

14 881217
24

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO HIDRAULICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
A R E A M E C A N I C A
P R E S E N T A

JORGE VICENTE GUERRERO MORALES

MEXICO, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

C O N T E N I D O

	pág.
PROLOGO	
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO HIDRAULICO	
2.1 METODOLOGIA	6
2.2 CALCULOS INICIALES	14
2.2.1 CALCULO DE LA BOMBA	14
2.2.2 CALCULO DEL ROTAMETRO	15
2.3 CONSTRUCCION DEL BANCO HIDRAULICO	16
2.3.1 CALCULO DE LA RED HIDRAULICA	20
2.4 CALCULO DE LA ESTRUCTURA	29
2.4.1 SELECCION DE LAS RODAJAS	40
2.5 INSTRUMENTACION	42
2.6 CONSIDERACIONES	48
2.7 PRESUPUESTO DEL BANCO DE PRUEBAS HIDRAULICAS	51
CAPITULO III	
SELECCION Y GASTO A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL VERTEDOR	
3.1 DEFINICION	54
3.2 TERMINOLOGIA	55

	pág.
3.3 CLASIFICACION DE LOS VERTEDORES . . .	56
3.4 VERTEDEDOR TRIANGULAR !	58
3.5 CONSTRUCCION DEL VERTEDEDOR	61
3.6 CALCULOS	64

CAPITULO IV

APARATO DE IMPACTO DE CHORRO

4.1 ANTECEDENTES	74
4.2 CONSTRUCCION	75
4.3 DESCRIPCION	77
4.4 PROCEDIMIENTO	77
4.5 ESPECIFICACIONES	78
4.6 CALCULOS	79
4.7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	82

CAPITULO V

APARATO DE CENTRO DE PRESIONES

5.1 ANTECEDENTES	85
5.2 CONSTRUCCION	88
5.3 DESCRIPCION	89
5.4 PROCEDIMIENTO	90
5.5 ESPECIFICACIONES	92
5.6 CALCULOS	93
5.7 CONCLUSIONES	96

CAPITULO VI

APARATO DE FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO

6.1	ANTECEDENTES	99
6.2	CONSTRUCCION	101
6.3	DESCRIPCION	103
6.4	PROCEDIMIENTO	104
6.5	ESPECIFICACIONES	105
6.6	CALCULOS	106
6.7	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	110

CAPITULO VII

CONCLUSIONES	113
------------------------	-----

APENDICE

TABLAS	115
PRESUPUESTO DEL BANCO HIDRAULICO EN DETALLE	123
BIBLIOGRAFIA	127

P R O L O G O

En el momento en el que el nuevo estudiante pisa por primera vez la Universidad y camina hacia su facultad, en su mente lleva las imágenes de lo que él piensa encontrar, ya sea por haber visto en su juventud alguna información de una gran Universidad o por los sueños propios del nuevo estudiante.

Por tal motivo en el momento en que empieza a ampliar su conocimiento, espera encontrar todos los medios necesarios para entender mejor una teoría, un problema o por experiencia. Por esta sencilla razón la Universidad se ha preocupado por contar, en el caso de Ingeniería, - con buenos laboratorios para que el alumno complete su - educación formal en el aula, con la del laboratorio. Debo señalar muy particularmente que uno de los elementos con el cual estamos en contacto desde antes de nacer y - sin el cual no podríamos subsistir, es el agua.

Como ingenieros sabemos que el agua no es solamente ese líquido que brota cuando abrimos una llave, sino que se trata de algo más que eso. Se necesita de un estudio detallado y del uso de una cierta tecnología y conocimientos, para hacer posible que: llegue hasta nuestros hogares, un barco pueda desplazarse con un mínimo de resistencia,

sea manejado racionalmente, y así en lugar de constituir - un peligro se transforme en un beneficio para la sociedad, la agricultura, entre otras cosas.

Como un aporte a lograr una mejor comprensión de este fluido que nos acompaña durante toda nuestra existencia y como un instrumento de mucha importancia para ayudar al - maestro en su enseñanza. He decidido construir un "Banco de Pruebas Hidráulicas". Este aparato servirá para orientar, reforzar y ayudar al alumno a entender mejor por qué un cuerpo más pesado que el agua flota y se mantiene estable, qué fuerzas interactúan en un cuerpo sumergido, cómo varía la presión en una contracción, y qué logramos con - su entendimiento.

Un aparato como éste no existía en nuestro laborato- rio, de tal manera que viene a llenar un vacío. Ya que - se podrán llevar a cabo experimentos que permitirán al estudiante entender las bases teóricas impartidas en clase y ponerlas en práctica en circunstancias reales.

Si bien es cierto que en un momento dado podemos olvidar un poco lo aprendido en clase, más difícil es que se borre lo que se aprendió en una práctica, en donde el - alumno fue el que manejó los diferentes parámetros del experimento, fue él el que preparó el aparato, el que lo -

accionó y que en base a sus resultados prepara un informe.

Ciertamente lo que se va logrando es que los nuevos elementos que se van formando, y que el día de mañana representan en todo el mundo a esta institución, logren acrecentar su reconocimiento. Por lo tanto lo que obtendremos al final con todos estos esfuerzos compartidos, es lograr el engrandecimiento de la institución, de la patria y en los casos de gente extranjera estaremos contribuyendo a un mundo mejor.

El presente trabajo persigue por un lado poner en práctica las bases matemáticas aprendidas a lo largo de la carrera, al realizar por ejemplo el cálculo de la estructura y el cálculo de la red hidráulica. Por otro lado la permite al lector interesado, obtener información de los temas tratados, y al estudiante una guía para realizar sus prácticas.

Espero que este trabajo sea una ayuda para la gente interesada en obtener una mayor información sobre la materia, y también como un aporte más al Laboratorio de Fluidos.

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

Cuando alguien se pregunta cómo es que un barco se mantiene a flote, y se da una respuesta que en base a su estanqueidad, la ciencia no se conforma con esta respuesta ya que eso haría 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 caminado un poco más, ya que no sólo nos interesa que el barco flote, sino que sea estable, que esa embarcación cruce los mares con un mínimo de resistencia, que soporte mejor el embate de las tormentas, que a pesar de ser mucho más pesado que el agua tenga una gran flotabilidad. Que se demuestre con esto, que el hombre posee una inteligencia y que la ha sabido desarrollar.

Por otra parte, debemos citar que la comprensión de los principios de la mecánica de fluidos son una parte muy esencial para las diversas ramas de la Ingeniería Mecánica e Ingeniería Civil. Para que la enseñanza de los maestros tengan una profundización en el conocimiento que el alumno va adquiriendo, es necesario que desarrollen experimentos, ya sea en forma individual o bien de una manera grupal. Siendo esto último en ocasiones un poco molesto

cuando se trata de manejar volúmenes grandes en espacios reducidos, ya que con el tiempo se ha observado que lo - que parecía un gran espacio para laboratorio es ahora un espacio pequeño.

Dado que la población de estudiantes en Ingeniería no es muy grande y aunque de preferencia se trata de que las prácticas sean individuales, es decir, que sería muy útil disponer de varios aparatos de un mismo tipo, de tal manera que aunque se realicen las mismas prácticas se puedan cambiar los parámetros de una a otra. Obviamente en nuestro medio no es estrictamente necesario esto último, ya que la población estudiantil en Ingeniería todavía es manejable en cuanto a que asisten al laboratorio de termofluidos en pequeños grupos, con diferentes horarios. Pero hay que recalcar que en el momento en que aumente el número de estudiantes se hacen necesarias ciertas duplicidades de aparatos, de tal manera que permita el normal funcionamiento del mismo.

El Banco de Pruebas 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 por su versatilidad para realizar múltiples prácticas diferentes entre sí, pero a partir del mismo fluido: el agua. Además el gasto en este aparato se ve ampliamente redituado por la utilidad del -

mismo y por otro lado, el espacio que ocupa es reducido.

Recalcando lo anteriormente dicho entre la variedad de experimentos tenemos:

- Estabilidad de un cuerpo flotante. Este aparato autoestable sirve para demostrar un método para determinar la altura metacéntrica de un cuerpo flotante, permitiendo así una investigación completa de los pronósticos teóricos de estabilidad.
- Flujo a través de un orificio. Este aparato permite - efectuar un análisis completo del flujo, a través de un orificio, con varios valores de caudal.
- Medidor Venturi. Este aparato permite observar y medir la distribución completa de la carga de agua estática a lo largo de un tubo venturi horizontal. Al emplazarlo en el banco de pruebas, en el cual podemos obtener una indicación absoluta del caudal, nos permitirá determinar el coeficiente de este medidor
- Impacto del Chorro. Por medio de este instrumento medimos directamente la fuerza que ejerce contra unas placas el chorro de agua, lo que permitirá un mejor estudio sobre las leyes de los momentos que se emplean para resolver los problemas de impacto del chorro.
- Aparato Medidor del Flujo. Por medio de este aparato -

el alumno podrá familiarizarse con los métodos típicos de medir el flujo de un fluido incompresible y demostrar al mismo tiempo las aplicaciones de la Ecuación de Bernoulli (Ecuación de la Energía en Flujos Uniformes).

- Aparato de Medición de la Presión Hidrostática. Este equipo nos sirve para medir la fuerza que ejerce un fluido sobre la superficie de un cuerpo sumergido. También nos permite calcular el centro de gravedad.
- Aparato Osborne Reynolds. Por medio de este aparato se reproduce algunos de los clásicos experimentos realizados por este científico, concernientes a la naturaleza de un flujo laminar y flujo turbulento. Aunque la importancia del número de Reynolds ha sido demostrado analíticamente por ser una medida del radio de inercia de las fuerzas viscosas actuando en un fluido, es importante para que los estudiantes que empiezan a estudiar Mecánica de Fluidos puedan visualizar la diferencia entre un flujo laminar y uno turbulento, y saber que esta diferencia se refleja empíricamente en términos del número de Reynolds.

Luego de conocer un poco más del uso del "Tanque de Pruebas Hidráulicas", que también nos permite analizar el rendimiento de diferentes tipos de bombas, flujos en canales y vertederos, entre otros más. Aclarando que de cada

experimento se pueden derivar otros de igual importancia, debido a que el estudio de los fluidos es tan vasto, siendo el límite el afán de estudio y progreso.

Es así como queda satisfactoriamente comprobado que la realización de este proyecto tuvo una base bien fundamentada, y que viene a satisfacer una amplia demanda del Laboratorio de fluidos, así como satisface en gran medida 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 se hace 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.

Es preciso denotar de igual manera que si bien este aparato representa un valor muy grande en pesos, el ahorro que se obtiene al ser elaborado por gente y recursos que se disponen en la universidad, ya por sí sólo representa un ahorro. Además al haber mejorado el modelo, el cual dio origen a nuestro "Banco Hidráulico", y al no haber sido importado, ya nos da una idea más completa del ahorro que representa a la universidad.

C A P I T U L O 11

DISERD Y CONSTRUCCION DE UN BANCO HIDRAULICO

CAPITULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO HIDRAULICO

2.1 METODOLOGIA

En primera instancia hay que denotar que como primera circunstancia que se tuvo en cuenta para la realización de este proyecto, fue la ausencia del mismo en el laboratorio de termofluidos, y en segundo lugar que el aparato no debía ser muy grande en vista a la falta de disponibilidad de espacios grandes en el laboratorio.

De las anteriores características y tras un estudio de los diversos aparatos que ofrecen varias casas especializadas en el suministro de estos a los diversos laboratorios particulares, de centros de estudios, etc. Se resolvió el diseñar y construir un banco de pruebas hidráulicas, que sería de gran utilidad para nuestro laboratorio. Indudablemente en base a la vasta experiencia de estas casas, que elaboran aparatos de laboratorio, se tomaron en cuenta varios detalles que se conservaron en el modelo. - Por corresponder al mismo fin que se persigue en la presente tesis.

Una vez escogido el modelo se conservaron aspectos como: la capacidad del tanque, potencia de la bomba, etc.

Si bien el diseño y medidas del tanque difieren mucho del original por cuanto los ángulos de inclinación de las paredes no son los mismos, de igual manera el resto de medidas, se conserva 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 x 1 130 mm de largo x 730 mm de ancho. Y de acuerdo a las posibilidades de la gente que iba a realizar la construcción del tanque en fibra de vidrio, las medidas finales del tanque se fijaron en: 1 200 mm de largo x 500 mm de ancho x 900 mm de altura.

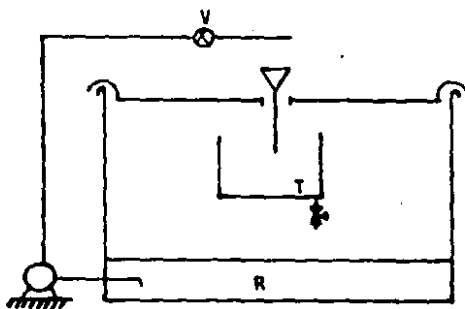
Además se debe considerar que tiene un escalón con medidas en su base de: 430 mm de largo x 480 mm de ancho, constituyendo la estructura para el canal abierto. Respecto al ancho del lecho y la medida de las paredes, para el canal abierto, aunque se tuvo en consideración las medidas mostradas en varios catálogos, que se solicitaron a varias casas que suministran estos aparatos, éstas 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 libre de turbulencias.

El Banco Hidráulico contará además con un vertedero, - mismo que nos servirá como equipo de contrastación 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 es útil para determinar el valor de pequeños flujos, rangos en el que el rotámetro no es tan preciso.

Dentro de la vasta gama de vertederos se va a optar por uno triangular con un ángulo de 90° . Ya que este tipo de vertedero se acopla mejor a las circunstancias de - funcionamiento del banco y permite el manejo de flujos - grandes.

