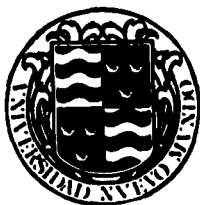


878517

**UNIVERSIDAD NUEVO MUNDO**

4  
Trejo

ESCUELA DE INGENIERIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



**DISEÑO DE UN BANCO HIDRAULICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P R E S E N T A

HECTOR MIGUEL MARTINEZ TREJO

MEXICO, D.F. FALLA DE ORIGEN

1995



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres, que me han demostrado lo valioso que es el trabajo tenaz y perseverante, y que solo dando lo mejor de uno, se puede alcanzar el éxito.

A mis amigos, por su ejemplo de unión, cariño y respeto.

A mi hermana Pilar, por su apoyo y soporte incondicional.

A Dios, por haberme permitido llegar a una de las metas.

## S I M B O L O G I A

A	Area
a c	Area de la vena contracta
A o	Area del orificio
C c	Coefficiente de contracción
C d	Coefficiente de descarga
C v	Coefficiente de velocidad
D c	Diámetro de la vena contracta
D o	Diámetro del orificio
e	Espesor
F	Fuerza ( N )
f	Factor de fricción en tuberías
g	Aceleración de la gravedad
H c	Carga cinética
h L	Pérdidas menores por fricción en tuberías
h m	Pérdidas por obstrucciones
H o	Carga estática
H T	Carga total en la obtención de la potencia de una bomba
h	Carga de agua en un vertedero ( m )

$h$	Altura del líquido sobre el centroide
$c_g$	
$K$	Constante para pérdidas en obstrucciones
$m$	Masa ( kg )
$\dot{m}$	Flujo de masa ( kg/s )
$P$	Carga puntual en el centro ( kg )
$Q$	Caudal
$R$	Reacción en el apoyo de una viga ( kg )
$V$	Esfuerzo cortante en una viga ( kg )
$W$	Carga sobre una viga ( kg )
$W$	Porcentaje de carga sobre el área $A_1$
$A_1$	
$w$	Carga por unidad de longitud ( kg/cm )
$\eta$	Rendimiento de una bomba
$\eta_B$	
$\eta_h$	Rendimiento hidráulico de una bomba
$\eta_v$	Rendimiento volumétrico de una bomba
$\eta_m$	Rendimiento mecánico de una bomba
$\phi$	Diámetro
$\sigma$	Peso específico del agua
$\mu$	Factor de descarga de un vertedero
$\rho$	Densidad del agua
$w$	Energía cedida al fluido

## INDICE

<b>CAPITULO I</b>	<b>INTRODUCCION</b>	
1.1	.....NOTA HISTORICA.....	1
1.2	.....CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	3
1.3	.....ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO.....	8
1.4	.....JUSTIFICACION OBJETIVOS Y ALCANCES PARA EL DISEÑO.....	14
<b>CAPITULO II</b>	<b>PROPUESTA DE DISEÑO</b>	
2.1	.....MODELOS DIFERENTES.....	15
2.1.1	.....MODELO BASICO.....	16
2.2	.....MEJOR OPCION.....	20
2.3	.....CALCULOS INICIALES.....	23
2.3.1	.....CALCULO DE LA BOMBA.....	27
2.3.2	.....CALCULO DEL ROTAMETRO.....	28
2.4	.....MATERIALES PARA EL TANQUE DEL BANCO HIDRAULICO.....	29
2.4.1	.....CALCULO DE LA RED.....	33
2.5	.....CALCULO DE LA ESTRUCTURA.....	41
2.5.1	.....SELECCION DE LAS RODAJAS.....	51
2.6	.....INSTRUMENTACION.....	52
2.7	.....COMENTARIOS.....	57
<b>CAPITULO III</b>	<b>EQUIPO</b>	
3.1	.....SELECCION Y GASTO A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL VERTEDERO.....	60
	.....CLASIFICACION DE LOS VERTEDEROS.....	63

	VERTEDERO TRIANGULAR.....	65
3.1.2	DISEÑO DEL VERTEDERO.....	68
3.1.3	CÁLCULOS.....	72
3.2	.....APARATO DE IMPACTO DE CHORRO.....	81
3.2.1	CARACTERÍSTICAS.....	82
3.2.2	DESCRIPCIÓN.....	83
3.2.3	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN AL BANCO.....	84
3.2.4	ESPECIFICACIONES.....	85
3.2.5	CÁLCULOS.....	86
3.2.6	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	89
3.3	.....APARATO DE CENTRO DE PRESIONES.....	90
3.3.1	CARACTERÍSTICAS.....	92
3.3.2	DESCRIPCIÓN.....	94
3.3.3	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN AL BANCO.....	94
3.3.4	ESPECIFICACIONES.....	95
3.3.5	CONCLUSIONES.....	99
3.4	.....APARATO DE FLUJO A TRAVÉS DE UN ORIFICIO.....	101
3.4.1	CARACTERÍSTICAS.....	104
3.4.2	DESCRIPCIÓN.....	104
3.4.3	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN AL BANCO.....	105
3.4.4	ESPECIFICACIONES.....	106
3.4.5	CÁLCULOS.....	107
3.4.6	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	109

**CAPITULO IV**                      **ELEMENTOS DE LAS PRACTICAS**

4.1 .....PREPARACION DE LA PRACTICA ANTES DE CONCURRIR  
                  AL LABORATORIO.....111

4.2.....DESARROLLO DE LA PRACTICA.....112

4.3.....INFORME.....113

4.4.....EVALUACION.....113

4.5.....REGLAMENTO DEL LABORATORIO.....113

**CAPITULO V**

5.1        **CONCLUSIONES** .....115

**BIBLIOGRAFIA**

.....117

.....APENDICES.....120

.....TABLAS.....121



## INDICE DE FIGURAS

Fig.1.1	Fluidos moldeables	4
Fig.1.2	Superficie libre plana	4
Fig.1.3	Los fluidos a presión y temperatura	6
Fig.1.4	La resistencia de los sólidos	7
Fig.1.5	Esquema del Banco Hidráulico	13
Fig.2.0	Modelo Básico del Banco Hidráulico	19
Fig.2.1	Dimensiones iniciales de la tapa y el tanque	24
Fig.2.2	Esquema del nuevo diseño	25
Fig.2.3	Dimensiones iniciales del canal	25
Fig.2.3.1	Vista en isométrico del Banco	26
Fig.2.4	Selección del basitidor	43
Fig.2.5	Esquema del aparato de compresión	46
Fig.2.6	Esquema del rotámetro	53
Fig.3.1	Partes de un vertedero	61
Fig.3.2	Carga de agua en un vertedero	62
Fig.3.3	Esquema de la lámina vertiente	67
Fig.3.4	Dimensiones finales del vertedero	70
Fig.3.5	Esquema del aparato de impacto de chorro	88
Fig.3.6	Esquema del aparato de centro de presiones	100
Fig.3.7	Esquema del aparato de flujo a través de un orificio	110

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características del tanque en fibra de vidrio	31
Tabla 2	Carga concentrada en la viga	48
Tabla 3	Materiales de las flotadores	56
Tabla 4	Vertedero triangular	75
Tabla 5	Diagrama para obtener el gasto de vertedero triangular	78
Tabla 6	Comparativo de gastos entre los diferentes aparatos	79

## INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1	Carga deformación del perfil	49
Grafica 2	Gasto del vertedero triangular	74
Grafica 3	Fuerza contra una placa hemisférica de cucharón invertido	87
Grafica 4	Fuerza ejercida sobre un cuerpo sumergido	98
Grafica 5	Descarga en un orificio	108

La Tabla 1 y 3 fueron proporcionadas por el fabricante.  
La Tabla 2 fue obtenida del Manual del Constructor de Aceros Monterrey, editorial Sistemas y Servicios Tecnicos, Mexico 1965.  
Las Tablas 4, 5, 6, provienen del material bibliografico de apoyo a la instrumentacion del laboratorio de mecanica de fluidos del Itesm.  
Grafica 1 idem Tabla 2.  
Graficas 2, 3, 4 y 5 idem Tabla 4.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

#### **1.1 NOTA HISTORICA**

Hasta principios de este siglo, el estudio de los fluidos estaba reducido, esencialmente, a dos grupos : Ingenieros Hidráulicos e Ingenieros Matemáticos. Los primeros, trabajaron siempre basados en experiencias empíricas; los segundos, centraron su atención en el desarrollo analítico. Actualmente mucha de la información que manejan ingenieros prácticos se debe a la valiosa experimentación de los ingenieros hidráulicos; sin embargo al carecerse de una teoría general, los resultados fueron restringidos por haber traído consigo nuevos problemas.

En la formación del Ingeniero Mecánico, han de intervenir, además de las Matemáticas, instrumento imprescindible de trabajo, y de la física, base de la Ingeniería, otras disciplinas fundamentales como: la Mecánica de los Cuerpos Rígidos, Mecánica de los Cuerpos Deformables o Resistencia de Materiales, Termodinámica, Transmisión de Calor y Mecánica de Fluidos.

Durante el siglo XVIII, Bernoulli, Clairaut, D Alembert, Lagrange y Euler ya habían elaborado, con el naciente cálculo diferencial e integral, una síntesis hidrodinámica perfecta; pero sin grandes resultados prácticos. A su vez, el técnico hidráulico fue desarrollando multitud de fórmulas empíricas para la resolución de los problemas que las construcciones hidráulicas a su cargo le presentaban, pero sin preocuparse nunca de buscarles una base teórica y científica. Un científico excepcional de apellido Reynolds, buscó y halló apoyo experimental a sus teorías, y el técnico Froude, dió base física a sus experimentos; pero fue Prandtl, quien hizo la síntesis de las investigaciones teóricas de unos y de las experimentaciones de otros.

La Mecánica de Fluidos moderna nace con Prandtl, que en las primeras décadas del siglo actual elaboró la síntesis entre la Hidráulica Práctica y la Hidrodinámica Teórica.

## 1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Para comprender amplia y claramente todo lo que encierra el comportamiento de los fluidos es de suma importancia esclarecer conceptos que son básicos en el desarrollo de este estudio.

La Mecánica de Fluidos es una ciencia que estudia el movimiento y el reposo de los mismos. Como es este un campo muy amplio ha llegado a invadir áreas sumamente especializadas como pudieran ser: el comportamiento de un tornado, el flujo del agua en un canal de riego, las ondas de presión producidas en la explosión de una bomba, e incluso en las características aerodinámicas de un avión transcontinental.

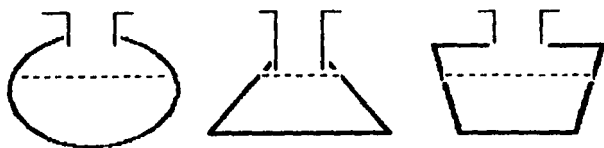
Partiremos de nuestra primera pregunta, la cual deberá ser :  
Qué es un fluido ?

Intuitivamente, diríamos que un fluido es una sustancia que fluye, y quizá el agua es el primer ejemplo que llega a nuestra mente, sin embargo, el decir simplemente, que un fluido es una sustancia que fluye, no resulta muy útil, por lo que habrá que definir mejor el término.

Por lo tanto Fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que la contiene. ( fig. 1.1 )

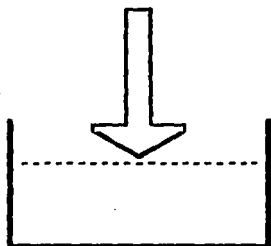
Los Fluidos se clasifican en Líquidos y Gases.

Los Fluidos Líquidos sometidos a una presión y a una temperatura determinadas, ocupan un volumen determinado. A su vez, los fluidos líquidos dentro de un recipiente adoptan la



**FIG 1.1**

Un fluido, debido a su escasa cohesión intermolecular, adopta la forma del recipiente que lo contenga.



**FIG 1.2**

Superficie libre plana es aquella que se da cuando en un líquido reina una presión uniforme, como la atmosférica.

## FALLA DE ORIGEN

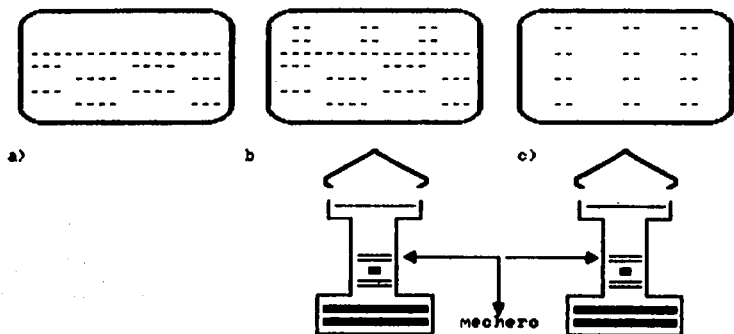
forma del mismo, llenando sólo el volumen que les corresponde. Si sobre el líquido impera una presión uniforme, como es la atmosférica, el líquido adopta lo que se conoce como una superficie libre plana. Por ejemplo: la superficie de un lago o la de un cubo con agua. ( fig. 1.2 ).

Los Fluidos Gaseosos, a una presión y temperatura determinadas, tienen también un volumen determinado, pero cuando se ponen en libertad se expanden hasta ocupar el volumen completo del recipiente que los contiene y no presentan superficie libre. ( fig. 1.3 )

Por otro lado, los sólidos presentan gran resistencia al cambio de forma y volumen, los líquidos sólo ofrecen resistencia al cambio de volumen, pero no al de forma y, los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumen. ( fig. 1.4 )

Por lo anteriormente expuesto podríamos afirmar que, el comportamiento de Líquidos y Gases es análogo en conductos cerrados ( tuberías ); pero no así en conductos abiertos ( cañales ), porque en estos últimos sólo los Líquidos crean una superficie libre.

Los Fluidos desempeñan un papel de gran importancia en las técnicas, que se mencionan a continuación. Gracias al estudio del agua, como fluido, es que se ha hecho posible la Oceanografía, Ingeniería Naval, canalizaciones y conducciones hidráulicas, estructuras hidráulicas, el aprovechamiento de la energía hidráulica, estaciones de bombeo, etc.; y a su vez gracias al estudio del aire, que también es un fluido, la Aeronáutica, la



**FIG. 1.3**

Los fluidos a presión y temperatura determinadas tienen también un volumen determinado, pero dependiendo del medio su manera de ocupar el volumen es cambiante :

- a) Líquido con superficie libre.
- b) Líquido y gaseoso ( cambio de fase o estado ).
- c) Gaseoso y no presenta superficie libre, ocupa el volumen completo del recipiente que lo contiene.

FALLA DE ORIGEN



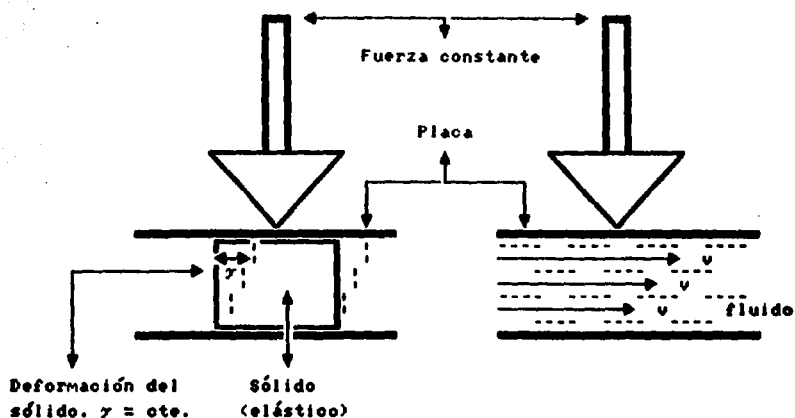


FIG. 1.4

Los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y volumen, los líquidos ofrecen resistencia al cambio de volumen pero no de forma y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y volumen.

FALLA DE ORIGEN

meteorología, la refrigeración, el aire acondicionado, control y transmisión neumática, aire comprimido, y otros, se han hecho posibles, sin embargo hay otros fluidos de suma importancia son: el vapor de agua ( centrales térmicas ), los combustibles ( motores térmicos ), los lubricantes ( rendimiento mecánico de las máquinas ), y los refrigerantes fluidos ( esfuerzos térmicos en las máquinas ). En particular, he aquí algunas de las aplicaciones de la MECANICA DE FLUIDOS.

### 1.3 ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO

En el momento en que un nuevo estudiante pisa por primera vez la que será su Universidad y camina hacia su facultad, lleva en su mente imágenes de lo que, en algún momento de sus primeros estudios vió y espera encontrar en su nueva escuela para poder entender mejor todas las teorías que empezará a aprender.

Por esta razón, la Universidad, en lo que respecta a Ingeniería, se preocupa por proveer, de buenos laboratorios a los alumnos para que éstos completen su educación teórica con una buena experimentación.

Con este trabajo de investigación se pretende aportar a quien se interese por la mecánica de fluidos una idea mas clara sobre lo que es un Banco Hidráulico, de como funciona, para que sirve, y obtener como resultado de todo esto que un alumno se de a la tarea de su construcción.

El impulso que ha tenido nuestro laboratorio de hidráulica

ultimamente, nos ha permitido ampliar el volumen de prácticas a desarrollar en el mismo y, a la vez, nos da la oportunidad de realizar algunos cambios que creemos, se reflejarán en un aumento en la calidad de cada práctica.

Es de todos conocido, que la realización de prácticas en cada asignatura tiene el objetivo fundamental de demostrar y comprobar, en una forma experimental, las distintas leyes y las variadas definiciones teóricas impartidas en clase. Las prácticas que aquí se desarrollan cumplen ese objetivo y también son un nuevo y valioso elemento que se da al alumno, como experiencia, para su futuro trabajo como ingeniero.

Como estudiantes de ingeniería sabemos que el agua no representa solamente ese líquido que sale cuando abrimos una llave. Sabemos que se necesita de un estudio muy detallado y de una tecnología muy específica, para lograr la conducción de la misma por canales y tuberías que hagan posible la llegada del líquido vital a nuestros hogares, de tal manera que el agua, muy lejos de representar un peligro al no ser controlada, se transforme en un beneficio para la sociedad tanto en el campo como en la ciudad.

Al tomar conciencia de lo anterior podríamos evitar el uso irracional e indiscriminado que hacemos del agua. Cuando alguien se pregunta, como es que un barco se mantiene a flote, la ciencia no se conforma con dar una respuesta escueta diciendo que es gracias a la estanqueidad, pues esto provocaría que la navegación moderna se encontrara muy atrasada, estaríamos todavía en el

modelo del Arca de Noé, que no distaba mucho de ser una caja de madera que flotaba gracias al único requisito : la estanqueidad.

Pero es obvio que hemos avanzado más, ya que no sólo nos interesa que el barco flote, sino que sea estable, que cruce los mares con un mínimo de resistencia, que soporte el embate de las tormentas, que a pesar de ser mucho más pesado que el agua tenga una gran flotabilidad, y que se demuestre con esto que el hombre posee una inteligencia y que la ha sabido utilizar.

Como un aporte para lograr una mejor comprensión de este fluido, y como instrumento de mucha importancia para ayudar al maestro en su enseñanza de Mecánica de Fluidos, se ha decidido diseñar un Banco Hidráulico. Este aparato servirá para orientar, reforzar y ayudar al alumno a entender, por que un cuerpo más pesado que el agua flota y se mantiene estable, a comprender que fuerzas interactúan en un cuerpo sumergido, como varía la presión en una contracción, y lo que logramos con su entendimiento.

