rotación
- Temperatura de fluido

Además necesitaremos una instalación que permita variar el caudal y el NPSHd

5.1. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Para hacer el ensayo de cavitación mediremos el caudal máximo de la bomba girando a 2000rpm. Después tomaremos una serie de medidas al 80%,50% y 20% del caudal máximo, variando la presión de vacío escalonadamente. Para cada punto mediremos p_v , p_e , y p_s , para hallar el caudal, la altura y el NPSHd.

Cuando la bomba empiece a cavitarse la altura desciende bruscamente. El criterio que elegimos para encontrar el NPSHr, consiste en tomar el NPSHd cuando la altura ha descendido un 3%.

Los datos obtenidos fueron:

Para un caudal del 80%

$P_{\text{diaf}}=883.2\text{mbar}$

$Q=111.38\text{m}^3/\text{h}$

pv(cm.c.a)	Pe(kg/cm ²)	Ps(kg/cm ²)	H(m.c.a.)	NPSHd(m.c.a.)
0	0,15	1,5	16,493	12,76
5	0,25	1,4	16,493	11,71
10	0,3	1,35	16,493	11,16
15	0,35	1,25	15,994	10,61
20	0,4	1,2	15,994	10,06
25	0,45	1,15	15,994	9,512
30	0,5	1,1	15,994	8,962
35	0,55	1,05	15,994	8,412
40	0,65	1	16,493	7,363
45	0,7	0,85	15,494	6,813

Para un caudal del 50%

$P_{\text{diaf}}=344.9\text{mbar}$

$Q=69.60\text{m}^3/\text{h}$

pv(cm.c.a)	Pe(kg/cm ²)	Ps(kg/cm ²)	H(m.c.a.)	NPSHd(m.c.a.)
0	0,1	1,9	19,992	10,87
5	0,15	1,8	19,492	10,32
10	0,2	1,75	19,492	9,769
15	0,25	1,7	19,492	9,22
20	0,3	1,65	19,492	8,67
25	0,35	1,6	19,492	8,12
30	0,4	1,5	18,992	7,57
35	0,45	1,45	18,992	7,02
40	0,55	1,4	19,492	5,971
45	0,6	1,35	19,492	5,421

50	0,65	1,3	19,492	4,871
55	0,7	1,25	19,492	4,321
60	0,75	1,1	18,493	3,772

Para un caudal del 20%

$P_{diaf}=55.2\text{mbar}$

$Q=27.4\text{m}^3/\text{h}$

pv(cm.c.a)	Pe(kg/cm ²)	Ps(kg/cm ²)	H(m.c.a.)	NPSHd(m.c.a.)
0	0,05	2	20,492	10,08
5	0,1	1,95	20,492	9,532
10	0,15	1,9	20,492	8,982
15	0,2	1,85	20,492	8,432
20	0,25	1,8	20,492	7,882
25	0,3	1,75	20,492	7,332
30	0,35	1,7	20,492	6,783
35	0,45	1,6	20,492	5,733
40	0,45	1,6	20,492	5,683
45	0,55	1,5	20,492	4,633
50	0,6	1,45	20,492	4,084
55	0,65	1,4	20,492	3,534
60	0,65	1,3	19,492	3,484

$T_{amb}=25^{\circ}\text{C}$

HR=65%

La segunda medida es de dudosa fiabilidad pues detectamos que la bomba, por el sonido que hacía el agua, empezó a cavitarse antes de que según nuestro criterio cavitara.

Ahora ya sólo nos queda hallar el punto de NPSHr, que será el punto de NPSHd cuando la altura haya disminuido un 3% según nuestro criterio antes expuesto.

Según esto el NPSHr resulta:

Para un caudal del 80%

NPSHr=7 mca

Para un caudal del 50%

NPSHr=4 mca

Para un caudal del 20%

NPSHr=3.5 mca

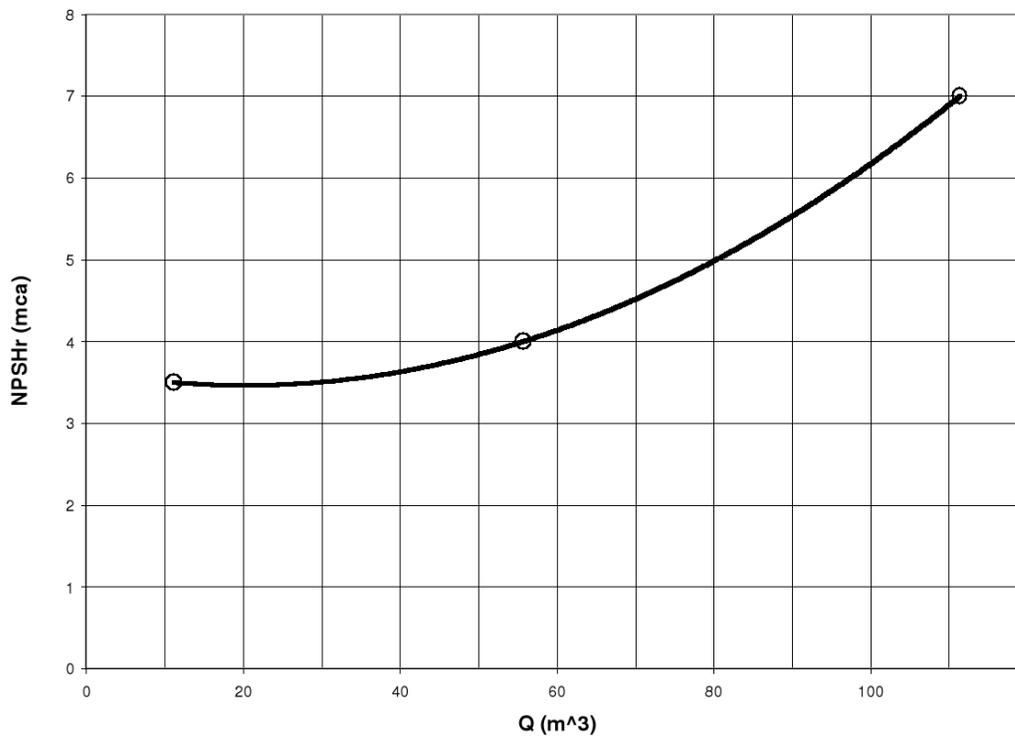
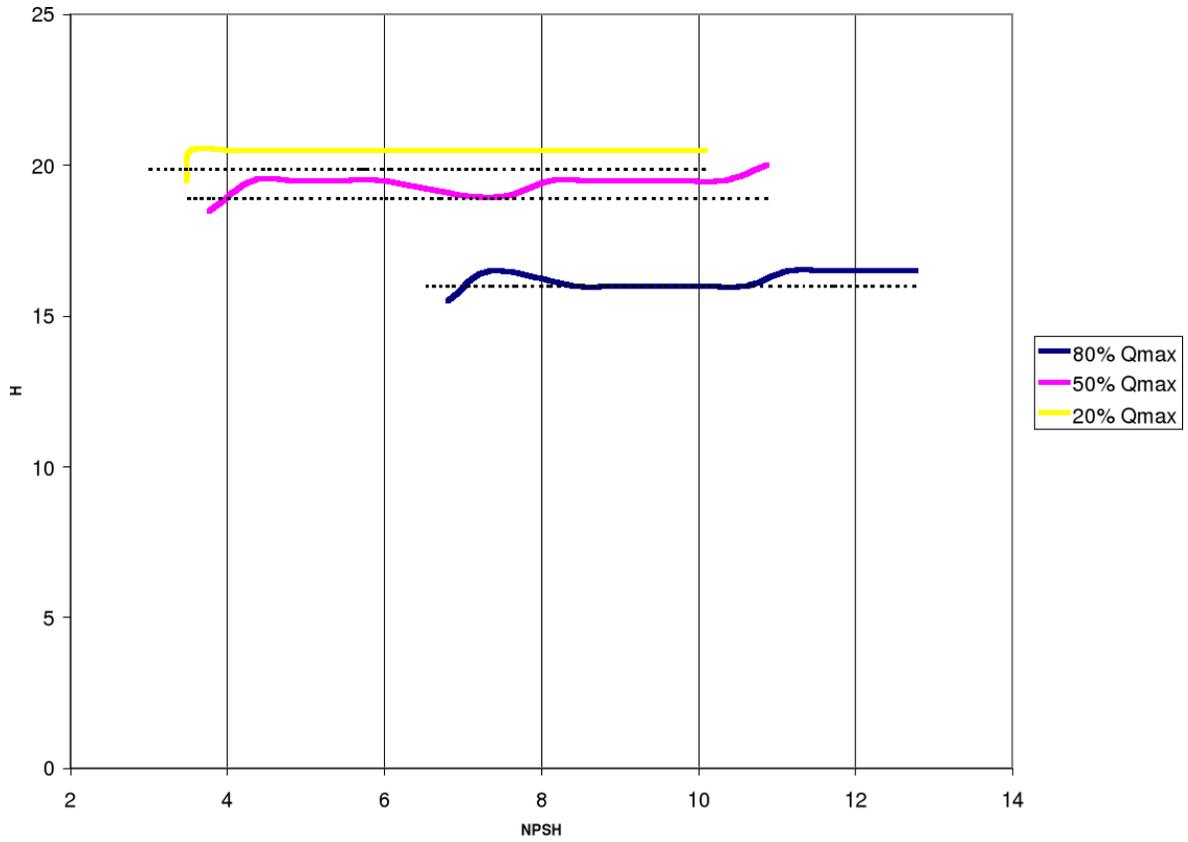
En la página siguiente ilustramos gráficamente el ensayo de NPSHr, así como una gráfica NPSHr-Q a partir de los resultados en la que podemos ver que el NPSHr es una función del caudal al cuadrado.

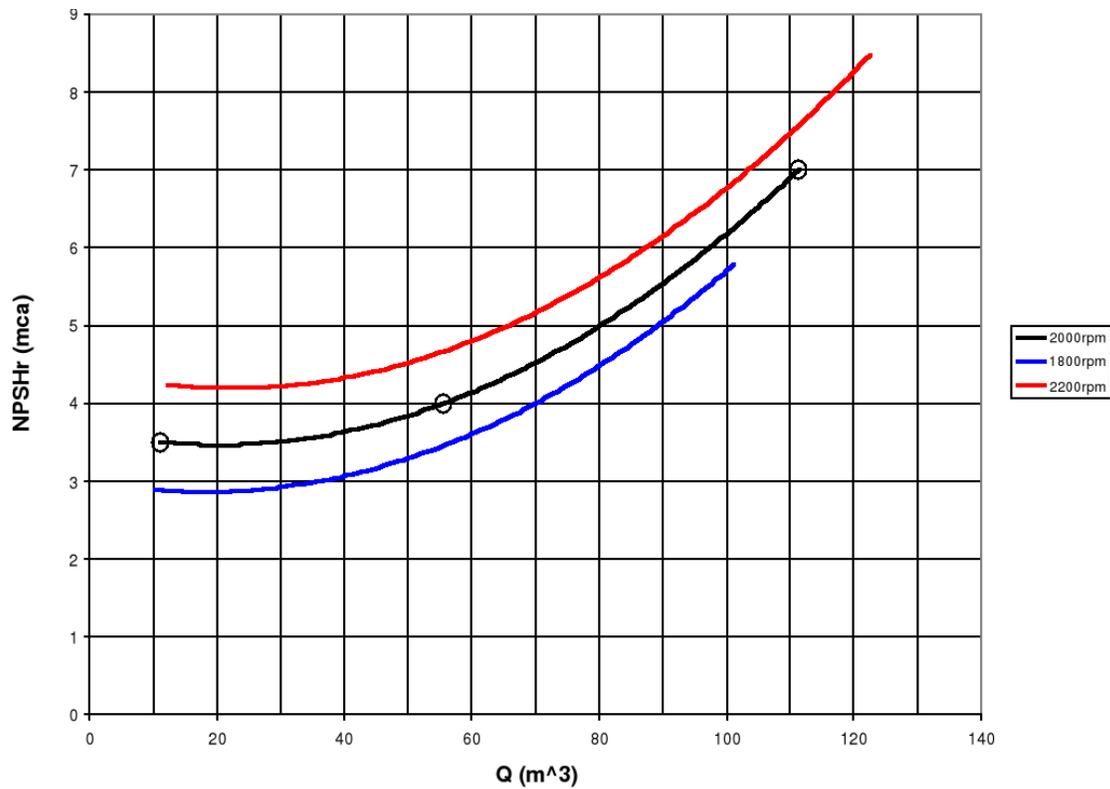
Ahora nos interesa saber, cual sería la gráfica NPSH-Q si variamos la velocidad de giro, aumentándola o disminuyéndola un 10%.

Estos valores están dentro de lo tolerado según norma por lo que podemos aplicar las leyes de semejanza y, por tanto, el nuevo NPSHr, que debemos usar es:

$$\text{NPSH}_{esp} = \text{NPSHr} \frac{n_{exp}^2}{n_r^2} \qquad Q_{esp} = Q_r \frac{n_{exp}}{n_r}$$

Por tanto las gráficas NPSH-Q para las tres velocidades de giro quedarán:





6. CONCLUSIONES

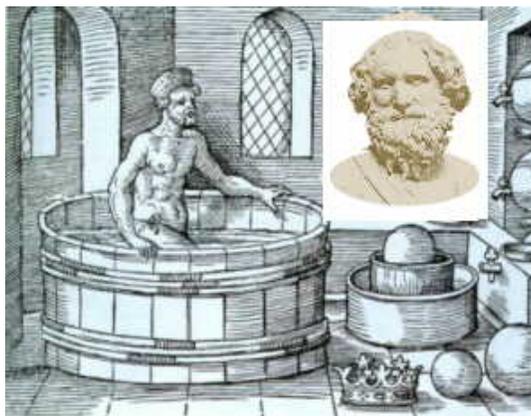
Al concluir esta práctica, es posible afirmar que los objetivos iniciales fueron cumplidos, se estudió el fenómeno de cavitación, su importancia y se pudo concluir que es muy importante conocer en qué grado puede afectar este fenómeno a las máquinas hidráulicas, principalmente a las bombas hidráulicas, de manera que conociendo acerca de la influencia de la cavitación es posible prevenir o tratar de mejor manera los materiales que tienen tendencia a sufrir este efecto.

PRINCIPIO DE ARQUIMIDES

1. INTRODUCCIÓN

Es un principio físico que afirma que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido estático (e incompresible), será empujado con una fuerza igual al peso del volumen de líquido desplazado por dicho objeto. De este modo cuando un cuerpo está sumergido en el fluido se genera un empuje hidrostático resultante de las presiones sobre la superficie del cuerpo que actúa siempre hacia arriba a través del centro de gravedad del cuerpo y de valor igual al peso del fluido desplazado. Esta fuerza se mide en Newton (en el SI) y su ecuación se describe como:

"Un cuerpo sumergido total o parcialmente en un líquido experimenta una fuerza ascendente igual al peso del líquido desplazado"



2. JUSTIFICACIÓN.

La justificación del ensayo es el poder apreciar de una mejor manera los efectos que se producen en un objeto cuando este es sumergido en el agua con el Principio de Arquímedes.

Ya que dependiendo del resultado se puede decir si un objeto flota o no flota.

3. OBJETIVOS.

El trabajo consistirá en sumergir diferentes cuerpos, en un recipiente de agua tomando los datos necesarios dependiendo si este cuerpo llega a flotar, estar parcialmente sumergido o si se sumerge completamente.



Mediante el principio de Arquímedes, se pueden determinar los volúmenes de cuerpos irregulares, midiendo la pérdida aparente de peso cuando el sólido está totalmente sumergido en un líquido de densidad relativa conocida. También se pueden determinar las densidades relativas de líquidos por lectura de la profundidad a que se hunde un hidrómetro. Otras aplicaciones están relacionadas con los problemas generales de flotación o diseños de estructuras navales.

4. MARCO TEÓRICO.

El principio de Arquímedes viene siendo utilizado por el hombre desde hace unos 2200 años. El volumen de un sólido irregular puede determinarse midiendo la pérdida aparente de peso cuando se introduce completamente en un líquido de densidad relativa conocida. La densidad relativa de los líquidos puede determinarse por la profundidad de inmersión de un hidrómetro. Otras aplicaciones comprenden la teoría general de la flotación y problemas de ingeniería naval.

Todo cuerpo, sumergido total o parcialmente en un líquido, sufre un empuje vertical hacia arriba igual al peso del líquido desplazado. El punto de aplicación de la fuerza de empuje se llama centro de empuje; coincide con el centro de gravedad del líquido desplazado.

El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo parcial o totalmente sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo.

Para poder demostrar este principio, consideremos una porción arbitraria de fluido en reposo. En la *figura 1.*, el contorno irregular es la superficie que delimita esta porción de fluido, las flechas representan las fuerzas que el fluido circundante ejerce sobre la superficie de frontera (*Fig. 1a*). Dichas fuerzas tienen un valor igual a $p \cdot dS$, donde p solamente depende de la profundidad y dS es un elemento de superficie.