Respecto a la variación con los otros modelos que - dieron origen al nuestro, conviene resaltar que los anteriores poseen un sistema de medición por medio de un tanque más pequeño dentro del banco, el cual está acoplado a un sistema de balanza. El sistema funciona así: al realizar una prueba (fig. 1) se hace depositar toda el agua en un tanque más pequeño (T) tomando el tiempo desde el - inicio hasta el fin de la prueba con un cronómetro. Una vez finalizada la prueba, se pesa la cantidad de agua que se encuentra en el tanque pequeño (T), posteriormente se traduce ese peso a volumen y nos indica el total de fluido que pasó por el sistema (llámese aparato, experimento,



ESQUEMA BANCO HIDRAULICO (MODELO PRIMARIO)

Fig. 1

etc.). De lo anterior se deduce que al adicionar un nuevo instrumento—el rotámetro—logramos que los experimentos se realicen de una manera más rápida y menos complicada, por cuanto una vez calibrado el sistema, el alumno - con sólo observar el flujo que circula por el rotámetro, tendrá una información más rápida y completa.

Además por medio de una válvula que regula el flujo, podemos lograr una precisión en el mismo, obteniendo así que las lecturas sean más precisas y enteras. La válvula escogida es una válvula del tipo de compuerta, debido a - que ésta provoca el mínimo de pérdidas en el sistema y - tiene un buen control sobre el flujo. Tratando de que - sea reforzada para que sus expectativas de vida sea prolongada.

El Banco Hidráulico consta también de una tapa, que debe ser lo suficientemente reforzada para evitar que por la carga que va a soportar, debida a los aparatos (llámense experimentos) que se van a montar sobre ella, ésta no se vaya a pandear, deformar o romper. Debe de tener lumbreras (ranuras) para evitar que el agua que en un momento dado se pueda depositar o regar sobre ella sea desalojada lo más rápido posible. Una razón más como consecuencia de lo anterior es que la tapa debe de tener un borde elevado, que no permita que el agua se desborde hacia el piso del sitio en donde se encuentre localizado el Banco Hidráulico. o vaya a mojar a los estudiantes, permitiéndose con ésto que ésta 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 están experimentando, de tal manera que por medio de una manguera retorne al depósito, y, el segundo para que se descargue al canal abierto cuando éste se vaya a utilizar.

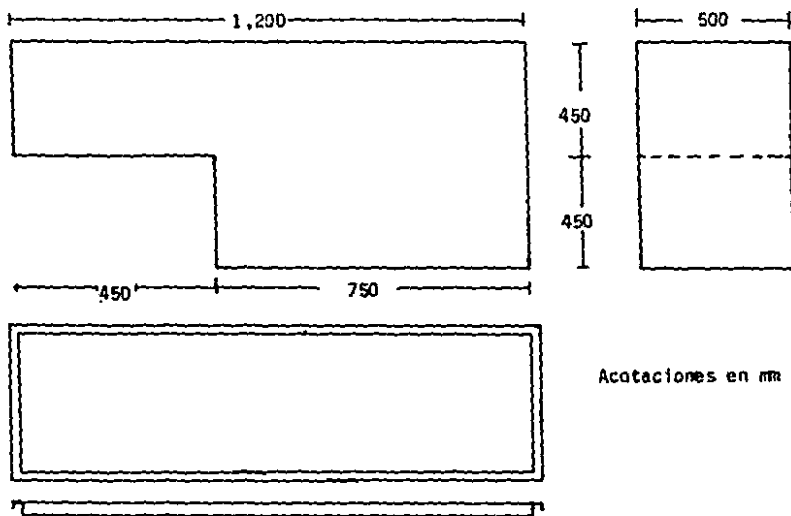
Todo este conjunto se va a montar sobre un bastidor que sea capaz de resistir con bastante holgura la carga máxima de todo el sistema, considerando que se encontrará el tanque totalmente lleno y con algún aparato depositado sobre su tapa, además considerando el peso del tanque con su respectiva tapa y todos los instrumentos. A su vez -

debido al espacio cambiante del laboratorio se hace necesario disponer de unas rodajas que cumplan satisfactoriamente su función de acuerdo a las necesidades o circunstancias que se puedan dar en el mismo.

Otro aparato muy importante 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.

Todos los aparatos con los cuales o en los cuales se van a realizar los experimentos serán construidos en la brevedad posible, quedando explicados, desarrollados y probados en esta tesis, tres de ellos. Resumiendo diremos que el Banco Hidráulico tendrá las siguientes medidas (fig. 2): 1 200 mm x 500 mm x 900 mm.

Fig. 2.- DIMENSIONES INICIALES DEL TANQUE Y LA TAPA



El canal abierto tendrá las siguientes dimensiones aproximadas (fig. 3)

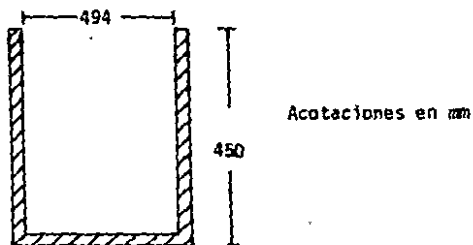
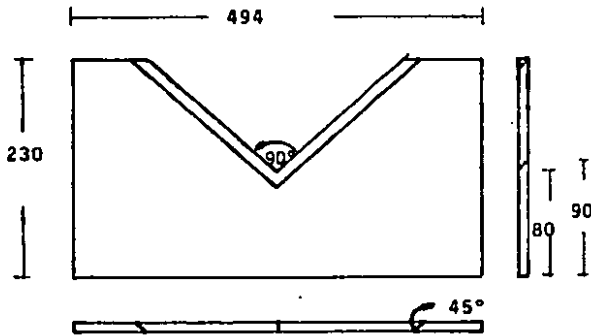


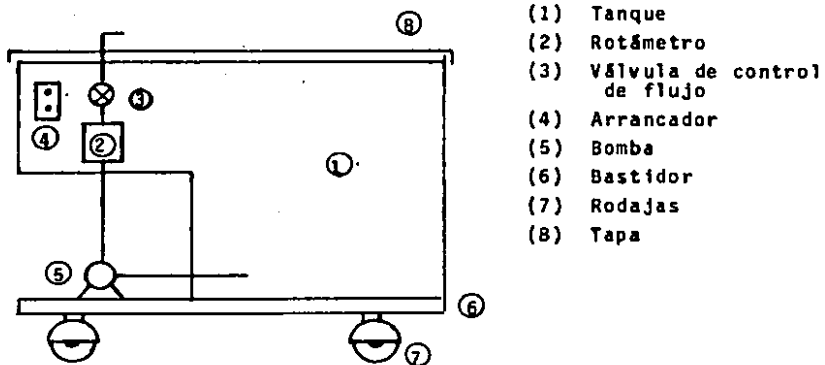
Fig. 3.- DIMENSIONES INICIALES DEL CANAL ABIERTO

Las dimensiones tentativas del vertedero triangular serán (fig. 4):

Fig. 4.- DIMENSIONES DEL VERTEDEDOR (DISEÑO)



La vista total del Banco Hidráulico quedaría en conjunto como lo representa la fig. 5.



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

Fig. 5.- ESQUEMA DEL NUEVO DISEÑO DE BANCO HIDRAULICO

2.2 Cálculos iniciales

Si bien todavía no se ha construido el Banco Hidráulico se hacen necesarias varias compras, dado que a medida que pasa el tiempo todas las partes van aumentando considerablemente de costo. Por lo tanto se hizo necesario realizar unos cálculos bastante generales tendientes a las compras que se iban a efectuar en Estados Unidos, por cuanto el suministro del rotámetro y una bomba que cumpla con los requisitos de funcionalidad y estética, no se conseguían aquí y de hacerlo su costo iba a ser muy elevado, razón por la cual se compraron en el país antes mencionado.

2.2.1 Cálculo de la bomba

Habiendo estudiado cada una de las especificaciones y gastos requeridos en cada prueba se tiene en primer lugar que el gasto máximo requerido es de: $Q_{\text{máx.}} = 60 \text{ lt/min.}$, - una carga máxima requerida de 15 metros. Entonces:

$$Q_{\text{máx.}} = 60 \text{ l/min}$$

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

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

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

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

$$HP = 0.3524 + 0.3$$

$$HP = 0.6526 \approx 0.75$$

$$HP = \approx 3/4$$

(1) Giles Ronald V. "Mec. de Fluid. e Hidráulica" 2a. edición Edit. Mc. Graw Hill Book Company Inc., U.S.A. 1979, pág. 226.

En el cálculo anterior dado que no se encuentra en el mercado una bomba de tales características y que los estudios recomiendan usar una bomba ligeramente superior, es - así como, la más cercana es de una potencia de 3/4 HP. In - dudablemente ésta nos queda muy bien, por cuanto una vez - instalada toda la red y todos los instrumentos, estos a su vez provocan pérdidas y caídas de presión, que serán com - pensadas con la potencia y la carga de una bomba de estas - características.

2.2.2 Cálculo del Rotámetro

En lo referente a este instrumento de medición de cau - dal, diremos que se deben considerar ciertos detalles como son: tener una escala que vaya de 0 a 60 l/min. Que ésta se encuentre graduada con intervalos entre marcación y mar - cación, lo bastante bien definidos, claros y no tan peque - ños; para que las lecturas que se vayan a tomar sean corre - ctas y exactas. Además de preferencia que no sea muy volumi - noso para que no ocupe mucho espacio.

Una vez obtenidas las condiciones y los resultados de estos dos instrumentos y en vista de que no se van a adqui - rir en México y no hay manera de devolverlos a posteriori - dad; constituyen así nuestra primera parte de este proyec - to y tesis.

2.3 CONSTRUCCION DEL BANCO HIDRAULICO

En las presentes circunstancias al enfrentar nuestros datos, medidas, etc., obtenidas teóricamente con los requerimientos o posibilidades y limitaciones de las diversas - personas que van a fabricar las partes que no dependen de nuestras posibilidades, y la versatilidad o cambios que se produzcan al modelo realizado para el Banco de Pruebas Hidráulico, darán como resultado la configuración final, que se obtendrá obviamente, lo más apegada a nuestros requerimientos.

2.3.1 Construcción del tanque

Al tomar la decisión de qué material usarse para la construcción del tanque, se podrían enumerar: metal, plástico, acrílico, fibra de vidrio, etc. Aunque se podría - utilizar cualquiera de estos materiales, vamos a hacer una pequeña reseña de el por qué se escogió la fibra de vidrio.

El metal, llámese éste acero, aluminio, etc.; aunque es muy resistente al desgaste, a la abrasión, al uso; no - es recomendable por otro lado, ya que es muy difícil trabajarlo, muy pesado y muy costoso. En cuanto a la madera, - aunque sea tratada, también tiene sus pros y sus contras, tendría que cubrirse de algún material para que no se dañe con el tiempo, ni absorba el agua y se hinche, o tal - vez se pudra en poco tiempo.

Referente al plástico salta muy costoso, ya que se necesita un molde y la máquina que lo haga no es posible encontrarla. Igualmente el acrílico, además de que cada plancha es muy costosa, aproximadamente de \$700,000.00 - con medidas de (3 x 2.14 m) y de que se hacía necesaria - por lo menos una plancha más la mano de obra y de todos - los elementos para conformar el tanque, hacen que resulte muy oneroso el gasto del tanque en este material.

Por otro lado estos dos últimos materiales son muy - frágiles y dado que el Tanque de Pruebas Hidráulicas, va a estar sujeto a un uso más o menos rudo se hizo necesario buscar un material más compatible a nuestros requerimientos y limitaciones.

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

Para el efecto la gente encargada de realizar el tanque en fibra de vidrio, previo sondeo y cotización del mismo producto en varias casas dedicadas al efecto, se construyó un modelo en madera con paredes de triplay, pero se hacía necesario que las paredes tuvieran una ligera pendiente para que no entorpeciera en la extracción y el material se pudiera adherir a las paredes sin escurrirse. Ahora bien las paredes al tener esa cierta inclinación hacia

adentro; hace que se reduzcan las medidas en la base a razón de 4 cm. por cada lado (sup. mayores) y 2cm por cada lado (sup. menores).



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

$$H_1^2 = 8116$$

$$H_1 = 90.0888$$

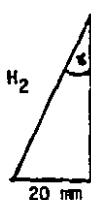
$$\text{Sen } \theta = \frac{4}{H_1}$$

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

$$\theta = \text{Sen.}^{-1} 0.0444$$

$$\theta = 2.5448$$

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



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

$$H_2^2 = 8104$$

$$H_2 = 90.0222$$

$$\text{Sen } \phi = \frac{2}{H_2}$$

$$\text{Sen } \phi = \text{Sen}^{-1} 0.0222$$

$$\phi = 1.21303$$

$$\phi = 1^\circ 11' 22''$$

De esta manera el ángulo de inclinación de las paredes es de $2^\circ 32' 41''$ para las mayores, y de $1^\circ 16' 22''$ para las menores. Las medidas del tanque en la base son de 690 mm de largo x 460 mm de ancho.

El material usado fue, resina poliéster ortotática - con un refuerzo del 25% de fibra de vidrio, con fibra de 2 onzas.

El espesor de la resina con la fibra es de 4 mm de todas las partes: tapa, paredes, etc., excepto en el fondo del tanque, en donde existe una doble capa además de un refuerzo consistente en madera triplay de 10 mm de espesor. Asimismo, se reforzaron 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. (cuadro 1)

CUADRO 1
CARACTERISTICAS DEL TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO

Densidad de la resina	$d_r = 1.45 \text{ Kg/cm}^3$
Resistencia al combado	$= 1.260 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia a la tensión	$= 840 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia a la flexión	$= 1.750 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia a la compresión	$= 1.260 \text{ Kg/cm}^2$
Resistencia al alargamiento (%)	$= 1$
Dureza Rockwell	$D_r = 45$
Temp. de distorsión al calor continuo	$T_d = 60^\circ\text{C}$
Resistencia al ataque de ácidos	regular
Resistencia al ataque de álcalis	regular
Resistencia al ataque de disolventes	regular

2.3.1 Cálculo de la red hidráulica

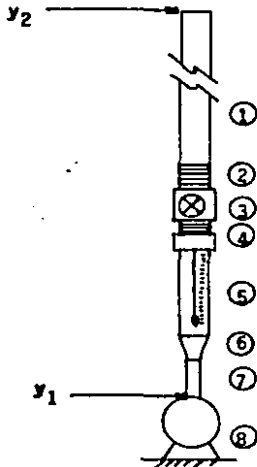
Inicialmente se hicieron unos cálculos someros para la obtención de la potencia de la bomba, así como también se trató de compensar con la compra de una bomba un poco más potente, de tal manera que ya en el proyecto funcionara eficientemente.