Cabe destacar que lo que motivó a realizar este trabajo de diseño, fue la ausencia de este aparato en el laboratorio de Termodinámicos de la Universidad, de tal manera que esto viene a darnos una idea de los espacios que debemos llenar, ya que se podrán llevar a cabo, al lograrlo, experimentos que permitirán al estudiante entender las bases teóricas impartidas en clase y ponerlas en práctica en circunstancias reales. Es muy cierto que en un momento dado, podemos olvidar un poco lo aprendido en clase, pero es más difícil que se pueda olvidar lo aprendido en

una práctica de laboratorio, donde el alumno fue el que manejó los diferentes parámetros del experimento, fué quien preparó el aparato, quien lo accionó y quien, en base a sus resultados realizó un reporte.

El banco hidráulico fue escogido para ser implementado en el laboratorio de Fluidos, ya que, no sólo servirá para que la labor del maestro en clase sea reforzada con la práctica, sino para que, por su versatilidad se puedan realizar múltiples prácticas a partir del mismo fluido: **EL AGUA.**

Si bien, el diseño y medidas de los tanques para bancos hidráulicos que ya existen, son diferentes entre sí, de igual manera este diseño tendrá sus medidas específicas.

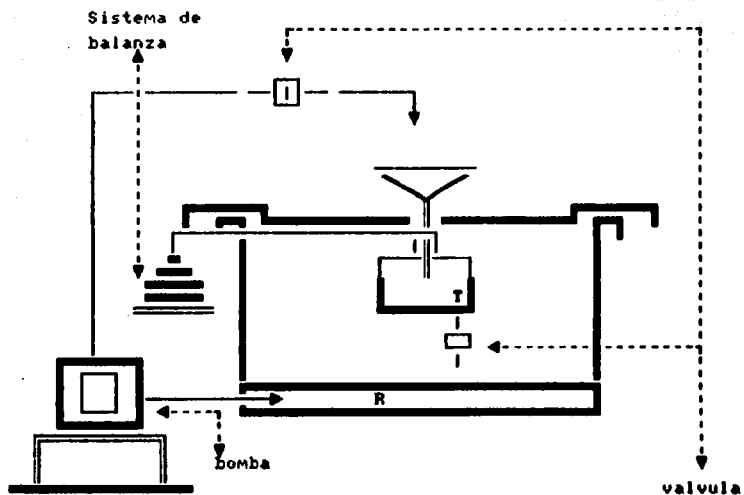
Este elemento puede estar construido de plástico, formica, latón, plexiglas, fibra de vidrio, cristal, etc..., montado sobre unas rodajas. El banco contará con su propio suministro de agua, contenida en un tanque interno. El único servicio externo que requerirá será el de una toma de corriente eléctrica monofásica para su bomba, la que tiene un gasto mínimo de energía.

La tapa colocada en la parte superior del banco, es cóncava para evitar que se derrame el agua, en esta parte se montan los aparatos que se han denominado como accesorios del Banco Hidráulico, permitiendo de esta manera la realización de experimentos básicos en la investigación de la Mecánica de los Fluidos como son : el impacto de chorro, la pérdida de fricción a lo largo de una tubería, el torbellino libre, el torbellino forzado, etc...

Los componentes de un Banco Hidráulico son diseñados y construidos por separado, por lo que esto facilita, en cierta forma, su integración; más no así su diseño. Un Banco Hidráulico como el que se mostrará, tendrá los siguientes componentes : tanque, canal abierto, tranquilizador, paredes, vertedero, tapa, bomba, bastidor y arrancador.

Los avances tecnológicos han sido muchos y es el momento de usarlos para beneficio de los futuros ingenieros. Existe una gran diferencia entre el nuevo diseño y lo que antiguamente se hacía. Los bancos antiguos poseían un sistema de medición por medio de un tanque mas pequeño, el cual, estaba acoplado a un sistema de balanza. El sistema antiguo funciona así: ( fig. 1.5 ) :

Al realizar la prueba se hace depositar toda el agua en el tanque pequeño ( t ) tomando el tiempo desde el inicio hasta el final de la prueba, se pesa la cantidad de agua que se encuentra en éste ( t ), y posteriormente se traduce ese peso a volumen y nos indicará el total de fluido que pasó por el sistema. De lo anterior se deduce que si se adiciona un rotámetro, los experimentos se realizarán de una forma mas rápida y menos complicada, pero esto será tratado en otro capítulo, ya que como es sabido, el costo del rotámetro es elevado y además se tiene que contar con una normalización del equipo para que éste sea confiable. Dentro de la vasta gama de vertederos, se va a optar por uno triangular, con ángulo de 90 grados, ya que este tipo se acopla mejor a las circunstancias de funcionamiento del banco y permite el manejo de flujos abundantes.



**FIG 1.5**

Esquema del banco hidráulico, modelo primitivo.

#### 1.4 JUSTIFICACION, OBJETIVOS Y ALCANCES PARA EL DISEÑO

Luego de conocer un poco más acerca del uso del Banco Hidráulico, que nos permite analizar el rendimiento de diferentes tipos de bombas, flujos en canales, vertederos; cabe aclarar que, de cada experimento, se pueden derivar otros de igual importancia pues el estudio de los fluidos es tan vasto, que el límite es sólo el afán de estudio y progreso.

Es así como queda satisfactoriamente comprobado que la realización de este proyecto tuvo una base bien fundamentada que viene a satisfacer una amplia demanda del laboratorio de fluidos, así como las aspiraciones de maestros y alumnos.

Finalmente agregaría, que mientras mejor equipados se encuentren los laboratorios, la preparación formal de los alumnos, será reforzada, de una mejor manera, con el trabajo de campo, ya que es necesario el confrontamiento de lo teórico con lo práctico para que el alumno aprenda a analizar los problemas que tendrá en el futuro con una base más realista.



## **CAPITULO II**

### **PROPUESTAS DE DISEÑO**

#### **2.1 MODELOS DIFERENTES**

Al inicio de esta tesis se conceptualizó la idea de construir un Banco Hidráulico y no de diseñarlo, puesto que, después de haberse hecho un estudio a conciencia, se sabe que existe una variedad innumerable de diseños, algunos más funcionales y equipados que otros, pero, a fin de cuentas, todos cumplen con la función para la cual fueron creados.

A continuación se detallarán algunas de las experiencias que, cambiaron la idea original de este estudio. Estas experiencias se fueron dando a través de la investigación realizada y a la vez, por medio de los resultados obtenidos. De igual forma influyeron los diseños que, desde un punto de vista

mas personal, merecen ser citados por su importante funcionalidad.

Otra de las razones por las cuales se prefirió buscar, entre la gran variedad de modelos, el elegido, fue que, con este se propone una nueva forma de construcción que, a pesar de tener inconvenientes, como el del alto costo del rotámetro, representa para el estudiante una importante herramienta que le permitirá desarrollar diversas actividades a lo largo de sus practicas.

### 2.1.1 MODELO BASICO

El Banco consiste en una estructura de metal en la cual van montadas la tina auto-drenable y la tina de trabajo, ambas de fibra de vidrio. En esta ultima, van los aparatos para la experimentación, ya que, a esta altura ( ver figura 2.0, pag 19 ) es donde se logra una ergonomía ideal.

El agua es provista por una bomba eléctrica centrífuga desde el tanque auto-drenable y transportada por conductos previamente tratados para evitar la corrosión y es dispuesta para los aparatos que se vayan a instalar, midiendo la presión de salida por medio de un manómetro tipo Bourdon. Este manómetro está provisto de una pantalla transparente que permite visualizar con comodidad las lecturas.

El manómetro de tipo Bourdon es el más empleado en la industria y en la práctica, consiste en un tubo metálico curvado o torcido, de sección transversal aplanada. El extremo abierto

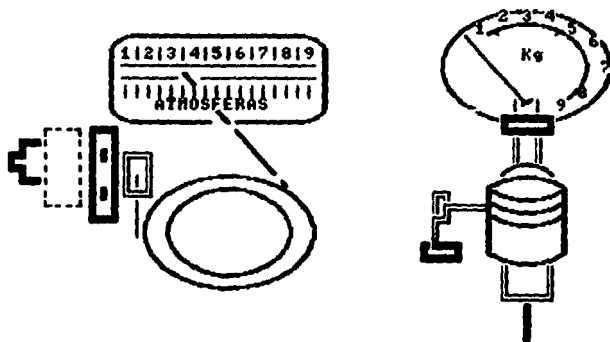
está en comunicación con el recipiente que contiene el líquido ó el gas; el extremo cerrado se halla unido a una palanca que hace mover una aguja. La presión del fluido tiende a enderezar el tubo y el extremo cerrado, al desplazarse, pone en movimiento una aguja móvil. ( ver figura anexa )

El motor de la bomba está dotado de un interruptor de tipo industrial con un botón-led, indicador de encendido, provisto también de un interruptor de corriente para el caso de una sobrecarga, y otro botón de apagado de emergencia. También se cuenta con niveles y regletas para casos en los que el nivel de agua sea, o muy alto o muy bajo de manera que activen o desactiven, respectivamente el motor de la bomba.

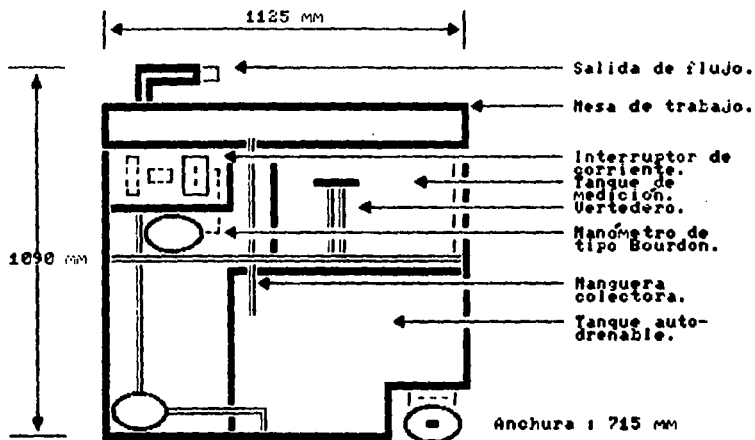
Una vez utilizada el agua necesaria en el experimento, ésta es devuelta al tanque auto-drenable con opción a quedarse en el tanque de medición.

El tanque de medición tiene implementado un vertedero para poder medir los caudales que por él pasan, para complementar los resultados obtenidos o para tener un dato más sobre el experimento realizado.

ESQUEMA DEL MANOMETRO DE TIPO BOURDON



FALLA DE ORIGEN



**FIG 2.8**

**Modelo básico del Banco Hidráulico.**

## CARACTERISTICAS TECNICAS

Carga	150	120	90	60	30	<sup>2</sup> kNm
Flujo	0.40	0.73	0.96	1.18	1.46	<sup>-3 3 -1</sup> x10 m s
Capacidad máxima de flujo volumétrico del tanque						<sup>-3 3</sup> 48x10 m
Capacidad mínima de flujo volumétrico del tanque						<sup>-3 3</sup> 24x10 m
Capacidad del tanque						<sup>3</sup> 0.14 m
Presión de calibración del manómetro						<sup>-2</sup> 0 a 200 kNm
Potencia del motor de la bomba						360 W
Alimentación del motor de la bomba						230 volts con 50 Hz.
Carcaza del motor						A prueba de escurrimientos

## 2.2 MEJOR OPCION

Después de observar las características de los diversos aparatos que ofrecen las casas especializadas y el suministro de éstos a los diversos laboratorios y centros de estudios, se resolvió diseñar un banco de pruebas hidráulicas, tomando en cuenta diversos detalles para el modelo, tales como : la capacidad del tanque y potencia de la bomba, por ser útiles al fin que se persigue. Este, a diferencia de los otros, cuenta con algunas ventajas técnicas como es el material mismo, el diseño

del tanque y otras más que serán citadas mas adelante, dandonos así la posibilidad de nuevos experimentos.

Si bien el diseño y medidas del tanque difieren mucho de los modelos básicos en cuanto a los ángulos de inclinación de las paredes, el vertedero utilizado y el resto de medidas, se conservan en esencia para que no difieran en su funcionalidad.

En cuanto a las medidas del tanque, considerando que la mayoría de bancos de pruebas hidráulicas tienen por medidas :

1 000 mm de altura, 1 130 mm de largo, 730 mm de ancho, y, de acuerdo a las posibilidades de hacerlo con un material diferente, se fijaron en : 900 mm de altura, 1 200 mm de largo, 500 mm de ancho. ( Del material propuesto se hablará más adelante )  
( ver figura 2.1, pag. 24 )

Además se deberá considerar que tendrá un escalón para evitar derrames con medidas en su base de : 430 mm de largo, 480 mm de ancho, formando la base de la estructura para el canal abierto. Respecto al ancho del lecho y a la medida de las paredes, para el canal abierto, aunque se tuvieron en consideración las medidas mostradas en varios catálogos que se solicitaron a diversas casas de suministro de estos aparatos, tuvieron que adaptarse a nuestra necesidad.

El canal, además, debe de estar dotado de un tranquilizador, de tal manera que se consiga un flujo bien distribuido a lo largo del mismo y se encuentre libre de turbulencias.

El Banco Hidráulico contará además con un vertedero, mismo que nos servirá como equipo de contraste para el rotámetro. Si

bien es cierto que de los datos del fabricante se conocerá el porcentaje de error de este medidor de caudal, es necesario, sin embargo, realizar nuestras propias pruebas para comprobar ese valor. De igual manera nos son útiles para determinar el valor de pequeños flujos, los rangos en los que el rotámetro no es tan preciso.

Además, por medio de una válvula que regula el flujo, se puede lograr una precisión en el mismo, consiguiendo que las lecturas sean más precisas y enteras. La válvula escogida es del tipo compuerta, debido a que provoca el mínimo de pérdidas en el sistema y tiene un buen control sobre el flujo. Debe procurarse que sea reforzada para que sus expectativas de vida sean mayores.

El Banco Hidráulico tendrá también una tapa, que debe ser lo suficientemente reforzada, para evitar que la carga que vaya a soportar debida a los aparatos ( llámense experimentos ), la vaya a sumir, deformar o romper. Debe de tener lumbreras ( ranuras ) para evitar que el agua, que en un momento sea depositada o regarla sobre ella, sea desalojada rápidamente. Una razón más, acerca de lo anterior, es que la tapa debe de tener un borde elevado que no permita que el agua se desborde hacia el piso permitiendo con ésto que regrese al tanque de depósito a través de las lumbreras. Igualmente se deben disponer dos orificios, uno para permitir la descarga de agua que sale de los aparatos con que se esta experimentando y el segundo, para que se descargue al canal abierto cuando el agua se vaya a utilizar.



Todos los elementos descritos anteriormente se van a montar sobre un bastidor capaz de resistir la carga máxima de todo el sistema, considerando que el tanque se encontrará totalmente lleno y con algún aparato depositado sobre su tapa, además hay que tomar en cuenta el peso del tanque con su respectiva tapa y todos los instrumentos. Debido al espacio cambiante del laboratorio se hace necesario instalar, en la base del Banco, unas rodajas que cumplan satisfactoriamente su función.

Uno de los integrantes más importantes a considerar es la bomba, debiendo ésta responder a las necesidades de carga y flujo requeridos para el efecto. Deberá a su vez estar conectada a un arrancador para que permita al operador tener todo al alcance de la mano y evitar distracciones y pérdidas de tiempo.

### **2.3 CALCULOS INICIALES**

Hay que hacer ciertos cálculos generales en cuanto a las compras que se deben efectuar; por ejemplo, el rotámetro y la bomba, que como no se consiguen fácilmente en el mercado nacional, más que a un precio muy elevado, deberán comprarse, de preferencia en Estados Unidos, cuidando que cumplan con los requisitos de funcionalidad y estética.

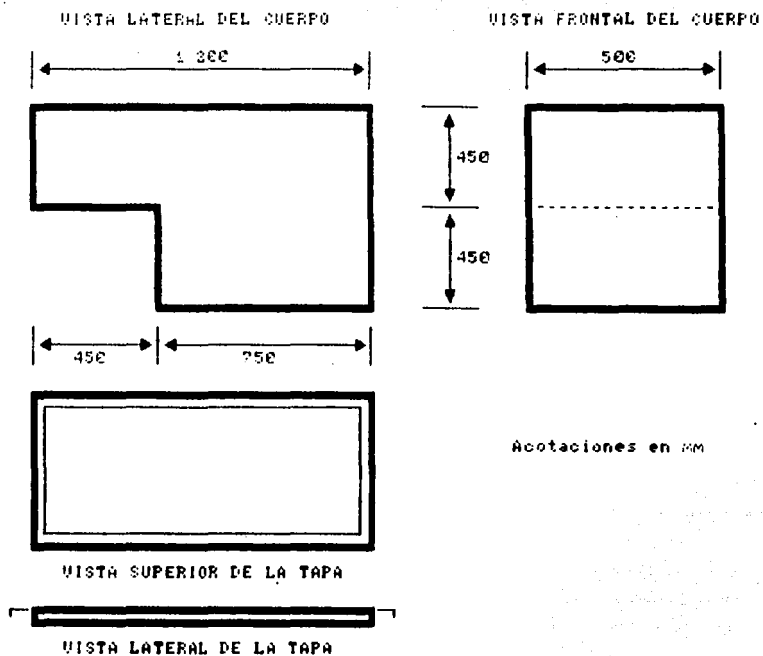
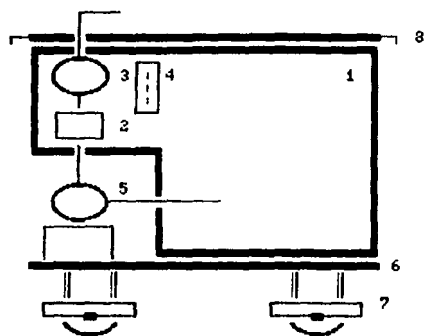


FIG. 2.1

Dimensiones iniciales del tanque y de la tapa.

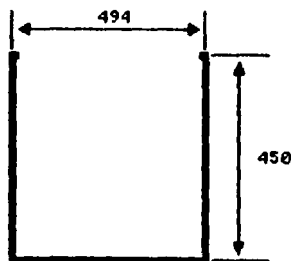
FALLA DE ORIGEN



- 1.- Tanque
- 2.- Rotámetro
- 3.- Válvula de control de flujo
- 4.- Arrancador
- 5.- Bomba
- 6.- Bastidor
- 7.- Rodajas
- 8.- Tapa

**FIG. 2.2**

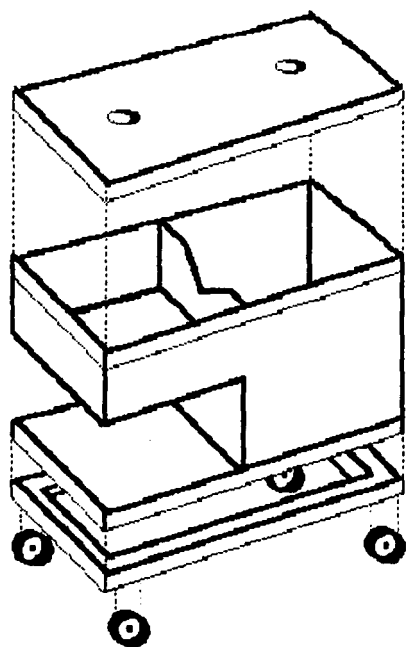
Esquema del nuevo diseño del Banco Hidráulico.



Anotaciones en MM

**FIG. 2.3**

Dimensiones iniciales del canal abierto.