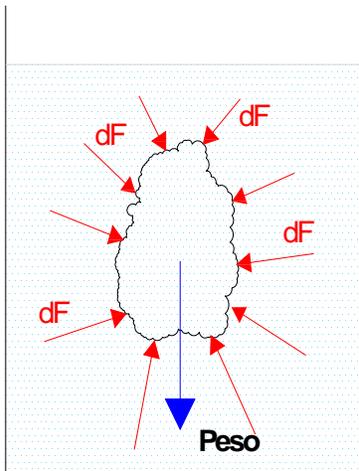


Fig. 1a

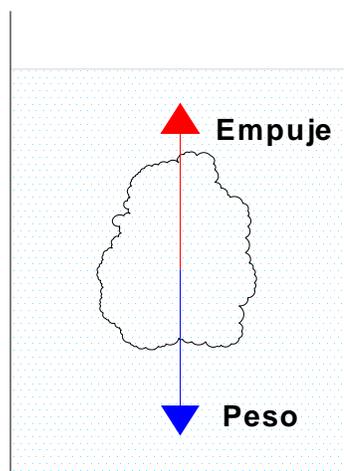


Fig. 1b

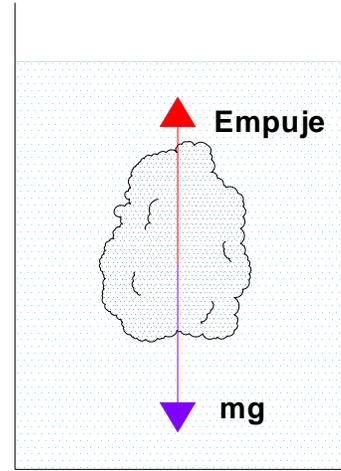


Fig. 2

Puesto que la porción de fluido se encuentra en equilibrio, la resultante de las fuerzas debidas a la presión se debe anular con el peso de dicha porción de fluido (Fig. 1b).

FORMULA:

$$E = \rho_f * g * V_o \quad Ec. 1$$

Donde:

E = Empuje

ρ_f = Densidad del fluido

g = Gravedad

V_o = Volumen del objeto

El peso de la porción de fluido es igual al producto de la densidad del fluido ρ_f por la aceleración de la gravedad g y por el volumen de dicha porción V . A esta resultante la denominamos empuje y su punto de aplicación es el centro de masa de la porción de fluido,



denominado centro de empuje. Además la suma de los momentos de torsión sobre la porción de fluido debe ser cero, así que la línea de acción de la componente y resultante de las fuerzas superficiales debe pasar por el centro de gravedad de esta porción de fluido.

Si sustituimos la porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones (*Fig. 2*). Las fuerzas debidas a la presión no cambian, por tanto, su resultante que hemos denominado empuje es la misma y actúa en el mismo punto, denominado centro de empuje.

Lo que cambia es el peso del cuerpo sólido y su punto de aplicación que es el centro de masa, que puede o no coincidir con el centro de empuje.

Por tanto, sobre el cuerpo actúan dos fuerzas: el empuje y el peso del cuerpo, que no tienen en principio el mismo valor ni están aplicadas en el mismo punto.

Entonces si el empuje es mayor el cuerpo flota. Si son iguales está equilibrado y si es menor el cuerpo se hunde.

Nota: Los estudiantes de la materia para la presentación de sus informes, deberán necesariamente complementar la información presente en esta guía. Debiendo incluir los conceptos relacionados al ensayo de laboratorio: **Flotabilidad, estabilidad de cuerpos y tensión superficial.**

5. EQUIPO Y MATERIAL A UTILIZAR.

Los equipos y materiales necesarios para la realización de esta práctica son:

- Un recipiente, con agua.
- 3 cuerpos sólidos de distinta forma y densidad.
- Instrumentos de medición.
- Un calibrador Vernier.
- Un termómetro.

6. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

Paso 1. Tomamos medidas (Dimensiones y Masa) de los cuerpos a sumergir.

Paso 2. Con la ayuda del termómetro de laboratorio, determinamos la temperatura del fluido en el recipiente.

Paso 3. Medimos la altura de la columna de agua en el recipiente y las magnitudes necesarias para calcular el volumen de agua.

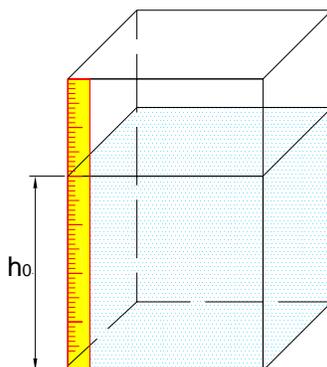
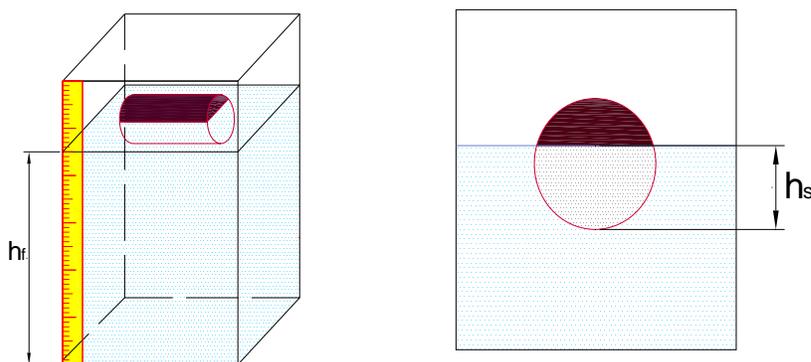


Fig. 2

Paso 4. Sumergimos un cuerpo sólido en el fluido.

Paso 5. Observamos atentamente al cuerpo hasta que este quede en equilibrio.

Paso 6. Tómanos los datos necesarios: La nueva altura de la columna de agua, la magnitud de la parte sumergida del cuerpo.



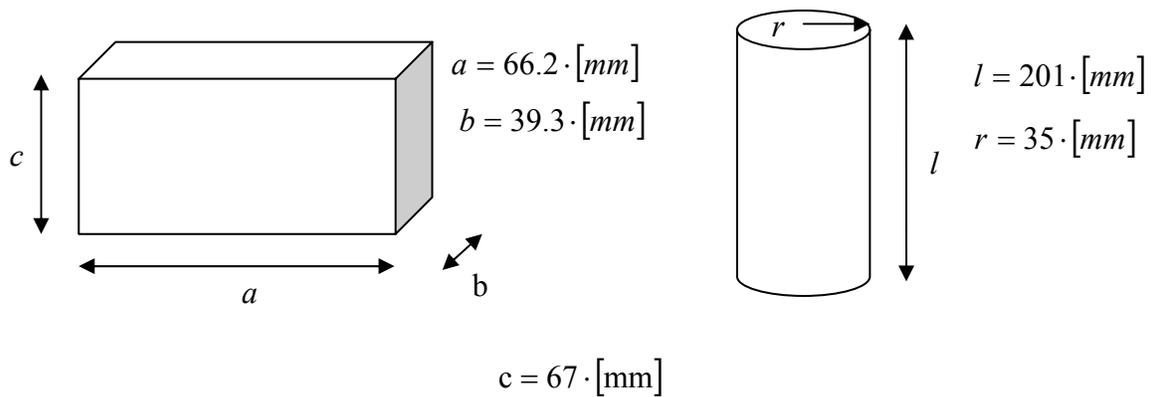
Paso 7. Se repite los pasos 4,5 y 6 para los demás cuerpos sólidos.

6.1. MEMORIA DE CÁLCULO.

Con los datos obtenidos durante la práctica, hallamos la cantidad del volumen de agua desplazado por el cuerpo.

$$\text{Vol. de agua desplazado} = \text{Vol. final del agua} - \text{Vol. inicial del agua} \quad \text{Ec. 2}$$

DESARROLLO



Ladrillo $\rho_{Ladrillo} = 1900 \text{ kg/m}^3$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot V_{Ladrillo}$$

$$\rho_{Ladrillo} = m/V \rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$E = 1000 \cdot 9.81 \cdot (1.125 \cdot 10^{-3})$$

$$E = 11.036 \text{ (N)} \quad \text{☺}$$

$$m = 2.1375 \text{ kg} \quad \text{☺}$$

$$W_{Ladrillo} = m \cdot g$$

$$W_{Ladrillo} = 2.1375 \cdot 9.81$$

$$W_{Ladrillo} = 20.97 \text{ kg} \quad \text{☺}$$

☼ $E < W$ es por eso que en el ensayo el ladrillo se hundió.

Madera $\rho_{Madera} = 650 \text{ kg/m}^3$

$$V_{Cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V_{Cilindro} = \frac{\pi}{4} \cdot 0.035^2 \cdot 0.195$$

$$V_{Cilindro} = 1.876E-4$$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot V_{Madera}$$

$$E = 1000 \cdot 9.81 \cdot (1.574E-3)$$

$$E = 3.01 \text{ (N)} \quad \text{☺}$$

$$\rho_{Ladrillo} = m/V \rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$m = 650 \cdot (1.876E-4)$$

$$m = 0.122 \text{ kg} \quad \text{☺}$$



$$W_{Ladrillo} = m * g$$

$$W_{mad.} = 0.122 * 9.81$$

$$W_{mad.} = 1.196 (N)$$

☀ $E > W$ es por esta razón que la madera no se hunde al contrario flota.

Luego determinamos el volumen de la porción del cuerpo sumergido mediante la geometría. Seguido determinaremos la desviación o variación de los 2 volúmenes encontrados uno respecto al otro.

$$\text{Desviación} = \text{Vol. de agua desplazado} - \text{Vol. de la porción del cuerpo sumergido}$$

Para posteriormente calcular el empuje que experimentan los diferentes cuerpos con las Ecuaciones 1 y 2.

7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Comentar los resultados obtenidos, comparando con lo esperado de acuerdo a la teoría investigada en la *parte teórica*. Describir si se alcanzaron los objetivos de la práctica y también dar posibles explicaciones del porque de las variaciones observadas.



PRESIÓN HIDROSTÁTICA

1. INTRODUCCIÓN

La presión hidrostática es la fuerza por unidad de área que ejerce un líquido en reposo sobre las paredes del recipiente que lo contiene y sobre cualquier cuerpo que se encuentre sumergido, como esta presión se debe al peso del líquido, esta presión depende de la densidad (ρ), la gravedad (g) y la profundidad (h) del el lugar donde medimos la presión (P).

Si usas las Unidades del Sistema Internacional la presión estará en Pascales ($\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$), la densidad en Kilogramo sobre metro cúbico($\text{Kg.}/\text{m}^3$), la gravedad en metro sobre segundo al cuadrado (m/s^2) y la profundidad en metro (m), si te fijas $(\text{Kg.}/\text{m}^3)*(\text{m}/\text{s}^2)*(m)=(\text{Kg.}/(\text{s}^2*\text{m}))=(\text{N}/\text{m}^2)$.

2. OBJETIVOS

El objetivo de esta práctica es observar que la superficie libre de un líquido en reposo es siempre horizontal así como el efecto del flujo sobre la superficie libre. También se verificara el principio de Arquímedes.

En el desarrollo de esta práctica se muestra el procedimiento de cada uno de los experimentos realizados en el laboratorio y su esquematización de cada uno de ellos. Los experimentos fueron los de observación de la superficie libre del agua en reposo, el efecto del flujo sobre la superficie libre y la verificación del principio de Arquímedes.

3. MARCO TEÓRICO

El Principio Fundamental de la Hidrostática establece que la presión en el interior de un fluido depende de la densidad de éste (ρ) y de la profundidad (h)

$$P = \rho g h$$

Con este trabajo se trata de comprobar la validez de dicho principio midiendo la presión manométrica a distintas profundidades en un recipiente con agua.

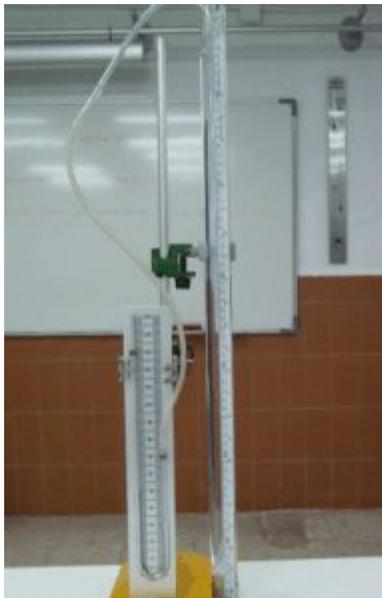
La comparación entre la medida experimental y la obtenida mediante el cálculo teórico nos dará una idea de la validez de la ecuación.

4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

El equipo necesario para esta práctica consiste de lo siguiente:

- a) Tubo de Plástico 0.70 m.
- b) Tubo de Plástico 1 m.
- c) Manómetro.
- d) Cinta Métrica.

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA



(Vista 1))



El montaje experimental consiste en un tubo de plástico rígido de unos 70 cm. de longitud tapado en uno de sus extremos que se llena (no totalmente) con agua. (Vista 1). Un tubo de plástico flexible de 1 m. de largo, aproximadamente, se conecta a una de las ramas de un manómetro de mercurio, introduciéndose el otro extremo en el líquido a distintas profundidades. De esta manera actuará de sonda para medir la presión. Para facilitar la lectura de la profundidad se pega en el tubo con cinta adhesiva una cinta métrica, haciendo coincidir el cero de la misma con la parte superior del tubo.

Hay que tener la precaución de conectar primero el tubo que hará de sonda a la rama del manómetro e introducirlo, después, en el líquido. De esta forma se evitará que el agua ascienda

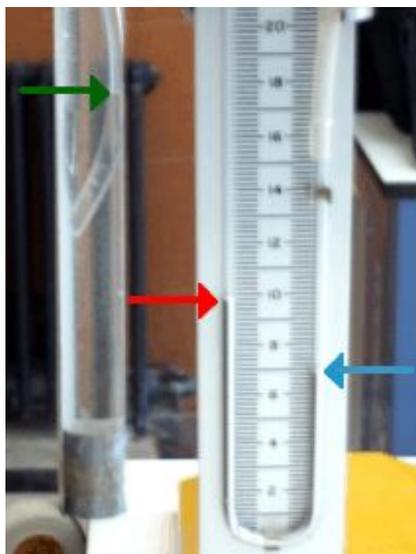
en su interior. De todas maneras es inevitable que el agua, al ejercer presión sobre el aire contenido en el tubo, lo comprima ascendiendo unos centímetros.

5.1. PASOS A SEGUIR

1. Introducir la sonda (tubo de plástico flexible) hasta el fondo del líquido y anotar (tabla de abajo):

Profundidad(cm)		Manómetro (mm)	
Inferior	Superior	Superior	Inferior
52,0	3,3	102	69
42,1	4,2	100	72
29,6	5,6	94	77
16,2	6,9	90	81

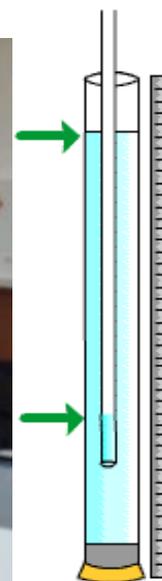
2. Lectura (cinta métrica) para la superficie del agua (Vista 3. flecha verde)



(Vista 2)



(Vista 3)



3. Lectura (cinta métrica) de la parte inferior de la columna de aire que llena el tubo. (Vista 2. Flecha verde).
4. Lectura rama alta del manómetro (Vista 2. Flecha roja)
5. Lectura rama baja del manómetro (Vista 2. Flecha azul)



6. Para obtener la profundidad a la que se mide la presión se restan las lecturas de la cinta métrica.
7. Para obtener la presión en mm. de mercurio se restan las lecturas de las ramas del manómetro.
8. Puede utilizarse la hoja de cálculo para facilitar el procesado de datos y obtener la representación gráfica (P frente a h)

5.1.1. Calculamos teóricamente: (usando la ecuación) la presión existente a la profundidad considerada.

$$P = \rho g h = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0,487 \text{ m} = 4.870 \text{ Pa}$$

$$4.870 \text{ Pa} \frac{760 \text{ mm}}{101.325 \text{ Pa}} = 36,5 \text{ mm}$$

Y comparamos con la obtenida experimentalmente: P = 34 mm.

Se ha cometido un error relativo de:

$$E_r = \frac{|34 - 36,5|}{36,5} = 6,8 \%$$

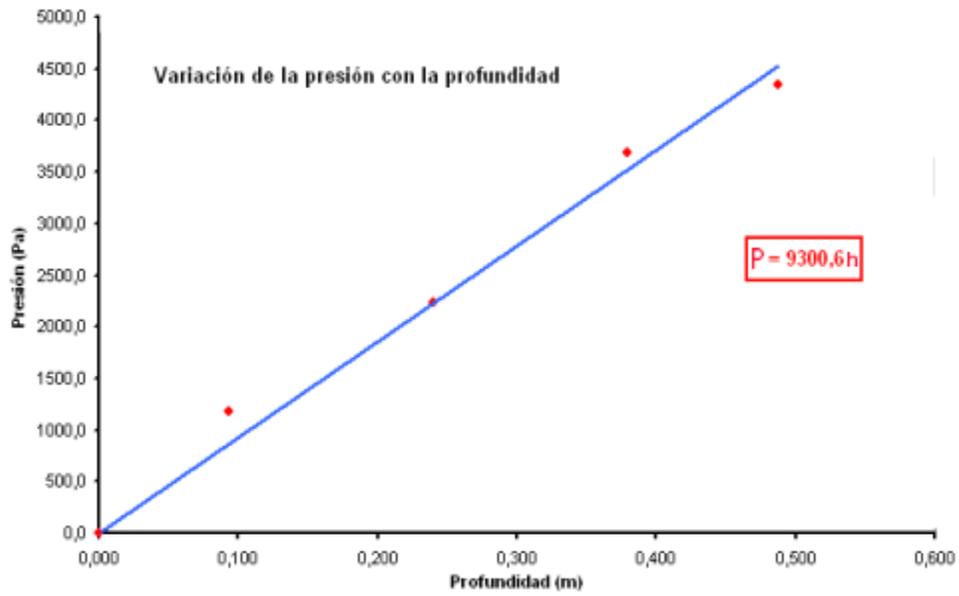
Resultados	
h (m)	P (Mm.)
0,487	34
0,379	28
0,240	17
0,093	8

Comparativa P _{teórica} - P _{medida}	
P _{teórica} (mm)	P _{medida} (mm)
36,5	34
28,4	28
18,0	17
7,0	8

Podemos repetir los cálculos anteriores para cada una de las medidas realizadas. Los resultados finales se recogen en la tabla adjunta.