Fue necesario este ardid por cuanto hoy en día los aparatos suben de precio constantemente y este "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas Hidráulicas" lleva ya desde su inicio un tiempo aproximado de dos años, por lo tanto en estos momentos es cuando se hace necesario realizar un estudio de la red hidráulica; si bien es cierto que no es muy grande ni muy compleja.

En primer lugar debemos de considerar que existen los siguientes accesorios e instrumentos que tienen cierta importancia y que causan por lo tanto pérdidas en el sistema:

	ENTRADA	SALIDA	LONG .
1 Rotámetro	1"	1"	
1 Válvula de compuerta	1/2"	1/2"	
2 Conectores	1"	1"	
1 Reducción Bushing	1"	1/2"	
1 Niple	1/2"	1/2"	3"
1 Tramo manguera hule	1"	1"	
1 Tramo manguera plástica	3/4"	3/4"	2 m
1 Niple	1/2"	1/2"	1"
1 Bomba	1 1/4"	1"	

CALCULO RED HIDRAULICA



- | | | |
|----------------------------|---------------|-----------------|
| (1) Tuberfa plástica | $\phi = 3/4$ | $L = 2$ m |
| (2) Niple fierro comercial | $\phi = 1/2"$ | $L = 25$ cm |
| (3) Válvula compuerta | $\phi = 1/2"$ | |
| (4) Reducción Bushing | $\phi_1 = 1"$ | $\phi_2 = 1/2"$ |
| (5) Rotámetro | $\phi = 1"$ | |
| (6) Válvula campana | $\phi = 1"$ | |
| (7) Tuberfa hule | $\phi = 1"$ | $L = 30$ 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

Gasto máximo requerido: $Q_{\text{máx.}} = 60$ l/min.

En primer lugar se va a calcular las pérdidas causadas por los accesorios para ver cual es nuestra carga máxima - real requerida:

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

$$V_1 = \frac{Q}{A} \quad \phi = 1"$$

$$V_1 = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \left(\frac{2.54}{2} \times \frac{1}{100} \right)^2} \text{ m}^2$$

$$V_1 = 1.9735 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_2 = \frac{0.001 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\pi \left(\frac{1.905}{2} \times \frac{1}{100} \right)^2}}{\text{m}^2} \quad \phi = 3/4''$$

$$V_2 = 3.5084 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_3 = \frac{0.001 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\pi \left(\frac{1.27}{2} \times \frac{1}{100} \right)^2}}{\text{m}^2} \quad \phi = 1/2''$$

$$V_3 = 7.8441 \text{ m/s}$$

$$\text{Re}_y = \frac{V D}{\nu}$$

En donde, la $\nu_{\text{H}_2\text{O}}$ a $20^\circ\text{C} = 1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (2)

$$\text{Re}_y_1 = \frac{1.9735 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \left(\frac{2.54}{100} \right) \text{m}}{1.003 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$\text{Re}_y_1 = 4.9976 \times 10^4$$

$$\text{Re}_y_2 = \frac{3.5084 \text{ m/s} \times \left(\frac{1.905}{100} \right) \text{m}}{1.003 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$\text{Re}_y_2 = 6.6635 \times 10^4$$

$$\text{Re}_y_3 = \frac{7.8441 \text{ m/s} \times \left(\frac{1.27}{100} \right) \text{m}}{1.003 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$\text{Re}_y_3 = 9.9322 \times 10^4$$

Para los accesorios de $\phi = 1" = 2.54 \text{ cm}$

- Tuberfa de hule:

$$\text{Rey} = 4.99 \times 10^4$$

$$\epsilon = 0.00015$$

$$f = 0.021$$

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

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

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Análisis dimensional

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

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

- Válvula campana

$$\text{Rey} = 4.99 \times 10^4$$

$$k = 0.05$$

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Análisis dimensional

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

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

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

(4) H. W. King..... pág. 171

- Rotámetro

$$\text{Rey} = 4.9976 \times 10^4$$

Máx. presure drop in W.C. = 32

$$= 292.1 \text{ cm}$$

NOTA: Esta información 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:

$$\frac{D_1}{D_2} = 2$$

$$K = 2$$

$$hm = K \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

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

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

Para los accesorios de $\phi = 3/4" = 1.905 \text{ cm}$

- Tubería plástica

$$V_2 = 3.5084 \text{ m/s}$$

$$\text{Rey}_2 = 6.66 \times 10^4$$

$$f = 0.0195$$

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

$$h_L = 0.0195 \frac{1.905}{100} \frac{(3.5084)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_L = 0.366 \text{ m}$$

Para los accesorios de $\phi = 1/2" = 1.27 \text{ cm}$

- VALVULA DE COMPUERTA

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

Es obvio que la pérdida mayor va a ser con la válvula medio cerrada por lo que para el cálculo de tablas se va a considerar esta posición.

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

De los dos valores se tomará el mayor, para así darnos

una holgura en los cálculos finales.

$$V_3 = 7.8441 \text{ m/s}$$

$$\text{Rey}_3 = 9.9322 \times 10^4$$

$$K = 0.32$$

$$h_{m_1} = 11 \text{ ft}$$

$$h_{m_1} = 3.35 \text{ m}$$

$$h_{m_2} = K \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

$$h_{m_2} = 0.32 \frac{(7.8441)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_m = 1.0035 \text{ m}$$

De los dos valores, opto por el primero, ya que éste va a lograr darme una carga para la bomba, mayor que el segundo. Y en un momento dado eso va a influir en la potencia requerida de la bomba.

Por otro lado, al tomar el valor más grande me da la seguridad de que mis cálculos van a estar holgados, de tal suerte que tendré un margen de seguridad bastante amplio en todo el sistema.

Una vez que he obtenido todas las pérdidas ocasionadas por los accesorios, voy a tener la carga máxima requerida que será: la suma de pérdidas por longitud de tubería (h_L), más las pérdidas por obstrucciones (h_m) y más la carga requerida.

$$H_T = \frac{P_2^2}{8} + \frac{V_2^2}{2g} + Y_2 + h_L + h_m - \frac{P_1^2}{8} - \frac{V_1^2}{2g} - Y_1 \quad (5)$$

$$H_T = Y_2 + h_L + h_m$$

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

$$H_T = 12\text{m} + 0.049 + 0.0099\text{m} + 2.92 \text{ m} + 0.397\text{m} + 0.366\text{m} + 3.35\text{m}$$

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

$$HP = \frac{Q/\gamma_v \cdot H_T/\gamma_h}{F \gamma_m} \quad (6) \quad \gamma_{H_2O} = 1000 \text{ N/m}^3$$

$$\gamma_v = 1$$

$$\gamma_h = 1$$

$$\gamma_m = 0.56$$

(5) King H.W. "Manual de Hidráulica"
1a. Edición en español. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México 1962, pág. 163.

(6) Idem.

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

$$\text{HP} = 0.4483$$

Análisis dimensional

$$\text{HP} = \frac{\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \text{m} \times \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{76.04} = \frac{\text{N}}{\text{s}}$$

Lo cual nos indica que la expresión es correcta ya que las unidades que obtenemos son de potencia.

Ahora bien aunque con una bomba de 0.5 HP estaríamos bien, hay que denotar que hay aparatos que provocan grandes pérdidas ya que tienen muchas reducciones, placas, rotámetros, etc. Por lo que una vez más para estar completamente seguros damos un margen de seguridad. Con lo que finalmente llegamos a una bomba de 3/4 HP, de 1 1/4" de diámetro a la succión y 1 " de diámetro a la descarga; con una carga dinámica de 22 m y un gasto máximo de 5,500 l/h.

2.4 CALCULO DE LA ESTRUCTURA

Debido a que la estructura va a soportar una carga, se hace necesario escoger el material más idóneo para su construcción. Así como posteriormente ésto influirá en la selección de las rodajas.

Disponemos en el mercado infinidad de perfiles estructurales, ya sea rectangulares, en ángulo, en I, cuadrados, etc. Se optó por el perfil cuadrado, por cuanto su resistencia al pandeo, durabilidad y estética, hacen que éste sea el que más se acomoda a nuestras necesidades. Dado que los otros perfiles no reunían todos estos requisitos, el perfil en I es muy caro y las uniones no iban a ser perfectas. El perfil en ángulo en cambio ofrece una fea apariencia y no es tan resistente. En tanto que el canal al ser apoyado, se crean momentos flexionantes sobre sus caras libres, y esto puede provocar que su durabilidad se vea reducida.

Por lo tanto en vista de que un proyecto se lo diseña para que este ofrezca el mejor servicio y con un tiempo de vida lo más prolongado posible, hizo que se tomara como material para la fabricación de la estructura el perfil cuadrado.

CONSIDERACIONES

Para que el cálculo sea lo más apegado a la realidad y nos dé como resultado un valor muy por encima de las necesidades, lo que nos permitirá un porcentaje de holgura. Todas las consideraciones se harán en una base extrema, tomando como pauta que el banco hidráulico se encuentre completamente lleno y considerando un peso extra debido a que un aparato de experimentación se encuentre montado sobre el mismo. Por lo tanto tendremos:

$$W_T = W_{\text{Tanque}} + W_{\text{agua}} + W_{\text{aparato}} + W_{\text{Bomba}} + W_{\text{accesorios}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Tanque}} &= (1.2 \times 0.5 \times 0.5) + (0.5 \times 0.5 \times 0.7) \\ &= 0.3 + 0.175 \\ &= 0.475 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho V$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.475 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 475 \text{ Kg}$$

$$W_T = 40 \text{ Kg} + 475 \text{ Kg} + 20 \text{ Kg} + 25 \text{ Kg} + 3 \text{ Kg}$$

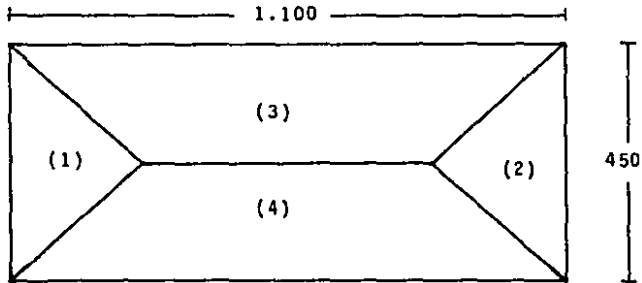
$$W_T = 563 \text{ Kg} \quad \sim \quad W_T = 600 \text{ Kg}$$

Se cerró a 600 Kg para que los cálculos estén sobrados. La siguiente consideración para los cálculos es la de considerar que se trata de una carga uniformemente repartida. -

Debido a que el tanque va a estar sujeto firmemente al bastidor, teniendo en cuenta que en toda la base del tanque se encuentra un refuerzo de madera de 1 cm. de espesor, lo que permite que la carga se reparta en toda la superficie.

Una vez señaladas estas consideraciones, debo señalar que tras consultar el "Manual del constructor" tanto de AHM SA y de Aceros Monterrey; y de realizar un sondeo a los diversos fabricantes me topé con la dificultad de que no existía ninguna información técnica del perfil cuadrado de acero comercial de 1 1/2" x 1 1/2". Existiendo únicamente información para perfiles de estas características, con sección de 6" x 6" en adelante.

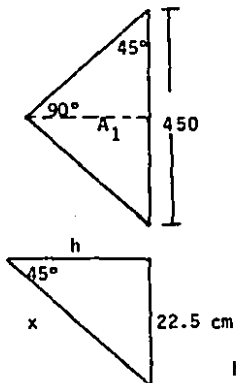
Razón por la cual me trasladé al Laboratorio de Mecánica de Suelos para obtener asesoría y ayuda. En primer lugar realicé un cálculo por áreas tributarias para saber cuál es la carga correspondiente al elemento más largo de la estructura, ya que es éste el que va a soportar la mayor carga tributaria y el que posee el claro más grande pudiendo - en un momento dado ser el que se pandee o se fleche.



acotaciones en mm

Fig. 6.- SECCIONAMIENTO DEL BASTIDOR (CALCULO POR AREAS TRIBUTARIAS)

Para el cálculo de áreas tributarias, se trazan líneas a 45° desde cada uno de los vértices del bastidor. Obteniéndose cuatro áreas. Y a su vez el área (1) y (2) son simétricas entre sí, al igual que (3) y (4).



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

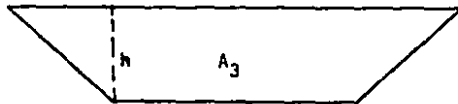
$$x = 0.3181 \text{ m}$$

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

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

$$\therefore A_1 = \frac{x^2}{2}$$

$$A_1 = 0.050625 \text{ m}^2 = A_2$$



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

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

$$A_T = 1.1 \times 0.45$$

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

Ahora obtenemos el porcentaje de superficie que tiene cada área y eso lo multiplicamos por la carga total. Dándonos el porcentaje de carga que le corresponde.

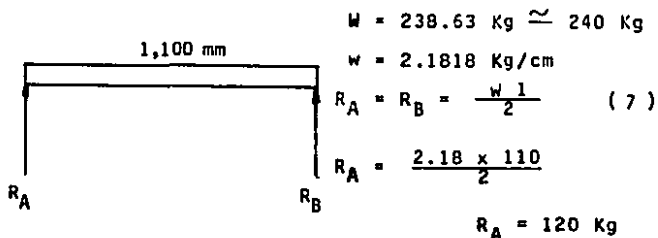
$$A_1 = A_2 = 10.227 \%$$

$$A_3 = A_4 = 39.7727 \%$$

$$W_{A_1} = 61.3626 \text{ Kg}$$

$$W_{A_3} = 238.63 \text{ Kg}$$

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



$$M \text{ máx (en el centro)} = \frac{w l^2}{8}$$

$$M \text{ máx} = 3299.97 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

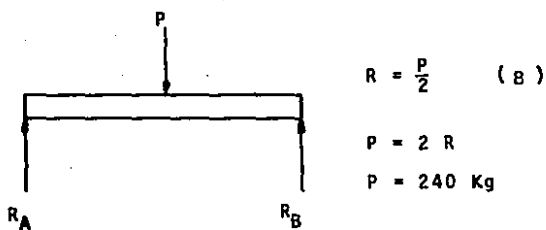
Hay que recalcar un dato muy importante, para vigas - con carga uniformemente distribuida el cortante máximo es igual a la reacción que tenemos en los apoyos.

$$R_A = R_B = V_{\text{máx}} = 120 \text{ Kg}$$

Esto a su vez influirá en el criterio a tomar después de someter este elemento a una carga concentrada en el centro.