**Vista en isométrico  
del modelo nuevo  
del Banco Hidráulico**

**Fig. 2.3.1**

### 2.3.1 CALCULO DE LA BOMBA

Habiendo estudiado las especificaciones y gastos requeridos en cada prueba, y habiendo calculado, primeramente los gastos y pérdidas en los aparatos y a continuación, el costo de la bomba, se tiene que el gasto máximo requerido es de  $Q_{max.} = 60 \text{ lt/min.}$ , ( esta  $Q$  se obtiene de la fórmula  $Q = AV$ , donde  $A = \text{área}$  y  $V = \text{volumen}$  ), y una carga máxima requerida de 15 metros. ( se obtiene de la fórmula  $H = W_{sistema} / \rho g$  ) Entonces :

$$Q_{max.} = 60 \text{ lt/min}$$

$$H = 15 \text{ m}$$

$$HP = \frac{( Q ) ( H )}{( 76 ) ( \eta_B )} \dots\dots\dots(1)$$

$$HP = \frac{( Q ) ( H )}{( 76 ) ( \eta_B )} + \% \text{ holgura}$$

$$HP = \frac{( 1 ) ( 15 )}{( 76 ) ( 0.56 )} + 30 \%$$

$$HP = 0.3524 + 0.3$$

$$HP = 0.6526 = ( \text{aprox.} ) 0.75$$

$$\underline{HP = 3/4}$$

(1).- Giles Ranald V. " Mecanica de Fluidos e Hidráulica " 2a. edición, Edit. McGraw Hill, USA 1979, pag. 226.

Por el cálculo anterior se precisa que no hay en el mercado una bomba de tales características y que los estudios recomiendan usar una bomba ligeramente superior, siendo la más cercana la de una potencia de 3/4 HP. Indudablemente esta bomba queda muy bien, pues toda la red y todos los instrumentos provocan pérdidas y caídas de presión, que serán compensadas con la potencia y la carga de una bomba de estas características. ( ver tablas en apéndice, pags. 122 y 123 )

### 2.3.2 CALCULO DEL ROTAMETRO

En lo referente a este instrumento de medición de caudal, se dirá que se deben considerar ciertos detalles, como que se cuente con una escala que vaya del 0 a 60 lt/min. ( carga máxima de presión del sistema ), además, que ésta se encuentre graduada con intervalos entre marca y marca bastante bien definidos, claros y no tan pequeños para que las lecturas que se vayan a tomar sean confiables y exactas y, de preferencia, que no sea muy voluminoso para que no ocupe mucho espacio.

Una vez obtenidas las condiciones y los resultados de bomba y rotámetro y, en vista de que no se van a adquirir en México y que no hay manera de devolverlos, se deduce que constituyen una prioridad que debe ser analizada muy a fondo para la realización del proyecto.

## 2.4 MATERIALES PARA EL TANQUE DEL BANCO HIDRAULICO

Existen diversos materiales a usar para la construcción de un tanque, tales como : metal, plástico, vidrio, aluminio, acrílico y fibra de vidrio; Aunque se podría utilizar cualquiera de estos materiales, vamos a explicar por que se recomienda la fibra de vidrio.

El metal, en cualquiera de sus presentaciones, aunque es muy resistente al desgaste y a la abrasión, no es recomendable, ya que es muy difícil de trabajar, demasiado pesado y costoso. En cuanto a la madera, aunque sea tratada, existen también inconvenientes, ya que tendría que recubrirse con algún material para que no absorba el agua, se hinche y se pudra con el tiempo.

El plástico sale incosteable ya que se necesita un molde y una máquina especiales, ya sea de inyección o de soplado, y no es objeto de este proyecto diseñar dicho molde y máquina. El acrílico, presenta inconvenientes de carestía, tanto en el material, como en la mano de obra.

A su vez, estos dos últimos materiales son muy frágiles y, dado que el Tanque de Pruebas Hidráulicas va a estar sujeto a un uso rudo, se hace necesario buscar un material más compatible a nuestros requerimientos.

Así es como llegamos a la fibra de vidrio, un material que una vez solidificado ( fraguado ), cumple con los requerimientos de funcionalidad, durabilidad y estética.

La gente que se encargue de realizar el tanque en fibra de vidrio, tendrá que construir primero un modelo en madera con paredes de triplay con una ligera pendiente hacia adentro para no entorpecer la extracción y tendrá que lograr que el material no se adhiera a las paredes sin escurrirse, esto hace que las medidas se reduzcan en la base a razón de 4 cm. por cada lado ( sup. mayores ) y 2 cm. por cada lado ( sup. menores ).  
( ver cálculos en pagina anexa )

De esta manera, el ángulo de inclinación de las paredes será de 2 grados 32' 41'' para las mayores y de 1 grado 16' 22'' para las menores, con respecto a la vertical. Las medidas del tanque, en la base serán de 690 mm. de largo y 460 mm. de ancho.

Debe usarse resina poliéster ortotática con un refuerzo del 25 % de fibra de vidrio de 2 onzas.

El espesor de la resina con la fibra será de 4 mm. en todas las partes : tapa, paredes, etc., excepto en el fondo del tanque, en donde existirá una doble capa, además de un refuerzo consistente en madera triplay de 10 mm. de espesor. Asimismo, se deben reforzar las paredes del tanque y la base de la tapa con tiras de madera de 27 mm. de espesor, obteniéndose de esta manera un producto terminado con las siguientes características técnicas. ( Tabla No. 1 ).



## CALCULOS PARA LA INCLINACION DE LAS PAREDES DEL TANQUE



$$H_1^2 = (90)^2 + (4)^2$$

$$= 8116$$

$$H_1 = 90.0888$$

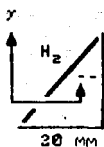
$$\text{sen } \theta = 4 / H_1$$

$$\text{sen } \theta = 0.0444$$

$$\theta = \text{sen}^{-1} 0.0444$$

$$\theta = 2.5448$$

$$\theta = 2^\circ 32' 41''$$



$$H_2^2 = (90)^2 + (2)^2$$

$$= 8104$$

$$H_2 = 90.0222$$

$$\text{sen } \gamma = 2 / H_2$$

$$\text{sen } \gamma = 0.0222$$

$$\gamma = \text{sen}^{-1} 0.0222$$

$$\gamma = 1.21303$$

$$\gamma = 1^\circ 11' 32''$$

Tabla No. 1

CARACTERISTICAS DEL TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO

---

Densidad de la resina	$d_r = 1.45 / \text{cm}^3$
Resistencia al combado	$= 1.26 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia a la tensión	$= 840 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia a la flexión	$= 1.75 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia a la compresión	$= 1.26 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia al alargamiento (%)	$= 1$
Dureza Rockwell	$D_r = 45$
Temp. de distorsión al calor continuo	$= 60 \text{ grados Célcius}$
Resistencia al ataque de ácidos	regular
Resistencia al ataque de álcalis	regular
Resistencia al ataque de disolventes	regular

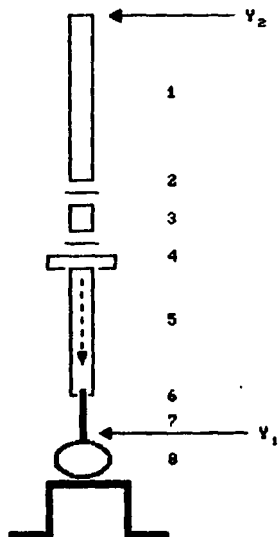
---

#### 2.4.1 CALCULO DE LA RED HIDRAULICA

Debemos considerar que existen los siguientes accesorios e instrumentos que tienen cierta ingerencia y que causan, por lo tanto, pérdidas en el sistema :

	ENTRADA	SALIDA	LONGITUD
1 Rotámetro	1 pulg.	1 pulg.	
1 Válvula de compuerta	1/2 pulg.	1/2 pulg.	
2 Conectores	1 pulg.	1 pulg.	
1 Reducción Bushing	1 pulg.	1/2 pulg.	
1 Niple	1/2 pulg.	1/2 pulg.	3 pulg.
1 Tramo manguera hule	1 pulg.	1 pulg.	
1 Tramo manguera plástica	3/4 pulg.	3/4 pulg.	7 pies
1 Niple	1/2 pulg.	1/2 pulg.	1 pulg.
1 Bomba	1 1/4 pulg.	1 pulg.	

## Calculo Red Hidraulica



- 1.- Tuberia plastica  
diam. = 3/4, L = 2m.
- 2.- Niple fierro comercial  
diam. = 1/2, L = 25 cm.
- 3.- Valvula compuerta  
diam. = 1/2
- 4.- Reduccion bushing  
diam.1 = 1 pulg.  
diam.2 = 1/2 pulg.
- 5.- Rotametro  
diam. = 1 pulg.
- 6.- Valvula campana  
diam. = 1 pulg.
- 7.- Tuberia hule  
diam. = 1 pulg., L = 30 cm.
- 8.- Bomba

Para nuestros cálculos, tenemos las siguientes condiciones :

Carga máxima requerida por los aparatos a conectarse en el banco hidráulico :  $H = 15$  m. ( ver página 23 )

Gasto máximo requerido :  $Q$  max. = 60 l/min.

Debemos calcular las pérdidas causadas por los accesorios para ver cual es nuestra carga máxima real requerida :

$$Q = 0.001 \text{ m}^3 / \text{s}$$

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

diam. = 1 pulg.

( ver página 25  
para referencias )

$$U_1 = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \left( \frac{3.54}{2} \times \frac{1}{100} \right)^2 \text{ m}^2}$$

$$U_1 = 1.9735 \text{ m/s}$$

$$U_2 = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \left( \frac{1.905}{2} \times \frac{1}{100} \right)^2 \text{ m}^2} \quad \text{diam.} = 3/4 \text{ pulg.}$$

$$U_2 = 3.5084 \text{ m/s}$$

$$U_3 = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \left( \frac{1.27}{2} \times \frac{1}{100} \right)^2 \text{ m}^2} \quad \text{diam.} = 1/2 \text{ pulg.}$$

$$U_3 = 7.8441 \text{ m/s}$$

$$\text{Re}_y = \frac{UD}{\nu}$$

En donde, la  $\nu_{H_2O}$  a  $20^\circ\text{C} = 1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  .....(2)

$$\text{Re}_y = \frac{1.9735 \text{ m/s} \times \left( \frac{3.54}{100} \right) \text{ m}}{1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re}_y = 4.9976 \times 10^4$$

$$\text{Re}_y = \frac{3.5084 \text{ m/s} \times \left( \frac{1.905}{100} \right) \text{ m}}{1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re}_y = 6.6635 \times 10^4$$

$$\text{Re}_y = \frac{7.8441 \text{ m/s} \times \left( \frac{1.27}{100} \right) \text{ m}}{1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re}_y = 9.9322 \times 10^4$$

Para los accesorios de diam. = 1 pulg. = 2.54 cm.

- Tubería de hule :

$$Re = 4.99 \times 10^4 \quad \epsilon = 0.00015 \quad f = 0.021$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.002$$

$$L = 0.3 \text{ mm.}$$

$$h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

$$h = 0.021 \frac{0.3}{2.54} \frac{(1.9735)^2}{2 \times 9.81} \frac{\text{m}}{\text{m}} \frac{\text{m}^2 / \text{s}^2}{\text{m}} = \text{m}$$

$$h = 0.049 \text{ m}$$

- Válvula campana

$$Re = 4.99 \times 10^4 \quad k = 0.05$$

$$hm = K \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (4)$$

$$hm = 0.05 \frac{(1.9735)^2}{2 (9.81)} \frac{\text{m}}{\text{m}} \frac{\text{m}^2 / \text{s}^2}{\text{m}} = \text{m}$$

$$hm = 0.0099 \text{ m}$$

(3).- H.W. King.- "Manual de hidráulica"; primera edición en español, Unión Tipográfica. Edit. Hispano Americana, México 1962, pag. 162.

(4).- H.W. King..... pag. 171.

- Rotámetro

$$Re = 4.9976 \times 10^4 \text{ Presión Max. de descarga en W.C.} = 32 = 292.1 \text{ cm.}$$

Nota : Esta información del rotámetro se obtuvo directamente de los datos del fabricante. Para rotámetros en acrílico con flotador de Hastelloy, y un rango de funcionamiento de 6 a 30 galones por minuto.

- Reducción Bushing :  $\frac{D_1}{D_2} = 2 \quad K = 2$

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (4) \text{ pag 34}$$

$$= 2 \frac{(1.9735)^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 0.397 \text{ m.}$$

Para los accesorios de diámetro = 3/4 pulg. = 1.905 cm.

- Tubería plástica

$$v = 3.5084 \text{ m/s} \quad Re = 6.66 \times 10^4$$

$$f = 0.0195$$

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (3) \text{ pag 34}$$

$$h = 0.0195 \frac{100}{1.905} \frac{(3.5084)^2}{2 \times 9.81} = 0.366 \text{ m.}$$

Para los accesorios de diámetro = 1/2 pulg. = 1.27 cm.

- Válvula de compuerta

Para este accesorio se tomarán las siguientes consideraciones : La válvula va a operar de la posición completamente abierta a media cerrada y se realizarán los cálculos de dos maneras, uno por medio de la fórmula respectiva y otro que se obtendrá de tablas ( ver apéndice pag. 120 ).

La pérdida de flujo será con la válvula medio cerrada por lo que para el cálculo de tablas se considerará esta posición.

En cuanto al segundo cálculo se tomará el valor de K de una válvula de compuerta ( ver apéndice pag. 120).

De los dos valores será el mayor el que se adopte, para así darnos una holgura en los cálculos finales.

$$V = 7.8441 \text{ m/s}$$

$$Re = 9.9322 \times 10^4$$

$$K = 0.32$$

$$h_{m1} = 11 \text{ ft.}$$

$$h_{m1} = 3.35 \text{ m.}$$

$$h_{m2} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (4)$$

( pag 34 )

$$h_{m2} = 0.32 \frac{(7.8441)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_{m2} = 1.0035 \text{ m.}$$



De los dos valores, el primero es el indicado ( $h_{m1}$ ), ya que dará una carga para la bomba, mayor que el segundo. Y en un momento dado eso influirá en la potencia requerida de la bomba.

Por otro lado, al tomar el valor más grande, los cálculos estarán holgados, de tal manera que se tendrá un margen de seguridad bastante amplio en todo el sistema.

Una vez obtenidas todas las pérdidas ocasionadas por los accesorios, se obtendrá la carga máxima requerida que será: la suma de pérdidas por longitud de tubería ( $h_L$ ), las pérdidas por obstrucciones ( $h_m$ ) y la carga requerida.

$$H_T = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Y + h_L + h_m - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} - Y \dots (5)$$

$$H_T = Y + h_L + h_m$$

$$H_T = H_{\text{requerida}} + h_L + h_m$$

$$H_T = 12 + 0.049 + 0.0099 + 2.92 + 0.397 + 0.366 + 3.35$$

$$H_T = 19.019 \text{ m.}$$

$$PH = \frac{Q/\eta_v}{F\eta_m} \frac{HT/\eta_h}{\dots} \dots (6)$$

$$\begin{aligned} \gamma H D &= 1000 \text{ N/m}^3 \\ \eta_v &= 1 \\ \eta_h &= 1 \\ \eta_m &= 0.56 \end{aligned}$$

(5).- King H.W. "Manual de Hidráulica"

1a. Edición en español, Unión

Tipográfica Edit. Hispano Americana, México 1962 pag 163.

(6).- Idem.

$$\text{HP} = \frac{0.01 \times 19.0919 \times 1000}{76.04 \times 0.56} = 0.4483$$

Análisis dimensional

$$\text{HP} = \frac{\overset{3}{\text{m}} / \overset{3}{\text{s}} \times \overset{3}{\text{m}} \times \overset{3}{\text{N}} / \overset{3}{\text{m}}}{76.04}$$

Lo anterior indica que el cálculo dimensional es correcto ya que las unidades obtenidas son de potencia.

Aunque los cálculos demuestran que con una bomba de 0.5 HP sería suficiente para abastecer el sistema, es recomendable tener un margen de seguridad y emplear mejor una bomba de 0.75 HP para subsanar las pérdidas provocadas por los aditamentos y accesorios.

La bomba de 0.75 HP tendrá :

Diámetro a la succión	1 1/4 pulg.
Diámetro a la descarga	1 pulg.
Carga dinámica	22 m.
Gasto máximo	5 500 l/h.

## 2.5 CALCULO DE LA ESTRUCTURA

Debido a que la estructura va a soportar una carga, se hace necesario escoger el material mas idóneo para su construcción, así como en la selección de las rodajas.

Existen en el mercado infinidad de perfiles estructurales, ya sean rectangulares, en ángulo, en I, cuadrados con sus diversas variaciones. Se recomienda el perfil por su durabilidad y estética, además por su resistencia al pandeo, este material es el que satisface nuestras necesidades. Se opto por el perfil cuadrado pues los otros perfiles no reúnen estos requisitos, el perfil en I tiene las uniones imperfectas; el perfil en ángulo ofrece una fea apariencia y no es resistente. El canal del banco al ser apoyado, crea momentos flexionantes sobre sus caras libres, y ésto puede provocar que su durabilidad se vea reducida.

Para que el cálculo sea correcto y nos dé como resultado un valor con un porcentaje de holgura, se considerará que el banco hidráulico se encuentre completamente lleno y que tenga montado un aparato de experimentación.

Por lo que tendremos :

$$WT = W \text{ tanque} + W \text{ agua} + W \text{ aparato} + W \text{ bomba} + W \text{ accesorios}$$

$$V \text{ tanque} = ( 1.2 \times 0.5 \times 0.5 ) + ( 0.5 \times 0.5 \times 0.7 )$$

$$= 0.3 + 0.175$$

$$= \underline{0.475 \text{ metros cubicos}}$$

$$m \text{ agua} = \rho V$$

$$m \text{ agua} = ( 1000 \text{ kg} / \text{ m cúbico} ) ( 0.475 \text{ m cúbico} )$$

$$m \text{ agua} = 475 \text{ kg}$$

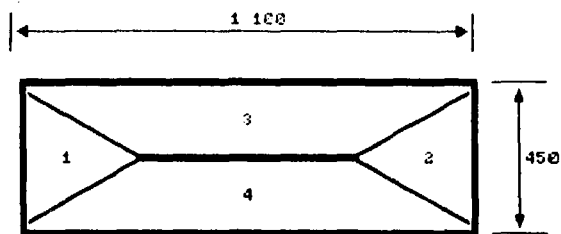
$$WT = 40 \text{ kg} + 475 \text{ kg} + 20 \text{ kg} + 25 \text{ kg} + 3 \text{ kg}$$

$$WT = 563 \text{ kg} \quad \text{redondeando diremos} = \underline{600 \text{ kg.}}$$

Se cerró a 600 kg para que los cálculos esten sobrados, considerando que se trata de una carga uniformemente repartida. Debido a que el tanque va a estar sujeto al bastidor, en toda la base se instalará un refuerzo de 1 cm. de espesor, para permitir que la carga se reparta en toda la superficie del tanque. Cabe señalar que, tras consultar el "Manual del Constructor" tanto de AHMSA como de Aceros Monterrey; y de realizar un sondeo a los diversos fabricantes, se encontró que no existe ninguna información técnica del perfil cuadrado de acero comercial de 1 1/2 por 1 1/2 pulg. La información sólo existe de 6 por 6 pulg. en adelante, razón por la que se solicitó ayuda a un laboratorio de mecánica de suelos; donde realizaron un cálculo por áreas tributarias para saber cual es la carga correspondiente al elemento más largo de la estructura, ya que es éste, el que va a soportar el mayor peso y el que posee el claro más grande, pudiendo, en consecuencia, pandearse o flecharse.