5.1.2. La representación gráfica: de presión frente a profundidad, muestra la dependencia lineal. La pendiente de la recta (9300,6) está muy próxima al valor teórico correspondiente al producto de la densidad del líquido por la gravedad:

$$P = (\rho g) h \quad (\rho = 10.000, \text{ commando } g = 10 \text{ m/s}^2)$$



MANÓMETROS

1. INTRODUCCIÓN.

Son instrumentos para que se utilicen para medir la Presión en los fluidos.

Estos instrumentos miden presiones producidas, por líquidos o gases contenidos en un recinto cerrado, por tanto es así que este instrumento tuvo una mayor situación tecnológica en nuestro alrededor.

2. OBJETIVOS.

- ❖ Determinar la resistencia a la compresión de los tubos de PVC, mediante esfuerzos de presión ejercida por la prensa hidráulica.
- ❖ Sintetizar nuestro trabajo en un **Diagrama de Esfuerzo – Deformación** (Diagrama de Hooke) del tubo de PVC, a partir de los datos obtenidos durante la prueba.

3. MARCO TEÓRICO.

Un manómetro es un tubo; casi siempre doblado en forma de U, que contienen un líquido de peso específico conocido, cuya superficie se desplaza proporcionalmente a los cambios de presión.

Técnicamente sirven para la medición de presiones, los cuales se deforman bajo la influencia elástica, están contruidos normalmente con aleaciones de cobre o acero aleados, el más utilizado es el de Bourdon.

3.1 Tipos de Manómetros:

Los manómetros son de dos tipos, entre los cuales tenemos:

- a.-) Manómetros del tipo abierto; con una superficie atmosférica en un brazo y capaz de medir presiones manométricas.
- b.-) Manómetros diferencial; sin superficie atmosférica y que sólo puede medir diferencias de presión.

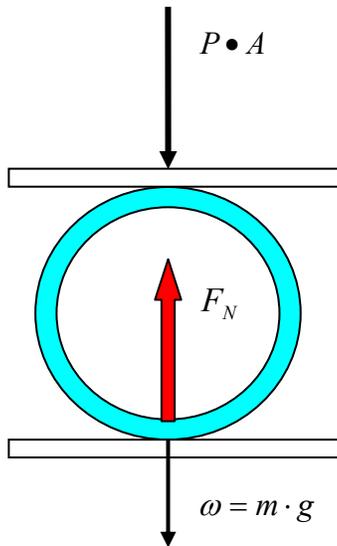
3.2 DESCRIPCIÓN.

El tubo de PVC estará sometido a un esfuerzo de presión:

$$\sigma = \frac{P}{A} \triangleright \left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde: σ = Esfuerzo, presión
 P = Fuerza
 A = Área

Y se la define como intensidad de fuerza por unidad de área, es decir que el tubo estará sometido bajo la acción de las siguientes fuerzas:



$P \cdot A$

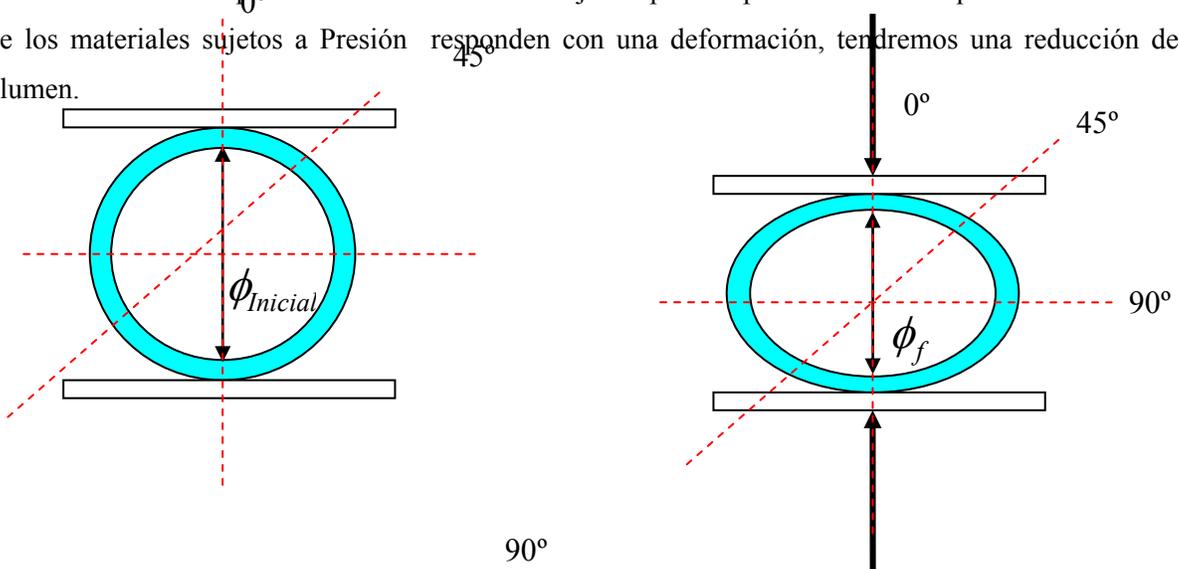
Es la fuerza ejercida por la prensa hidráulica ω es la fuerza debida a la acción de la gravedad (Peso) y es la F_N fuerza normal debida a la tercera ley de Newton
“A toda acción le corresponde un reacción”

El tubo permanecerá en equilibrio por lo que tendremos:

$$\sum F = 0$$

$$F_N = P \cdot A + m \cdot g$$

Veremos entonces de que el tubo de PVC si esta sujeto a presión por lo tanto a compresión. Debido a que los materiales sujetos a Presión responden con una deformación, tendremos una reducción de volumen.



Entonces la deformación será:

$$\varepsilon = \phi_{inicial} - \phi_f \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde: ε = Deformación

ϕ = Diámetro

3.3 EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

El equipo necesario para la realización de práctica es:

- ❖ Prensa Hidráulica
- ❖ Un manómetro
- ❖ 2 planchas de acero
- ❖ Calibrador
- ❖ Tubos de PVC

4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

- Paso 1.** Se acomoda el tubo de PVC entre las planchas de acero y la prensa hidráulica.
- Paso 2.** Con la ayuda de un calibrador se mide el diámetro inicial del tubo PVC.
- Paso 3.** Sometemos el tubo a presión, mediante la prensa hidráulica.
- Paso 4.** Se medirá la magnitud del nuevo diámetro debido a la presión.
- Paso 5.** Se repetirá los pasos 4 y 5, haciendo variar un ángulo de 45° apartir de un eje de simetría referencial.

4.1. DETERMINACIÓN DEL DIAGRAMA PRESIÓN – DEFORMACIÓN.

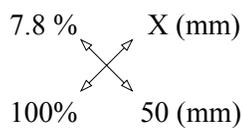
Con los datos obtenidos durante la prueba, diámetros inicial y final (esta debida a la presión), se obtendrán las distintas deformaciones con la **Ecu. 1** respectivamente para cada presión. Se realizara un plano

coordenado, el eje de las abscisas será el eje de las deformaciones (ε) y el de las ordenadas será el eje de las presiones (σ).

ANGULO	PRESION (kg/cm ²)	DIAMETRO (mm)	DEFORMACION (mm)
0°	0	50
	2	49	1
	4	46	4
	6	45	5
	8	43	7
	10	42	8
	14	40	10
90°	0	50
	4	46	4
	6	44	6
	7	42	8
	13	39	11

<u>0°</u>	<u>90°</u>
$\varepsilon = 50 - 49 = 1$	$\Rightarrow \varepsilon = 50 - 46 = 4$
$\varepsilon = 50 - 46 = 4$	$\Rightarrow \varepsilon = 50 - 44 = 6$
$\varepsilon = 50 - 45 = 5$	$\Rightarrow \varepsilon = 50 - 42 = 8$
$\varepsilon = 50 - 43 = 7$	$\Rightarrow \varepsilon = 50 - 39 = 11$
$\varepsilon = 50 - 42 = 8$	
$\varepsilon = 50 - 40 = 10$	

Para hallar la tolerancia:

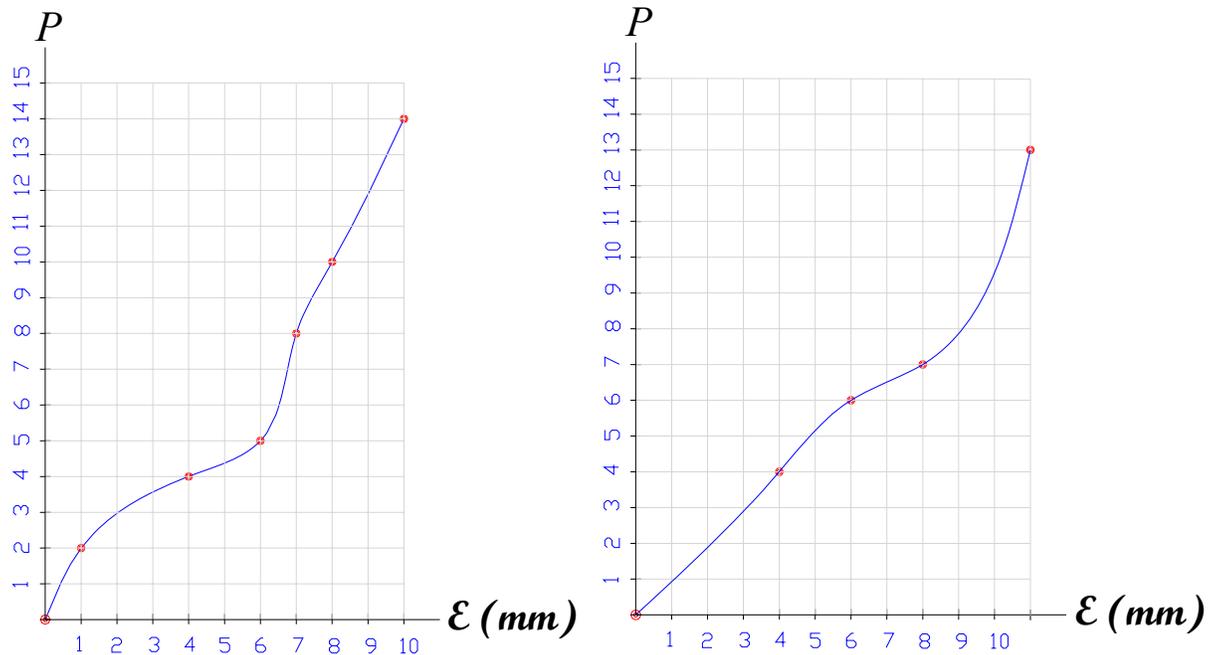


$$X = \rho_{\max}$$

$$X = \frac{7.8\% * 50\text{mm}}{100\%}$$

$$X = 3.9\text{mm}$$

Grafica: Presión (P) vs Deformación (ϵ)



5. JUSTIFICACION.

Este ejercicio o practica esta mal realizado o planteada ya que la deformación excede en el margen de la tolerancia dado del (7.5 %). El cual esta demostrado en el punto (5.1).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Al final del trabajo llegue a la conclusión de que el segundo tubo de PVC es menos resistente a la presión, que el primero (*Fig. 1 y 2*). Teniendo en cuenta que ambos son del mismo material pero el segundo tubo de PVC es de mayor diámetro que el primero.

Entre las recomendaciones que se pueden dar, podemos señalar:

- Tener mucho cuidado con el uso de la prensa hidráulica.
- Obtener datos confiables y seguros



PRINCIPIO DE BERNOULLI

1. INTRODUCCIÓN.

Sin duda uno de los más grandes aportes al estudio del comportamiento y naturaleza de los fluidos fue hecho por Daniel Bernoulli (1700 – 1782), científico Suizo nacido en Holanda quien descubrió los principios básicos del comportamiento de los fluidos en movimiento y cuyos aportes sirvió mucho para el desarrollo de la hidrodinámica y la aerodinámica.

Una de las aplicaciones más sencillas del principio de Bernoulli en el área de la hidrodinámica es el diseño del sistema de propulsión de un barco, la hélice, pieza fundamental de dicho sistema, presenta un diseño tal que la velocidad de flujo sobre la cara posterior sea mayor a la existente en la cara anterior, creándose una fuerza resultante producida por la diferencia de presiones entre ambas caras, fuerza que definirá la dirección y sentido de movimiento del barco.

Bernoulli encontró una relación entre la velocidad de flujo y la presión que ejerce este sobre un área, además de la conservación de energía en el movimiento de un fluido, que lo demostró experimentalmente mediante diversos estudios para luego ser resumidos en lo que se conoce como el principio de Bernoulli o la ecuación de Bernoulli.

En el presente experimento demostraremos, experimental y analíticamente, el principio de Bernoulli mediante el empleo de un modelo hidráulico, que nos permita realizar lecturas de alturas piezométricas y la medida del caudal del flujo en movimiento.

2. OBJETIVOS.

- ❖ Demostrar analítica y experimentalmente el principio de Bernoulli, mediante un modelo hidráulico.
- ❖ Determinar las presiones y velocidades en el punto determinado para nuestro modelo hidráulico, empleando diferentes alturas de columna de agua.
- ❖ Demostrar la conservación de la energía del fluido en movimiento, en nuestro modelo hidráulico.



3. MARCO TEÓRICO.

3.1 PRINCIPIO DE BERNOULLI:

El fluido hidráulico, en un sistema que trabaja, contiene energía bajo tres formas: energía cinética que depende de la velocidad y masa del fluido, energía potencial que depende de su posición, y energía de presión que depende de su compresión.

Daniel Bernoulli, un científico suizo, demostró que, en un sistema con caudal constante, la energía se transforma de una forma u otra cada vez que se modifica el área de la sección transversal de la tubería.

El principio de Bernoulli afirma que la suma de las energías cinética, potencial y de presión, en distintos puntos del sistema, debe ser constante. Al variar el diámetro de la tubería la velocidad cambia.

Así pues, la energía cinética aumenta o disminuye. Ahora bien, la energía no puede crearse ni destruirse. Por lo tanto la variación de energía cinética debe ser compensada por un aumento o disminución de la energía de compresión, es decir, de la presión.

El **principio de Bernoulli**, también denominado **ecuación de Bernoulli**, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Expresa que en un fluido perfecto (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = cte$$

Ecuación de Bernoulli

donde:

- v = velocidad del fluido en la sección considerada.
- g = constante gravitatoria
- z = altura geométrica en la dirección de la gravedad
- P = presión a lo largo de la línea de corriente
- ρ = densidad del fluido

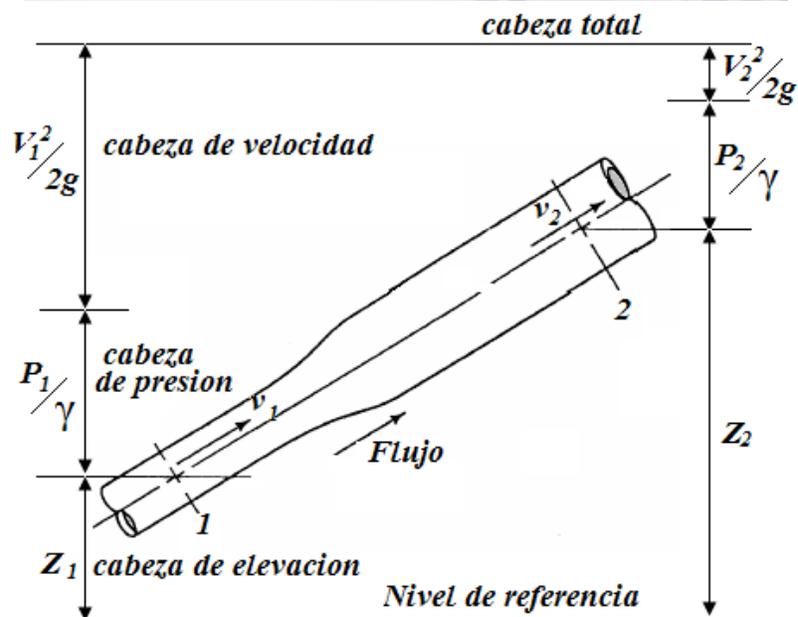
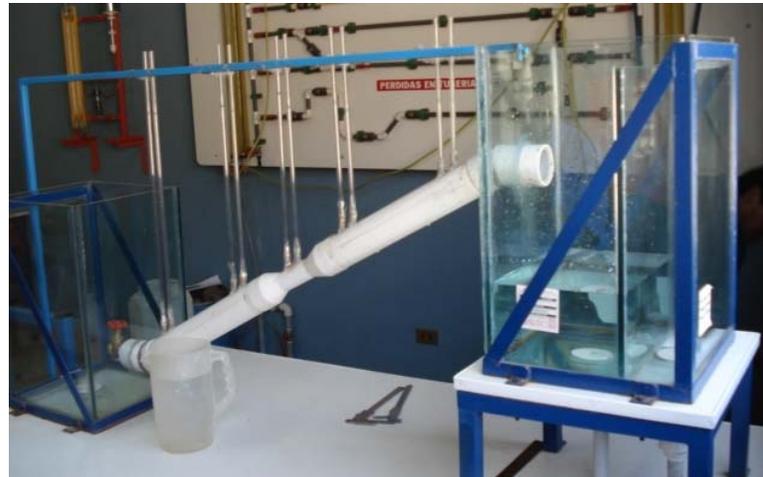


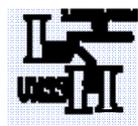
Diagrama para encontrar la Ecuación de Continuidad

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

3.2 ECUACIÓN DE ENERGÍA MODIFICADA PARA FLUJO DE FLUIDOS REALES:

La ecuación de Bernoulli puede ser modificada en el caso de flujo de fluidos incompresibles reales así:

1. Introduciendo un término para las pérdidas en la ecuación general, el cual tomaría en consideración la energía gastada en vencer las resistencias friccionares causadas por los esfuerzos cortantes de viscosidad y turbulencia y otras resistencias debidas a cambios de secciones, válvulas, uniones, etc.