Una vez obtenidas las reacciones, se hace necesario - tomar condiciones aún más extremas. Y para obtener ésto, - considero una viga con carga puntual en el centro, de tal - manera que lo siguiente es obtener la carga puntual concentrada en el centro de la viga, que nos dé como resultado las mismas reacciones en los apoyos.

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



Con este dato, se realizó una prueba de resistencia del material a una carga concentrada en el centro.

Tomándose un tramo de perfil de 1.10 metros, apoyado en sus extremos, se montó libremente sobre dos apoyos.

Fig. (7)

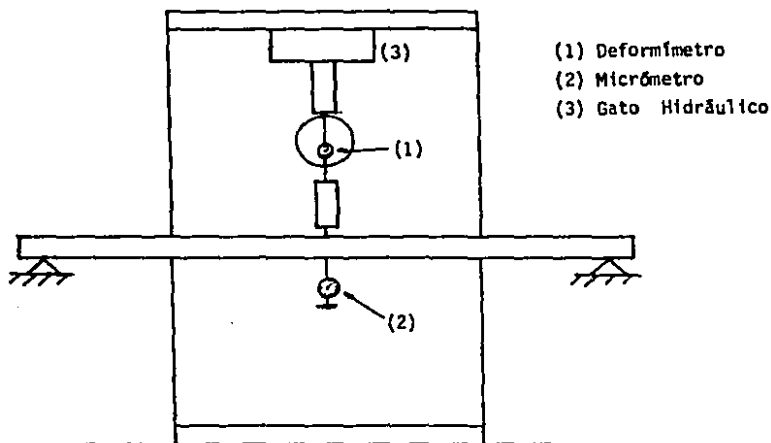


Fig. 7 .- ESQUEMA DEL APARATO DE COMPRESION SIMPLE

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 nos permite observar la carga que se está ejerciendo sobre la viga. Cada unidad de la escala nos representa 7.81 Kg.

El micrómetro nos va a dar la deformación que va sufriendo el material, se encuentra marcado de tal forma que cada unidad de la carátula nos representa 0.01 mm.

Los resultados obtenidos de la prueba se observan en la Tabla 1.

T A B L A No. 1

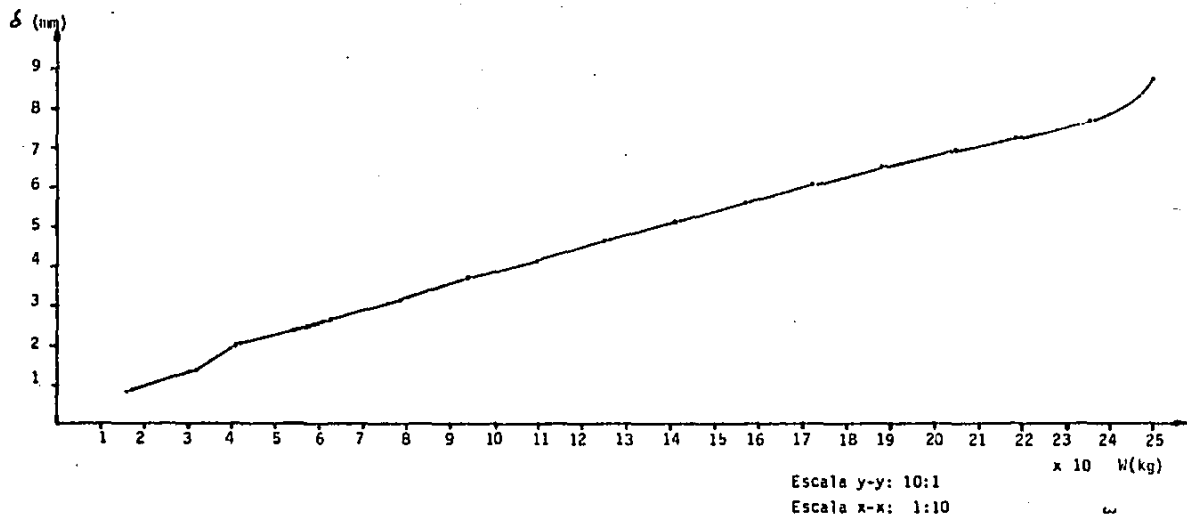
RESULTADOS DE LA PRUEBA

CARGA CONCENTRADA EN EL CENTRO DE UNA VIGA LIBREMENTE APOYADA
ACERO COMERCIAL

MARCA DE LA SECCION: 1 1/2" A-25

DEFORMIMETRO	W (Kg)	δ (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	78.1	3.12
12	93.72	3.7
14	109.34	4.15
16	124.96	4.68
18	140.58	5.14
20	156.2	5.64
22	171.82	6.1
24	187.44	6.525
26	203.06	6.97
28	218.68	7.278
30	234.3	7.775
32	249.92	8.81

GRAFICA No. 1 RESULTADOS CARGA-DEFORMACION DEL PERFIL CUADRADO



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

Si analizamos que la carga correspondiente por unidad de longitud que le corresponde a esta sección central - sujeta a carga uniformemente distribuida es de tan sólo 2.18 Kg. Y considerando que el cortante máximo generado en el centro con esta carga es de 120 Kg., esto nos indica que las condiciones de carga a la que se sometió el elemento fueron completamente extremas.

Además hay una consideración más que hacer, la carga - está en realidad sujeta en tres vigas, por lo que en realidad la carga que soportaría el elemento en condiciones normales sería aún menor.

Si sumamos a lo anterior que la carga normal que va a soportar el bastidor es de 256.75Kg., siendo ésta cantidad menor al 50% de la total. Concluyo que la estructura soportará sin el menor problema y por mucho tiempo la carga a la que va a estar sujeta.

2.4.1 Selección de las rodajas

Es obvio que debido a la falta de disponibilidad tanto de espacio, desagües, tomacorrientes y estantería que nos permitan en un momento dado que un aparato, sin importar su ubicación, pueda contar con todos estos servicios sin necesidad de su movilización. Ya que eso implicaría un gasto enorme, se hace más fácil que éste tenga unas rodajas que permitan moverlo al lugar más propicio donde pueda contar con todo lo anteriormente señalado.

Esta fue la razón principal para dotar al Banco Hidráulico de un conjunto rodante.

Con base a la carga máxima de todo el conjunto y con la premisa de que los materiales sean los más durables, se procedió al análisis de 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 que no sea muy voluminoso y cumpla con los requisitos de diseño.

Llegando finalmente a la compra de las siguientes rodajas .

MARCA	JOYMA
TIPO	GIRATORIAS
MATERIAL	LAMINA RGL DE 140 mm
PESO	1.6 Kg
DIAMETRO RUEDA	4 pulg.
CAPACIDAD DE CARGA (máx.)	250 Kg.
CUBIERTA DE LA RUEDA	POLIURETANO (ALTA RESISTENCIA)

Si bien es cierto que 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.

2.5 INSTRUMENTACION

El Banco Hidráulico consta principalmente de dos aparatos de medición: un rotámetro y una regleta con dos escalas. Además contamos con un arrancador Klöbner-Müller, - resistente al agua y al aceite, cuenta a su vez con un pulsador de dos posiciones encendido-apagado y una luz piloto (roja) para indicar la posición de encendido.

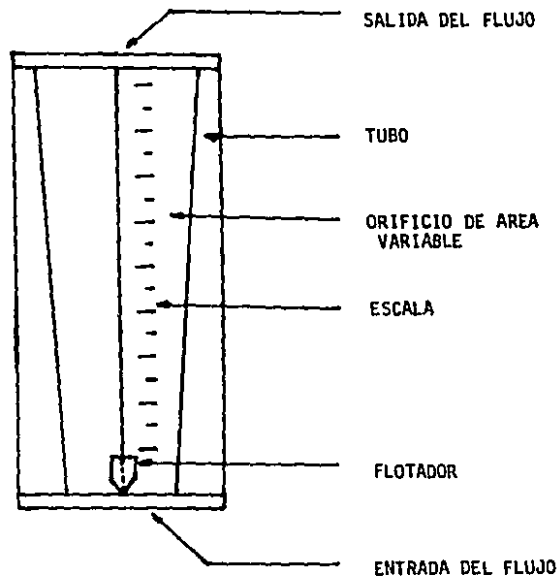


Fig. 8.- ESQUEMA DEL ROTAMETRO

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, hay un orificio variable 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 líquido. Siendo leído el flujo que pasa por esta área en el flotador u obstrucción.

El rotámetro usual consta de: un flotador hecho generalmente de metal y por lo tanto más denso que el fluido, situado 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 originalmente los flotadores tenían ranuras que le 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 en un rotámetro se varía sólo su flotador, se hace necesario un factor de corrección para determinar en cuánto progresó 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 $0.5 \text{ cm}^3/\text{min}$ hasta 300 gpm, de acuerdo a los requerimientos del usuario.
- Necesita poco mantenimiento.
- Se limpian solos, con el movimiento del fluido.
- Se deben instalar siempre en posición vertical.
- La lectura se toma en la parte superior del flotador.

Los materiales usados en la construcción de los flotadores son:

TABLA No. 2 MATERIALES DE LOS FLOTADORES

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

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

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

En el rotámetro muy particular que me concierne, está hecho en plástico resistente con una escala graduada de 6 a 30 gal/min. El flotador es de Hastelloy y tanto la entrada como la salida son de 1" de diámetro.

La precisión del rotámetro es de $\pm 2\%$ y resistente a temperaturas de hasta $150^{\circ} F$ ($\approx 65^{\circ} C$).

REGLETA

La regleta que funciona en el canal abierto, está diseñada para vertederos triangulares con 90° entre las caras (Fig. 12 Bis). Una de las caras lleva las marcaciones en centímetros (h) y del lado opuesto se lee el gasto en m^3/min , - en la otra cara está marcado de tal forma que se lee la carga en pulgadas y el gasto en $pies^3/min$.

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. Y por ser de aluminio es resistente a la corrosión.

Está calibrada para leer directamente el gasto que - pasa por el vertedor para una carga dada. (Ver tabla comparativa entre $Q_{rotámetro}$, Q_{canal} y $Q_{regleta}$).

2.6 CONSIDERACIONES

Este nuevo modelo de Banco Hidráulico tiene en su haber varios logros. El primero es indudablemente el de haber sido construido casi totalmente con recursos de la Universidad, con la consecuente reducción de costos.

Siendo el más importante el de haber logrado un modelo que 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 obtendremos 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, hacían que las lecturas no fuesen del todo confiables y precisas.

Es trabajo del ingeniero lograr que las cosas sean más simplificadas y precisas, esa ha sido la temática que me ha llevado al diseño y construcción del Banco de Pruebas Hidráulicas, con estas nuevas características.

También se debe considerar que los materiales usados han sido escogidos cuidadosamente para que su tiempo útil de vida sea el más prolongado. No se escatimó en la adquisición de los mismos por otros que podían costar menos pero de igual manera durar poco.

Finalmente se ha logrado avanzar un paso en cuanto a mantenimiento se refiere, ya que el acceso a la bomba y a todas las partes son muy fáciles. El agua ha recibido 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 mantenimiento, consistiendo éste únicamente en limpieza, ya que por su acabado permite incluso el encerado del mismo.

El cable usado es del tipo rudo para que el uso no lo dañe, la estructura está debidamente sellada y pintada para evitar corrosión.

El arrancador es de uso industrial resistente al agua y el aceite, de tal manera que se evitan los accidentes por choques eléctricos o a su vez un problema en el aparato.

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

En última instancia debo insistir en que el Banco Hidráulico es por sí mismo únicamente un sistema de apoyo, el cual 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.

2.7 PRESUPUESTO DEL BANCO DE PRUEBAS HIDRAULICAS

El costo total de este proyecto sin contar los costos de construcción de los diferentes aparatos fue de - \$1'419,902.00. Algunos costos están tomados al valor en pesos que le corresponden, de su valor en dólares por - cuando no se compraron en México, sin tomar tampoco en consideración su verdadero costo en el país.

El verdadero valor no se lo puede obtener por cuanto unas partes se compraron en 1985 y las restantes en 1987, fecha de finalización del proyecto. Por lo que el valor - anterior es una aproximación, ya que los precios varían - con mucha facilidad.

Igualmente falta considerar el valor del tiempo que me tomó completar el presente proyecto.

Para mayor información consúltese el Apéndice.

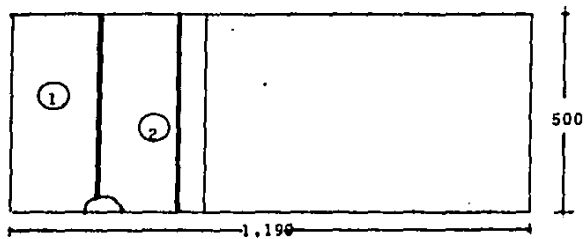
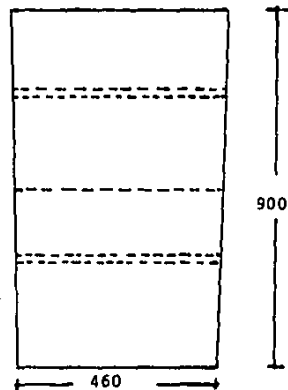
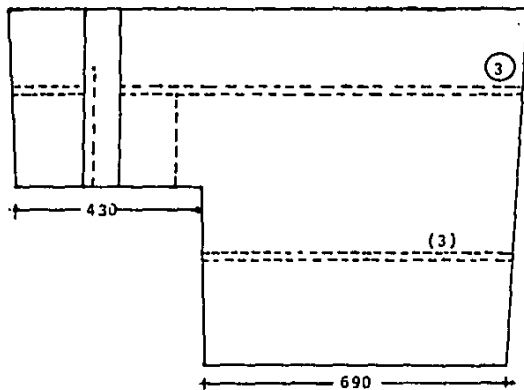
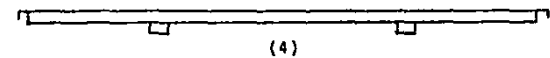


Fig. 9.- MEDIDAS FINALES DEL TANQUE.