Para el cálculo referido, se trazan líneas a 45 grados desde cada uno de los vértices del bastidor. Obteniéndose cuatro áreas; las 1 y 2 son simétricas entre sí, al igual que las 3 y 4. ( ver figura 2.4, pag 43 )

SELECCION DEL BASTIDOR ( CALCULO POR AREAS TRIBUTARIAS )

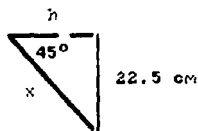
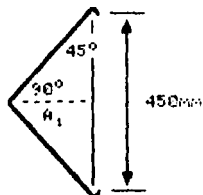


acotaciones en MM

FIG. 2.4

FALLA DE ORIGEN

Calcule de la base del bastidor por áreas tribuarias



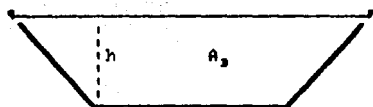
$$\cos 45^\circ = \frac{0.225}{x}$$

$$x = 0.3181 \text{ m.}$$

$$h = \text{Sen } 45^\circ \times 0.3181$$

$$h = 0.225 \text{ m.}$$

$$\text{por lo tanto: } A_1 = 0.050625 \text{ m}^2 = A_2$$



$$A_3 = (0.225 \times 0.225) + (0.65 \times 0.225)$$

$$A_3 = 0.1968 \text{ m}^2 = A_4$$

$$A_5 = 1.1 \times 0.45$$

$$A_7 = 0.495 \text{ m}^2$$

El porcentaje de superficie que tiene cada área se multiplica por la carga total, dándonos el porcentaje de carga que le corresponde.

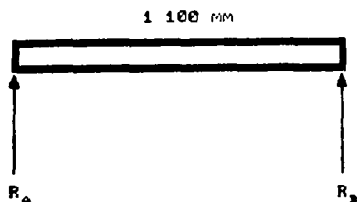
$$A_1 = A_2 = 10.227\%$$

$$A_3 = A_4 = 39.7727\%$$

$$HA_1 = 61.3626 \text{ kg}$$

$$HA_3 = 238.63 \text{ kg}$$

El área más crítica es el área 3, ya que es la que tiene la longitud más grande, por lo tanto, es con esta longitud que se van a hacer las pruebas.



$$W = 238.63 \text{ kg aprox. } 240 \text{ kg}$$

$$W = 2.1818 \text{ kg/cm}$$

$$R_A = R_B = \frac{W \cdot l}{2} \dots\dots(7)$$

$$R_A = \frac{2.18 \times 110}{2}$$

$$R_A = 120 \text{ kg}$$

$$M_{\text{max}} (\text{ en el centro } ) = \frac{W \cdot l^2}{8}$$

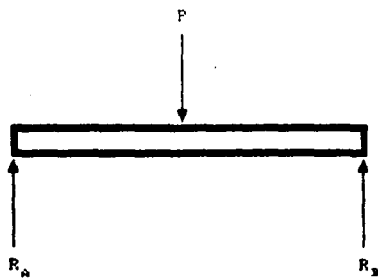
$$M_{\text{max}} = 3299.97 \text{ kg / cm}$$

Hay que recalcar un dato muy importante; para vigas con carga uniformemente distribuida, el cortante máximo es igual a la reacción que tenemos en los apoyos.

$$R_A = R_B = V_{\text{max}} = 120 \text{ kg}$$

Una vez obtenido el resultado de las reacciones, se considerará una viga con carga puntual en el centro, para comprobar el dato anterior.

(7).- Aceros Monterrey, "Manual para Constructores"; Editorial Sistemas y Servicios Técnicos. Monterrey, N.L. 1965, pag. 321

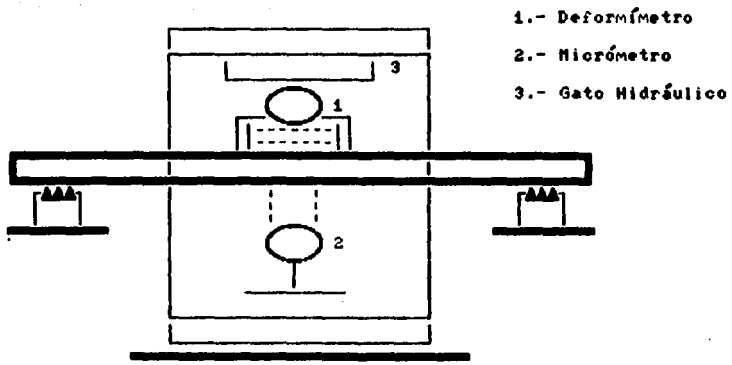


$$R = \frac{P}{2} \dots\dots (8)$$

$$P = 2 R$$

$$P = 240 \text{ Kg}$$

Con el resultado de las reacciones se realiza una prueba de resistencia del material a una carga concentrada en el centro. Tomándose un tramo de perfil de 1.10 m., apoyado en sus extremos, se montó libremente sobre dos apoyos. ( fig. 2.5 )



**FIG. 2.5**

Esquema del aparato de compresión simple.

(8).-Aceros Monterrey, "Manual para Constructores"; Edit. Sistemas y Servicios Técnicos, Monterrey, N.L. 1965 pag. 323



Todo este conjunto se puso en un aparato de compresión simple y se añadieron dos aparatos de medición : un deformímetro y un micrómetro.

El deformímetro permite observar la carga que se está ejerciendo sobre la viga. Cada unidad de la escala representa 7.81 kg.

El micrómetro indica la deformación que va sufriendo el material; cada unidad de la carátula representa 0.01 mm.

Los resultados obtenidos de la prueba se observan en la Tabla 2.

T A B L A No. 2

RESULTADOS DE LA PRUEBA

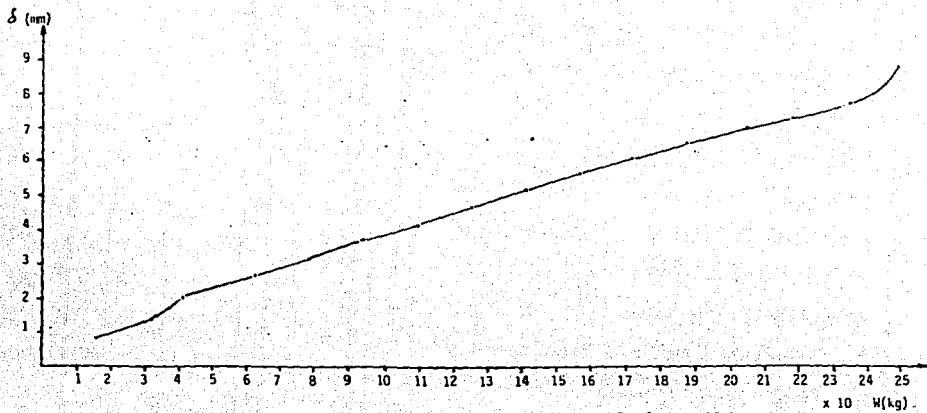
CARGA CONCENTRADA EN EL CENTRO DE UNA VIGA LIBREMENTE APOYADA

ACERO COMERCIAL

MARCA DE LA SECCION : 1 1/2 A-28

DEFORMIMETRO	W ( kg )	( mm )
0	0	0
2	15.62	0.84
4	31.24	1.38
6	46.86	2.06
8	62.48	2.64
10	78.10	3.12
12	93.72	3.70
14	109.34	4.15
16	124.96	4.68
18	140.58	5.14
20	156.20	5.64
22	171.82	6.10
24	187.44	6.525
26	203.06	6.97
28	218.68	7.278
30	234.30	7.775
32	249.92	8.81

GRAFICA No. 1 RESULTADOS CARGA-DEFORMACION DEL PERFIL CUADRADO



Escala y-y: 10:1

Escala x-x: 1:10

FALLA DE ORIGEN

Después de la prueba, se procedió a descargar el material, manteniendo éste una deformación de 0.18 mm.; misma que desapareció en un lapso de 24 horas.

Esta unidad de longitud de sección central tiene un cortante máximo generado de 120 kg. y tendrá tan sólo 2.18 kg. de carga central uniformemente distribuida en tres vigas.

Por lo expuesto, la estructura soportará, sin problemas y por mucho tiempo, las cargas que se le pongan, pues el bastidor aguantará cantidades muy superiores al doble del propio peso que es de 256.75 kg.

## 2.5.1 SELECCION DE LAS RODAJAS

Debido a la falta de espacio, desagües, tomacorrientes y estantería, que nos permitan una fácil operación es aconsejable que el banco hidráulico tenga unas rodajas que permitan moverlo al lugar más propicio donde pueda conectarse con todos los implementos necesarios.

Con base a la carga máxima de todo el conjunto y con la premisa de que los materiales sean lo más durables, se procedió a buscar las rodajas más idóneas.

En vista de que todo el conjunto va a estar soportado en cuatro puntos y siendo la carga uniformemente distribuida tenemos que la reacción en cada apoyo es de 150 kg. Con este dato se consultaron varios fabricantes que nos ofrecieran un producto no muy voluminoso que cumpliera con los requisitos del diseño.

Las siguientes serían las mejores rodajas :

Marca	Joyma
Tipo	Giratorias
Material	Lámina RGL de 140 mm
Peso	1.6 kg.
Diámetro rueda	4 pulg.
Capacidad de carga	250 kg.
Cubierta de la rueda	Poliuretano de alta resistencia

Si bien podemos hallar rodajas de hule o de ebonita, el problema que tienen es que el primer material se deforma con el paso del tiempo, y el segundo es frágil.

## 2.6 INSTRUMENTACION

El Banco Hidráulico constará, principalmente, de dos aparatos de medición : un rotámetro y una regleta con dos escalas. Además de un arrancador Klöchner-Müller, resistente al agua y al aceite, provisto de un pulsador de dos posiciones encendido-apagado y una luz piloto ( roja ) para indicar la posición de encendido.

( fig. 2.6 ).

### ROTAMETRO

El medidor de flujo de área variable opera con el mismo principio básico que otros medidores de carga diferencial, como los que usan orificios. En el medidor de orificio hay una abertura fija y el flujo es indicado como el diferencial de presión. En el medidor de flujo de área variable ( rotámetro ), hay un orificio ajustable y una caída de presión, relativamente constante. Este flujo es indicado por el área de la abertura anular a través de la cual debe pasar el fluido, siendo leído el flujo que pasa por esta área en el flotador.

El rotámetro usual consta de un flotador hecho generalmente de metal y por lo tanto más denso que el fluido, depositado dentro de un tubo, cuya sección más grande se sitúa en la parte superior. El tubo está graduado de tal manera que el flujo puede ser directamente leído al observar la posición del flotador.

El término rotámetro se derivó del hecho de que,

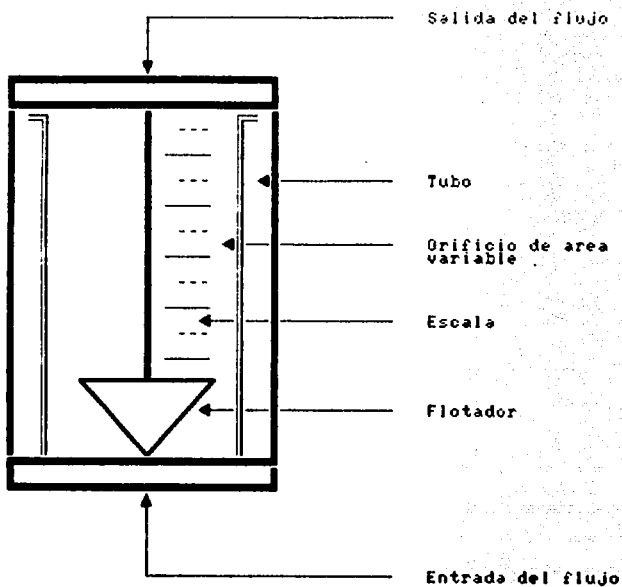


FIG. 2.6

Esquema de Rotámetro.

FALLA DE ORIGEN

originalmente, los flotadores tenían ranuras que les daban un movimiento rotatorio con el propósito de estabilizar y centrar el flotador. En la actualidad sin embargo, se trata de guiarlo sin que rote.

Aunque en un principio todos los tubos se hacían en cristal, hoy es posible encontrarlos en varios materiales, de acuerdo al uso y requerimientos particulares. Igualmente, los flotadores se manufacturan en diversos materiales para obtener resistencia a la corrosión o para modificar su capacidad. Si a un rotámetro se le varía sólo su flotador, se hace necesario un factor de corrección para determinar en cuánto aumentó o disminuyó el flujo.

Entre otras características de los rotámetros tenemos que :

- El flujo es esencialmente proporcional al área, esto hace que los incrementos de la escala sean iguales.
- La caída de presión a lo largo del medidor es una constante.
- La precisión varía de acuerdo con la longitud de la escala y grado de calibración. Comúnmente esta precisión es del orden del  $\pm 2\%$  de la escala completa.
- La capacidad puede variar de 0.5 cm cúbicos sobre minuto hasta 300 gpm, ( 1136 litros por minuto ) de acuerdo a los requerimientos del usuario.
- Necesita poco mantenimiento.
- Se limpia con el movimiento del fluido.
- Se deben instalar siempre en posición vertical.
- La lectura se toma en la parte superior del flotador.



Se ha encontrado que la forma del flotador determina qué tanto va a influir en el rotámetro la viscosidad del fluido a medir. Los flotadores con bordes en cuchilla son relativamente insensibles a los cambios de viscosidad.

El material de los tubos es generalmente de vidrio borosilicato de alta resistencia. El fabricante entrega la información respecto al rango de temperaturas a las que puede trabajar y si está diseñado para medir fluidos con cuerpos sólidos en suspensión.

El rotámetro seleccionado, está hecho en plástico resistente con una escala graduada de 6 a 30 gal/min. ( 22 a 114 litros por minuto ) El flotador es de Hastelloy y tanto la entrada como la salida son de una pulgada de diámetro.

La precisión del rotámetro es de  $\pm 2\%$  y resistente a temperaturas de hasta 65 grados Centígrados ( aprox. 150 grados Fahrenheit.)

TABLA No. 3 MATERIALES DE LOS FLOTADORES

Material	Gravedad específica m/s
Acero al carbón	7.80
Acero ( 303 ó 304 )	7.92
Acero 316	8.02
Aluminio	2.79
Bronce	8.80
Cobre	8.46
Dowmetal	1.80
Durimet	8.02
Everdur	8.54
Hastelloy B	9.24
Hastelloy C	8.94
Monel	8.80
Niquel	8.85
Plomo	10.67
Porcelana	2.41
Tantalo	16.6
Titanio	4.5
Vidrio ( borosilicato )	2.54

## REGLETA

Funciona en el canal abierto, está diseñada para vertederos triangulares con 90 grados entre las caras ( fig. 2.6 ). Una de las caras lleva las marcaciones en centímetros (h) en otra, se lee el gasto en metros cúbicos sobre minuto, en la última se lee la carga en pulgadas y el gasto en pies cúbicos sobre minuto.

La regleta está hecha en aluminio, con un proceso de fotograbado para garantizar que las escalas no se borren con el paso del tiempo, ni por acción del agua; por ser de aluminio es resistente a la corrosión; está calibrada para leer directamente el fluido que pasa por el vertedero para una carga dada. ( ver tabla comparativa entre  $Q$  del rotámetro,  $Q$  del canal y  $Q$  de la regleta en la página 79 )

## 2.7 COMENTARIOS

El diseño de este banco hidráulico tiene ya varias mejoras en relación a los demás modelos, ya que se le ha incorporado un sistema de medición de caudal, lo que nos permite reducir el tiempo de las prácticas y, debido a la confiabilidad del aparato, se obtendrán datos más exactos, ya que los modelos anteriores, por su sistema de pesado con un tanque interior flotante o por medio del flujo a través de un canal, hacen que las lecturas no sean del todo confiables y precisas.

Es trabajo del ingeniero lograr que las cosas sean más simples y precisas, esa ha sido la temática que ha llevado al diseño del banco de pruebas hidráulicas, con estas nuevas características.

Se debe considerar que los materiales elegidos han sido escogidos cuidadosamente para que su tiempo útil de vida sea el más prolongado posible.

También se ha logrado un avance en cuanto a mantenimiento, ya que el acceso a la bomba y a todos los componentes es ergonómico. El agua recibirá un tratamiento con sustancias químicas que inhiben la oxidación en las partes metálicas y evitan la formación de algas. El tanque en fibra de vidrio necesita un mínimo de cuidado, consistiendo éste únicamente en limpieza, ya que, por su acabado, permite incluso el encerado del mismo.

El cable empleado será del tipo rudo, para que el uso no lo dañe; la estructura estará debidamente sellada y pintada para evitar corrosión.

El arrancador, de uso industrial resistente al agua y al aceite, de tal manera que se evitan los accidentes por choques eléctricos o averías de diversa índole en el aparato.

Todas las partes donde se harán perforaciones para sujeciones, ya sea del tanque o de otras piezas, serán debidamente selladas con resina de fibra de vidrio y recubiertas con resina epóxica, descartando así posibles fugas en el sistema.

Se debe insistir en que el banco hidráulico es por sí mismo únicamente un elemento de apoyo, en donde, al formar un equipo completo con todos los aparatos enumerados en un principio, constituye un instrumento muy valioso en el laboratorio de termofluidos, ya que la diversidad de prácticas que se pueden realizar con este común denominador es muy amplia y valiosa para la formación de los estudiantes.

## CAPITULO III

### Evaluación del equipo

#### 3.1 SELECCION Y GASTO A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL VERTEDERO

En el campo de la Ingeniería Hidráulica, los vertederos son las estructuras más comunmente empleadas para medir el gasto en canales abiertos.

Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o de una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedero.

Los vertederos pueden ser definidos como simples aberturas, sobre las cuales un líquido fluye. Es un orificio que no está totalmente ahogado por el nivel aguas arriba, de manera que una parte del orificio está libre y no proporciona gasto alguno.

Dicho de otra manera un vertedero es un orificio sin el borde superior.

Los vertederos son utilizados, intensiva y satisfactoriamente, en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control del flujo en galerías y canales, razón por la cuál su estudio es de gran importancia.

En la figura 3.1 se presentan los nombres de las diferentes partes a que se hace referencia en un vertedero :

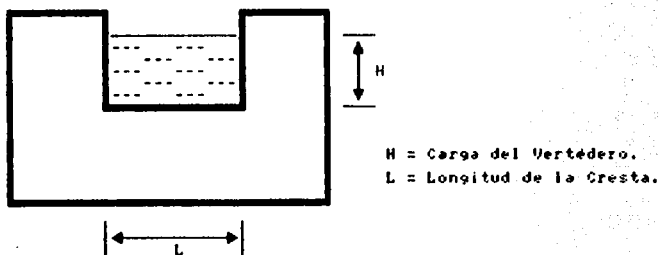


FIG. 3.1

Partes de un Vertedero.

FALLA DE ORIGEN

TERMINOLOGÍA.-

La vena líquida que fluye a través del vertedero, se llama capa o lámina. El borde horizontal o arista se llama cresta o umbral. ( fig. 3.2 )

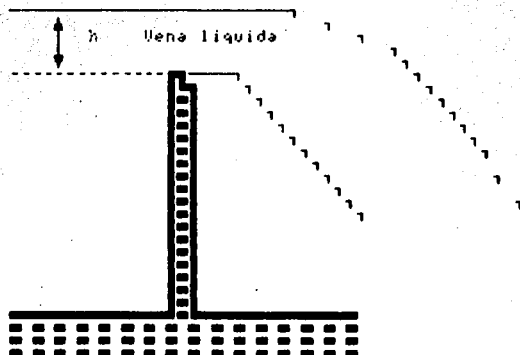


FIG 3.2

Carga de agua en un vertedero.