2. Corrigiendo el término de energía de velocidad por la verdadera distribución de velocidad en una tubería; con flujo laminar las pérdidas varían directamente con la viscosidad, la longitud y la velocidad e inversamente con el cuadrado del diámetro; mientras que en flujo turbulento las pérdidas varían directamente con la longitud, el cuadrado de la velocidad e inversamente con el diámetro. Las pérdidas en flujo turbulento también dependen de la rugosidad del área interior de la tubería y de las propiedades del fluido como son su densidad y viscosidad.

Por lo tanto, para flujo de fluidos incompresibles reales, podemos escribir:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - \text{pérdidas} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g}$$

Donde α es el factor de corrección de la energía de velocidad (cinética). Las pérdidas se representarán por h_f .

Una ecuación general de los principios de conservación de energía puede ser derivada para el flujo de un fluido tomando en consideración la masa, el momento y la transferencia de calor y la energía térmica debida a la fricción en un fluido real.

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} + E_B - E_T - h_f (\text{pérdidas}) = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g}$$

Donde E_B es la energía externa suministrada por alguna máquina, como una bomba y E_T es la energía extraída al sistema por alguna máquina, como una turbina.

$$P_{\text{Bomba}} = \frac{\gamma Q H}{75 \eta} = \frac{\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times \text{m}}{75 \eta} = \frac{\text{Kilogramos metros}}{\text{seg.}} = \text{CV.}$$

3.4 EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

Para la realización de esta práctica se utilizaron los siguientes materiales:

- Dos contenedores volumétricos de diferentes capacidades.
- Tubería de (PVC).
- Accesorios o juntas (T, codos, acoples)
- Llave de paso y grifo



- Cronometro
- Flexometro
- n° piezómetros

3.5 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

Paso 1. Se llena nuestro recipiente n° 1 con un volumen constante de agua.

Paso 2. Medir los diámetros del conducto y su garganta respectivamente.

Paso 3. Se procede a medir la altura geométrica y piezométrica para cada columna en el medidor de Venturi.

Paso 4. Con fines de la obtención del caudal, se determinara el volumen de agua que es desalojada por el recipiente n° 2 en un lapso de tiempo determinado.

3.6 DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES Y VELOCIDADES EN LAS COLUMNAS.

Una vez medida las alturas de las columnas de presión y medidas los caudales, nos encargaremos de determinar la presión en cada una de las columnas, igualando la altura de cada columna con la energía de presión debida a la compresión de un fluido de la ecuación de Bernoulli. Para posteriormente determinar las velocidades en cada columna con la ecuación 2. y para luego hallar las alturas de velocidad de cada columna con la energía cinética del fluido en la ecuación de Bernoulli.

Para obtener la altura piezométrica de cada columna sumaremos las alturas de cada columna a la altura geométrica y para obtener la altura de velocidades haremos lo mismo solo que la sumaremos a la altura piezométrica esto de acuerdo a la ecuación de Bernoulli.

4. EJEMPLO DE APLICACIÓN (Laboratorio UMSS)

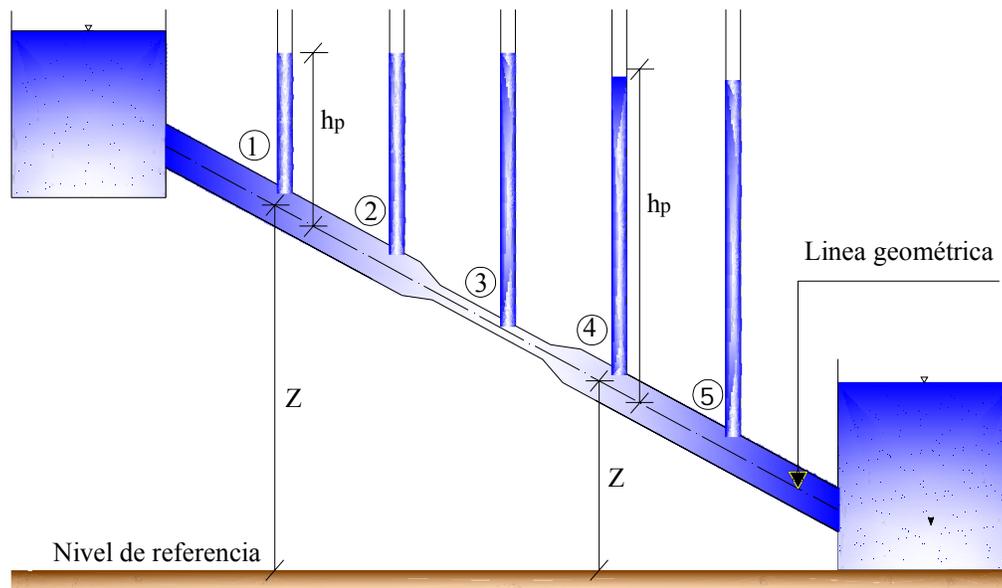
Datos:

$\theta = 7.3 \text{ cm} \rightarrow \theta = 0.073 \text{ m}$

$t = 20.3 \text{ s} \quad 22.5 \text{ s} \rightarrow t = 21.4 \text{ s}$

$\text{Vol} = 2 \text{ litros} \rightarrow \text{Vol} = 0.002 \text{ m}^3$

X (cm)	Z (cm)	h _p (cm)
9,5	53	11
31,5	40	23,5
45	33	30
60,5	26	37,5
83,3	15	41



Solución:

$Q = \text{Vol}/t = 0.002/21.4 = 9.35 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Para $V_1 = Q/A = 0.0223 \text{ m/s} = 2.23 \text{ cm/s}$

Para V_2, V_3, V_4, V_5 utilizar la ecuación de Bernoulli

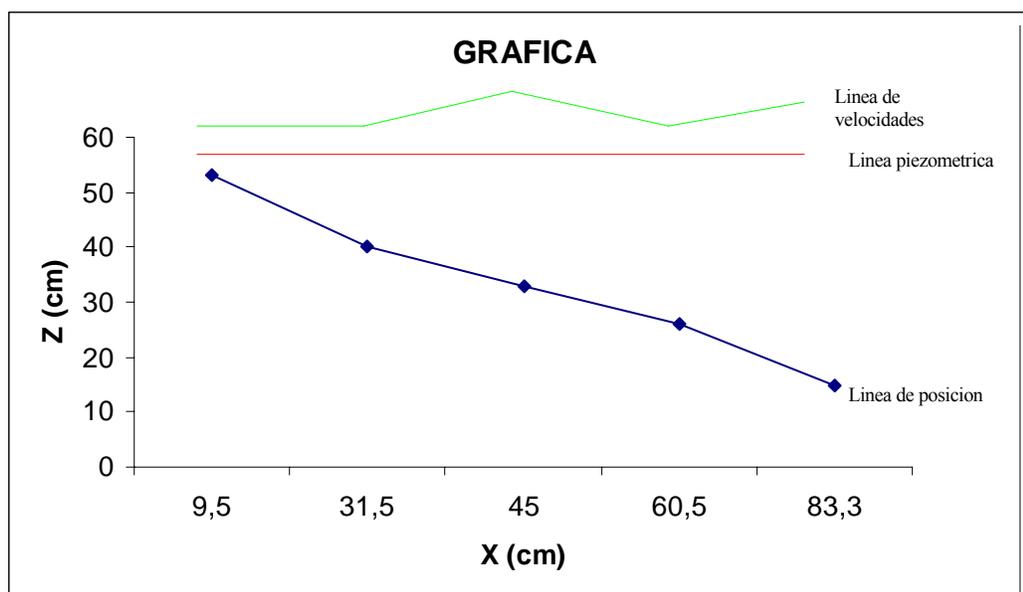
$$h_p + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = h_p + \frac{(V_2)^2}{2g} + z_2 \text{ donde se deberá despejar } (V_2)$$

Calcular Altura de velocidad:

$h_v = V^2/2g$

donde $g = 9.81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ cm/s}^2$

Nº	X (cm)	Z (cm)	hp (cm)	Diámetro del conducto	Área del conducto	Velocidad (cm/s)	hv (cm)	Línea de energía $E=z+hp+hv$
1	9,5	53	11	0.073	0.419	2.23	0.0253	64.025
2	31,5	40	23,5	0.073	0.419	31.4	0.503	64.003
3	45	33	30	0.073	0.419	44	0.987	63.987
4	60,5	26	37,5	0.073	0.419	31	0.490	63.990
5	83,3	15	41	0.073	0.419	44	0.987	56.987



5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Al final del trabajo llegué a la conclusión de que el principio de Bernoulli puede ser comprobado mediante los instrumentos de laboratorio (piezómetro y tubo de Pitot), y que la energía en un fluido en movimiento es constante, bueno aunque no sea tan verídico en la gráfica resultante debido a algunas pérdidas y errores humanos.

FLUJO EN ORIFICIOS

1. INTRODUCCIÓN.

En este ensayo se demostrara el principio de Torricelli, para esto se deberá analizar el caudal de un flujo que fluye a través de un orificio.

El teorema o **principio de Torricelli** es una aplicación de principio de Bernoulli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio bajo la acción de la gravedad.

2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

El objetivo que se pretende alcanzar con la ejecución de esta práctica es que los alumnos comprendan que:

- Appreciar el fenómeno de flujo a través de un orificio.
- Medir los coeficientes de velocidad y de caudal, de manera que, después se podría utilizar la apertura como dispositivo para aforar caudales.
- Verificar que el principio de Torricelli se cumpla en el experimento
- Determinar el caudal.

3. MARCO TEÓRICO.

El caudal se simboliza con la letra Q , y este es el **volumen** del flujo del fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo la cual presenta la siguiente ecuación:

$$Q=A*V \text{ (m}^3\text{/s)}$$

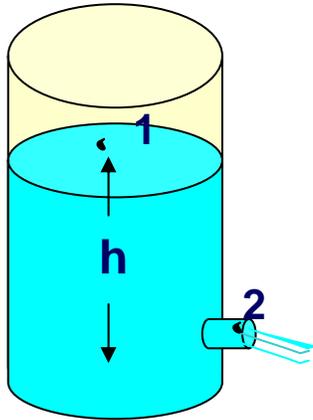
Donde: A: Área del a sección

 V: Velocidad promedio del flujo

3.1. PRINCIPIO DE TORRICELLI

Para el flujo por un orificio de pared delgada, se encuentra en la teoría, aplicando la ecuación de Bernoulli, cuando las pérdidas por fricción son despreciables:

Aplicamos la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 se obtiene:



$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma}$$

Consideramos $P_1=P_2=0$ y $V_1=0$ según esto se obtiene:

$$z_1 = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \qquad V_2 = \sqrt{(z_1 - z_2)2g}$$

Haciendo ahora $h = (z_1 - z_2)$ entonces

$$\boxed{V_2 = \sqrt{2gh}}$$
 Esta ecuación se denomina “**Ecuación de Torricelli**”

Donde: V : velocidad en el punto

g : gravedad

h : Atura del nivel de agua

La ecuación de Torrecilla indica que la velocidad varía parabolicamente con la altura h . Si esto ocurre la velocidad en la parte superior del orificio será menor que en la parte inferior, estas velocidades tienden a ser iguales cuando el orificio se hace más pequeño. Esto también se soluciona con la aplicación de un coeficiente de velocidad C_v :

$$V = C_v \sqrt{2gh}$$

En área de la contracción es más pequeña que el área del orificio, para considerar este hecho, también incluimos un coeficiente de contracción C_c al área del orificio:

$$A_c = C_c A$$

A : área del orificio

$$Q = C_v C_c A \sqrt{2gh}$$

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

Caudal real

$$Q = \sqrt{2gh} * A$$

Caudal ideal

$$C_d = C_v C_c$$

C_c : coeficiente de contracción: es la relación entre el área de la sección recta contraída de una corriente y el área del orificio a través del cual fluye el fluido. (C_c =área reflujo contraído/área del orificio).

C_v : coeficiente de velocidad: es la relación entre la velocidad media real en la sección recta de la corriente y la velocidad media ideal que se tendría sin rozamiento. (C_v =velocidad media real/velocidad media ideal).

C_d : coeficiente de gasto o de descarga: es la relación entre el caudal real que pasa a través de un dispositivo y el caudal ideal. (C_d =caudal real/caudal ideal).

4. METODOLOGÍA.

Mediciones.- Habrá que determinarse:

- El diámetro interno de orificio.
- La geometría del tanque.
- Recipiente aforador de control de volumen.

Se utilizará el equipo esquematizado a continuación:



Laboratorio de Hidráulica UMSS

4.1 EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO

1. Depósitos de fluido. Con orificios a diferentes alturas
2. Entradas de Fluido.
3. Tubería de descarga.
4. Válvula reguladora, determinará el caudal en la salida.
5. Recipiente aforador.
6. regla para medir la vena de agua, horizontal y verticalmente.

4.2 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Los pasos a seguir son:

- Paso 1) Encendido del equipo de bombeo teniendo la válvula de salida completamente cerrada, dejar que llene el tanque a nivel constante. Si es necesario modificar la válvula contigua a la bomba a fin de alcanzar el equilibrio.
- Paso 2) Definir las marcas de nivel en el tanque. Abrir la válvula completamente.
- Paso 3) Activar el cronómetro cuando el nivel de agua alcance la primera marca, y pararlo al pasar la segunda.
- Paso 4) Repetir esta secuencia desde el Paso 3) las veces que sean suficientes para tratar la teoría de errores.

Se utilizara las reglas para obtener sus coordenadas (x,y) (se medirá vertical y horizontalmente)

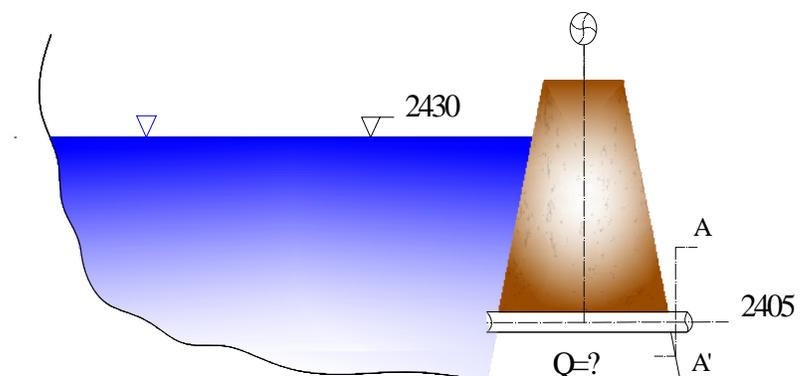
Registrar las mediciones en forma ordenada, acompañar de cálculos intermedios que fundamenten el resultado final. Se tiene a disposición planillas ejemplo para la recopilación de datos.

En el transcurso de la práctica y al final de esta el alumno deberá tomar nota de todos los aspectos que considere necesario.

5. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Datos:

D= 10"

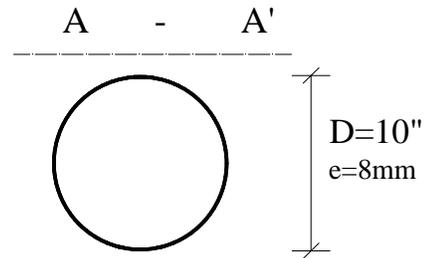


$$C_c = 0,9$$

$$C_v = 0.85$$

Cota superior: 2430 m

Cota inferior: 2405 m



Determinar el caudal real e ideal del orificio?

Solución:

$$D=10''=0,254 \qquad A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.254)^2}{4} = 0.051m^2$$

$$C_d = C_c * C_v = 0,9 * 0,85 \qquad C_d = 0,765$$

$$h = \text{cota superior} - \text{cota inferior} = 2430 - 2405 = 25 \text{ m}$$

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

$$Q = 0,765 * 0.05(m^2) \sqrt{2 * 9,81(m/s^2) * 25(m)}$$

$$Q = 0,86(m^3 / s)$$

Caudal real :

$$Q = 860(lt / s)$$

Para: D=2mm

h = 45.3 cm

Calcular el caudal ideal:

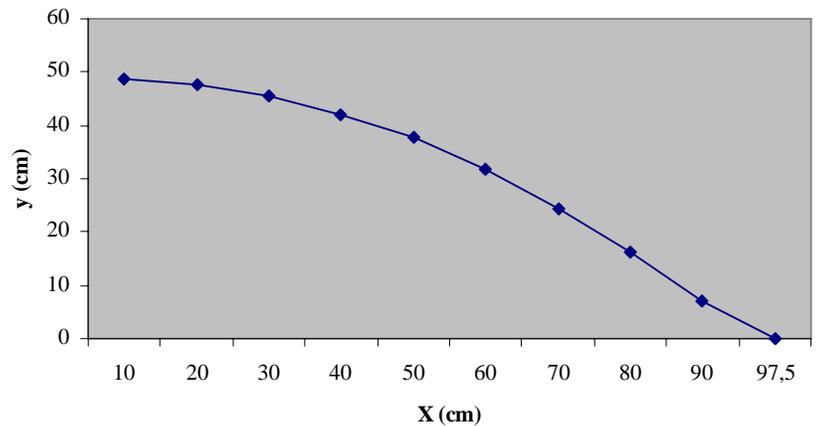
$$Q = A \sqrt{2gh}$$

$$Q = 0.002(m^2) \sqrt{2 * 9,81(m/s^2) * 0,453(m)}$$

X (cm)	Y (cm)
10	48,8
20	47,7
30	45,7
40	42
50	37,9
60	31,6
70	24,5
80	16,2
90	7
97,5	0

$$Q_{ideal} = 9,366 * 10^{-6} (m^3 / s) \quad Q_{ideal} = 9,366 * 10^{-3} (lt / s)$$

GRAFICA (Coordenadas x,y)



6. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Al final del trabajo se llega a la conclusión de que el principio de Torricelli puede ser comprobado mediante los instrumentos de laboratorio pero es un poco complicado verificar en el laboratorio ya que solo observamos la curva de la vena de agua y no el caudal. Como recomendación podemos decir que los datos se deberán tomarse con más precisión.



DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS EN TUBERÍAS

1. INTRODUCCIÓN

Para estudiar el problema de la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación de los flujos y considerar las grandes diferencias de comportamiento entre el flujo laminar y el flujo turbulento.

El flujo de un fluido real no puede ser completamente unidimensional debido al efecto de la viscosidad, ya que la velocidad en una frontera sólida es igual a cero, pero en otro punto es distinta de cero; sin embargo, según la consideración de valores medios de las características en cada sección, se puede calificar de unidimensional. Esta hipótesis es la más importante en hidráulica, por las simplificaciones que trae consigo.

El flujo laminar se caracteriza porque el movimiento de las partículas se produce siguiendo trayectorias separadas perfectamente definidas, no necesariamente paralelas, sin existir mezcla macroscópica o intercambio transversal entre ellas. El flujo laminar es aquel en el que el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose suavemente una capa sobre la otra adyacente con un solo intercambio molecular de cantidad de movimiento. Cualquiera que sea la tendencia hacia la inestabilidad o la turbulencia, se amortigua por fuerzas cortantes viscosas que resisten el movimiento relativo de las cargas adyacentes.

En un flujo turbulento, las partículas se mueven sobre trayectorias completamente erráticas, sin seguir un orden establecido. Existen pequeños componentes de la velocidad en direcciones transversales a las del movimiento general, las cuales no son constantes sino que fluctúan con el tiempo, de acuerdo con una ley aleatoria aun cuando el flujo general sea permanente, ya que la permanencia respecto del tiempo se refiere a los valores medios de dichos componentes en un intervalo grande. En el flujo turbulento existe un intercambio de cantidad de movimiento transversal muy fuerte.

El número de Reynolds señala la naturaleza del flujo laminar o turbulento y su posición relativa sobre una escala que indica la importancia relativa de las tendencias de turbulento a laminar.

En el análisis del flujo existe una ecuación del movimiento suponiendo que el fluido es ideal, es decir, que no existen esfuerzos cortantes y por tanto la viscosidad es cero. En este caso no tiene ninguna importancia mencionar si el flujo es laminar o turbulento.



También se han desarrollado ecuaciones más generales que incluyen la viscosidad, esto es, se tienen en cuenta los esfuerzos cortantes, resultando ecuaciones complejas, por ser ecuaciones diferenciales parciales no lineales cuyas soluciones generales no se han obtenido.

Osborne Reynolds las estudió para tratar de determinar cuándo dos situaciones de flujo diferentes serían semejantes. En este sentido se puede decir que dos casos de flujo son dinámicamente similares cuando:

1. Son geoméricamente análogos, es decir, existe una relación constante entre las dimensiones lineales correspondientes.
2. Las líneas de corriente correspondientes son geoméricamente semejantes, o las presiones en puntos correspondientes tienen una relación constante.

Para dos flujos geoméricamente semejantes, Reynolds dedujo que serían dinámicamente similares si las ecuaciones diferenciales generales que describen su flujo son idénticas. Al cambiar las unidades de masa, longitud y tiempo en un conjunto de ecuaciones y determinar la condición que debe satisfacerse para hacerlas idénticas a las ecuaciones originales, Reynolds encontró que el grupo adimensional $\frac{v L \rho}{\nu}$ debe ser el mismo para ambos casos, siendo v la velocidad característica, L una longitud Característica, ρ la densidad de masa y ν la viscosidad.

2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

El objetivo que se pretende alcanzar con la ejecución de esta práctica es que los alumnos:

- Sean capaces de identificar el estado en el que se encuentra el flujo, mediante el cálculo del Número de Reynolds y relacionarlo con la observación.
- Observen objetivamente el comportamiento de un fluido en los distintos estados de flujo.
- Posean el adecuado conocimiento de los estados de flujo, los límites de estos.

3. MARCO TEÓRICO.

El Número de Reynolds trata de cuantificar la preponderancia de las fuerzas de inercia durante el movimiento de un fluido; frente a las fuerzas viscosas que se oponen a él.

Para valores comparativamente pequeños del Número de Reynolds (menores a 2000 en tuberías) se dice que la viscosidad domina el comportamiento del flujo; por el contrario para valores altos, el

- Flujo Turbulento $Re > 4000$
- Flujo en Transición $2000 < Re < 4000$

El anterior rango está determinado para un cambio de estado turbulento a laminar. Reynolds obtuvo que para una transición del estado laminar al turbulento el valor límite era de 12000.

3.1 Experimento de Reynolds

Reynolds realizó sus experimentos utilizando un depósito de agua con un tubo de vidrio conectado horizontalmente. En el extremo del tubo colocó una válvula para regular el caudal. A través de una boquilla de inyección se introduce una corriente muy delgada y uniforme de solución colorante que se deja fluir en forma paralela al eje del tubo. Se abre la válvula y se deja circular el agua. Cuando la velocidad del fluido es baja, el colorante inyectado forma una sola línea, similar a un hilo, que se desplaza en una línea recta a lo largo del tubo. No hay mezcla lateral del fluido como puede verse en la Figura 1. Este patrón corresponde al régimen laminar.

Al aumentar la velocidad del agua, se observa que al llegar a cierto límite la línea de colorante se dispersa y se ve la formación de remolinos, como lo muestra la Figura 2.

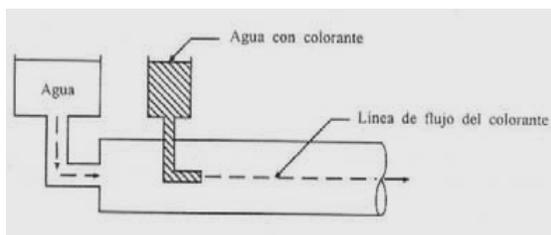


Figura 1

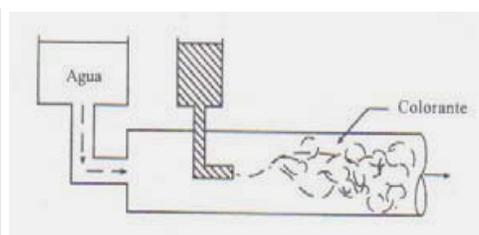


Figura 2

4. METODOLOGÍA.

4.1. Equipo necesario.

El equipo necesario para esta práctica consiste de lo siguiente:

- i. Cronómetro.
- ii. Tinta para observar el tipo de flujo
- iii. Calibrador Vernier, para medir el diámetro del tubo.
- iv. El equipo esquematizado a continuación:



Laboratorio de Hidráulica UMSS

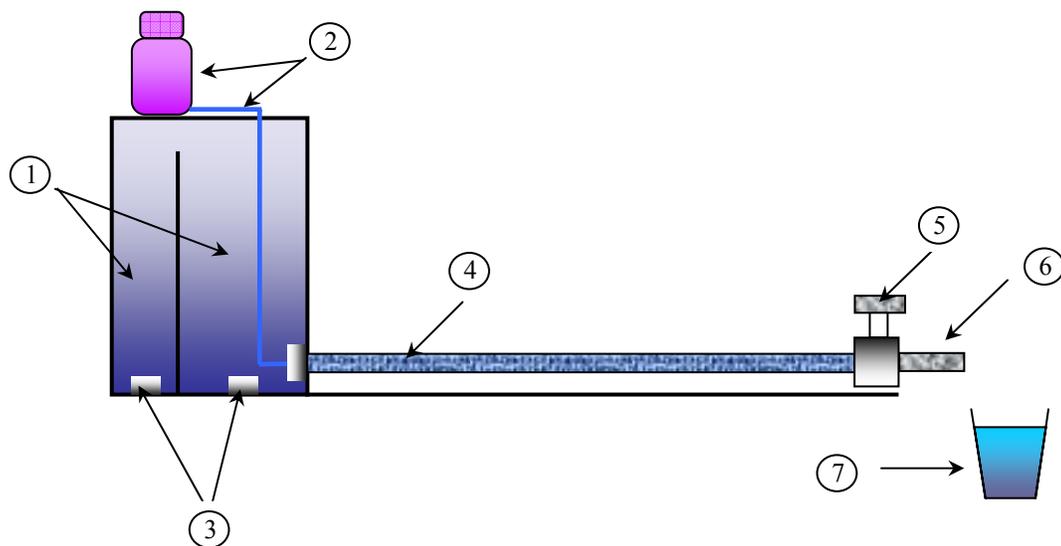


Fig. 1

Donde:

1. Depósitos de fluido. Las dos cámaras tienen la función de mantener la carga constante sobre la entrada de agua en la tubería transparente.
2. Recipiente contenedor de tinte y tubo inyector.
3. Entradas de Fluido.
4. Tubería transparente, en la cual se puede apreciar las características del flujo.
5. Válvula reguladora, determinará el caudal en la salida.
6. Tubería de descarga.
7. Recipiente aforador.

4.2. Procedimiento

Consiste en la reproducción en laboratorio de la ocurrencia de flujo laminar, de transición y turbulento en tuberías.

La determinación visual de alguno de ellos se efectuará observando las trayectorias de partículas colorantes inyectadas en el agua clara.

La corroboración de lo observado será mediante la evaluación del Número de Reynolds.

Los pasos a seguir son:

- Determinación del diámetro interno de la tubería transparente y el recipiente aforador, el número de veces necesario para un tratamiento estadístico de errores.
- Determinación de la temperatura del agua y control permanente de variaciones.
- Llenado y limpieza del recipiente del contenedor y tubería de salida del tubo.

Paso 1) Encendido de la bomba de recirculación de agua y cerrado de la válvula de control.

Paso 2) Dar un cierto grado de apertura la válvula de modo que el caudal se incremente.

Paso 3) Registro de aforo: con cronometro controlar el tiempo de llenado del recipiente aforador. Medir la altura de agua almacenada en el recipiente. Calcular el volumen de agua colectada y deducir el caudal con:



$$Q = \frac{V}{t}$$

Repetir este paso el número de veces necesarias de manera que se tenga un tratamiento de errores.

Paso 4) Observar a través de la tubería de vidrio el patrón de flujo instalado. Realizando las anotaciones y observaciones pertinentes.

Paso 5) Volver al paso 2 incrementando la apertura de la válvula.

Registrar las mediciones en forma ordenada, acompañar de cálculos intermedios que fundamenten el resultado final.

En el transcurso de la práctica y al final de esta el alumno deberá tomar nota de todos los aspectos que considere necesario.

5. MEMORIA DE CÁLCULO.

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Donde la V es la velocidad del fluido en m/s, D es diámetro interno del tubo, ν es viscosidad cinemática m²/s, μ es viscosidad dinámica N.s/m², ρ es densidad en Kg/m³

Tubo: L= 1 m. D = 0.016 m A= 2.01 x 10 m²

<i>GASTO (gpm)</i>	<i>?P (mm-agua)</i>	<i># DE REYNOLDS</i>	<i>TIPO DE FLUJO</i>
<i>0.1</i>	<i>1</i>	<i>760896.63</i>	<i>turbulento</i>
<i>0.2</i>	<i>2</i>	<i>1537982.56</i>	<i>Turbulento</i>
<i>0.3</i>	<i>3</i>	<i>2298879.20</i>	<i>Turbulento</i>
<i>0.4</i>	<i>4</i>	<i>33505931.7</i>	<i>Turbulento</i>
<i>0.5</i>	<i>7</i>	<i>3820672.48</i>	<i>Turbulento</i>
<i>0.6</i>	<i>10</i>	<i>4597758.41</i>	<i>Turbulento</i>



0.7	12	5374844.33	turbulento
0.8	13	6135740.97	turbulento
0.9	16	6896637.61	turbulento
0.95	22		
1	24		

NOTA: *estos datos fueron tomados por medio del diagrama de Moody, calculando el coeficiente de fricción mediante la formula:*

6. CONCLUSIONES.

- Pudimos observar que el flujo turbulento parecía caótico y no uniforme, y existe bastante mezcla del fluido. Una corriente de azul de metileno que fuera introducida en el flujo turbulento, inmediatamente se dispararía en el flujo principal del sistema como se presentó en la práctica del laboratorio.
- Los valores del número de Reynolds están supeditados a errores en el aparato ya que por falta de mantenimiento su precisión se ve afectada; por eso nos resultaron flujos turbulentos a bajos caudales.
- Al calcular el numero de Reynolds en el laboratorio y observando el comportamiento del fluido podemos constatar que su valor oscila en un rango muy cercano al de su valor teórico.
- El número de Reynolds es fundamental para caracterizar la naturaleza del flujo y así poder calcular la cantidad de energía perdida debido a la fricción en el sistema.

PÉRDIDAS GENERALES Y LOCALES EN SISTEMAS DE TUBERÍAS.

1. INTRODUCCIÓN.

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

Hay tipos de pérdidas que son muy pequeñas en comparación, y por consiguiente se hace referencia de ellas como pérdidas menores, las cuales ocurren cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria de flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria del flujo se encuentra obstruida como sucede en una válvula.

En este laboratorio se calcularán las magnitudes de dichas pérdidas ocurridas por estas fuentes mediante datos experimentales.



2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.

El objetivo que se pretende alcanzar con la ejecución de esta práctica es que los alumnos:

- Calcular el caudal teórico, de acuerdo a las condiciones particulares y características de cada modelo.
- Calcular las pérdidas por fricción y las pérdidas locales teóricas para los distintos tramos y nudos del modelo.
- Dibujar a escala las líneas teóricas de energía y piezométrica.
- En base a los datos obtenidos en laboratorio determinar: Coeficiente de Manning (n) y Hazen-Williams (C_w), Coeficientes de fricción (f), Rugosidad equivalente de las tuberías (e), Coeficientes de pérdidas locales (K).
- Comparar los resultados del cálculo teórico con los datos de las mediciones en laboratorio.



3. MARCO TEÓRICO.

Antes de abordar las expresiones desarrolladas para la determinación de las pérdidas de carga en conductos bajo presión, hacemos un resumen de las ecuaciones fundamentales de la hidrodinámica.

Ecuación de Continuidad, desarrollada en base al principio de conservación de la materia. Para flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de un tubo de corriente por unidad de tiempo es constante. Esto puede expresarse como:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{cte}$$



Para fluidos incompresibles y para todos los casos prácticos en que $\rho_1=\rho_2=cte$, la ecuación se transforma en:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = cte \quad (\text{Ecuación de Continuidad})$$

Donde A_1 y V_1 son respectivamente, el área de la sección recta y la velocidad media de la corriente en la sección, con significado análogo en la sección 2.

Ecuación de la energía, (Ecuación de Bernoulli) desarrollada a partir del principio de conservación de la energía, establece un balance energético entre dos secciones, considerando las pérdidas que podrían ocurrir en el tramo comprendido entre dichas secciones.

Para flujo permanente y fluidos incompresibles la ecuación de energía se reduce a la siguiente expresión:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

Donde:

z_1 : Altura de posición en la sección 1.

$\frac{p_1}{\gamma}$: Altura de presión en la sección 1.

$\frac{V_1^2}{2g}$: Altura de velocidad en la sección 1.

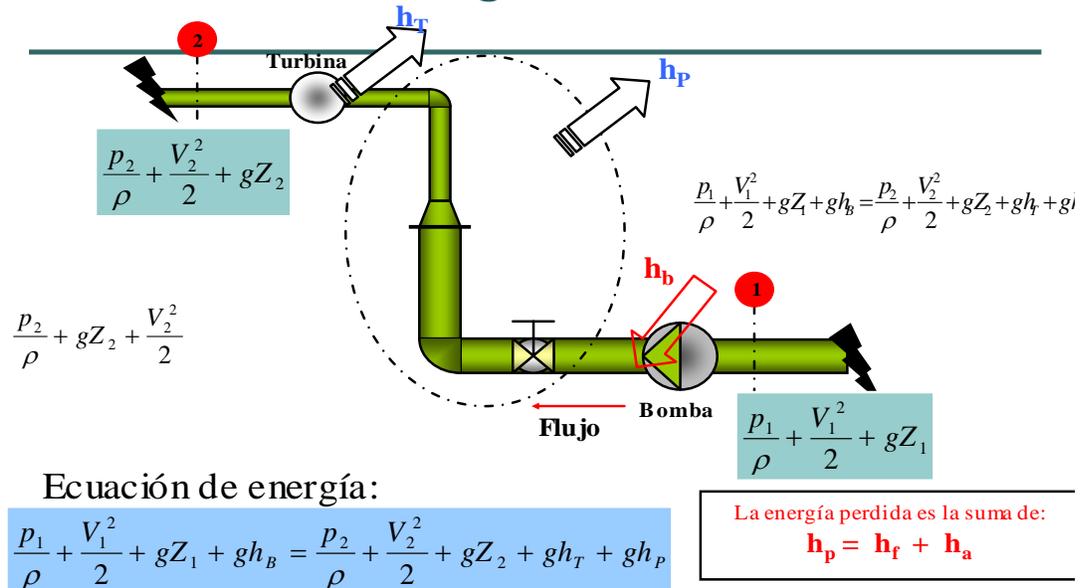
z_2 : Altura de posición en la sección 2.

$\frac{p_2}{\gamma}$: Altura de presión en la sección 2.

$\frac{V_2^2}{2g}$: Altura de velocidad en la sección 2.

ΔF : Pérdida de carga total

Ecuación de energía Pérdidas de carga



Pérdidas de Carga, La determinación de las pérdidas de carga demandaron muchos trabajos de numerosos investigadores a lo largo de mucho tiempo, especialmente el desarrollo de expresiones para determinar las pérdidas de carga por fricción.

La pérdida total de carga se puede dividir en:

Pérdidas de carga general, o pérdidas de fricción consecuencia del rozamiento con las paredes de la tubería.

Pérdidas de carga especiales, causadas por los accesorios colocados en el sistema de tuberías (cambios de diámetro, válvulas, codos, bridas, etc).