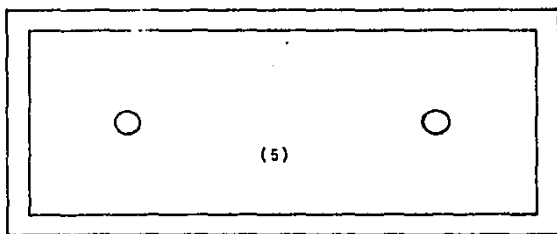
- (1) Tranquilizador
- (2) Vertedor
- (3) Refuerzos de Madera

acotaciones en mm
Escala 1:10





(4)



1,275

Escala 1:10

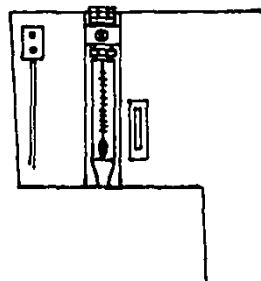
Fig. 9 Bis.- MEDIDAS FINALES DE LA TAPA Y DETALLE DE LOS ACCESORIOS.

(4) Refuerzos de Madera

(5) Orificios de descarga

Acotaciones en mm

575



. C A P I T U L O 111

**SELECCION Y GASTO A DIFERENTES
PROFUNDIDADES DEL VERTEADOR**

CAPITULO III
SELECCION Y GASTO A DIFERENTES PROFUNDIDADES
DEL VERTEADOR

3.1 DEFINICION

En el campo de la ingeniería hidráulica, los vertedores son las estructuras más comúnmente empleadas para medir el gasto en canales abiertos.

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

Los vertedores pueden ser definidos como simples aberturas, sobre las cuales un líquido fluye. Hidráulicamente 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 vertedor es un orificio sin el borde superior.

Los vertedores 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 cual su estudio es de gran importancia.

3.2 TERMINOLOGIA:

La vena líquida que fluye a través del vertedor, se llama capa o lámina. El borde horizontal o arista se llama cresta o umbral. Fig.

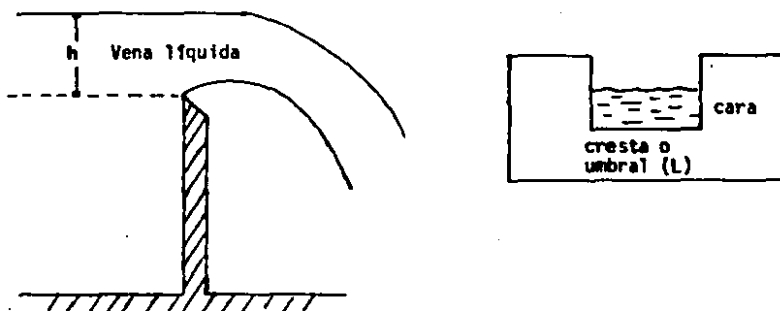


Fig. 10.- CARGA DE AGUA EN UN VERTEDOR.

En la vecindad del vertedor la superficie libre se abate; por este motivo, la carga h se define como la diferencia de elevación entre la superficie libre aguas arriba, 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 vertedor, la carga h debe ser medida aguas arriba, a una distancia igual o superior a $5 h$.

3.3 CLASIFICACION DE LOS VERTEDORES

Aceptando las más variadas formas y disposiciones, los vertedores presentan los más diversos comportamientos, siendo muchos los factores que pueden servir de base para su clasificación.

1.- Forma:

- a) Simples: rectangulares, trapezoidales, triangulares, semicirculares, etc.
- b) Compuestos: secciones combinadas.

2.- Altura relativa del umbral:

- a) Vertedores: completos o libres
- b) Vertedores: incompletos o ahogados

3.- Espesor de la pared:

- a) Vertedores de pared delgada: placas o madera biselada
- b) Vertedores de pared gruesa: ($e=0.66 h$)

4.- Longitud de cresta:

- a) Vertedores sin contracciones laterales
- b) Vertedores con contracciones

5.- Posición de la pared:

- a) de pared vertical
- b) de pared inclinada

- 6.- Posición del vertedor en relación a la corriente:
 - a) Normales
 - b) Laterales

- 7.- Perfil del fondo:
 - a) A nivel
 - b) Ondulado

- 8.- Normalizaciones:
 - a) Patrones (o estándar)
 - b) Particulares

- 9.- Forma de lámina vertiente:
 - a) De lámina libre
 - b) De lámina alterada

- 10.- Perfil de la cresta:
 - a) Redondeados
 - b) De cresta viva

3.4 VERTEDEDOR TRIANGULAR

Por razones obvias vamos a explicar detalladamente el vertededor triangular, ya que es el vertededor que va a quedar implementado en el banco hidráulico.

De acuerdo a la clasificación diremos que:

Es un vertededor simple, de pared delgada, sin contracciones laterales, de pared vertical, de posición normal, estándar y de cresta viva.

Es un vertededor simple, ya que su forma es simple, triangular. Con un ángulo entre las caras $\theta=90^\circ$. Con un borde (cuchilla) de 45° . Igualmente podemos decir que es 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 vertededor.

Aunque el canal no tiene contracciones, hidráulicamente hablando el vertededor es la contracción y por lo tanto influirá en los cálculos. Para este caso en particular, debido a que la placa de acrílico se encuentra en completa oposición al movimiento del agua y forma un ángulo de 90° con el piso del canal abierto, es que lo denominamos un vertededor de posición normal y pared vertical.

Y por lo tanto, por estar comprendido entre los vertedores más comunmente usados, y para los cuales ya existen

Las pruebas y ecuaciones que explican satisfactoriamente el comportamiento del agua en el vertedor, da a entender el nombre de vertedor estándar.

Los vertedores triangulares simétricos respecto del eje vertical, son los más precisos para medir pequeños gastos, esto se convierte en una ayuda ya que puede suceder que el rotámetro no se comporte adecuadamente para pequeños gastos, fluyendo a través de él.

Además este tipo de vertedores son más precisos que los rectangulares 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.

Un vertedor que tiene lámina libre es aquel, que al observar los filetes inferiores que tocan la cresta del vertedor, se elevan ligeramente y caen sin tocar la placa del vertedor, esta condición es muy importante ya que de otra manera varían las condiciones de gasto. (Fig. 11)

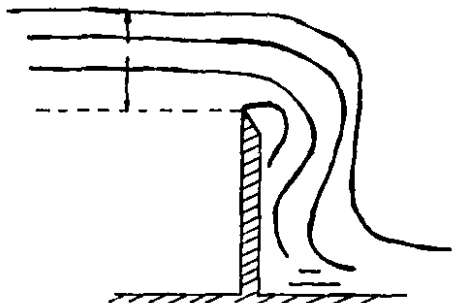


Fig. 11.- ESQUEMA DE LA LAMINA VERTIENTE DE UN VERTEDOR.

Indudablemente al escoger el vertedor triangular, como primera opción para el banco hidráulico, se hizo con las bases de que éste nos 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 lt/s y con una carga superior a 6 cm. y hasta de 60 cm. e incluso sigue siendo preciso para gastos comprendidos entre 40 y 300 lt/s.

Quedando así completamente satisfechos nuestros requisitos de fabricación. Este tipo de placas normalmente se las fabrica en metal, pero debido a lo costoso de su fabricación y ante la imposibilidad de hacerlo en los talleres de la universidad, se lo realizó en acrílico, que cumple enteramente con los requisitos y su maquinado lo pude realizar en nuestro taller.

3.5 CONSTRUCCION DEL VERTEDOR

A partir de un tramo de acrílico de un centímetro de espesor, que es a su vez el ancho de la ranura en el banco hidráulico y en donde se van a alojar, los diferentes vertedores intercambiables.

Se dibujó el perfil del vertedor con un ángulo entre paredes de 90° y luego con una caladora se cortaron las partes que no eran útiles. Una vez que se tuvo cortada la cresta, se trazó su cuchilla a un ángulo de 45° para ser ajustada lo más preciso posible con una lima, finalmente se pulió con diferentes tipos de lija de agua hasta obtenerse una pared lo más lisa y libre de asperezas que pudieran ocasionar la obtención de datos imprecisos y que a su vez nos conduciría a una falla en los cálculos.

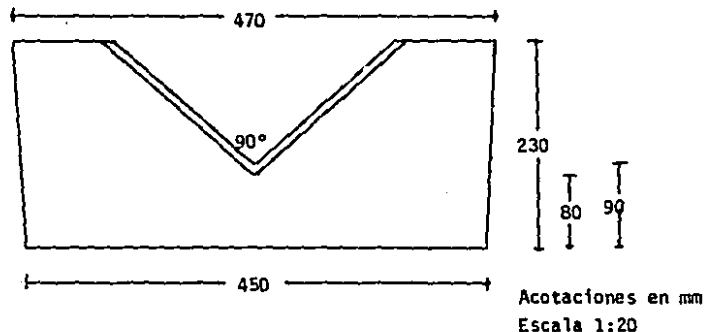


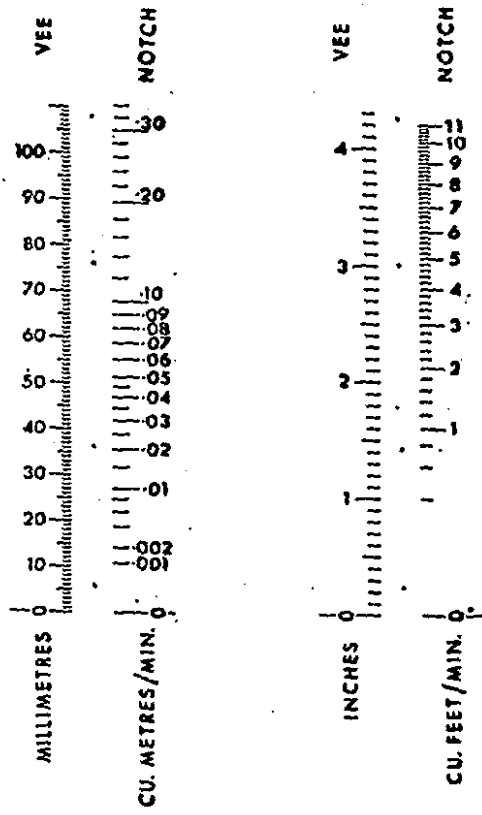
Fig. 12.- DIMENSIONES FINALES DEL VERTEDOR.

Para este vertedor se construyó una regleta en la que por un lado está marcado la h (carga) en centímetros y por el otro en pulgadas. Si bien es cierto que también posee una escala que permite visualizar el gasto probable que es tá pasando por el vertedor; en el primer lado en metros cú bicos por minuto, y, en el segundo en pies cúbicos por minuto. Dado que se van a aplicar fórmulas muy exactas para vertedores triangulares, no se va a tomar en cuenta por - ahora, hasta hacer un cálculo de precisión de la regleta. Así como la calibración del vertedor con el rotámetro.

El cero de la regleta debe de ajustarse con el punto inferior de la cresta del vertedor, para que no dé lugar a un error de las lecturas. Tratando en lo posible 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 regleta.

Una vez ajustada esta posición no se deberá moverla - mientras se realizan todos los cálculos, ya que de lo contrario la información obtenida no será la correcta. Aunque esta regleta puede luego ser movida para que el alumno aprenda a ajustarla y tenga práctica por sí mismo.

FIGURA No.12-B DETALLE DE LA REGLETA DEL CANAL ABIERTO



3.6 CALCULOS

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

$$Q = 1.4 h^{5/2} \quad \text{fórmula de Thompson (9)}$$

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

$$Q = .014 \text{ } 1/s \quad h = m$$

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

$$Q = 0.782 \text{ } 1/s$$

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

$$Q = 4.4271 \text{ } 1/s$$

$$Q = \left[0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right] \left\{ 1 + \left[\frac{h^2}{B(h+w)} \right]^2 \right\} \quad (10)$$

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

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

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

- (9) Azevedo - Alvarez. "Manual de Hidráulica"; Sexta edición, Edit. Harla, México 1976, pág. 84.
- (10) Inst.Tec. y de Est.Sup. de Monterrey, Material Bibliográfico de Apoyo a la parte de instrumentación del curso de Lab. de Mecánica de Fluidos. Notas recopiladas por Dr. en Ciencias Jesús Pita, México 1975. Pág. 35.

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

$$\mu = 0.64553$$

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

$$\theta = 90^\circ$$

$$\mu = 0.64553$$

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

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

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

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

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

(11) Int. Tec. y de Est. Sup. de Monterrey, Material Bibliográfico de Apoyo a la parte de instrumentación del curso de Lab. de Mecánica de Fluidos. Notas recopiladas por Dr. en Ciencias Jesús Piña, México 1975. Pág. 36.