En la vecindad del vertedero, la superficie libre se abate, por este motivo, la carga  $h$  se define como la diferencia de elevación entre la superficie libre aguas arriba, contraria al vertedero a una distancia suficientemente grande para que no se manifieste el abatimiento, y el punto más bajo de la cresta. Debido a la depresión de la lámina vertiente junto al vertedero, la carga  $h$  debe ser medida aguas arriba, a una distancia igual o superior a  $5 h$ , que el carga del vertedero. ( ver figura 3.1 )

#### CARACTERISTICAS DE LOS VERTEDEROS.-

Son muchos los factores, formas y disposiciones, que pueden servir de base para su clasificación: he aqui algunas :

##### **FORMA :**

- A) Simples : rectangulares, trapezoidales, triangulares, semicirculares, etc.
- B) Compuestos : secciones combinadas.

##### **ALTURA RELATIVA DEL UMBRAL :**

- A) Completos o libres.
- B) Incompletos o ahogados.

##### **ESPESOR DE LA PARED :**

- A) Delgada ( placa o madera biselada ).
- B) Gruesa.

**LONGITUD DE LA CRESTA :**

- A) Sin contracciones laterales.
- B) Con contracciones.

**POSICION DE LA PARED :**

- A) Vertical.
- B) Inclínada.

**POSICION EN RELACION A LA CORRIENTE :**

- A) Normales.
- B) Laterales.

**PERFIL DEL FONDO :**

- A) A nivel.
- B) Ondulado.

**NORMALIZACIONES :**

- A) Patrones.
- B) Particulares.

**FORMA DE LAMINA VERTIENTE :**

- A) Libre.
- B) Alterada.

**PERFIL DE LA CRESTA :**

- A) Redondeada.
- B) De cresta viva.

## VERTEDERO TRIANGULAR.-

Vamos a explicar detalladamente esta forma, ya que es la que va a quedar implantada en el banco hidráulico en cuestión.

Es un vertedor simple, de pared delgada, sin contracciones laterales, de pared vertical, de posición normal, cresta viva, de altura relativa del umbral completa, de perfil a nivel y de lámina vertiente libre.

Podemos definir que es vertedero simple, por su forma triangular, con un ángulo entre caras de 90 grados y un borde (cuchilla) de 45 grados; de pared delgada ya que el espesor de la placa (acrílica) es menor que  $0.66 h$ , siendo  $h$  la altura máxima a la que va a pasar el agua sobre la cresta del vertedero.

Aunque el canal no tendrá contracciones, el propio vertedero es la contracción y por lo tanto influirá en los cálculos, debido a que la placa de acrílico se encuentra en completa oposición al movimiento del agua y forma un ángulo de 90 grados con el piso del canal abierto, es por lo que lo denominamos un vertedero de posición normal y vertical.

Por lo descrito anteriormente, y por estar comprendido entre los vertederos más comúnmente usados, para los que ya existen las pruebas y ecuaciones que explican satisfactoriamente el comportamiento del agua en los mismos.

( ver apéndice pag. 126 )

El vertedero triangular simétrico respecto del eje vertical debe emplearse simultáneamente con el rotámetro, pues el primero es más preciso para medir pequeños gastos y el segundo no se

comporta adecuadamente para flujos mínimos, es decir menor a 22 litros por minuto.

Este tipo de vertedero es más práctico que el rectangular, para los rangos de caudal que se van a manejar en el banco hidráulico.

También hay que considerar que las velocidades existentes en el canal, no son equiparables con las que tenemos en un río o un canal de dimensiones reales. Siendo este factor muy importante para la formación de la lámina vertiente, ya que lo que se trata de conseguir es una lámina libre.

Lámina libre es aquella en que los filetes inferiores que tocan la cresta del vertedero, se elevan ligeramente y caen sin tocar la placa del mismo, esta condición es muy importante ya que de otra manera varían las condiciones de gasto. ( fig. 3.3 )

El vertedero triangular, como primera opción para el banco hidráulico, se hizo porque da una mejor ventilación para que la lámina vertiente no se pegue a la placa, y además porque los rangos de funcionamiento son de : 0 - 30 lts./s, con una carga de 6 a 60 cms., siendo preciso, aún para gastos comprendidos entre 40 y 300 lts.

Las placas mencionadas se fabrican normalmente en metal, pero dado que este diseño intenta ser revolucionario, se realizará en acrílico, que cumple con los requisitos y su maquinado se puede realizar en cualquier taller.

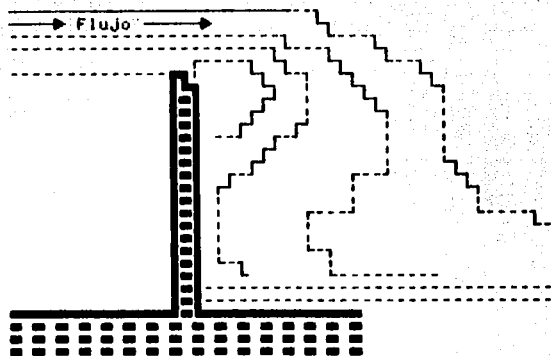


FIG 3.3

Esquema de lamina vertiente de un vertedero.

FALLA DE ORIGEN

### 3.1.2 DISEÑO DEL VERTEDERO

La idea será la de tener vertederos intercambiables que se alojarán en la ranura del mismo espesor en el banco hidráulico. Para lo cual se utilizará acrílico de un centímetro de espesor.

Se dibuja el perfil del vertedero con un ángulo entre paredes de 90 grados y luego con una caladora se cortan las partes que no sean útiles. Una vez que se tuvo cortada la cresta, se traza su cuchilla a un ángulo de 45 grados y se ajusta lo más preciso posible con una lima. Finalmente se pule con diferentes tipos de lijas de agua hasta obtenerse una pared más lisa y libre de asperezas que pudieran ocasionar datos imprecisos que condujeran a una falla en los cálculos. ( ver figura 3.4 pag 70 )

Para este vertedero se necesitará una regleta en la que, por un lado esté marcada la  $h$  ( carga ) en centímetros y por el otro en pulgadas. También posea una escala que permita visualizar el gasto probable que está pasando por el vertedero en metros cúbicos por minuto. Dado que se van a aplicar fórmulas muy exactas para vertederos triangulares, no se va a tomar en cuenta por ahora, hasta hacer un cálculo de precisión de la regleta, así como la calibración del vertedero con el rotámetro.

El cero de la regleta debe ajustarse con el punto inferior de la cresta del vertedero, para que no dé lugar a un error en las lecturas, tratando, en lo posible, de que el sistema esté en completo reposo para que, una vez ajustada al nivel exacto en el que el agua llega a la parte inferior de la cresta, coincida

exactamente con el cero de la regla.

Una vez ajustada esta posición no se deberá mover mientras se realizan todos los cálculos, ya que de lo contrario la información obtenida no será la correcta. Esta regla puede ser movida para que el alumno aprenda a ajustarla y tenga práctica por sí mismo. ( ver figura 2.6, pag. 53 )

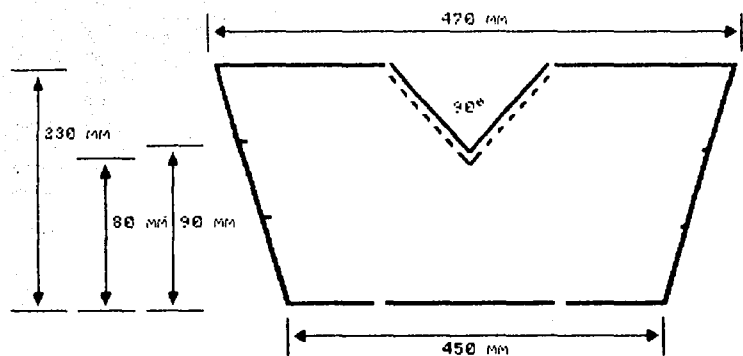


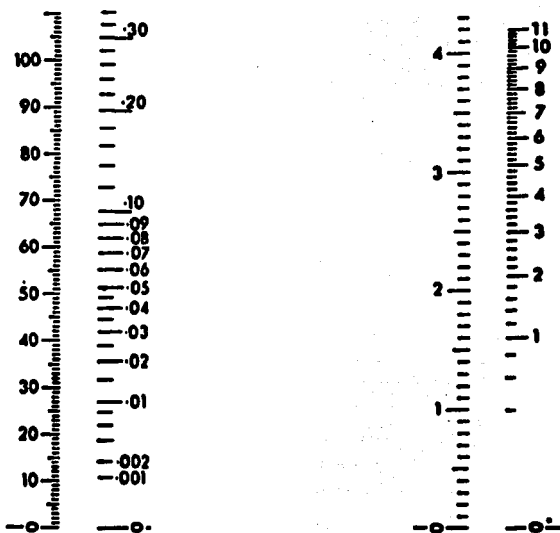
FIG. 3.4

Dimensiones finales del vertedero.

FALLA DE ORIGEN



DETALLE DE LA REGLETA DEL CANAL ABIERTO



Milímetros

Metros/minute

Pulgadas

pie/minute

### 3.1.3 CALCULOS

Para obtener el flujo que está pasando por el vertedero vamos a usar dos fórmulas diferentes, la primera es para medidas gruesas ya que no toma en consideración ningún otro factor más que la carga; la segunda nos da un valor más exacto ya que hace consideraciones de forma y está comprobada como la de mayor exactitud para vertederos triangulares con un ángulo entre las caras de 90 grados.

$$Q = 1.4 h^{5/4} \quad \text{formula de Thompson} \dots \dots \dots (9)$$

$$Q = 1.4 (0.01)^{5/2} \quad Q = m^{3/5}$$

$$Q = 0.014 \text{ l/s} \quad h = m$$

$$Q = 1.4 (0.05)^{5/2}$$

$$Q = 0.782 \text{ l/s}$$

$$Q = 1.4 (0.1)^{5/2}$$

$$Q = 4.4271 \text{ l/s}$$

$$\mu = \left[ 0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right] \left[ 1 + \left[ \frac{h^2}{B(h+H)} \right]^2 \right] \dots \dots (10)$$

$$h = 0.06 \text{ m}$$

$$H = 0.09 \text{ m}$$

$$B = 0.45 \text{ m}$$

(9).-Azevedo-Alvarez.'Manual de Hidráulica'; Sexta Edición, Edit. Harla, Mexico 1976, pag. 84.

(10).-ITESM, material bibliográfico de apoyo a la parte de instrumentación del curso de laboratorio de mecánica de fluidos, notas recopiladas por el Dr. en Ciencias Jesús Pita, México 1975, pag. 35.

$$\mu = \left( 0.5812 + \frac{0.00375}{0.06} \right) \left[ 1 + \left( \frac{(0.06)^2}{0.45 (0.06 + 0.09)} \right)^2 \right]$$

$$\mu = 0.64553$$

$$Q = \frac{8}{15} SQ (2g) \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) \mu h^{5/2} \dots \dots \dots (11)$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\mu = 0.64553$$

$$h = 0.06 \text{ m}$$

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

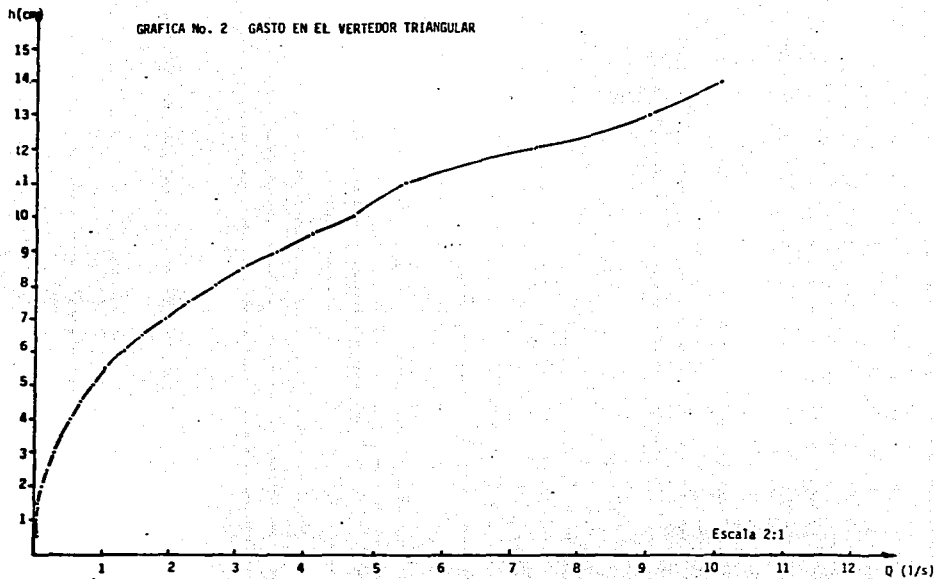
$$Q = \frac{8}{15} SQ [2(9.81)] \operatorname{tg} \left( \frac{90}{2} \right) 0.64553 (0.06)^{5/2}$$

$$Q = 1.3447 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1.3447 \text{ l/s}$$

-----  
 (11).-ITESM, Material Bibliográfico de Apoyo a la parte de instrumentación del curso de laboratorio de Mecánica de Fluidos. Notas recopiladas por el Dr. en Ciencias Jesus Pita, México 1975, pag. 36.

GRAFICA No. 2 GASTO EN EL VERTEDOR TRIANGULAR



Escala 2:1

FALLA DE ORIGEN

**Tabla 4 Vertedores triangulares pared delgada y lisa. Fórmula de Thomson**

Altura <i>H</i> . cm	<i>Q</i> . l/s	Altura <i>H</i> . cm	<i>Q</i> . l/s
3	0,14	17	16,7
4	0,42	18	19,2
5	0,80	19	22,0
6	1,24	20	25,0
7	1,81	21	28,3
8	2,52	22	31,8
9	3,39	23	35,5
10	4,44	24	39,5
11	5,62	25	43,7
12	6,98	30	69,0
13	8,54	35	101,5
14	10,25	40	141,7
15	12,19	45	190,1
16	14,33	50	247,5

Es conveniente denotar la variación de los valores para una carga dada en el canal, entre los resultados obtenidos por la fórmula de Thomson y la obtenida por la fórmula de Hegly.

La fórmula de Thomson, por no tomar en cuenta factores de forma, nos da un resultado inferior, incluso es notorio este valor al compararlo con el flujo indicado en el rotámetro.

Existe una tercera ecuación, para obtener el gasto en un canal abierto con un vertedero triangular de 90 grados entre las caras, como dispositivo de aforo; toma consideraciones de forma, pero en lugar de obtenerse totalmente por cálculos, utiliza un sistema de tablas, lo que hace que en un momento dado el cálculo pueda tener un porcentaje de error, debido a lecturas incorrectas. ( ver tabla número 6, pag. 76 )

$$Q = \frac{8}{15} C_e \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right) S Q (2g)^{5/2} h^2 \dots\dots\dots(12)$$

para  $h = 0.12 \text{ m.}$

$Q = 6.93 \text{ l/s}$

$h =$  carga.

$Z =$  altura del fondo del canal a vértice del vertedero.

$L =$  ancho del canal.

(12).-Schlag Albert.- "Hidráulica"; Tercera Edición, Editorial Limusa-Wiley, S.A. Mexico 1966.

La ecuación anterior se da únicamente como una información, debido a que conviene saber las distintas ecuaciones obtenidas y demostradas para este tipo de vertederos.

Únicamente se resolvió para un sólo valor de carga (  $h$  ), lo que nos permite evaluar los resultados con las otras dos ecuaciones estudiadas.

para  $h = 0.12$  m

$W = 0.09$  m

$B = 0.45$  m

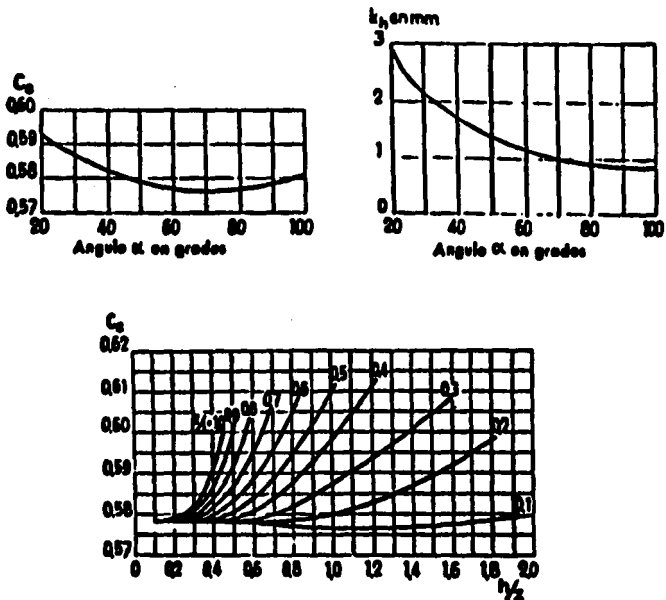
ecuación de Thomson  $Q = 6.98$  l/s

ecuación de referencia ( 3 )  $Q = 7.385$  l/s

ecuación de referencia ( 4 )  $Q = 6.93$  l/s

( página 34 )

**TABLA No. 5**  
**DIAGRAMA PARA RESOLVER LA ECUACION (12) PARA**  
**OBTENER EL GASTO EN UN VERTEDOR TRIANGULAR**  
**CON  $\theta = 90^\circ$**



FALLA DE ORIGEN



**TABLA 6. TABLA COMPARATIVA DE GASTOS ENTRE LOS DIFERENTES APARATOS DE MEDICION**

Q rotámetro ( $1/s$ )	Q canal ( $1/s$ )	Q regleta ( $1/s$ )	h (cm)
0.6308	0.5106	0.45	4
0.6939	0.5731	0.5	4.2
0.7570	0.6751	0.583	4.5
0.8200	0.7399	0.633	4.65
0.8831	0.7679	0.683	4.75
0.9462	0.8270	0.7333	4.9
1.0093	0.9100	0.8166	5.15
1.0724	1.0206	0.9333	5.35
1.1355	1.0670	0.9833	5.45
1.1985	1.1389	1.0166	5.6
1.2616	1.1884	1.0666	5.7
1.3247	1.2392	1.1333	5.85
1.3878	1.3179	1.1833	5.95
1.4509	1.3994	1.25	6.15
1.5140	1.4840	1.35	6.25
1.5770	1.5421	1.4166	6.35
1.6401	1.6317	1.5	6.5
1.7032	1.6932	1.5333	6.6
1.7663	1.7560	1.6333	6.7
1.8294	1.8203	1.6833	6.8
1.8925	1.9530	2.30	7

Ver Índice de Tablas para referencias.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

De la observación del Banco Hidráulico existente en otra Universidad y que consta con un rotámetro normalizado, se obtuvieron los valores de la tabla anterior.

$Q$  del rotámetro, de una observación directa del aparato.

$Q$  del canal, por medio de la ecuación de Thomson.

Se concluye que las lecturas tomadas en el rotámetro pueden variar un  $\pm 2\%$ , también que las lecturas de carga (  $h$  ) tomadas en la escala del canal abierto pueden ser erróneas, debido principalmente a un error de paralelaje o a una confusión por la mala observación del nivel libre del agua, por lo que la tolerancia de  $\pm 2\%$  puede variar aún más.

De todas maneras, en base a varias pruebas realizadas, el medidor de gasto ( rotámetro ), es muy confiable y la incidencia de malas lecturas es mínimo, sin descartar que el otro sistema de aforo (canal-vertedero), también nos entrega lecturas muy precisas.