Las pérdidas que ocurren en tuberías debido a dobleces, codos, juntas, válvulas, etc., se llaman pérdidas menores. Nombre del cual podemos considerar incorrecto porque en muchas ocasiones son más importantes que las pérdidas debidas a la fricción en el tubo pero el nombre es convencional. Las pérdidas menores ocurren de una manera puntual mientras que la fricción y viscosidad ocurren de una manera distribuida. En casi todos los casos la pérdida menor se determina por experimentos.



Perdidas Locales

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están por lo general compuestas por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la acción y los distintos dispositivos para el control de las descargas (Válvulas y Compuertas). Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de la fricción localizadas en el mismo lugar de cambio de geometría o alteración de flujo. Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida.

Pérdidas generales de carga, Podemos mencionar los siguientes criterios:

Darcy Weisbach.- La fórmula de Darcy Weisbach es la expresión básica universal para el cálculo de las pérdidas por fricción y viene dada por

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \qquad K_f = f \frac{L}{D}$$
$$h_f = 0,0826 f \frac{L}{D^5} Q^2 \qquad \Rightarrow \qquad K_f = 0,0826 f \frac{L}{D^5}$$

Donde:

- h_f = Pérdida por fricción
- L = Longitud de Tubería entre 1 y 2.
- K_f = Constante de fricción
- f = Coeficiente adimensional de fricción (Darcy Weisbach)
- g = Aceleración gravitacional.
- D = Diámetro de la tubería.

MANNING.- En la actualidad la ley de Manning es la ley empírica más utilizada, y con las ecuaciones de Darcy, donde la constante de fricción para el cálculo de las pérdidas de energía viene dada por:

$$h_f = K_f Q$$



$$h_f = 10,29 n^2 \frac{L}{D^{16/3}} Q^2 \quad \Rightarrow \quad K_f = 10,29 n^2 \frac{L}{D^{16/3}}$$

$$h_L = K_L k' Q^2 = K_L Q^2 \quad \Rightarrow \quad k' = \frac{1}{2 g A^2}$$

Donde:

- h_f = Pérdida por fricción
- L = Longitud de Tubería entre 1 y 2.
- K_f = Constante de fricción.
- n = Coeficiente adimensional de fricción (Manning)
- g = Aceleración gravitacional.
- D = Diámetro de la tubería.

HAZEN WILLIAMS.- Donde la constante de fricción para el cálculo de las pérdidas de energía viene dada por:

$$h_f = K_f Q^{1.85}$$

$$h_f = \frac{3,54}{C_{HW}^{1,85}} \frac{L}{D^{4,86}} Q^{1,85} \quad \Rightarrow \quad K_f = \frac{3,54}{C_{CW}^{1,85}} \frac{L}{D^{4,86}}$$

Pérdidas de Carga Especiales, las pérdidas localizadas se calculan normalmente con una de las dos siguientes expresiones:

$$K' = \frac{\varepsilon}{g\pi^2 D^4}$$

Donde:

- K' = Constante de pérdidas especiales.
- ε = Coeficiente de pérdida local. (Ver Tablas)
- g = aceleración gravitacional.
- D = Diámetro de la tubería.

3.1 Determinación del factor de fricción

La pérdida de energía debido a la fricción en un flujo laminar en conductos circulares se puede calcular a partir de la ecuación:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

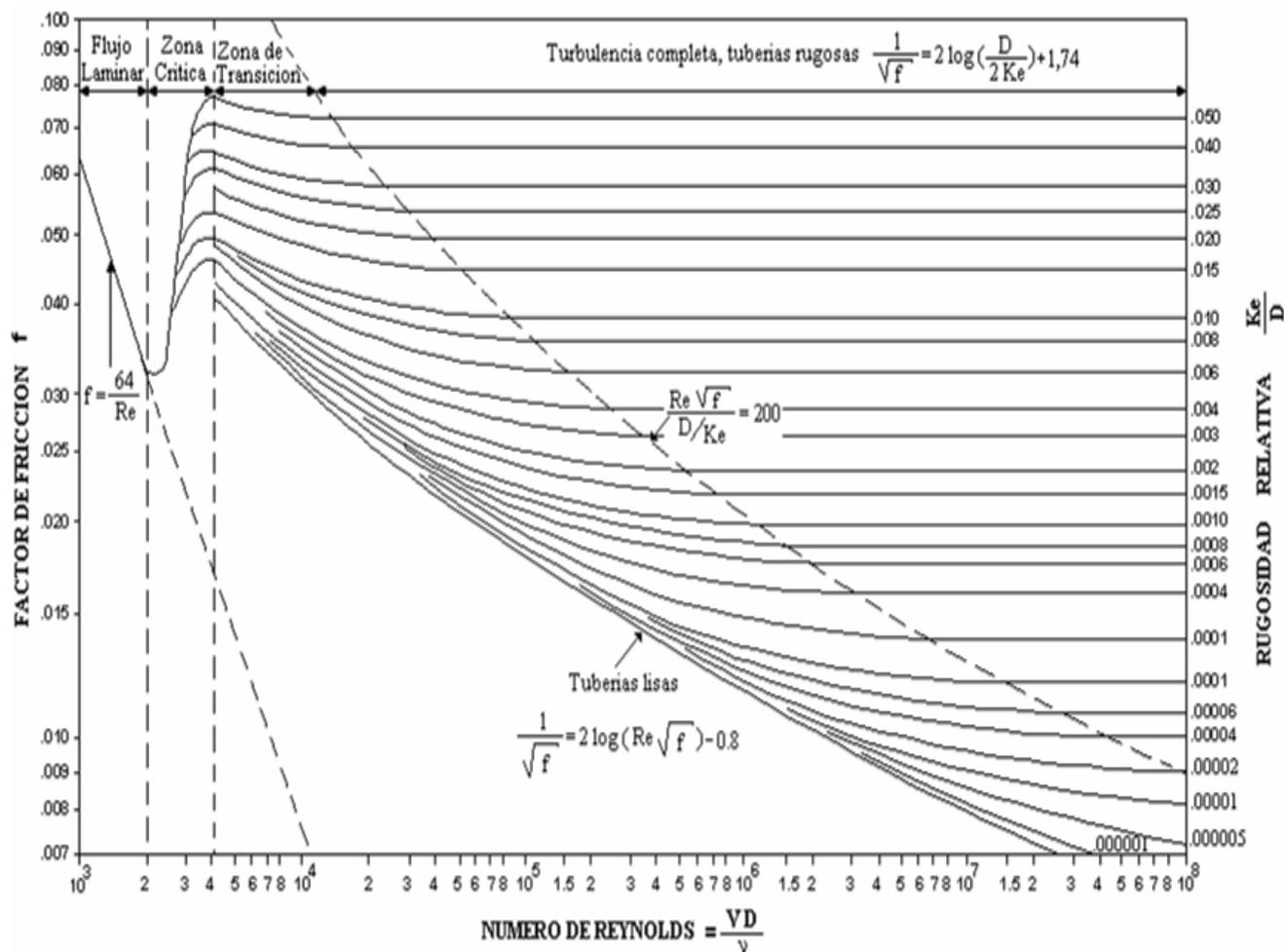
en la que,

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Solo para flujo laminar}$$

Para un flujo turbulento de fluidos en conductos circulares resulta más conveniente utilizar la ley de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción. No podemos calcular f mediante un simple cálculo, como se puede hacer con el flujo laminar, pues el flujo turbulento no se conforma de movimientos regulares y predecibles. Está cambiando constantemente. Por eso se debe confiar en los datos experimentales para determinar los valores de f .

Las pruebas han mostrado que el número adimensional f depende de otros dos números, también adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto. La rugosidad puede variar debido a la formación de depósitos sobre la pared, o debido a la corrosión de los tubos después de que este ha estado en servicio durante algún tiempo.

Uno de los métodos más extensamente empleados para evaluar el factor de fricción hace uso del diagrama de Moody.



4. METODOLOGÍA.

4.1. Equipo necesario.

El equipo necesario para esta práctica consiste de lo siguiente:

- Tuberías de diversos diámetros o diferentes formas (o tamaño)
- Tubería de PVC recta y curva
- Flexo metro
- Artefactos (codos, válvulas, uniones, tes, etc.)
- *El equipo esquematizado a continuación:*



4.2. Procedimiento

Los pasos a seguir son:

- Paso 1) Antes de iniciar la práctica asegure la tubería de prueba a las uniones universales y verifique que tengan anillo retenedor, y se encuentren debidamente ajustadas para evitar fugas del fluido por este sitio. Inserte las mangueras de los manómetros en los racores de ajuste rápido hasta que sienta que llegó al fondo.
- Paso 2) Medir todos los tramos del sistema de tuberías y los diámetros que se tienen en el sistema.
- Paso 3) Registrar el tipo de accesorios presentes y su ubicación en el modelo.
- Paso 4) Abrir la llave de paso del modelo y la válvula de suministro, regular el caudal.
- Paso 5) Abriendo y cerrando las válvulas para montar un esquema de tuberías a la vez.
- Paso 6) Registrar en la planilla para la toma de datos las lecturas en los distintos piezómetros, verificando que no existan burbujas de aire que podrían falsear el registro.
- Paso 7) Medir el caudal con el recipiente de volumen conocido y el cronómetro, utilizando la relación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Paso 8) Repetir este paso el número de veces necesarias de manera que se tenga un tratamiento de errores.

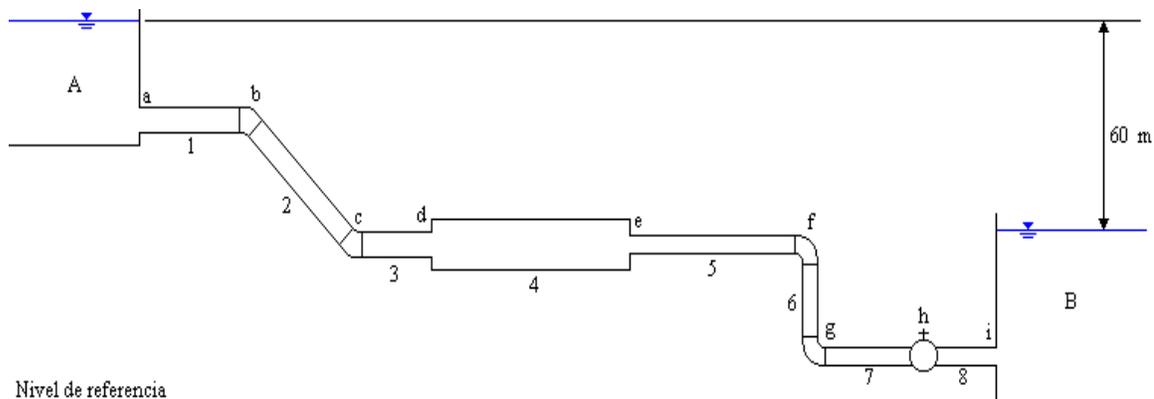
Paso 9) Volver al paso 4 incrementando la apertura de la válvula.

Registrar las mediciones en forma ordenada, acompañar de cálculos intermedios que fundamenten el resultado final.

En el transcurso de la práctica y al final de esta el alumno deberá tomar nota de todos los aspectos que considere necesario.

5. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Determinar el caudal que puede llevar el sistema de tuberías, y dibujar la línea de energía y de la línea piezométrica.



DATOS:

Tuberías de acero, con $n = 0.015$

- Tubería 1: $L = 100$ m, $D = 30$ cm
- Tubería 2: $L = 150$ m, $D = 30$ cm.
- Tubería 3: $L = 50$ m, $D = 30$ cm.
- Tubería 4: $L = 200$ m, $D = 50$ cm.
- Tubería 5: $L = 150$ m, $D = 20$ cm.
- Tubería 6: $L = 20$ m, $D = 20$ cm.
- Tubería 7: $L = 50$ m, $D = 20$ cm.
- Tubería 8: $L = 20$ m, $D = 20$ cm.

- Artefacto b: Codo de 45° , tipo roscado.
- Artefacto c: Codo de 45° , tipo roscado.
- Artefacto d: Expansión brusca, $C_c = 0.601$.
- Artefacto e: Contracción brusca.
- Artefacto f: Codo de 90° , tipo roscado.
- Artefacto g: Codo de 90° , tipo roscado.
- Artefacto h: Válvula esférica, apertura 5° .
- Artefacto i: Salida brusca, $K = 1$.

SOLUCION:

Primero se debe decidir con cual de las ecuaciones empíricas se trabajara, en el presente caso, no hay mucho que elegir ya que se da como dato el valor del coeficiente de Manning, por lo que aplicara esta ecuación.



Primero procede a analizar las pérdidas de energía por fricción, en justa razón se hallara primero el coeficiente K de pérdida por fricción para cada tubería.

$$h_f = K_f Q^2$$

Donde K_f es igual a:

$$K_f = 10.29 n^2 \frac{L}{D^{16/3}}$$

$$K_{f1} = 10.29(0.015)^2 \frac{100}{0.3^{16/3}} \Rightarrow K_{f1} = 142.33$$

$$K_{f2} = 10.29(0.015)^2 \frac{150}{0.3^{16/3}} \Rightarrow K_{f2} = 213.49$$

$$K_{f3} = 10.29(0.015)^2 \frac{50}{0.3^{16/3}} \Rightarrow K_{f3} = 71.16$$

$$K_{f4} = 10.29(0.015)^2 \frac{200}{0.5^{16/3}} \Rightarrow K_{f4} = 18.67$$

$$K_{f5} = 10.29(0.015)^2 \frac{150}{0.2^{16/3}} \Rightarrow K_{f5} = 1855.79$$

$$K_{f6} = 10.29(0.015)^2 \frac{20}{0.2^{16/3}} \Rightarrow K_{f6} = 247.44$$

$$K_{f7} = 10.29(0.015)^2 \frac{50}{0.2^{16/3}} \Rightarrow K_{f7} = 618.6$$

$$K_{f8} = 10.29(0.015)^2 \frac{20}{0.2^{16/3}} \Rightarrow K_{f8} = 247.44$$

$$\sum K_f = 3414.92$$

Se analiza las pérdidas localizadas, donde se hallara los coeficientes K y K', para poder determinar la multiplicación de ambos, para cada uno de los artefactos:

$$h_L = K k' Q^2 = K_L Q^2$$

$$k' = \frac{1}{2gA^2}$$

De las tablas obtenemos, presentadas en este libro en la sección de pérdidas localizadas, se tiene:

Artefacto a: Entrada brusca, $K = 0.3$.

Artefacto b: Codo de 45° , tipo roscado, $K = 0.33$.

Artefacto c: Codo de 45° , tipo roscado, $K = 0.33$.

Artefacto d: Expansión brusca, $\theta = 180$, $K = 1.05$.

Artefacto e: Contracción brusca, $\frac{D_2}{D_1} = 0.4$ $K = 0.45$.

Artefacto f: Codo de 90° , tipo roscado, $K = 0.45$.

Artefacto g: Codo de 90° , tipo roscado, $K = 0.45$.

Artefacto h: Válvula esférica, apertura 5° , $K = 0.05$.

Artefacto i: Salida brusca, $K = 1$.

Se determina el k' para la tubería de 30 [cm] de diámetro:



$$k' = \frac{1}{2(9.81) \left[\frac{\pi(0.3)^2}{4} \right]^2} = 10.20$$

Lo mismo para la tubería de 50 [cm] de diámetro:

$$k' = \frac{1}{2(9.81) \left[\frac{\pi(0.5)^2}{4} \right]^2} = 1.32$$

Lo mismo para la tubería de 20 [cm] de diámetro:

$$k' = \frac{1}{2(9.81) \left[\frac{\pi(0.2)^2}{4} \right]^2} = 51.64$$

Por lo que se dice que el coeficiente K_L es igual a la multiplicación del coeficiente de pérdida localizada K y el coeficiente k' :

$$K_L = K k'$$

$$K_{La} = (0.3)(10.20) = 3.06$$

$$K_{Lb} = (0.33)(10.20) = 3.37$$

$$K_{Lc} = (0.33)(10.20) = 3.37$$

$$K_{Ld} = (1.05)(10.20) = 10.71$$

$$K_{Le} = (0.45)(51.64) = 23.24$$

$$K_{Lf} = (0.45)(51.64) = 23.24$$

$$K_{Lg} = (0.45)(51.64) = 23.24$$

$$K_{Lh} = (0.05)(51.64) = 2.6$$

$$K_{Li} = (1)(51.64) = 51.64$$

$$\sum K_L = 144.47$$

Aplicando la ecuación general de las pérdidas totales en un sistema de tuberías se tiene:

$$\sum H_r = (\sum K_r + \sum K_L) Q^2$$

Por la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{p_A}{\gamma} + Z_A + \alpha_A \frac{V_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + Z_B + \alpha_B \frac{V_B^2}{2g} + \sum H_r$$

$$Z_A = Z_B + \sum H_r$$

$$Z_A - Z_B = \sum H_r$$

$$\sum H_r = 60 \text{ [m]}$$

Reemplazando la ecuación de las pérdidas totales se tiene:

$$60 = (3414.92 + 144.47) Q^2$$

Despejando Q y resolviendo se tiene:

$$Q = 0.13 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 130 \text{ [lps]}$$



Para determinar las líneas de energía y piezométrica primero se debe hallar las pérdidas por fricción para cada tubería y las pérdidas localizadas para cada artefacto:

Las pérdidas de energía por fricción son:

$$h_f = K_f Q^2$$

$$h_{f1} = (142.33)(0.13)^2 = 2.41 \text{ [m]}$$

$$h_{f2} = (213.49)(0.13)^2 = 3.61 \text{ [m]}$$

$$h_{f3} = (71.16)(0.13)^2 = 1.20 \text{ [m]}$$

$$h_{f4} = (18.67)(0.13)^2 = 0.32 \text{ [m]}$$

$$h_{f5} = (1855.79)(0.13)^2 = 31.36 \text{ [m]}$$

$$h_{f6} = (247.44)(0.13)^2 = 4.18 \text{ [m]}$$

$$h_{f7} = (618.6)(0.13)^2 = 10.45 \text{ [m]}$$

$$h_{f8} = (247.44)(0.13)^2 = 4.18 \text{ [m]}$$

Las pérdidas de energía localizadas son:

$$h_L = K k' Q^2 = K_L Q^2$$

$$h_{La} = (3.06)(0.13)^2 = 0.051 \text{ [m]}$$

$$h_{Lb} = (3.37)(0.13)^2 = 0.057 \text{ [m]}$$

$$h_{Lc} = (3.37)(0.13)^2 = 0.057 \text{ [m]}$$

$$h_{Ld} = (10.71)(0.13)^2 = 0.18 \text{ [m]}$$

$$h_{Le} = (23.24)(0.13)^2 = 0.39 \text{ [m]}$$

$$h_{Lf} = (23.24)(0.13)^2 = 0.39 \text{ [m]}$$

$$h_{Lg} = (23.24)(0.13)^2 = 0.39 \text{ [m]}$$

$$h_{Lh} = (2.6)(0.13)^2 = 0.04 \text{ [m]}$$

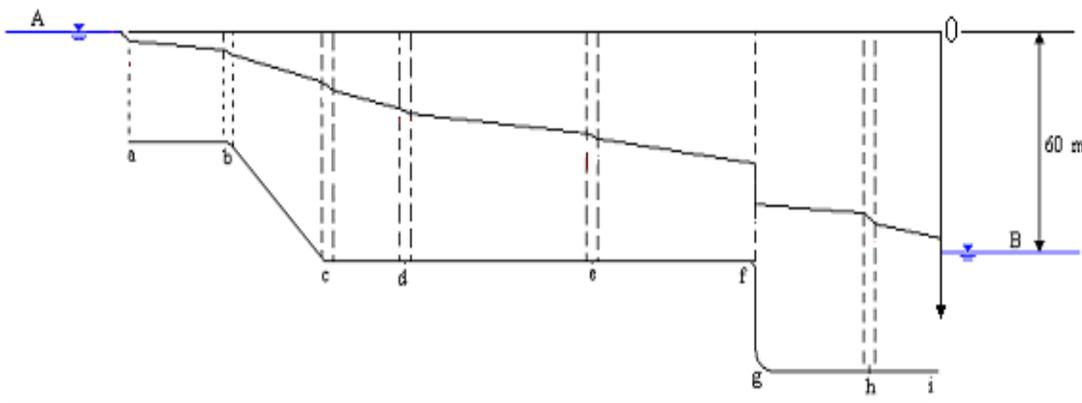
$$h_{Li} = (51.64)(0.13)^2 = 0.87 \text{ [m]}$$

Para determinar la línea de energía se debe realizar el siguiente procedimiento:

Primero se realiza una tabla como la que se muestra, donde en las columnas 1 y 2 se coloca la descripción de la tubería o artefacto, en la columna 3 se coloca la pérdida para cada una de estas, no se olvida que esta es una unión entre las pérdidas por fricción y localizadas y en la columna 4 se coloca la pérdida acumulada para cada punto:

Descripción	Nominación	Perdidas de energía	Perdida total
		[m]	[m]
1	2	3	4
Entrada	a	0.051	0.051
Tubería	1	2.410	2.461
Codo	b	0.057	2.518
Tubería	2	3.610	6.128
Codo	c	0.057	6.185
Tubería	3	1.200	7.385
Expansión	d	0.180	7.565
Tubería	4	0.320	7.885
Contracción	e	0.390	8.275
Tubería	5	31.360	39.635
Codo	f	0.390	40.025
Tubería	6	4.180	44.205
Codo	g	0.390	44.595
Tubería	7	10.450	55.045
Valvula	h	0.040	55.085
Tubería	8	4.180	59.265
Salida	i	0.870	60.100

Por lo tanto con cero en el nivel superior del reservorio A y el sentido positivo hacia abajo se grafica la línea de energía y se tiene:



Para determinar la línea piezométrica se determinara la altura de velocidad y esta se la restara de la altura total para cada punto en la tubería, en otras palabra, como ya se tiene determinada la línea de energía a esta se la restara la altura de velocidad por lo que queda es la línea piezométrica.

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2gA^2} Q^2$$

Como la altura de velocidad es función del caudal y la sección de la tubería esta se halla para los diámetros que se tiene:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2(9.81) \left[\frac{\pi 0.3^2}{4} \right]^2} 0.13^2 = 0.17 \text{ [m]}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2(9.81) \left[\frac{\pi 0.5^2}{4} \right]^2} 0.13^2 = 0.02 \text{ [m]}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2(9.81) \left[\frac{\pi 0.2^2}{4} \right]^2} 0.13^2 = 0.88 \text{ [m]}$$

En los artefactos: entrada y contracción brusca, se producirá lo que se denomina pico de presión, es decir en estos puntos la presión bajara debido a la contracción que realiza el flujo, estas presiones pico serán:

Entrada:

$$\frac{V^2}{2g} = \left(\frac{A}{C_c A_o} \right)^2 k' Q^2 = \left(\frac{1}{C_c \frac{A_o}{A}} \right)^2 k' Q^2$$

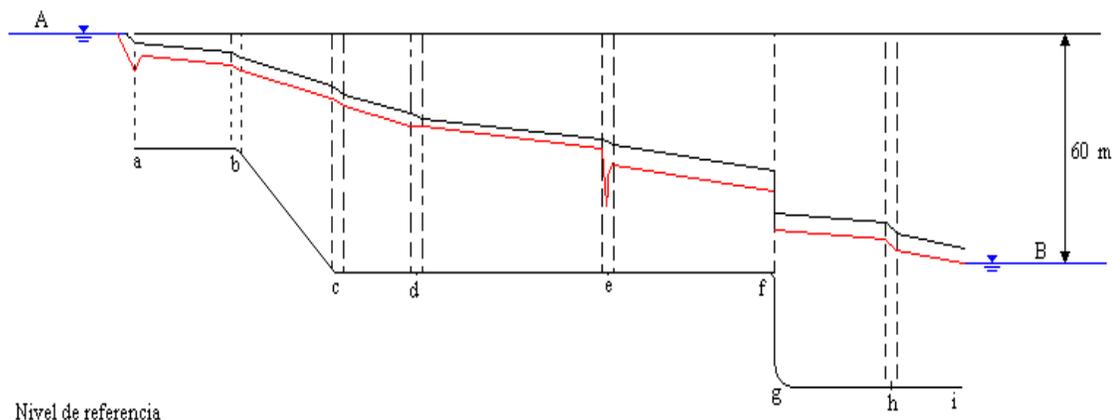
$$\frac{V^2}{2g} = \left(\frac{1}{(0.601)(0.8)} \right)^2 (10.20)(0.13)^2 = 0.75 \text{ [m]}$$

Contracción:

$$\frac{V^2}{2g} = \left(\frac{1}{C_c} \right)^2 k' Q^2 = \left(\frac{1}{0.755} \right)^2 (51.64)(0.13)^2 = 1.53 \text{ [m]}$$

Estos valores son medidos desde la altura piezométrica previa.

Con todo lo ya mencionado se grafica la línea piezométrica:





5.1 CONCLUSIONES

Analizando los resultados de las pérdidas de carga generadas por los accesorios se concluye que al aumentar el caudal, las pérdidas se hacen mayores, estableciéndose una relación directamente proporcional. De igual manera es el comportamiento de las pérdidas por unidad de longitud, respecto a la variación del caudal.

Al estudiar la pérdida por fricción experimentalmente, h_f depende del material con que está construida la tubería, el estado en que está la misma (nueva, usada o muy usada), la longitud, el diámetro y la velocidad de circulación del flujo.

Del ensayo realizado se pudo conocer cuales son los accesorios para tuberías que ocasionan mayores y menores diferencias piezométricas. También se puede establecer cuales son los materiales que generan mayores pérdidas por unidad

De acuerdo con lo expuesto anteriormente en los fundamentos teóricos y a las observaciones experimentales realizadas con el equipo de pérdidas, se puede afirmar que las leyes que rigen las pérdidas de carga por fricción son: que la pérdida de carga varía directamente con la longitud de la tubería, con casi el cuadrado de la velocidad, con el inverso del diámetro, y de las propiedades del fluido, tales como la densidad y viscosidad.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Es importante tomar en cuenta la magnitud de las pérdidas de energía, tanto por fricción, como en accesorios al diseñar un sistema de conducción o distribución de líquido, pues con base a dichos valores se calculará la presión en el punto de interés.
2. El instructor o laboratorista deberá darle el mantenimiento requerido al circuito: efectuar verificación de uniones, para evitar posteriores fugas, vaciar el tanque de agua cuando no se utilice, para evitar la corrosión en el impulsor de la bomba, en las válvulas de bronce y acumulaciones de suciedad dentro de las tuberías.

BOMBAS

1. INTRODUCCIÓN.

Trasladar un fluido de un lugar a otro, siempre fue un problema para el hombre debido a que muchas veces el fluido requerido se hallaba a grandes distancias o alturas del lugar donde se requería satisfacer las necesidades de una sociedad (hombre).

Es ahí que nace importancia de entender el problema y saber que medidas tomar para dar la mejor solución posible al problema y así cumplir con las expectativas requeridas de una sociedad.

En esta práctica de laboratorio entenderemos las características del funcionamiento de una bomba hidráulica centrífuga y del funcionamiento de varias bombas en conjunto dispuestas en serie y en paralelo de tal forma que cubran ciertas expectativas de caudal y desplazamiento del fluido de un lugar a otro.

Para tal fin utilizaremos un sistema de bombas acomodadas en serie y paralelo que nos permita realizar la simulación en el laboratorio.

2. OBJETIVOS.

- ❖ Determinar el funcionamiento y características de una bomba centrífuga.
- ❖ Determinar el funcionamiento de varias bombas dispuestas en serie y en paralelo.
- ❖ Determinar la potencia del funcionamiento de dichas bombas, mediante la recolección de datos (caudal y presión) durante la simulación en el laboratorio.

3. MARCO TEÓRICO.



3.1 DEFINICIÓN DE BOMBAS.

Una bomba hidráulica es un dispositivo tal que recibiendo energía mecánica de una fuente exterior la transforma en una energía de presión transmisible de un lugar a otro de un sistema hidráulico a través de un líquido cuyas moléculas estén sometidas precisamente a esa presión. Las bombas hidráulicas son los elementos encargados de impulsar el aceite o líquido hidráulico, transformando la energía mecánica rotatoria en energía hidráulica.

Los elementos de que consta una instalación son:

- a) **Una tubería de aspiración**, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- b) **El impulsor o rodete**, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.
- c) **La voluta** es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.
- d) **Una tubería de impulsión**, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

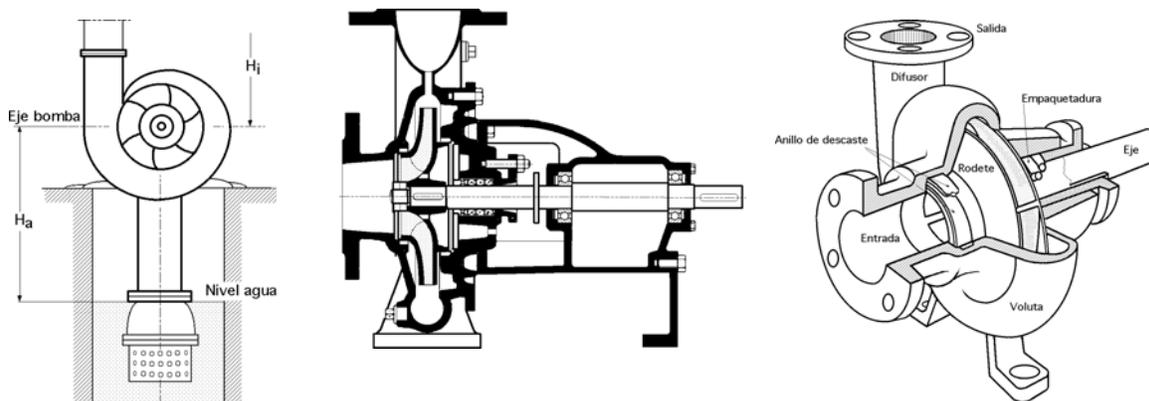


Fig. Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva

3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS.

A las bombas las podemos clasificar según sus características:

Según su Caudal: Estas se dividen en bombas de cilindra constante y variable.

Según su construcción: Bombas de engranajes, pistones y paletas.

3.3 FUNCIONAMIENTO.

El proceso de transformación de energía se efectúa en dos etapas: aspiración y descarga.

Aspiración: Al comunicarse energía mecánica a la bomba, ésta comienza a girar y con esto se genera una disminución de la presión en la entrada de la bomba, como el depósito de aceite se encuentra sometido a presión atmosférica, se genera entonces una diferencia de presiones lo que provoca la succión y con ello el impulso del aceite hacia la entrada de la bomba.

Descarga: Al entrar aceite, la bomba lo toma y lo traslada hasta la salida y se asegura por la forma constructiva que el fluido no retroceda. Dado esto, el fluido no encontrará mas alternativa que ingresar al sistema que es donde se encuentra espacio disponible, consiguiéndose así la descarga.

Cilindrada: Se refiere al volumen de aceite que la bomba puede entregar en cada revolución.

$$C = \frac{\pi * (D^2 - d^2) * l}{4}$$

Donde: D = Diámetro mayor del engranaje

d = Diámetro menor del engranaje

l = Ancho del engranaje

Unidades: cm³/rev

Caudal Teórico: Es el caudal que de acuerdo al diseño, debiera entregar la bomba (caudal Ideal)

$$Q_T = C * N$$

Donde:

$C = \text{Cilindrada (cm}^3/\text{rev)}$

$N = \text{Rpm (1/rev)}$

Rendimiento Volumétrico:

$$\eta_v = \frac{Q_R}{Q_T} \cdot 100$$

Donde: $Q_R = \text{Caudal Real}$

$Q_T = \text{Caudal Teórico}$

Potencia de la bomba: Se la define como:

$$Pot = \frac{Q \cdot h \cdot \gamma}{76 \cdot \eta} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: $\eta = \text{Rendimiento o eficiencia.}$

$Q = \text{Caudal.}$

$h = \text{Altura de agua.}$

$\gamma = \text{Peso específico del agua.}$

3.4 FUNCIONAMIENTO EN SERIE Y PARALELO DE BOMBAS.

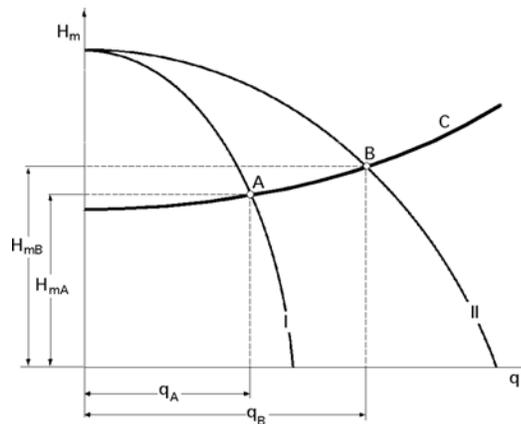
3.4.1 FUNCIONAMIENTO EN PARALELO DE BOMBAS.

Si el caudal de una sola bomba no fuese suficiente, puede aumentarse el caudal conectando varias bombas en paralelo. Sin embargo, no basta multiplicar el caudal de una bomba por el número de ellas, sino que hay que proceder del modo siguiente: si trabaja solamente la bomba 1, se tiene el punto de funcionamiento B_1 , si trabaja la bomba 2 solamente, el punto de funcionamiento es el B_2 .

Para calcular el punto de funcionamiento del conjunto B es necesario construir primero una curva Q-H común. La curva característica común se obtiene por adición de los caudales de cada una de las bombas. Para ello se toman primero sobre el eje de ordenadas varios valores, elegidos arbitrariamente, de alturas de

elevación y se llevan estas alturas, por ejemplo $H_1/H_2/H_3$, a las curvas de las bombas 1 y 2. En los puntos de intersección de las alturas H_1, H_2, H_3 , con la curva de la bomba 1 se obtienen los caudales correspondientes Q_1, Q_2, Q_3 . Estos caudales se suman ahora simplemente a los caudales obtenidos con la curva de la bomba 2 en los puntos de intersección con las alturas H_1, H_2, H_3 . Los puntos C, D, E así obtenidos se unen entre sí para formar la curva característica común de las bombas 1 y 2.

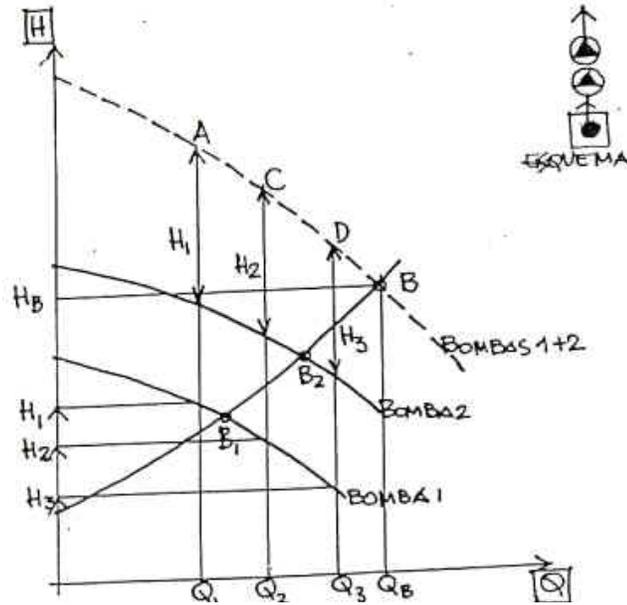
El punto de intersección de la curva característica de la instalación con la nueva curva característica es el punto de funcionamiento B de las bombas funcionando en paralelo. La curva característica común comienza en A porque por encima de A la bomba 1 aún no produce elevación. La figura 20 aclara el cálculo de la curva característica común de dos bombas conectadas en paralelo cuando tienen iguales curvas Q-H.