TABLA 3 GASTO EN EL VERTEDERO TRIANGULAR

h agua en el canal en m.	μ	Q (m^3/s)	Q (l/s)
0.005	1.3312	5.5593×10^{-6}	= 0.005559
0.01	0.956205	2.2589×10^{-6}	= 0.022589
0.015	0.831219	0.000054	= 0.054112
0.02	0.768750	0.000103	= 0.102734
0.025	0.731307	0.000171	= 0.170727
0.03	0.706396	0.000260	= 0.260139
0.035	0.688669	0.000373	= 0.372850
0.04	0.675455	0.000511	= 0.510622
0.045	0.665272	0.000675	= 0.675124
0.05	0.657233	0.000868	= 0.867957
0.055	0.650778	0.001091	= 1.090688
0.06	0.645531	0.001345	= 1.344772
0.065	0.641236	0.001632	= 1.631755
0.07	0.637711	0.001953	= 1.953092
0.075	0.634823	0.002310	= 2.31025
0.08	0.632471	0.002705	= 2.704699
0.085	0.650581	0.003138	= 3.137919
0.09	0.629095	0.003611	= 3.611405
0.095	0.627968	0.004127	= 4.126673
0.10	0.627163	0.004685	= 4.685
0.11	0.626412	0.005939	= 5.939
0.12	0.626671	0.007385	= 7.385
0.13	0.627823	0.009038	= 9.038
0.14	0.629789	0.010911	= 10.911
0.15	0.632511	0.013021	= 13.021

GRAFICA No. 2 GASTO EN EL VERTEDOR TRIANGULAR

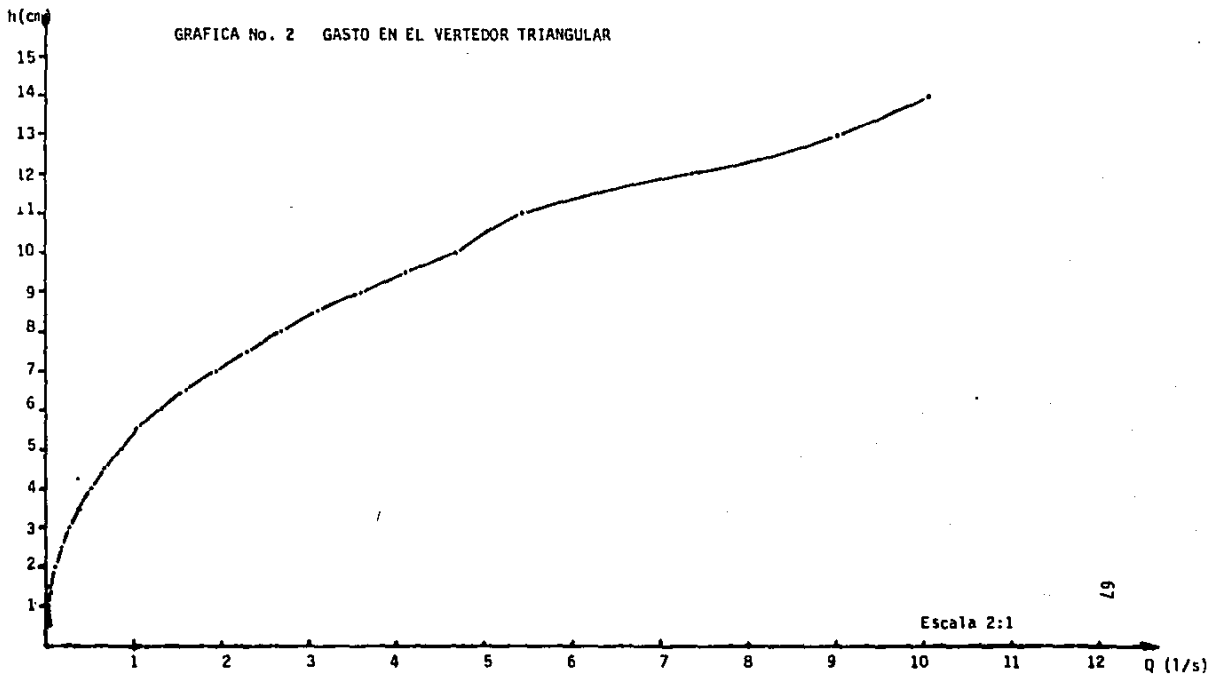


Tabla 4 . Vertedores triangulares pared delgada y lisa. Fórmula de Thomson

Altura H, cm	Q, l/s	Altura H, cm	Q, 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 Thompson y la obtenida por la fórmula de Hegly.

La primera 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 vertedor triangular de 90° entre las caras, como dispositivo de aforo. Esta toma a su vez consideraciones de forma pero en lugar de obtenerse totalmente por ecuaciones, 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 cuadro #16 Apéndice).

$$Q = \frac{8}{15} C_e \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{2g} h_e^{5/2} \quad (12)$$

para $h = 0.12 \text{ m}$

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

$h =$ carga

$Z =$ altura del fondo del canal a vértice del vertedor

$L =$ ancho del canal

(12) Schlag Albert.- "Hidráulica"; Tercera Edición, Edit. Limusa-Wiley, S.A. México 1966, pág.

La ecuación anterior se da únicamente como una información, debido a que conviene saber las distintas ecuaciones obtenidas y demostradas para este tipo de vertedores. Por tal motivo no se ha desarrollado ampliamente en este trabajo.

Únicamente se resolvió para un 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 Thompson $Q = 6.98$ l/s

ecuación de ref. # 11 $Q = 7.385$ l/s

ecuación de ref. # 12 $Q = 6.93$ l/s

TABLA No. 5 TABLA COMPARATIVA DE GASTOS ENTRE LOS
DIFERENTES APARATOS DE MEDICION

$Q_{\text{rotámetro}}$ (l/s)	Q_{canal} (l/s)	Q_{regleta} (l/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	0.7299	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	5.1
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	5.8
1.3878	1.3179	1.1833	5.95
1.4509	1.3994	1.25	6.1
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

En la Tabla anterior, para un gasto dado, la diferencia entre los valores de: $Q_{\text{rotámetro}}$ y Q_{canal} . El primero obtenido de una observación directa en el aparato y el segundo valor obtenido por medio de la ecuación más compleja (ecs. 9 y 10).

Se concluye que las lecturas tomadas en el rotámetro pueden variar un $\pm 2\%$, pero hay que considerar también - que las lecturas de carga (h) tomadas en la escala del canal abierto pueden ser erróneas, debidas principalmente a un error de paralaje o a una confusión debida a la mala - suposición del nivel libre del agua.

De todas maneras, en base a varias pruebas realizadas, el medidor de gasto (rotámetro), es muy confiable y la incidencia en los resultados debido a malas lecturas es mínimo. Sin descartar tampoco que el otro sistema de aforo - (canal-vertedor), 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 existentes no permiten una lectura muy exacta. Sin embargo no se puede descartar que el valor aproximado que nos entrega nos da una idea de la cantidad esperada al realizar los cálculos matemáticos.

C A P I T U L O I V

APARATO DE IMPACTO DE CHORRO

CAPITULO IV

APARATO DE IMPACTO DE CHORRO

4.1 ANTECEDENTES

Este sencillo aparato nos introduce en el estudio de turbo maquinaria, siendo ésta 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.

En este caso en particular la máquina que extrae energía se llama turbina. El prefijo turbo es una palabra latina que significa "giro" o "rotación", indicando que las turbomáquinas giran de algún modo. Esto es generalmente cierto para las turbinas, ya que existen varios tipos de bombas que no giran.

Las turbinas a las que se hace referencia son las Turbinas de Impulso. En la cual se extrae energía de un fluido que posee una carga elevada, este tipo primero convierte la carga existente en un chorro de alta velocidad por medio de una tobera. 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 este aparato se trata de realizar un estudio muy particular, ya que sólo existe un ábabe, que será el que en un momento dado 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 está instalada la turbina. En este caso en particular y en vista de que su función es eminentemente didáctica, la aceleración del fluido se conseguirá por medio de la bomba, que nos simulara una carga y a su vez nos entrega el agua con una cierta aceleración.

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 (plana, hemisféricas, cónicas, etc.), así como también es posible usar toberas de diferentes tamaños.

Este equipo nos permite así, visualizar y medir en forma directa la fuerza de impacto ejercida por el chorro de agua chocando contra la placa en estudio. Y con estos datos obtener unas gráficas que en un momento dado determinarán cuál accesorio y en qué combinación nos produce la mayor eficiencia. De tal manera que el estudiante -

podrá percatarse con una información de primera mano, lo que realmente ocurre dentro de una turbina, hecho que redundará en una mayor comprensión de la asignatura de Turbo maquinaria y a su vez se logra incrementar la permanencia del mismo en el laboratorio de termofluidos.

4.2 CONSTRUCCION

Dado que uno de los primeros objetivos de nuestra asistencia al laboratorio es la de visualizar lo que ocurre en determinado aparato, hace que la construcción de la mayoría de accesorios del Banco Hidráulico tenga como norma, el que se pueda observar a través de ellos.

En segunda instancia se trata en lo posible de maqui- narlo con mano de obra y usando los diversos talleres con que cuenta la Universidad. Logrando de esta manera abaratar los costos.

Los materiales usados 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, como son: resistencia, transparencia, fácil maquinado, fácil mantenimiento y limpieza.

Se cortaron 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 maquinaron 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 la otra se maquinó uno solo por donde pasa el vástago de la placa en estudio.

Una vez realizados estos detalles se unieron las secciones, usando permabond y tratando de que no quedaran fisuras en las uniones que permitan posteriormente fugas de agua.

Con la solera se fabricó el sistema de balanza que pivota en un eje de 2mm de diámetro, añadiéndose una masa que compense y permite que el brazo se nivele en su posición de equilibrio. Todo el conjunto está montado en una base de aluminio.

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

Hay que denotar que se trató de construirlo lo más -
apegado a las características de otros aparatos construidos
para tal efecto, de tal manera que los cálculos sean lo -
más exactos.

4.3 DESCRIPCION

Este aparato se ha diseñado para emplearlo en el Ban-
co Hidráulico inclusive en el aula de clase, mediante una
simple conexión de la manguera al tubo de entrada del mis-
mo, teniendo la precaución de que la descarga sea dirigida
a los orificios de descarga del banco.

En un extremo se encuentra instalado un sistema de ba-
lanza, que consta de una pesa corrediza y una escala gradua-
da en centímetros. Lo que nos permite medir la fuerza del
chorro. Se dispone también de una placa (intercambiable).

La boquilla vertical cónica produce un chorro de alta
velocidad.

4.4 PROCEDIMIENTO

1. Conectar el tubo de plástico del banco con la entrada -
del aparato.
2. Verificar que se encuentre completamente horizontal (ni
velado).

3. Las mangueras de descarga del aparato deben estar en los orificios de descarga del Banco.
4. Calibre el sistema de balanza, de tal manera que el brazo se encuentre en posición horizontal.
5. Alinear y centrar el chorro con la placa.

Todas las mediciones obtenidas se anotan 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.

4.5 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	0.5"

4.6 CALCULOS

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

$$F = 2 \dot{m} v \quad (13)$$

\dot{m} = flujo de masa (Kg/s)

v = velocidad del agua (m/s)

pero sabemos: $Q = VA_{\text{tobera}}$

$$v = \frac{Q}{A_{\text{tobera}}}$$

$VA_{\text{tobera}} = Q_{\text{p}} = \text{flujo de masa}$

$$\therefore F = 2 Q_{\text{p}} \frac{Q_{\text{p}}}{A}$$

$$F = \frac{2 Q_{\text{p}}^2}{A} = 2 \rho A v^2$$

análisis dimensional

$$\frac{\text{m}^6 \text{Kg}}{\text{s}^2 \text{m}^2 \text{m}^3} = \text{Kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

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

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

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

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

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

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

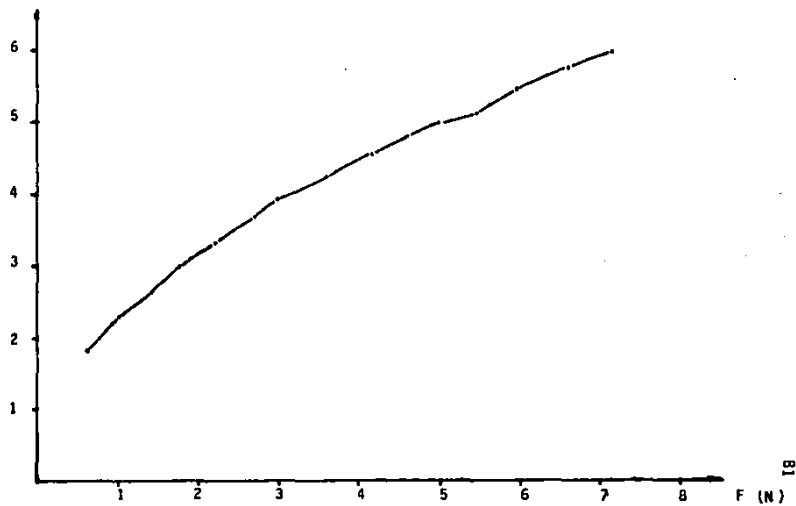
(13) White Frank M. "Fluid Mechanics", Edit. Mc Graw Hill Inc. USA. 1979, pág. 161.

TABLA No. 6 RESULTADO DE LAS PRUEBAS

Q _{rotámetro}		m	ñ	V	F
gal/min	(l/s)	gr	kg/s	m/s	N
5.75	0.3627	230.4166	0.3627	1.8039	0.65426
7.3	0.4605	263.3333	0.4605	2.2903	1.0546
8.5	0.5362	196.25	0.5362	2.6668	1.4299
9.5	0.5992	329.1666	0.5992	2.9801	1.7856
10.6	0.6686	362.0833	0.6686	3.3253	2.2232
11.7	0.7380	395	0.7380	3.6705	2.7088
12.5	0.7885	427.9166	0.7885	3.9216	3.0921
13.5	0.8516	460.8333	0.8516	4.2355	3.6069
14.05	0.9147	493.75	0.9147	4.5493	4.1612
15.25	0.9620	526.6666	0.9620	4.7845	4.6025
15.9	1.0030	559.8333	1.0030	4.9885	5.0034
16.6	1.0471	592.5	1.0471	5.2078	5.4530
17.4	1.0976	625.4166	1.0976	5.4590	5.9917
18.3	1.1544	658.3333	1.1544	5.7415	6.6279
19	1.1985	691.25	1.1985	5.9608	7.1439

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

v (m/s)



Escala 2:1

4.7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Al estudiar el fenómeno de impacto de una corriente fluida sobre una superficie inmóvil de área y forma conocidas. No deja uno pasar inadvertida una sugerencia muy importante, si en lo futuro se construyen otro tipo de placas (plana, hemisférica con cucharón hacia arriba y cónica), así como toberas de diferentes diámetros. Se permitirá con ésto ampliar el estudio en este campo para beneficio de los estudiantes y la mejor implementación del laboratorio de termofluidos.

De tal manera que podremos ya no sólo obtener las relaciones cualitativas y cuantitativas entre las variables involucradas, sino que también saber qué elemento nos da la mayor eficiencia. Ya que el día de mañana, deberemos escoger la opción más acertada para que el proyecto que realicemos cumpla con las normas esenciales en su construcción o en su defecto que la decisión sea la más correcta.