En donde sí podemos hallar un buen porcentaje de error, debido principalmente a fallas de lectura, es en la regleta, ya que las marcaciones no permiten una lectura muy exacta, sin embargo, el valor aproximado que nos entrega nos da una idea de la cantidad esperada al realizar los cálculos matemáticos.

### 3.2 APARATO DE IMPACTO DE CHORRO

#### ANTECEDENTES.-

Este sencillo aparato nos introduce en el campo de la turbo maquinaria, que es el estudio de la energía que se transfiere del o hacia el fluido en movimiento continuo mediante la acción de uno o más álabes impulsores que se mueven.

La máquina que extrae energía se llama turbina. La palabra turbo significa 'giro' o 'rotación', por lo tanto las turbomáquinas giran de algún modo.

Las turbinas de impulso son las que extraen energía de un fluido que posee una carga elevada. Este tipo de turbina, primero convierte la carga existente en un chorro de alta velocidad haciéndolo pasar por una tobera (Tobera: ducto a través del cual corre un fluido aumentando de velocidad por la diferencia de áreas); el chorro choca contra un álabe y le imprime movimiento, haciendo girar el dispositivo. Al conjunto de álabes unidos al eje, se le conoce con el nombre de rotor o rodete.

Con la tobera, se trata de realizar un estudio muy particular, ya que sólo existe un álabe, que será el que nos marque en el sistema de balanza, la fuerza del impacto del chorro.

Igualmente el líquido que llega al aparato va a ser acelerado aún más por medio de una tobera. En circunstancias normales el fluido obtendría su aceleración debido a la diferencia de alturas, entre el lugar en que se encuentra contenida el agua y donde esta instalada la turbina. En este caso

en particular y en vista de que su función es evidentemente didáctica, la aceleración del fluido se conseguirá por medio de una bomba que nos simulará una carga.

En vista de que su función en el laboratorio debe ser más amplia, el aparato está diseñado de tal forma que permite intercambiar las placas en estudio ( planas, hemisféricas, cónicas, etc. ), así como también es posible usar toberas de diferentes tamaños.

Este equipo nos permitirá visualizar y medir en forma directa la fuerza de impacto ejercida por el chorro de agua chocando contra la placa en estudio, y obtener información para saber cual accesorio y en qué combinación nos produce la mayor eficiencia, de tal manera que el estudiante podrá percatarse de lo que realmente ocurre dentro de una turbina, hecho que redundará en una mayor comprensión de la asignatura de Turbomaquinaria.

### 3.2.1 CARACTERISTICAS

Uno de los objetivos de nuestra asistencia al laboratorio es la de visualizar lo que ocurre en un determinado aparato. Por lo que, en la mayoría de los accesorios del Banco Hidráulico, debe poderse ver a través de ellos.

Los materiales que se recomiendan por su versatilidad y buen manejo para la elaboración de este aparato son : acrílico, solera de cobre, tubería de cobre y fierro galvanizado y aluminio.

Se escogió el acrílico en vista de que reúne varios requisitos que no se encuentran en otros materiales, tales como:

resistencia, transparencia, fácil maquinado, poco mantenimiento y rápida limpieza.

Se cortaran cuatro secciones rectangulares de 31.3 x 15.8 cm. y dos secciones cuadradas de 15.8 x 15.8 cm, formando así el paralelepípedo básico de sostén del sistema.

En una de las áreas cuadradas se harán cuatro orificios de descarga de 1 cm. de diámetro cada uno, dispuestos en las cuatro esquinas y un agujero con cuerda para que sujete el niple de la tobera. En otra esquina se hará uno sólo por donde pasa el vástago de la placa en estudio.

Después se unirán las secciones, usando permabond; tratando de que no queden fisuras en las uniones para evitar, posteriormente, fugas de agua.

Con la solera se fabricará el sistema de balanza que pivota en un eje de 2 mm. de diámetro, añadiéndose una masa que compense y permite que el brazo se nivele en su posición de equilibrio.

Todo el conjunto estará montado en una base de aluminio.

La tobera estará construida en tubo de cobre de 1/2 pulgada, para prevenir oxidación. La placa hemisférica de cucharón hacia abajo, así como su vástago, estarán hechos de acero inoxidable para prevenir su corrosión y destrucción prematura.

### 3.2.2 DESCRIPCION

Este aparato se ha diseñado para emplearlo en el Banco Hidráulico inclusive en el aula de clases, mediante una simple conexión de una manguera al tubo de entrada del mismo, teniendo

la precaución de que la descarga sea dirigida a los orificios de descarga del Banco.

En un extremo se encontrará instalado un sistema de balanza, que conste de una pesa corrediza y una escala graduada en centímetros, lo que permitirá medir la fuerza del chorro; la boquilla vertical cónica produce un chorro de alta velocidad y es también de una placa intercambiable, es decir, se pueden colocar diferentes conos de impacto del chorro.

### **3.2.3 PROCEDIMIENTO DE COLOCACION AL BANCO HIDRAULICO**

- Conectar el tubo de plástico del banco con la entrada del aparato.
- Verificar que se encuentre completamente horizontal ( nivelado ).
- Colocar las mangueras de descarga del aparato en los orificios de descarga del banco.
- Calibrar el sistema de balanza, de tal manera que el brazo se encuentre en posición horizontal.
- Alinear y centrar el chorro con la placa.

Todas las mediciones se obtienen cuando el brazo de la balanza se encuentra en posición horizontal, anotándose el caudal que marca el rotámetro, así como la posición a la que se encuentra la masa corrediza en la escala.

El caudal puede variarse mediante la válvula de control del Banco Hidráulico.

### 3.2.4 ESPECIFICACIONES

Diámetro de la tobera	1.6 cm
Distancia de la tobera a la placa	1.7 cm
Peso	197.5 gr
Longitud de la escala de medición	40 cm
Flujo máximo	91 l/min
Diámetro de la placa hemisférica	8.5 cm
Diámetro de la entrada	1.25 cm

### 3.2.5 CALCULOS

La fuerza ejercida por el chorro contra la placa hemisférica invertida es :

$$F = 2 \dot{m} V \dots\dots\dots (13)$$

$\dot{m}$  = flujo de masa ( kg/s )  
 $V$  = velocidad del agua ( m/s )

pero sabemos :  $Q = VA$   $V = \frac{Q}{A}$   
tobera tobera

$VA\rho = Q\rho =$  flujo de masa por lo tanto

$$F = 2 Q \rho \frac{Q}{A}$$

$$F = \frac{2 Q^2 \rho}{A} = 2 \rho A V^2 \quad \text{análisis dimensional}$$

$$\frac{m \text{ kg}}{s \text{ m m}} = \text{kg} \frac{m}{s} = \text{N}$$

para  $Q = 5.75 \text{ gal / min}$

$$F = 2 \frac{(0.3627)^2 (1)}{\pi \left(\frac{1}{4}\right)^2}$$

$$F = 0.335 \text{ N}$$

para  $Q = 10.6 \text{ gal/min}$

$$F = 2 \frac{(0.6686)^2 (1)}{\pi \left(\frac{1}{4}\right)^2}$$

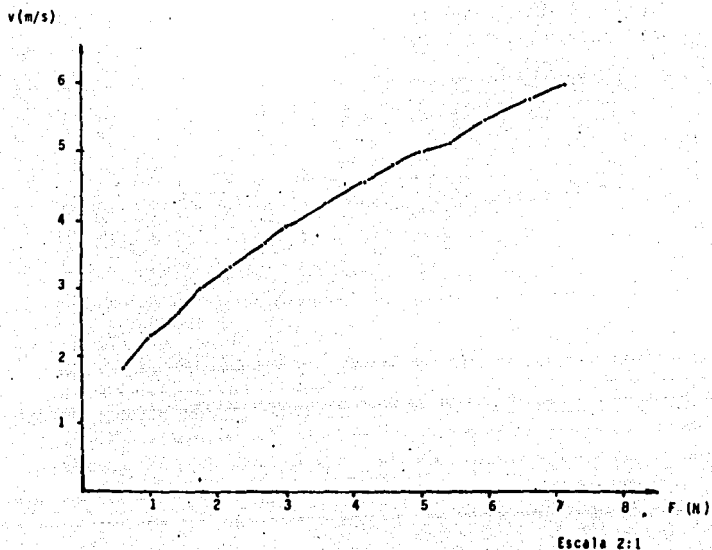
$$F = 1.1386 \text{ N}$$

(13).- White Frank M. "Fluid Mechanics", Edit. McGraw Hill Inc. USA. 1979, pag 161.

*Frank M. White*



GRAFICA No. 3 FUERZA CONTRA UNA PLACA HEMISFERICA DE CUCHARON INVERTIDO



FALLA DE ORIGEN

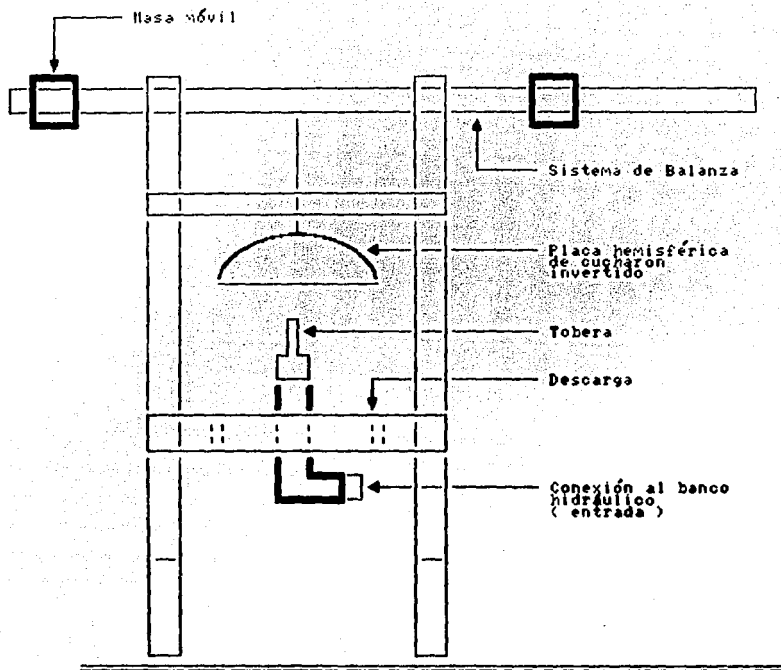


FIG. 3.5

Esquema del aparato de Impacto de Chorro.

### 3.2.6 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

El estudiar el fenómeno de impacto de una corriente fluida sobre una superficie inmóvil de área y forma conocidas, es de gran apoyo para los estudiantes, pero es importante ver el aprovechamiento que tendrá este aparato si se le incorporan otro tipo de placas, tales como : plana, hemisférica con cucharón hacia arriba y cónica, o toberas de diferentes diámetros.

De tal manera que podremos va no sólo obtener las relaciones cualitativas y cuantitativas entre las variables involucradas, sino que también podremos saber qué elemento da la mayor eficiencia.

El aparato de impacto de chorro se diseñó en base a modelos obtenidos de gente que se dedica a la construcción de implementos para laboratorio.

Básicamente, de la experiencia de lo otros, nos damos cuenta que para vencer un mayor peso, el agua debe oponer una mayor fuerza de impacto sobre la superficie plana estudiada. Esto en cambio nos da una idea de lo que esperamos obtener, dado el caso en que tengamos que diseñar una tobera o en el caso concreto de que, se supiera que fuerza se va a ejercer sobre los alabes de una turbina, para condiciones específicas.

Si bien es un estudio particular, de aquí se derivan los cálculos posteriores para obtener la potencia esperada en una turbina, ya que es lógico suponer que de un resultado particular, por un proceso de inducción, lleguemos a la generalidad de una turbina de impulso.

### 3.3 APARATO DE CENTRO DE PRESIONES

#### ANTECEDENTES.-

Arquímedes fué quien descubrió el principio de la flotabilidad mientras meditaba en su bañera en el año 250 AC. Este fundamento tiene su origen en : un cuerpo sumergido parcial o totalmente en un líquido recibe un impulso hacia arriba igual al peso del fluido que desplaza. El corcho y la madera flotan porque son menos densos que el agua, y en cambio los metales, como son más densos que el agua se van al fondo, pero si al metal lo adelgazamos y lo convertimos en un cuenco, flotará porque presenta una mayor superficie y, por su forma, desplazará más agua que su peso.

Evidentemente, desde un bote de recreo hasta un transatlántico, deben de reunir tres propiedades fundamentales: flotabilidad, estabilidad y resistencia.

**Flotabilidad** es la propiedad de flotar, en todas las condiciones probables. **Estabilidad**, es la combinación de las dimensiones adecuadas y la distribución del peso, lo cual le permitirá abrirse paso por entre las fuerzas del viento y el oleaje y recuperar siempre su posición vertical, y hacer que la quilla tenga siempre su nivel, y la **resistencia** se refiere a los materiales de estructura para sostenerse a sí mismo y a su contenido.

A todo lo anterior hay que agregar una característica mas que no deja de ser importante, la estanqueidad, producto de la hermeticidad de las uniones en contacto con el fluido.

Los enormes barcos son de una complejidad inimaginable y están divididos en compartimientos transversales estancos; con mamparas que en un momento de emergencia se cierran y permiten conservar la estanqueidad en los restantes, logrando de esta manera que la nave mantenga su flotabilidad y no se hunda.

A pesar de que la ciencia de la construcción naval ha avanzado mucho, pudiendo obtenerse exactamente la flotabilidad de los barcos, sus curvas de desplazamiento, etc. aún se hacen necesarias muchas horas de estudio y pruebas en los laboratorios de fluidos para conseguir esto.

El aparato que se diseñó para determinar experimentalmente la línea de acción de la fuerza resultante (centro de presiones) que actúa sobre una superficie plana bajo la acción de un líquido en condiciones estáticas, nos ayudará a dilucidar mejor qué fuerzas interactúan en un cuerpo que flota. El cuerpo está diseñado de tal manera, (fig. 3.6, pag. 101) que el momento de la resultante de todas las fuerzas que se ejercen sobre él, corresponden con el momento de la fuerza que actúa en el área plana A; esto es debido a que las superficies curvas de este cuerpo son radiales cuyo centro coincide con el eje de giro y por tanto, todas las fuerzas que actúan sobre estas superficies pasan por el pivote.

Por medio de este aparato, podemos medir directamente el momento causado por el empuje total del líquido al incidir sobre una superficie plana, total o parcialmente sumergida y compararlo con el análisis teórico.

Las fuerzas que se ejercen sobre las superficies curvas, al pasar su punto de acción por el pivote, no producen mas momento que el causado por la presión del fluido en la superficie plana de pruebas. Este momento se mide simplemente con pesas suspendidas del brazo de la balanza.

La carga de agua se mide directamente en la escala transparente que se instalará en el aparato, con intervalos de 1 mm. Con cuidados ordinarios, el aparato permitirá verificar el análisis teórico con un precisión del 1 %. ( ver figura 3.6, pag. 100 )

### 3.3.1 CARACTERISTICAS

Casi todos los aparatos que se han diseñado dado su objetivo didáctico para permitir lecturas correctas, se han realizado en acrílico transparente, permitiendo reducir el tiempo de construcción y facilitar el trabajo de maquinado.

Los materiales recomendados son acrílico de 1 cm. de espesor, tubo de aluminio y válvula de paso de cobre.

El acrílico se corta para formar el recipiente; la base es del mismo material, con patas regulables, que permiten nivelar el aparato para su uso, contando para el efecto con un nivel localizado en una de sus esquinas.

La válvula estará situada de tal manera que permita la total descarga del aparato luego de haberse realizado los experimentos. Con el tubo de aluminio se construirá el sistema de balanza que pivota en dos tornillos con punta muy pulida, y para que el rozamiento sea puntual y no se mueva de su posición.

El sistema estará calibrado de tal manera, que permanezca en su posición horizontal sin la ayuda de una masa compensatoria móvil.

El cuerpo, ( ver página 97 ) que es en realidad una cuarta parte de un anillo, estará hecho de material plástico. Todas las partes se encuentran perfectamente pegadas, de tal manera, que tanto el recipiente como el cuerpo sean totalmente estancos.

Tendrá además dos escalas, una se encontrará pegada en el exterior del recipiente, permitiendo tomar la altura desde el fondo del mismo hasta la superficie libre con un mínimo de error. otra se encontrará pegada en el cuerpo de tal manera que podamos saber exáctamente cuánto del mismo se encuentra sumergido.

Contará con un juego de pesas, siendo importante recalcar que sería necesario contar con una más amplia variedad de estas pesas, para permitir observaciones más exactas a intervalos más pequeños.

### **3.3.2 DESCRIPCIÓN**

Este aparato se ha diseñado en tal forma, que permite trabajar con el montado en el banco hidráulico, inclusive en el salón de clase, sin tener la precaución de que la descarga del aparato quede fuera de los orificios de descarga del banco.

En la parte superior del aparato se encontrará instalado un sistema de balanza, unido al cuerpo de estudio, coincidiendo el centro del aparato con el pivote del sistema.

Todo el conjunto anterior se encontrará en un recipiente de acrílico, que pueda ser nivelado por medio de sus partes ajustables.

La válvula nos permite descargar el agua y también, debido a que la existencia de pesas no es muy variada, hacer que el sistema se estabilice cuando no conseguimos hacerlo por medio de las pesas.

### **3.3.3 PROCEDIMIENTO DE INSTALACION AL BANCO**

- 1.- Poner el equipo en la posición de equilibrio, sin agua en el recipiente.
- 2.- Nivelar todo el sistema por medio de las patas ajustables.
- 3.- Revisar que los tornillos que sujetan el brazo de palanca estén apretados a tope, ya que de estar flojos podrían ocasionar errores en las lecturas, o que debido a la fuerza, el brazo de romana se salga del pivote.
- 4.- Tomar la medida de la altura sobre el fondo del recipiente.



a la que se encuentra el cuerpo de estudio. igualmente la medida del brazo de balanza.

- 5.- Llenar el recipiente de agua hasta que quede la superficie plana totalmente sumergida.
- 6.- Colocar en la balanza, el peso que se requiera para restablecer el equilibrio.
- 7.- Tomar las lecturas del nivel de la superficie libre sobre el fondo que indica la regla vertical en el exterior del recipiente, y la altura que alcanzó la misma con el cuerpo sumergido.
- 8.- Repetir los pasos 6 y 7 para diferentes niveles de la superficie libre del líquido.

Es necesario que todas las lecturas se tomen cuando el nivel del brazo de romana coincida con el cero que indica su posición completamente horizontal, y en lo posible, no tocar el recipiente al tomar las lecturas, para no desestabilizar el sistema, y evitar obtener datos erróneos.

### 3.3.4 ESPECIFICACIONES

#### MEDIDAS DEL RECIPIENTE

Largo	44.7 cm.
Ancho	23 cm.
Altura	25 cm.
Base	( 59 x 23 ) cm.

### **MEDIDAS DEL CUERPO**

Radio 1	10.1 cm.
Radio 2	20.2 cm.
Ancho	10 cm.

### **MASAS**

500 g.	No. 3
250 g.	No. 2
125 g.	No. 1
45 g.	No. 2
20 g.	No. 1
10 g.	No. 1
5 g.	No. 1

### **SISTEMA DE BALANZA**

Longitud pivote-masa	38 cm.
Altura base-brazo de balanza	26.7 cm.
Altura base-superficie inferior del cuerpo	6.2 cm.