Se aprecia claramente que el caudal conjunto que se consigue en el punto de funcionamiento B es menor que la suma de los caudales que se obtendrían con cada una de las bombas por sí solas en el punto B₁.

3.4.2 FUNCIONAMIENTO EN SERIE DE BOMBAS.

Se efectúa la conexión de varias bombas, una a continuación de la otra (conexión en serie) cuando no basta una sola bomba centrífuga para vencer la altura de elevación deseada. En el funcionamiento en serie se suman las alturas de elevación de cada una de las bombas para el mismo caudal elevado, mostrado en la siguiente figura.



Para determinar el punto de funcionamiento B para la elevación común, hay que determinar primero la línea Q-H del conjunto. Esta nueva curva se obtiene sumando las alturas de elevación de cada una de las bombas para un mismo caudal. La altura de elevación H_1 de la bomba 1 para el caudal Q_1 se transporta sobre la curva de la bomba 2, y lo mismo se hace con H_2 , H_3 , etc.

Los puntos A, C, D, así obtenidos se unen para formar la curva característica común de las bombas 1 y 2. El punto de intersección de la curva característica de la instalación con la nueva línea Q-H es el punto de funcionamiento B de las bombas centrífugas conectadas en serie.

4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

Para la realización de esta práctica se utilizaron los siguientes materiales:

- Sistema de bombas acomodadas en serie y paralelo.
- Un recipiente de volumen conocido.
- un cronometro.
- Planilla para toma de datos

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

Paso 1. Se coloca nuestro sistema de bombas, dispuestas en serie.

Paso 2. Se observa la presión existente en el sistema hidráulico, por la acción de las bombas.

Paso 3. Se procede a calcular el caudal, mediante el llenado de un cierto volumen de agua en el recipiente, en un lapso o intervalo de tiempo medida con la ayuda de un cronómetro.

Paso 4. Aumentamos la presión en el sistema hidráulico.

Paso 5. Se procede a calcular el nuevo caudal para la nueva presión, como se indica en el paso 3.

Paso 6. Se repite los pasos 4 y 5, cuantas veces sea necesario para nuestro ensayo. Se repetirá todo el procedimiento acomodando el sistema de bombas, en paralelo.

5.1 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EN LAS BOMBAS.

Para determinar la potencia en las bombas, utilizaremos un rendimiento del 90%, para el cálculo de los caudales utilizaremos los datos obtenidos en el laboratorio; volúmenes con sus respectivos tiempos, el calculo de las alturas de agua se la hará por medio de las presiones obtenidas en el ensayo y consideraremos la densidad del agua como $1000 \frac{Kg}{m^3}$

$$Pot = \frac{Q \cdot h \cdot \gamma}{76 \cdot \eta}$$

Donde: η = Rendimiento o eficiencia.
 Q = Caudal.
 h = Altura de agua.
 γ = Peso específico del agua.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

DATOS:

BOMBAS EN PARALELO:

PRESIÓN: 5 psi		PRESIÓN: 10 psi		PRESIÓN: 20 psi	
VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)
3	2,95	3	3,43	3	3,45
3	3,2	3	3,16	3	3,54
3	3,16	3	3,11	3	3,9
				3	3,44
TIEMPO PROMEDIO	3,103333333	TIEMPO PROMEDIO	3,233333333	TIEMPO PROMEDIO	3,5825

BOMBAS EN SERIE:

PRESIÓN: 5 psi		PRESIÓN: 10 psi		PRESIÓN: 20 psi	
VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)
3	4,37	3	5,11	3	5,66
3	4,91	3	5,06	3	5,6
3	4,7	3	5,35	3	5,79
			5,22	3	5,57
TIEMPO PROMEDIO	4,66	TIEMPO PROMEDIO	5,185	TIEMPO PROMEDIO	5,655

7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Terminada la parte analítica de la práctica, logramos observar y comprobar que el movimiento del fluido generado por el sistema hidráulico, se rige al principio de Bernoulli. Si la velocidad de flujo en el sistema hidráulico es grande, entonces el caudal lo será también existiendo a la vez una presión pequeña en el sistema, y viceversa. Llegando a la conclusión que mientras más grande sea la velocidad de flujo, más grande será la potencia necesaria para mantener el fluido en movimiento.

Las bombas dispuestas en paralelo se las utiliza más que todo para el aumento de caudal y cubrir las expectativas requeridas. Las bombas dispuestas en serie se las utiliza más que todo para mantener un caudal constante durante el desplazamiento de fluidos de una altura a otra.

TURBINA PELTON

1. INTRODUCCIÓN.

El hombre y la naturaleza siempre interactuaron desde el comienzo de la vida misma, el hombre logro su existencia y desarrollo gracias a lo que la naturaleza ofrecía. Logrando en muchos casos dominar la naturaleza y su medio, sometiéndola para así satisfacer sus necesidades. La civilización humana se debe en parte gracias a la energía eléctrica, fuente indispensable para el desarrollo de nuestra sociedad, su obtención siempre fue un problema para el hombre, un ejemplo claro entre la interacción del hombre y la naturaleza, es precisamente la obtención de esta energía.

Las centrales hidroeléctricas son grandes generadoras de esta energía, estas centrales aprovechan la energía potencial del agua (naturaleza) para luego convertirla en energía mecánica y luego en energía eléctrica (hombre), un sistema de captación de agua provoca un desnivel que origina una cierta energía potencial acumulada. El paso del agua por la turbina desarrolla en la misma un movimiento giratorio que acciona el alternador y produce la corriente eléctrica. Una pieza importante en este mecanismo son las turbinas que son las que captan esta energía, existen una gran variedad de turbinas pero la más utilizada es la turbina Pelton. En esta práctica reproduciremos y entenderemos el funcionamiento de una turbina Pelton mediante instrumentos de laboratorio y una replica de esta turbina.

2. OBJETIVOS.

- ❖ Determinar las características del funcionamiento de una turbina Pelton.
- ❖ Determinar la potencia de los saltos de agua para diferentes alturas.
- ❖ Determinar el cálculo de potencia de una turbina.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 HISTORIA.

Lester Allan Pelton, carpintero y montador de ejes y poleas, inventó la turbina Pelton en 1879 mientras trabajaba en California. Obtuvo su primera patente en 1880.

Una historia dice que Pelton inventó su rueda cuando se fijó en cómo el agua salpicaba fuera de las fosas nasales de una vaca mientras esta bebía de un chorro de agua.

Otra historia indica que se inspiró en una noria en la que árbol se había aflojado mientras estaba trabajando en él. El chorro de agua golpeó el borde de la paleta de la noria e invirtió su dirección (en lugar de llenar la paleta). Pelton observó un incremento en la velocidad de la desalineada rueda.

3.2 FUNCIONAMIENTO.

La tobera o inyector lanza directamente el chorro de agua contra la serie de paletas en forma de cuchara montadas alrededor del borde de una rueda.



Cada paleta invierte el flujo de agua, disminuyendo su energía. El impulso resultante hace girar la turbina. Las paletas se montan por pares para mantener equilibradas las fuerzas en la rueda. La turbina Pelton es un tipo de turbina de impulso y es la más eficiente en aplicaciones donde se cuenta con un gran desnivel de agua.

Dado que el agua no es un fluido compresible, casi toda la energía disponible se extrae en la primera etapa de la turbina. Por lo tanto, la turbina Pelton tiene una sola rueda, al contrario de las turbinas que operan con fluidos compresibles.

3.3 APLICACIONES.

Existen turbinas Pelton de todos los tamaños. Hay turbinas de varias toneladas montadas en vertical sobre cojinetes hidráulicos en las centrales hidroeléctricas. Las turbinas Pelton más pequeñas, solo de unos pocos centímetros, se usan en equipamientos domésticos.

En general, a medida que la altura de la caída de agua aumenta, menor volumen de agua puede generar la misma potencia. La energía es la fuerza por la distancia y por lo tanto presiones más altas pueden aplicar la misma fuerza con menor caudal másico.

Cada instalación tiene por lo tanto su propia combinación de presión, velocidad y volumen de funcionamiento más eficiente. Usualmente las pequeñas instalaciones usan paletas estandarizadas y adaptan la turbina a una de las familias de generadores y ruedas adecuando para ello las canalizaciones. Las pequeñas turbinas se pueden ajustar algo variando el número de toberas y paletas por rueda y escogiendo diferentes diámetros por rueda. Las grandes instalaciones de encargo diseñan el par torsor y volumen de la turbina para hacer girar un generador estándar.

3.4 CLASIFICACIÓN DE TURBINAS PELTON.

La clasificación más general que puede hacerse de las turbinas Pelton es en tipos de eje horizontal y tipos de ejes vertical:

a) Turbinas Pelton de Eje Vertical:



En este tipo de turbinas Pelton el número de chorros por rueda se reduce generalmente a uno o dos, por resultar complicada la instalación en un plano vertical de las tuberías de alimentación y las agujas de inyección.

Este sistema de montaje encuentra aplicación en aquellos casos donde se tienen aguas sucias que producen deterioros o notable acción abrasiva.

Con el eje horizontal se hace también posible instalar turbinas gemelas para un solo generador colocado entre ambas, contrarrestando empujes axiales.

b) Turbinas Pelton de Eje Horizontal:



En este tipo de turbinas Pelton se facilita la colocación del sistema de alimentación en un plano horizontal, lo que permite aumentar el número de chorros por rueda (4 a 6); con esto se puede incrementar el caudal y tener mayor potencia por unidad.

Se acorta la longitud del eje turbina- generador; se amenguan las excavaciones; se puede disminuir el diámetro de rueda y aumentar la velocidad de giro, se reduce en fin el peso de la turbina por unidad de potencia.

Esto hace que la utilización de esta disposición en turbinas Pelton sea más ventajosa que la disposición horizontal.

Su aplicación es conveniente en aquellos casos donde se tienen aguas limpias que no produzcan gran efecto abrasivo sobre los alabes e inyectores, debido a que la inspección y las reparaciones con este montaje se hacen mas difíciles.

Por otra parte, las turbinas Pelton se clasifican también en sencillas (un rodete y un chorro) y múltiples.

3.5 POTENCIA EN LOS SALTOS DE AGUA

El tipo de turbina de acción más conocido es la turbina Pelton, que se emplea generalmente para saltos de agua de gran altura (más de 50 m).

La potencia de un salto de agua viene dada por la siguiente fórmula:

$$Potencia = \eta \cdot Q \cdot h_c \cdot \gamma \quad [W] \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde: η = Rendimiento o eficiencia.

Q = Caudal.

h_c = Altura de presión del agua ó carga hidráulica

γ = Peso específico del agua.

De acuerdo con lo anterior, una misma potencia se puede conseguir con gran altura de salto y poco caudal (centrales hidroeléctricas de montaña), pequeño salto y gran caudal (centrales de llanura) o con valores medios de ambas magnitudes (centrales de pie de presa, generalmente).

4. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO.

Para la realización de esta práctica se utilizaron los siguientes materiales:

- Una replica de la turbina Pelton, con manómetro.
- Un recipiente de volumen conocido.
- Un cronometro.
- Un manómetro

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

Paso 1. Se observa la presión existente en el salto de agua para una cierta altura, con la ayuda del manómetro en la turbina.

Paso 2. Se procede a calcular el caudal, mediante el llenado de un cierto volumen de agua en el recipiente, en un lapso o intervalo de tiempo medida con la ayuda de un cronómetro.

Paso 3. Se aumenta la altura del salto de agua, entonces aumentará también la presión.

Paso 4. Se procede a calcular el nuevo caudal para la nueva presión, como se indica en el paso 2.

Paso 5. Se repite los pasos 3 y 4, cuantas veces sea necesario para nuestro ensayo.

5.1 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EN LOS SALTOS DE AGUA.

Para determinar la potencia en los saltos de agua, utilizaremos un rendimiento del 95%, para el cálculo de los caudales utilizaremos los datos obtenidos en el laboratorio; volúmenes con sus respectivos tiempos, el calculo de las alturas de agua se la hará por medio de las presiones obtenidas en el ensayo y consideraremos la densidad del agua como $1000 \frac{Kg}{m^3}$.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN (Laboratorio UMSS).

Datos obtenidos: (Caso 1)

T=19°C (temperatura del ambiente)

$\eta = 80\%$ (rendimiento de la turbina)

<i>hc = 4 psi</i>	
VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)
2,5	19,5
2,5	20,36
2,5	20,70
TIEMPO PROMEDIO (t)	20,19

Solución:

$$P_{4\text{psi}} = \eta \cdot Q \cdot h_c \cdot \gamma$$

$$Q = \frac{V_{\text{olumen}}}{t} = \frac{2,5\text{lt}}{20,19\text{s}} = 0,1238 \text{ lt / s}$$

$$Q = 1,238 * 10^{-4} [m^3 / s]$$

Para γ a T=19°C

T (°C)	γ (kg/m ³)
10	→ 999,73
15	→ 999,12
19	→ ?

} *Tabla 4 (capitulo 1)*



$$\frac{10 - 5}{10 - 19} = \frac{999,73 - 999,12}{999,73 - X}$$
$$X = 998,63[\text{kg} / \text{m}^3] * 9.81$$
$$\gamma = 9796,56[\text{N} / \text{m}^3] \Rightarrow T = 19^\circ \text{C}$$

$$h_c = 4 \text{ psi} * \frac{0,703 \text{ mca}}{1 \text{ mca}} = 2,8[\text{mca}]$$

$$P_{4 \text{ psi}} = 0,8 * 1,238 * 10^{-4} * 2,8 * 9796,56$$

$$P_{4 \text{ psi}} = \frac{2,72}{76}$$

$$P_{4 \text{ psi}} = 0,04[\text{HP}]$$

(Caso 2) para $h_c = 20 \text{ psi}$

Solución:

$$P_{20 \text{ psi}} = \eta \cdot Q \cdot h_c \cdot \gamma$$

$$Q = 1,238 * 10^{-4}[\text{m}^3 / \text{s}]$$

$$\gamma = 9796,56[\text{N} / \text{m}^3] \Rightarrow T = 19^\circ \text{C}$$

$$h_c = 20 \text{ psi} * \frac{0,703 \text{ mca}}{1 \text{ mca}} = 14[\text{mca}]$$

$$P_{20 \text{ psi}} = 0,8 * 1,238 * 10^{-4} * 14 * 9796,56$$

$$P_{20 \text{ psi}} = \frac{13,39}{76}$$

$$P_{20 \text{ psi}} = 0,18[\text{HP}]$$

7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Terminada la parte analítica de la práctica, logramos observar y comprobar que el movimiento del fluido generado por el sistema hidráulico más la turbina Pelton, se rige al principio de Bernoulli. Si la velocidad de flujo en el sistema hidráulico es grande, entonces el caudal lo será también y viceversa.

Llegando a la conclusión que mientras más grande sea la velocidad de flujo, más grande será la potencia generada por la turbina Pelton y más pequeña será la presión del fluido en movimiento.

7. ANEXOS.

7.1 PARTES DE UNA TURBINA PELTON

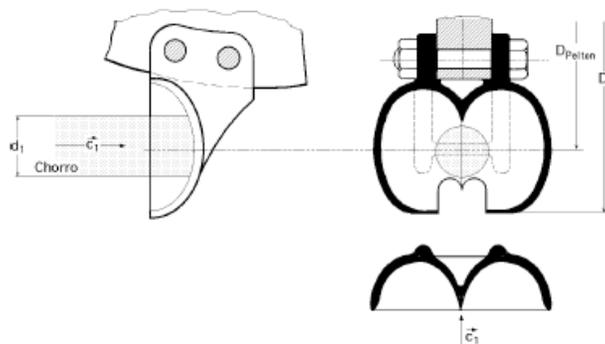
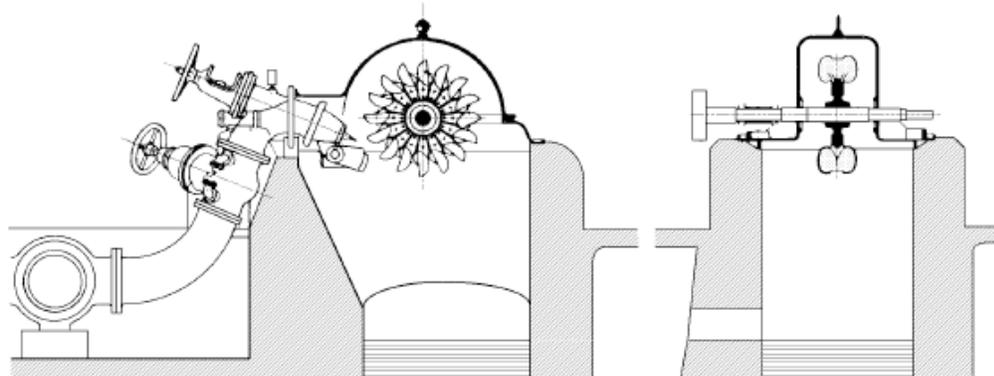


Fig VI.2.- Forma de la cazoleta

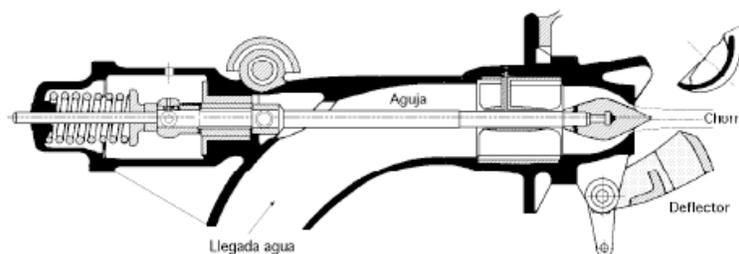


Fig VI.3.- Inyector