Este aparato se ha construido en base a modelos obtenidos de gente que se dedica a la construcción de aparatos para laboratorio. Aunque es indiscutible que su funcionamiento básico es similar a los modelos que le dieron origen, no así su presentación y los materiales usados. Mis- mos que fueron escogidos de acuerdo a las posibilidades tanto de maquinado, como de costos, ya que de ninguna

manera nos podemos permitir el lujo de derrochar dinero y más en las presentes circunstancias.

Básicamente de la observación de los resultados, 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 es peramos obtener, dado el caso en que tengamos que diseñar tanto una tobera o en el caso concreto de qué fuerza se va a ejercer sobre los álabes 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 resulta do particular, por un proceso de inducción lleguemos a la generalidad de una turbina de impulso.

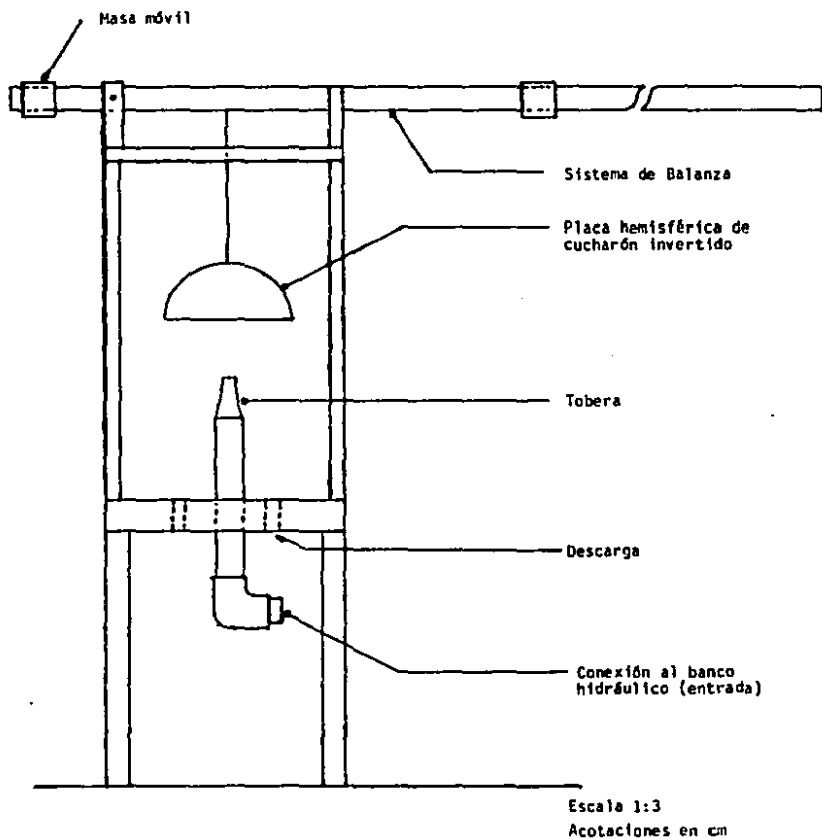


FIG. 13.- ESQUEMA DEL APARATO DE IMPACTO DE GORRO.

C A P I T U L O V

APARATO DE CENTRO DE PRESIONES

CAPITULO V

APARATO DE CENTRO DE PRESIONES

5.1 ANTECEDENTES

¿Quién descubrió el principio de la flotabilidad? - Fue nada menos que Arquímedes, mientras meditaba en su bañera en el año 250 a de C. He aquí en qué consiste ese principio; 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 se van al fondo. Pero si al metal lo adelgazamos y lo convertimos en un cuenco, flotará porque presenta una mayor superficie al agua, y, dada su forma, desplaza más agua que su peso.

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

Flotabilidad viene siendo la propiedad de flotar en todas las condiciones probables; estabilidad, o sea 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 suficiente resistencia estructural para sostenerse a sí mismo y a todo su contenido.

A todo lo anterior hay que considerar una característica más y que no deja de ser importante: estanqueidad, de tal manera que estén herméticamente cerradas las uniones en contacto con el fluido, impidiendo su entrada ya que podría llegar en un momento dado a exceder su carga máxima permisible y hacerlo zozobrar. Si bien es cierto que los enormes barcos son de una complejidad inimaginable y divididos en compartimentos transversales estancos; con mamparos que en un momento de urgencia 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. No obstante es un hecho innegable que se hacen necesarias muchas horas de estudio y pruebas en los laboratorios de fluidos para conseguir esto.

El aparato que se construyó 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.14) 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; ésto 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 lo tanto 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 por lo tanto ningún momento, siendo el único momento 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 instalada en el aparato, con intervalos de 1 mm. Con unos cuidados ordinarios, el aparato permitirá verificar el análisis teórico con una precisión del 99%.

5.2 CONSTRUCCION

Como norma de casi todos los aparatos que se han construido, y que se vayan a construir en un futuro cercano, dado su objetivo didáctico y para permitir lecturas corregtas, se ha realizado en acrílico transparente. Permittiéndonos de esta manera reducir el tiempo de construcción y una mayor facilidad de trabajo y maquinado.

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

El acrílico se cortó para formar el recipiente básico con una base en el mismo material, el cual está dotado de patas regulables, que permiten nivelar el aparato para su uso, contando para el efecto de un nivel localizado en una de sus esquinas.

La válvula está situada de tal manera que permita la total descarga del aparato luego de haberse realizado los experimentos. Con el tubo de aluminio se construyó 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, se hicieron dos pequeños orificios con un punto de golpe.

Se encuentra calibrado todo el sistema de tal manera que permanece en su posición horizontal sin la ayuda de una masa

compensatoria móvil. (Consultar figura para medidas)

El cuerpo que es un realidad, una cuarta parte de un anillo está hecho de material plástico. Todas las partes se encuentran perfectamente pegadas de tal manera que tanto el recipiente como el cuerpo sea totalmente estancos, para obtener así una completa credibilidad en los aparatos.

Tiene además dos escalas, la una se encuentra pegada en el exterior del recipiente, permitiendo tomar la altura desde el fondo del mismo hasta la superficie libre con un mínimo de error, y la segunda se encuentra pegada en el cuerpo de tal manera que podemos saber exactamente cuánto del mismo se encuentra sumergido.

Cuenta además con un juego de pesas, que son exclusivas para este aparato. Siendo importante recalcar que sería necesario contar con una más amplia variedad, para permitir observaciones más exactas a intervalos más pequeños.

5.3 DESCRIPCION

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

En su parte superior se encuentra instalado un sistema de balanza que se encuentra unido al cuerpo de estudio, coincidiendo el centro del mismo con el pivote del sistema.

Todo el conjunto anterior se encuentra en un recipiente de acrílico, que puede ser nivelado por medio de sus patas ajustables.

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

5.4 PROCEDIMIENTO

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 no se encuentre ni muy apretados, ni muy flojos. Ya que en el primer caso podría ocasionar errores en las lecturas, y en el segundo podría ocurrir 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 palanca.
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 en 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 coincide con el cero que indica su posición completamente horizontal y que en lo posible no se toque el recipiente al tomar las lecturas para no desestabilizar el sistema, consiguiendo únicamente de ese modo obtener datos erróneos.

5.5 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. # 3

250 g. # 2

125 g. # 1

45 g. # 2

20 g. # 1

10 g. # 1

5 g. # 1

Sistema de balanza:

Longitud pivote-masa 38 cm

Altura base-brazo de
balanza 26.7 cm

Altura base-superfi-
cie inferior del
cuerpo 6.2 cm

5.6 CALCULOS

$$F = \gamma h_{cg} A \quad (14)$$

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

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

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

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

$$\text{para: } h_{\text{libre}} = 24.5 \text{ cm}$$

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

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

$$\text{para: } h_{\text{libre}} = 20 \text{ cm}$$

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

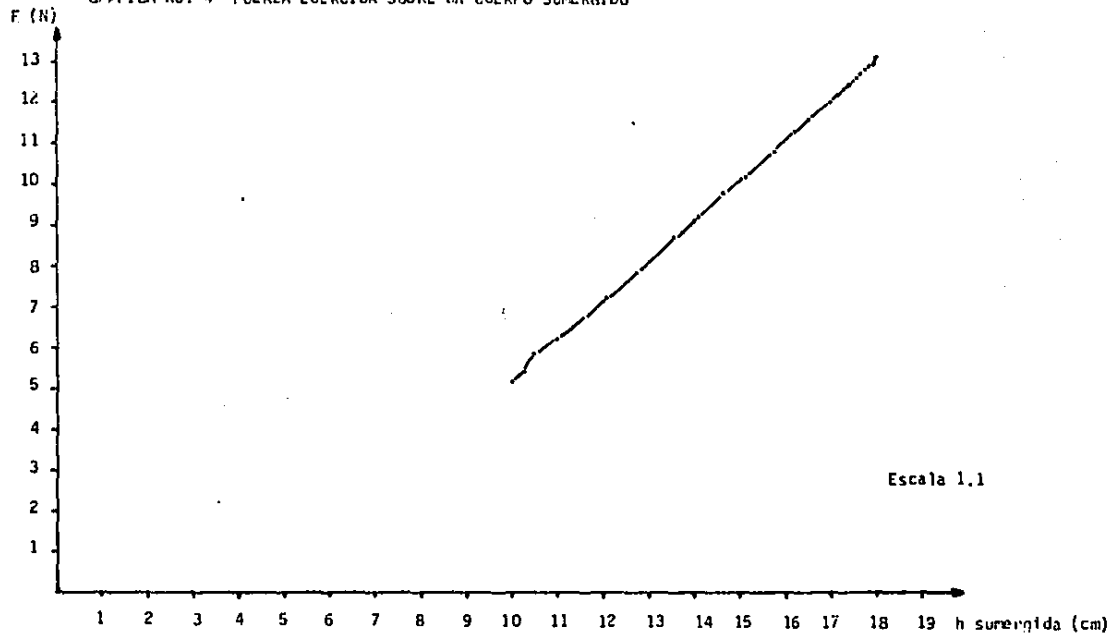
$$F = 8.7191 \text{ N}$$

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

TABLA No. 7 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

h_{libre}	m	F	h_{cuerpo}
cm	g	N	cm
24.5	560	13.1777	18
24.3	555	12.9796	17.9
24.2	550	12.8805	17.8
24	545	12.6823	17.6
23.8	535	12.4842	17.42
23.7	530	12.3861	17.3
23.4	520	12.0878	17
22.95	500	11.6420	16.55
22.65	485	11.3447	16.21
22.15	465	10.8493	15.8
21.55	440	10.2548	15.17
21.1	420	9.8090	14.65
20.5	395	9.2145	14.1
20	375	8.7191	13.6
19.15	340	7.8769	12.75
18.5	315	7.2329	12.1
18	295	6.7375	11.6
17.5	270	6.2421	11
17.15	250	5.8953	10.5
16.7	235	5.4494	10.3
16.45	230	5.2017	10.05

GRAFICA No. 4 FUERZA EJERCIDA SOBRE UN CUERPO SUMERGIDO



5.7 CONCLUSIONES

En primer lugar hay que hacer notar que 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 da una idea en cuanto a que nos indica que el impulso hacia arriba va en proporción directa al peso del cuerpo.

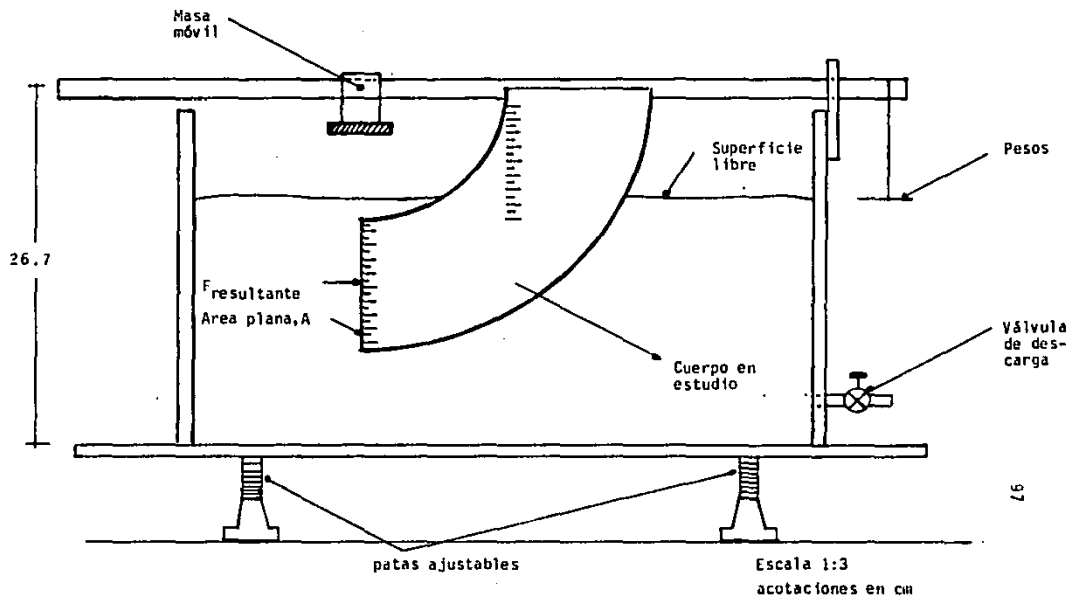
Hecho que se corrobora en el experimento, ya que para una mayor inmersión del cuerpo se hace necesario un mayor peso en el brazo de palanca.

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

Conviene aclarar también que el momento en que nivelamos el sistema de balanza, lo que se consigue es considerar despreciable el peso del cuerpo, ya que el sistema una vez calibrado compensa el peso del cuerpo en estudio, influyen únicamente la fuerza ejercida por el agua al peso agregado al cuerpo.

También debo manifestar que, las pruebas se realizaron para la placa plana completamente sumergida, ya que de otra manera cambia la posición del centroide con cada altura del nivel libre del agua, lo cual complica los cálculos.