Fórmula para calcular la fuerza resultante que actúa sobre el área plana del cuerpo del aparato de centro de presiones.

$$F = \gamma h_{ce} A \dots\dots\dots(14)$$

$h_{ce}$  : Altura del líquido sobre el centroide; se determina indicando el nivel de la superficie libre sobre el fondo del equipo, menos 11.2 cm. ( altura del CG sobre el fondo ).

$$A = ( 0.1 ) ( 0.101 )$$

$$A = 0.0101 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$$

$$\text{Para : } h_{LIBRE} = 24.5 \text{ cm.}$$

$$F = 9810 ( 0.0101 ) ( 0.245 - 0.112 )$$

$$F = 13.1777 \text{ N}$$

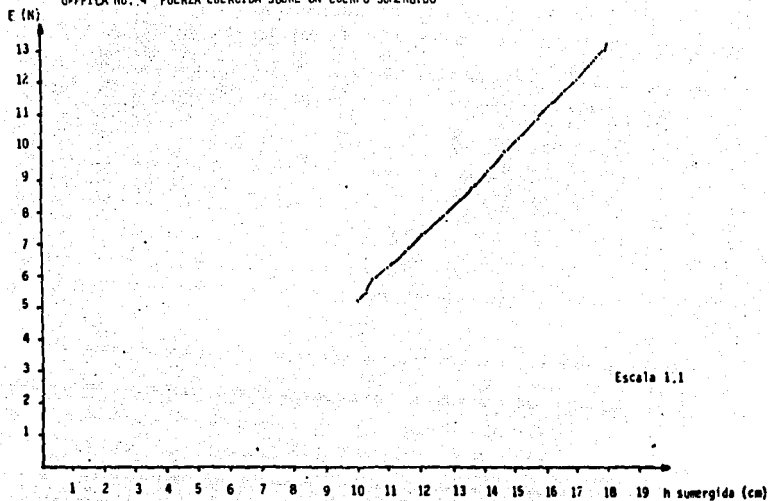
$$\text{Para : } h_{LIBRE} = 20 \text{ cm.}$$

$$F = 9810 ( 0.0101 ) ( 0.2 - 0.112 )$$

$$F = 8.7191 \text{ N}$$

-----  
(14).-Dilla S. Felix. "Prácticas Docentes y Equipos Demostrativos de Laboratorio de Ingeniería Hidráulica", 1a. Edición, Depto. de Ediciones del ISPJAE, Habana, Cuba 1985. pag.39.

GRAFICA No. 4 FUERZA EJERCIDA SOBRE UN CUERPO SUMERGIDO



### 3.3.5 CONCLUSIONES

La ley de Arquímedes dice: "Un cuerpo sumergido, parcial o totalmente en un líquido recibe un impulso hacia arriba igual al peso del fluido que desplaza". Este enunciado nos indica que el impulso hacia arriba va en proporción directa al peso del cuerpo.

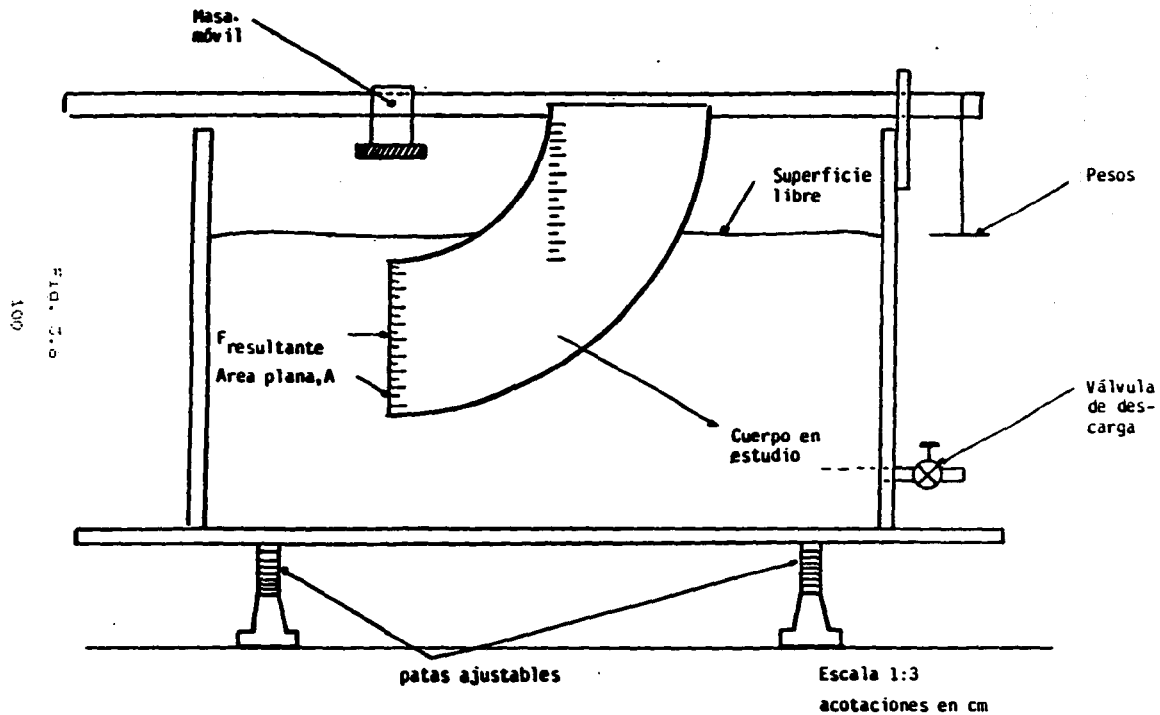
Hecho que se corroborará en el laboratorio, ya que para una mayor inmersión del cuerpo se hace necesario un mayor peso en el brazo de palanca.

También se comprobará la teoría de que un cuerpo más pesado que el agua puede flotar si la superficie que opone a ella es mayor, considerando que sus paredes se encuentran totalmente selladas, de tal manera que no haya filtraciones de agua hacia el interior del cuerpo.

Conviene aclarar que al nivelar el sistema de balanza, lo que se consigue es no considerar el peso del cuerpo, ya que el sistema una vez calibrado, compensa el peso del cuerpo en estudio, influyendo únicamente la fuerza ejercida por el agua al peso agregado al cuerpo.

Es pertinente recalcar que para realizar las pruebas para la placa plana debe estar completamente sumergida, ya que de otra manera cambiaría la posición del centroide con cada altura del nivel libre del agua, lo cual complica los cálculos.

# ESQUEMA DEL APARATO DE CENTRO DE PRESIONES



### 3.4 APARATO DE FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO

#### ANTECEDENTES.-

Los orificios son perforaciones, generalmente de forma geométrica regular ( circular o rectangular ), y perímetro cerrado, hechos por debajo de la superficie libre del líquido, en las paredes de los depósitos, tanques y canales.

Se podría pensar que sólo lo anterior constituye un orificio, pero en realidad no es así, ya que si el perímetro no es cerrado o si la abertura se encuentra parcialmente llena, el orificio se llama vertedero; si es de longitud prolongada o se encuentra en una pared muy ancha, constituye una tobera.

Por lo anterior, se deduce que el tamaño de un orificio puede ir desde unos cuantos milímetros hasta varios metros . Ejemplo de este último es la abertura rectangular al extremo de un canal y la abertura de entrada del embalse de una turbina, obturada por una compuerta deslizante, que puede pesar varias toneladas.

El orificio puede estar comunicado con la atmósfera o con un fluido bajo presión ( orificio sumergido ). Sus paredes pueden ser de contorno redondeado o de aristas vivas. Puede terminar en un conducto corto, como en una tobera o un difusor.

Los orificios pueden ser considerados pequeños cuando sus dimensiones son mucho menores que la profundidad a la que se encuentran; dimensión vertical igual o inferior a un tercio de la profundidad. En el caso de que el diámetro del orificio sea menor que  $1/10$  de la superficie libre del fluido, entonces se

desprecia la velocidad en la superficie.

La pared es considerada delgada, cuando el chorro apenas toca la perforación en un línea que constituye el perímetro del orificio. En una pared gruesa, se verifica la adherencia del chorro.

Los orificios de las paredes delgadas, que son construidas en placas finas (cobre, aluminio, etc.) se hacen por corte en bisel, este acabado no es necesario si el espesor de la placa es menor que el diámetro del orificio, va que si lo sobrepasa, al menos una vez y media, se convierte en uno de pared gruesa debido a que el chorro se puede adherir al interior de la pared.

El chorro que sale a través del orificio se llama vena líquida y según la teoría y como lo confirma la experiencia, este chorro se contrae a la salida, llamándose a esta sección del chorro contraído "vena contracta".

Las aplicaciones de los orificios las podemos clasificar en dos clases : control de flujo y medición de caudales.

El del control de flujo se utiliza en las transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos, pudiendo regular, la velocidad de un cilindro de aceite a presión que mueve el émbolo de una prensa hidráulica.



En medición de caudales, y por su bajo costo, se emplean primordialmente los de aristas vivas por ser insensibles a la viscosidad, y por ende su funcionamiento no se altera con la temperatura del fluido.

Este aparato ( flujo a través de un orificio ), constará de un orificio de pared delgada con bordes afilados, hecho en aluminio para prevenir la oxidación.

Lo que este aparato nos permitirá encontrar, es : el coeficiente de contracción, el coeficiente de descarga, el coeficiente de velocidad y el gasto que está fluyendo por este orificio, así como permitirá observar directamente lo que es una vena contracta.

Se diseñó este aparato de tal manera que pueden intercambiarse diferentes orificios, ampliando de esta manera las posibilidades de las prácticas.

### 3.4.1 CARACTERISTICAS

Los materiales recomendados para la construcción de este nuevo accesorio para el banco hidráulico son : acrílico transparente, varilla de cobre, tubería de PVC, tubo flexible de plástico, aluminio y una regleta.

Con el acrílico de 0.5 cm de espesor se formará el cuerpo base, que es un paralelepípedo, cuyas paredes laterales son de 33.8 x 11.5 cm, y las de la base superior de 11.5 x 11.5 cm. En estas últimas caras se maquinarán los orificios para la tubería que lleve el agua al sistema, así como el ducto de carga y el cuerpo que reciba a los distintos orificios (fig. 3.7, pag. 110).

Con la varilla de cobre se construirán las patas que se sujeten al acrílico y el mecanismo que sujete al tubo Pitot y la cuchilla para medir la vena contracta. El tubo fue ideado por Pitot para medir la presión total, también llamada presión de estancamiento o de manso ( suma de la presión estática y de la presión dinámica ).

En la tubería de PVC que se encuentre localizada dentro del aparato se harán varios orificios, ya que la descarga al mismo no se realiza en forma directa por la terminal del tubo, pues ésto ocasionaría una variación en la velocidad de salida de la vena líquida. Con la tubería plástica se construirán los piezómetros para el tubo Pitot y para la carga estática.

### 3.4.2 DESCRIPCION

Por medio de este instrumento podemos efectuar un análisis

completo del flujo a través de un orificio, con varios valores de caudal. El aparato consiste en un tanque cuadrado, hecho en acrílico con un orificio en la base.

Se ha diseñado para colocarse sobre el Banco Hidráulico, para que la descarga se dirija hacia el depósito del tanque. Contará con un mecanismo de desplazamiento que permita situar el tubo Pitot en cualquier parte del chorro. El tubo llevará una cuchilla afilada que pueda moverse de un lado al otro del chorro para medir con precisión el diámetro del mismo y determinar el coeficiente de contracción.

La carga del tubo Pitot y la carga de agua total se indicarán en los tubos manómetro que se encontrarán localizados a un costado del recipiente, que es de acrílico para observar el flujo siendo éste controlado por medio de la válvula del banco.

### 3.4.3 PROCEDIMIENTO DE INSTALACION AL BANCO

- 1.- Conectar la manguera del banco hidráulico con la entrada del aparato, teniendo la precaución de no apretar mucho la abrazadera para no romper la tubería de PVC.
- 2.- Nivelar el aparato para que sus condiciones sean estables.
- 3.- Asegurar que la descarga se encuentre justo en el desagüe del depósito.
- 4.- Encender el banco y abrir la válvula hasta que se llene el recipiente sin sobrepasar el nivel del tubo de carga, permitiendo que el sistema se estabilice, es decir, que no haya turbulencias que puedan dar lecturas incorrectas.

- 5.- Verificar que la toma del tubo Pitot se encuentre en el centro del chorro.
- 6.- Tomar las lecturas de carga en el tubo Pitot y en el de carga estática.
- 7.- Tomar la lectura del diámetro de la vena contracta.
- 8.- Repetir los pasos 5, 6 y 7.

Se debe insistir en obtener una estabilidad del sistema, que no varíe la carga, para tomarse las lecturas, ya que de otra manera si las condiciones varían, las lecturas tomadas serán erróneas. Además hay que considerar que a las alturas piezométricas tomadas hay que sumarle 1 cm ya que la regla se encontrará separada esa distancia del fondo del recipiente.

#### • 3.4.4 ESPECIFICACIONES

Orificio estándar ( bordes afilados )	10 mm de diámetro
Carga máxima de agua	255 mm

##### Mecanismo de desplazamiento :

Husillo con tuerca de ajuste

Tubería de PVC para alimentación y rebose 1.27 cm. de diam.

##### Tanque transparente :

Altura	33.8 cm
Ancho	11.5 cm
Largo	11.5 cm

##### Acrílico :

Caras ( excepto base ) espesor	0.5 cm
Base espesor	2.6 cm

### 3.4.5 CALCULOS

$$C_{\text{contracción}} = \frac{A_c}{A_o} = \frac{D_c}{D_o} \dots\dots\dots (15)$$

para :  $D_c = 0.8 \text{ cm}$                        $D_o = 1 \text{ cm}$

$$C_{\text{contracción}} = 0.8$$

$$C_{\text{velocidad}} = \frac{H_c}{H_o} \dots\dots\dots (16)$$

para :  $H_c = 22.8$                        $H_o = 23.1$

$$C_{\text{velocidad}} = 0.9934$$

$$C_{\text{descarga}} = C_c \times C_v = 0.79478821 \dots\dots (17)$$

-----  
Coeficiente de descarga

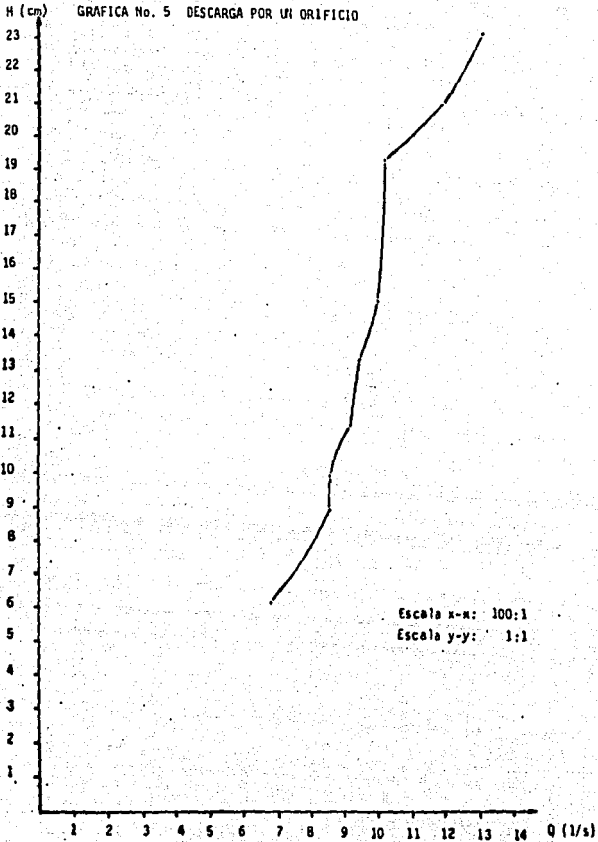
$$Q = \text{Caudal} = C_d A^2 g H_o \dots\dots\dots (18)$$

$$Q = 0.7947 \frac{(0.01)^2}{4} 2 (9.81) (0.231)$$

$$Q = 1.3289 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0.13289 \text{ l/s}$$

- 
- (15) Azevedo-Alvarez. "Manual de Hidraulica", 6ta. edición.
  - (16) Idem Pag. 55
  - (17) Idem Pag. 56
  - (18) Editorial Harla, México 1976. Pag. 54.



FALLA DE ORIGEN

### 3.4.6 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

En base a los resultados anteriores podemos deducir los promedios de los coeficientes de contracción, de velocidad y de descarga, para este orificio en particular.

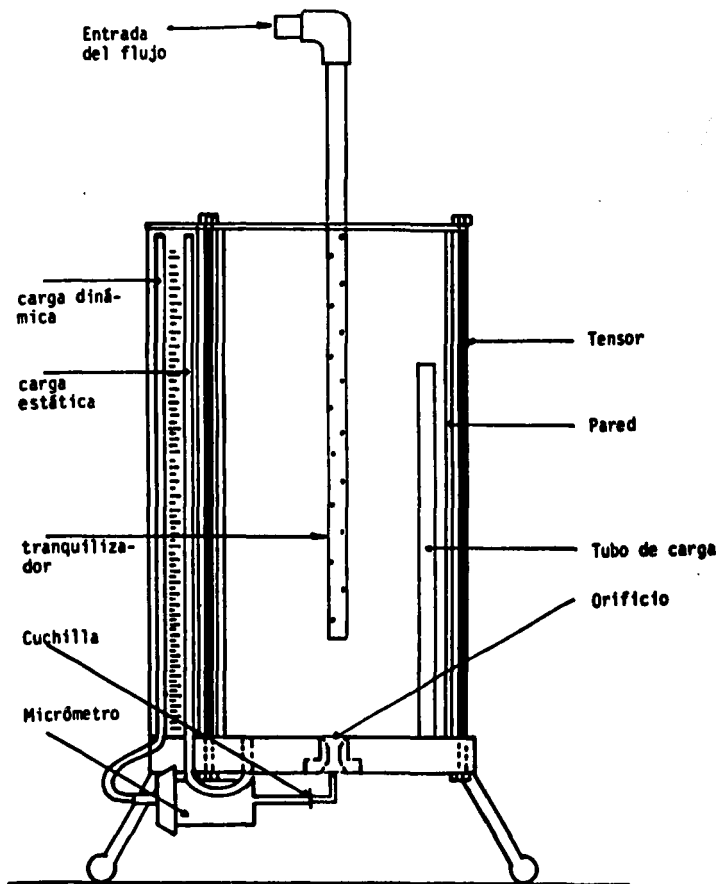
Otro dato interesante, es el que se obtiene al comparar el gasto para las diferentes observaciones, al momento de hacer la práctica no se observarán variaciones en el gasto que sale por el orificio, pero al realizar los cálculos observaremos que éste sí varía.

Debido a que éste es un aparato de laboratorio y no se manejan cargas muy grandes, las mediciones pueden parecer idénticas entre sí, pero los cálculos nos demuestran lo contrario.

Se debe aclarar la necesidad de contar con varios orificios, de tal manera que cada grupo de estudiantes que realice la práctica, haga sus pruebas en uno diferente; así se evita intercambio de información y se incentiva el conocer los diferentes valores de los coeficientes de contracción, velocidad y descarga, que nos da cada tipo de orificio.

Con esta pequeña reseña se puede apreciar que el aparato diseñado para funcionar con el banco hidráulico, es un sistema más de aforo de caudal. Reviste una gran importancia el que conozcamos diferentes aparatos e instrumentos de aforo de caudal, ya que nos enseñará a utilizar el más adecuado a las circunstancias en que nos encontremos.

Fig. 3.7 ESQUEMA DEL APARATO DE FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO.



110

Acotaciones en cm  
Escala 1:3

FAJTA DE UNIVERSIDAD



## **CAPITULO IU**

### **ELEMENTOS DE LAS PRACTICAS**

El trabajo que debe realizar el alumno para que la práctica cumpla plenamente sus objetivos, puede dividirse en cuatro partes :

- 1.- Preparación de la práctica antes de concurrir al laboratorio.
- 2.- Desarrollo de la práctica.
- 3.- Informe.
- 4.- Evaluación.

#### **4.1 PREPARACION DE LA PRACTICA ANTES DE CONCURRIR AL LABORATORIO**

Antes de ir al laboratorio, es necesario preparar el trabajo experimental a realizar, para lo cual se recomienda lo siguiente:

- a) Leer con detenimiento el objeto del trabajo y conocer los resultados que se piden, a fin de tener una idea concreta de las magnitudes que intervienen en el fenómeno a estudiar.
- b) Examinar el fundamento teórico en que se basa el experimento, pudiendo ampliarse la investigación, consultando la bibliografía que indique el profesor.
- c) Tener una idea de la disposición de los aparatos e instrumentos que se utilizarán en el laboratorio, para el desarrollo de la práctica.

Si el alumno no prepara convenientemente su trabajo, sólo podrá seguir mecánicamente lo que se hará en el laboratorio bajo la dirección del instructor y su participación no alcanzará los objetivos que se persiguen.

#### 4.2 DESARROLLO DE LA PRACTICA

Una vez en el laboratorio, el trabajo debe hacerse bajo la dirección del instructor, de la siguiente forma :

- a) Identificar cada uno de los aparatos e instrumentos que serán utilizados.
- b) Conocer las funciones de cada instrumento.
- c) Determinar el procedimiento a seguir. Hecho esto, se procederá a establecer los valores máximos y mínimos de la magnitud que se lee en el instrumento que controla el experimento y la elección del número de mediciones que se han de realizar.

d) Anotar durante el experimento, las diversas lecturas de las varias condiciones en que éste se realiza, para obtener elementos sobre la precisión de los resultados.

#### 4.3 INFORME

El informe se realizará en el cuaderno de trabajo establecido para cada asignatura.

#### 4.4 EVALUACION

La evaluación constará de tres partes :

- a) Una pregunta escrita que servirá para que el alumno demuestre su preparación para las prácticas.
- b) Desarrollo del alumno durante la realización de la práctica.
- c) Informe de la práctica.

La calificación final de la práctica será única e inapelable y se tendrán en cuenta las tres partes anteriores.

#### 4.5 REGLAMENTO DEL LABORATORIO

Las normas disciplinarias que deben ser respetadas por el alumno son las mismas que aparecen en el Reglamento Docente Metodológico del Mes, para su cumplimiento en toda actividad docente. Además de ello, en el laboratorio deben ser respetadas las siguientes medidas de protección e higiene del trabajo :

- 1.- No tocar las cajas eléctricas que se encuentren en varios lugares del laboratorio y que contienen cables con corriente de 220 y 440 Volts.

- 2.- No derramar agua sobre motores y conexiones eléctricas.
- 3.- No acercarse al acoplamiento motor-bomba en el momento en que éstos estén funcionando.
- 4.- No acercarse a lugares donde, accidentalmente, se puedan producir derrames de mercurio, dado lo tóxico de sus gases.
- 5.- No transitar por otras áreas del laboratorio que no sean las asignadas por el instructor.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

Al disponer el laboratorio de termofluidos de un banco hidráulico y su dotación completa de aparatos, se incentiva la enseñanza participativa, con la realización de una amplia variedad de estudios y pruebas en el área de mecánica de fluidos e hidráulica con carácter experimental, apoyada por la base teórica obtenida en el salón de clase.

Con la realización de la presente tesis se ofrece la oportunidad de aumentar el criterio de los estudiantes, mismo que es muy importante para su desenvolvimiento futuro, por que les enseña a escoger lo mas práctico y económico, criterio que se debe desarrollar, ya que el ingeniero ante todo, tiene que pensar

la solución a los problemas sin olvidar su formación profesional.

La realización de las prácticas de campo proporcionan a los estudiantes una idea de los conceptos que se manejan en la mecánica de fluidos e hidráulica, puede influir para que en sus estudios posteriores se decidan por ésta rama de la Ingeniería.

Indudablemente a mí, en lo particular, me ha permitido familiarizarme con todo el tipo de experimentos que se realizan en un laboratorio y en especial con el banco hidráulico, ya que el diseño y escritura de la presente tesis me ha llevado a comprender todo lo que se necesita saber no sólo para el uso de estos aparatos, sino también de su fabricación, materiales y todo lo que comprende uno sólo de los muchos elementos de los que se compone un laboratorio de Termofluidos.

Debo señalar también la imperiosa necesidad de implantar el restante número de aparatos, de tal manera que el uso de este instrumento de apoyo sea del 100%, y se vea redituado en la mejor formación de los futuros ingenieros.

## BIBLIOGRAFIA

- ASME.- Power Test Codes, Flow Measurements, 1940.
- ASME.- Research Publication, Fluid Meters, part 2, "Description of Meter", 1931.
- Azevedo-Alvarez.- "Manual de Hidráulica"; sexta edición, Editorial Harla, México 1975.
- Bertin John J.- "Mecánica de Fluidos para Ingenieros"; primera edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, México 1986.
- Considine M. "Process Instruments and Controls Handbook"; segunda edición, Editorial McGraw Hill Co., USA 1974.
- Crane.- "Flujo de Fluidos"; segunda edición, Editorial McGraw Hill, México 1989.
- D. Franzini R.- "Fluid Mechanics with Engineering Applications"; séptima edición, Editorial McGraw Hill Book Co., USA 1977.
- Dilla S. Felix.- "Prácticas Docentes y Equipos Demostrativos de Laboratorio de Ingeniería Hidráulica"; primera edición, Departamento de Ediciones de ISPJAE, Habana, Cuba 1985.
- Gieck Kurt.- "Manual de Fórmulas Técnicas"; Dieciochoava edición, Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México 1981.

- Giles Rananld V.- ''Mecánica de los Fluidos e Hidráulica'';  
segunda edición, Editorial McGraw hill  
Book Company Inc, USA 1979.
- Granger Brown ''Unit Operations''; segunda  
George and edición, Editorial John Wiley and Sons,  
Associates.- USA 1951.
- Hidraulic ''Pipe Friction Manual''; tercera edición,  
Institute.- Editorial Hidraulic Institute, USA 1961.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores De Monterrey,  
Material Bibliográfico de apoyo a la parte de  
Instrumentación del curso de Laboratorio de  
Mecánica de Fluidos, notas recopiladas por el  
Dr. en Ciencias Jesús Pita, México 1975.
- J.F. Davidson.- ''Fluidization''; segunda edición, Editorial  
Academic Press, USA 1971.
- John H. Perry.- ''Chemical Engineers Handbook''; tercera  
edición, Editorial McGraw Hill.
- King H.W.- ''Manual de Hidráulica''; primera edición,  
Editorial Unión Tipográfica Hispanoamericana,  
México 1962.
- Lewis F. and ''Ships''; primera edición, Editorial  
Brien R.- Time-Life, USA 1972.
- Mataix Claudio.- ''Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas'';  
primera edición; Editorial Harla, México 1970.

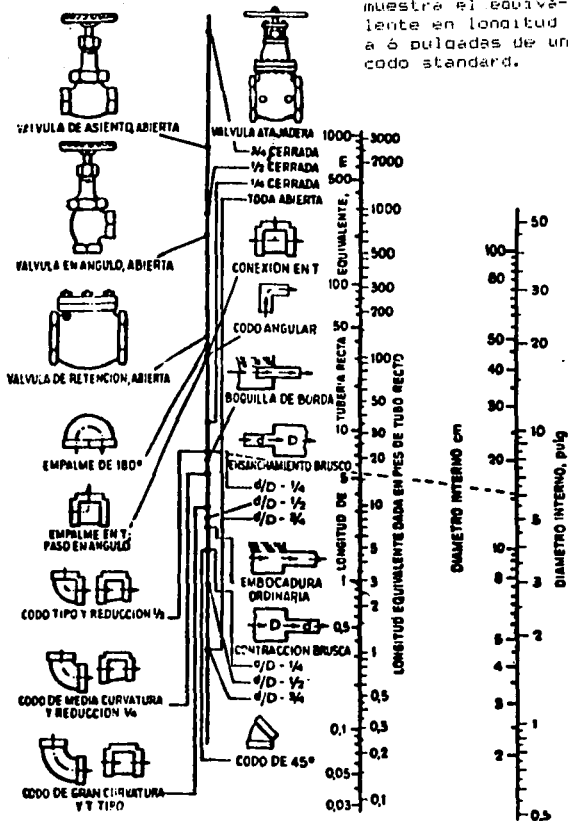


- Messersmith.      ''Mechanical Engineering Laboratory'';
- Wagner, Olsen.-   segunda edición. Editorial John Wiley and Sons,  
USA 1963.
- Schlag Albert.-   ''Hidráulica''; tercera edición. Editorial  
Limusa-Wiley S.A., México 1966.
- Stainar.-         ''Plant Engineering Handbook''; segunda  
edición, Editorial McGraw Hill, USA 1959.
- White Frank M.-  ''Mecánica de Fluidos''; primera edición,  
Editorial McGraw Hill, México 1984.

## APENDICES

Longitud equivalente de diversos accesorios en función del diámetro interno de los mismos.

La línea punteada muestra el equivalente en longitud a 6 pulgadas de un codo standard.



- Ver Indice de Tablas para referencias.

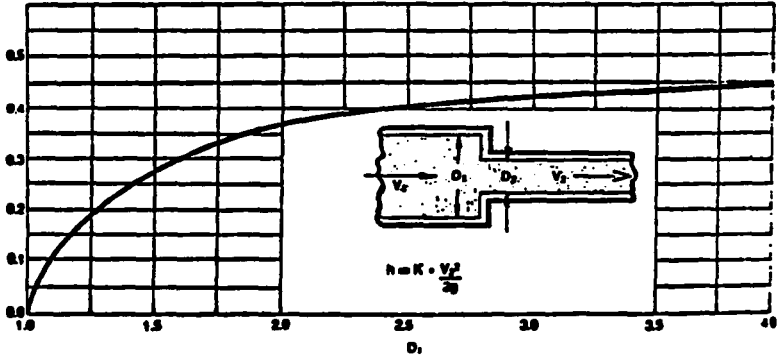
FALLA DE ORIGEN

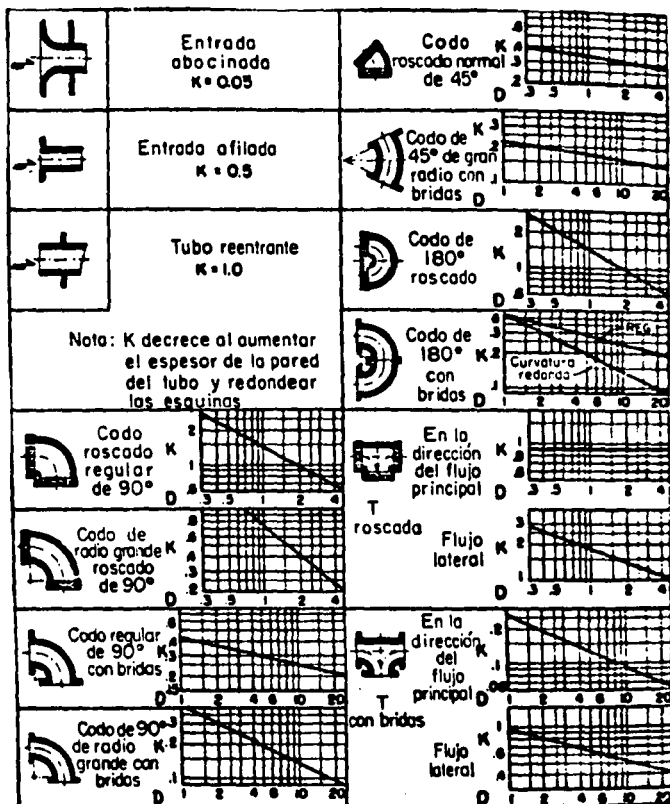
**TABLA No. 12**  
**PERDIDAS EN ACCESORIOS**  
**REDUCCION BRUSCA**

- Ver Índice de Tablas para referencias.

122

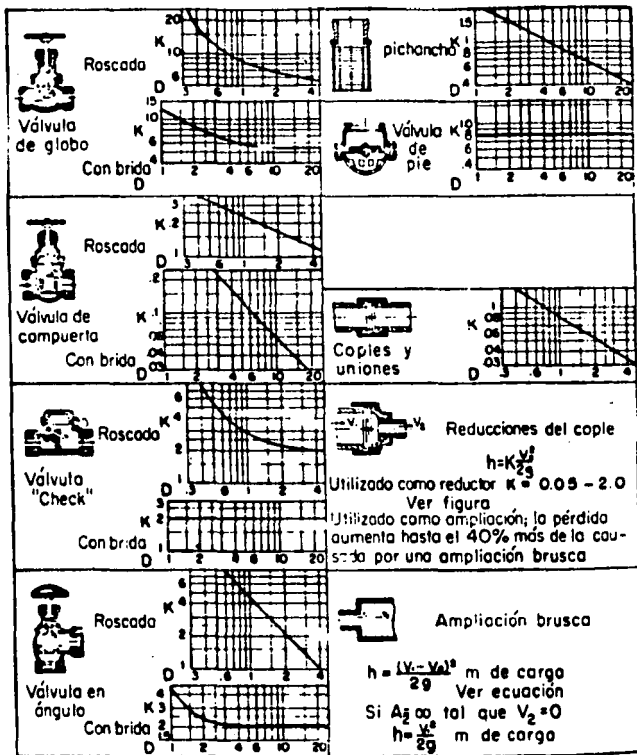
CAJILLA DE ORIGEN





$$h = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Pérdida de carga en m}$$

- Ver Índice de Tablas para referencias.



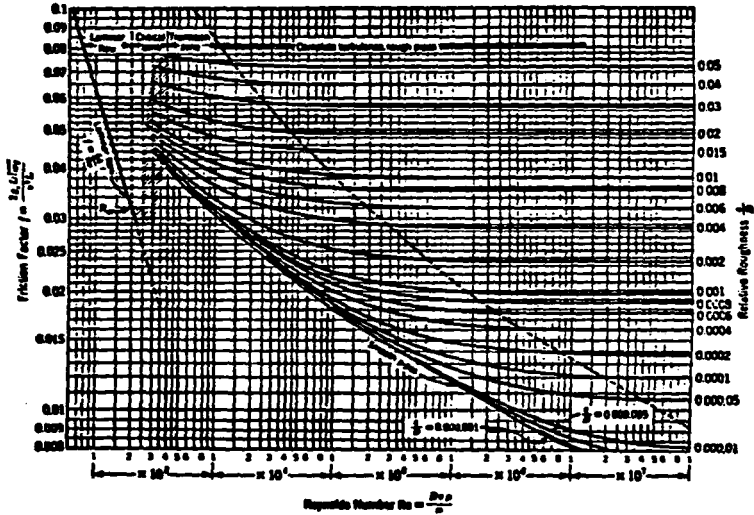
$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ en m de fluido}$$

- Ver Índice de Tablas para referencias.

**TABLA 15** Fórmulas experimentales para determinar los coeficientes de gasto  $\mu$  o  $C$  aplicables a las Ecs. 10 para vertedores triangulares con diferentes ángulos  $\theta$  en el vértice.  $B$  representa el ancho del canal de llegada y  $w$  el desnivel entre el vértice del vertedor y el fondo de dicho canal. En cualquier caso, las fórmulas se expresan en el sistema MKS

Autor	Fórmula	Límites de aplicación	Observaciones
Universidad Católica de Chile	$C = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan(\theta/2) \mu K$	Vale para $15^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ La profundidad $w$ no tiene influencia en el coeficiente de gasto.	$\mu$ , coeficiente experimental que depende de $h$ y $\theta$ según la Fig. 7.9. $K$ es otro coeficiente que depende de $B/h$ según la Fig. 7.10 y vale 1 si $B/h \approx 3$ para $\theta = 90^\circ$ y si $B/h \approx 2.75$ para $\theta = 45^\circ$ .
Courley y Crump	$C = \frac{1.32 \tan(\theta/2)}{h^{0.5}}$	Vale para ángulos $\theta$ de $45^\circ, 60^\circ$ y $90^\circ$ y para profundidades $w$ grandes.	Esta fórmula, substituida en la ecuación (7.11b), conduce a la ecuación: $Q = 1.32 \tan(\theta/2) h^{3/2}$
Iseby (1921)	$\mu = \left[ 0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right] \left\{ 1 + \left[ \frac{M}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	Vale para $\theta = 90^\circ$ $0.10 \text{ m} \leq h \leq 0.50 \text{ m}$ y profundidades $w$ pequeñas	Es de las fórmulas más precisas para vertedores con ángulo en el vértice $\theta = 90^\circ$ .
Barr (1909)	$\mu = 0.585 + \frac{0.0087}{h^{0.5}}$	Vale para $\theta = 90^\circ$ con cargas $0.05 \text{ m} \leq h \leq 0.25 \text{ m}$ $w \approx 3h$ $B \approx 8h$	El valor medio $\mu = 0.591$ que resulta de esta fórmula corresponde bastante al resultado de Thompson (1861) y que substituido en la Ec. (7.11a), conduce a la ecuación: $Q = 1.4 h^{3/2}$
Koch (1921) Yarnall (1926)	$\mu = 0.58$	Vale para $\theta = 90^\circ$ con cargas muy grandes. $w \approx 3h$ $B \approx 8h$	No se limita con precisión el rango de validez.
Heydrichs	$\mu = (0.5775 + 0.214 h^{-0.25}) \dots$ $\left\{ 1 + \left[ \frac{M}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	Vale para $\theta = 60^\circ$ y cargas normales.	Es bastante precisa.

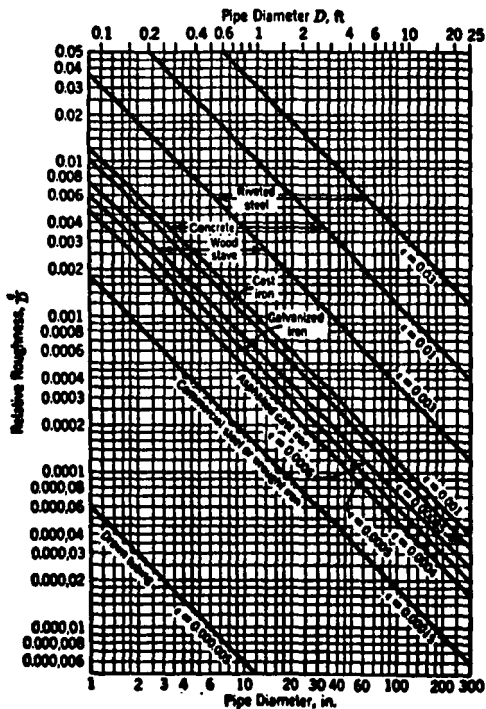
**TABLA No. 16**  
**FACTOR DE FRICCIÓN COMO UNA FUNCIÓN DEL NUMERO DE**  
**REYNOLDS CON LA RUGOSIDAD COMO UN PARAMETRO**



- Ver Índice de Tablas para referencias.



**TABLA No. 17**  
**DIAGRAMA DE RUGOSIDAD RELATIVA PARA**  
**DIFERENTES MATERIALES**



- Ver Indice de Tablas para referencias.