Fig. 14.- ESQUEMA DEL APARATO DE CENTRO DE PRESIONES



C A P I T U L O VI

**APARATO DE FLUJO A TRAVES
DE UN ORIFICIO**

CAPITULO VI

APARATO DE FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO

6.1 ANTECEDENTES

Desde el punto de vista hidráulico, los orificios son perforaciones, generalmente de forma geométrica regular, y perímetro cerrado, hechos por debajo de la superficie libre del líquido, en las paredes de los depósitos, tanques, canales o tuberías. Aunque la forma puede ser cualquiera: circular, rectangular, etc.; siendo lo más común los de forma circular.

Se podría pensar que sólo lo anterior constituye un orificio, pero en realidad su definición es más amplia. Ya que si el perímetro no es cerrado o si la abertura se encuentra parcialmente llena, el orificio se llama vertedor. Un orificio de longitud prolongada o en una pared muy ancha constituye una tobera.

Por lo anterior se deduce que el tamaño de un orificio puede ir desde unos cuantos mm^2 hasta varios m^2 . Ejemplo de estos últimos son 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 bien con otro fluido bajo presión (orificio sumergido). Sus paredes pueden ser de contorno redondeado o de aristas vivas. Puede terminar en un conducto corto, como una tobera o un difusor.

Pueden ser considerados pequeños los orificios 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 de líquido, apenas toca la perforación en una línea que constituye el perímetro del orificio. En una pared gruesa, se verifica la adherencia del chorro líquido.

Los orificios de paredes delgadas son construidas en placas finas (cobre, aluminio, etc.) o por corte en bisel. El acabado en bisel no es necesario si el espesor de la placa es menor que el diámetro, ya 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 contraída "vena contracta", que si el orificio es circular se demuestra empíricamente que tiene lugar una distancia $D/2$ de la pared del depósito.

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

En el control de flujo se utilizan en las transmisiones y controles hidráulicos, neumáticos. Pudiendo regular por ejemplo, la velocidad de un cilindro de aceite a presión que mueve el émbolo de una prensa hidráulica.

Y en el caso de medición de caudales, debido principalmente a que es un medidor muy barato. Utilizándose primordialmente los de aristas vivas por ser insensible a la viscosidad, y por tanto su funcionamiento no se altera con la temperatura del fluido.

Con esta pequeña reseña se puede apreciar que el aparato construido 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.

Este aparato de flujo a través de un orificio consta de un orificio de pared delgada con bordes afilados, hecho en aluminio para prevenir la oxidación. Y a su vez nos permite encontrar el coeficiente de descarga, el coeficiente de velocidad y el gasto que está fluyendo por este orificio en particular. Por medio de esta práctica el alumno aprenderá a obtener los coeficientes de contracción, velocidad y de descarga, de diferentes orificios. Así como podrá observar directamente que es una vena contracta.

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

6.2 CONSTRUCCION

Los materiales usados en la construcción de este nuevo accesorio para el Banco Hidráulico son: acrílico transparente, varilla de cobre, tubería de PVC, tubo flexible de plástico, una regla y aluminio.

Con el acrílico de 0.5 cm de espesor se formó el cuerpo base, que es un paralelepípedo, las paredes laterales son de (33.8 x 11.5) cm, y, las de la base y superior de (11.5 x 11.5). En estas últimas caras se maquinaron los orificios para la tubería que lleva el agua al sistema, así como el ducto de carga y el agujero que recibe a los

distintos orificios (Ver Fig. No. 15).

Con la varilla de cobre se construyeron las patas que se sujetan al acrílico y el mecanismo que sujeta el tubo - Pitot y la cuchilla para medir la vena contracta..

En la tubería de PVC que se encuentra localizada dentro del aparato se practicaron varios orificios, ya que la descarga al mismo no se realiza en forma directa por la terminal del tubo, ya que esto ocasionaría una variación en la velocidad de salida de la vena líquida. Con la tubería plástica se construyeron los piezómetros para el tubo Pitot y para la carga estática. La regla está sujeta a la pared del aparato, de tal manera que los piezómetros corren paralelos y a los costados de la misma.

Hay que recalcar una vez más que el diseño y construcción de todos los aparatos que conforman este equipo se han construido con mano de obra y recursos, en cuanto a talleres, con los que cuenta la Universidad. Siendo un porcentaje bastante alto respecto a pequeñas cosas que no se maquinaron aquí.

Esto hace también en un momento dado que la estética de algunos de ellos no sea del todo perfecta, pero por otro lado su funcionamiento tiene un alto porcentaje de precisión.

Con ésto quiero expresar que si nos proponemos, podemos realizar proyectos de mayor envergadura, consiguiendo aquilatar aún más el valor académico logrado en nuestra Universidad, así como mejorar y ampliar nuestros laboratorios.

6.3 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 en acrílico de sección cuadrada que tiene un orificio en la base.

Se ha diseñado para emplearse con el Banco Hidráulico, colocándose sobre el banco de tal manera que la descarga del mismo se dirija hacia el depósito del tanque.

Cuenta con un mecanismo de desplazamiento que permite posicionar el tubo Pitot en cualquier parte del chorro. El tubo Pitot lleva además una cuchilla afilada que puede desplazarse de un lado al otro del chorro para medir con precisión el diámetro del mismo y determinar de esta forma el coeficiente de contracción.

La carga del tubo Pitot y la carga de agua total se indican en los tubos manómetro que se encuentran localizados a un costado del recipiente.

El recipiente es de acrílico de tal forma que podamos observar claramente el flujo. Siendo éste controlado por medio de la válvula del Banco Hidráulico.

6.4 PROCEDIMIENTO

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. Asegurarse que la descarga se encuentre justo en la descarga al depósito.
4. Encender el banco y abrir la válvula hasta que se llene el recipiente sin sobrepasar el nivel del tubo de carga, permitiendo entonces que el sistema se estabilice, es decir que no haya turbulencias que puedan dar lecturas incorrectas o que el nivel de la superficie libre suba o baje.
5. Asegurar 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. Por medio del mecanismo tomar la lectura del diámetro de la vena contracta.
8. Repetir los pasos 5, 6 y 7.

Se debe insistir en obtener primero 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.

Nota: Además hay que considerar que a las alturas - piezométricas tomadas hay que sumarle 1 cm ya que la regla se encuentra desplazada esa cantidad del fondo del recipiente.

6.5 ESPECIFICACIONES

Orificio estándar (bordes afilados)	10 mm de diámetro
Carga de agua máxima	255 mm
Mecanismo de desplazamiento: husillo con tuerca de ajuste	
Tubería de PVC para alimentación y rebose	1/2" de diámetro
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

6.6 CALCULOS

$$C_c = \frac{A_c}{A_o} = \frac{D_c}{D_o} \quad (15)$$

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

$D_o = 1 \text{ cm}$

$$C_c = 0.8$$

$$C_v = \frac{H_c}{H_o} \quad (16)$$

para: $H_c = 22.8$

$H_o = 23.1$

$$C_v = 0.9934$$

$$C_d = C_c \times C_v \quad (17)$$

$$C_d = 0.79478821$$

(15) Azevedo-Alvarez. "Manual de Hidráulica", 6ta. Edición. Edit. Harla, México 1976. pág. 54

(16) Idem. pág. 55

(17) Idem. pág. 56

$$Q = C_d A \sqrt{2g} H_o \quad (18)$$

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

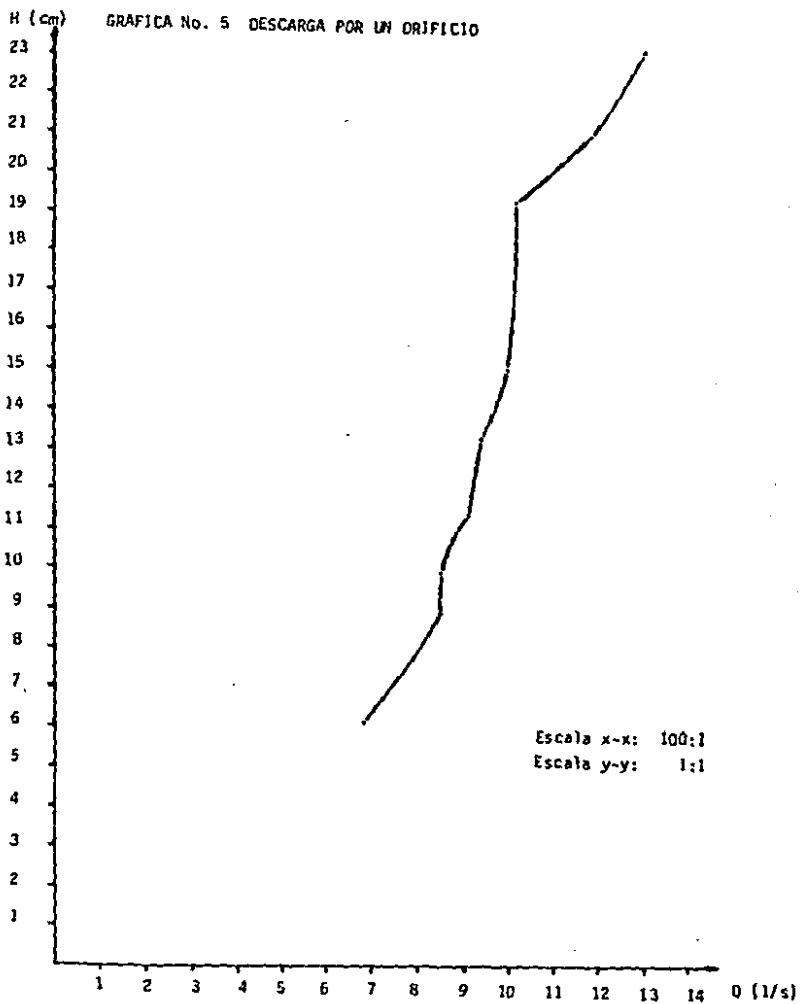
$$Q = 1.3289 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

(18) Azevedo - Alvarez, "Manual de Hidráulica", 6ta. Edición, Edit. - Harla, México 1976. Pág. 54.

TABLA No. 8 DATOS Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

H_C (cm)	H_D (cm)	β vena contracta (cm)	C_C	C_V	C_D	Q (l/s)
22.8	23.1	0.8	0.8	0.9934	0.7947	0.1328
20.8	21	0.75	0.75	0.9952	0.7464	0.1189
19.1	19.3	0.8	0.8	0.9948	0.7958	0.1520
17.3	17.4	0.8	0.8	0.9971	0.7976	0.1446
14.9	15.1	0.75	0.75	0.9933	0.7450	0.1007
13.2	13.3	0.75	0.75	0.9962	0.7471	0.0947
10.9	11.4	0.8	0.8	0.9778	0.7822	0.0918
9.5	9.9	0.8	0.8	0.9795	0.7836	0.0857
8.5	8.9	0.85	0.85	0.9772	0.8306	0.0862
6	6.2	0.8	0.8	0.9837	0.7869	0.0681



6.7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

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

$$C_c = 0.79$$

$$C_v = 0.9888$$

$$C_d = 0.7809$$

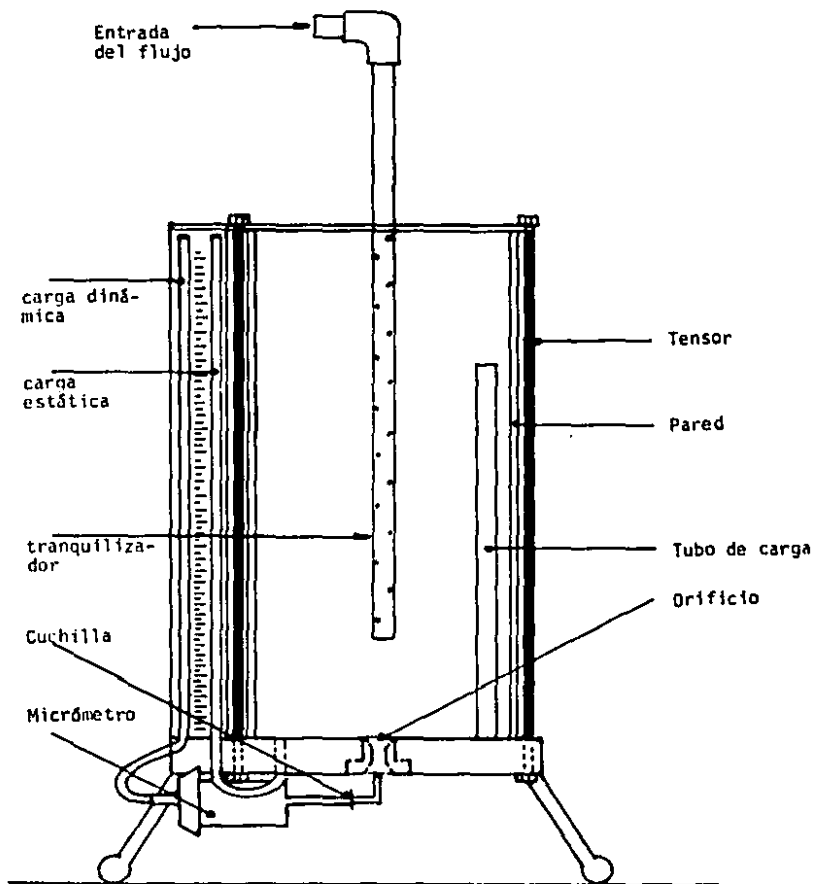
Otro dato interesante, es el que se obtiene al comparar el gasto para las diferentes observaciones, ya que si bien es cierto al momento de hacer la práctica no se observan variaciones en el gasto que sale por el orificio, no - así al realizar los cálculos observamos que éste sí varía.

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

Por otro lado debo aclarar la necesidad de contar con varios orificios, de tal manera que cada grupo que realice la práctica haga sus pruebas con uno diferente al anterior, de tal manera a la vez que se evita intercambio de información, se incentiva el conocer los diferentes valores de -

los coeficientes de contracción, velocidad y descarga, -
que nos da cada tipo de orificio.

Fig. 15.- ESQUEMA DEL APARATO DE FLUJO A TRAVÉS DE UN ORIFICIO.



Acotaciones en cm
Escala 1:3

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

CAPITULO VII

C O N C L U S I O N E S

1. Al contar el laboratorio de termofluidos con un Banco - Hidráulico y su dotación completa de aparatos (llámese experimentos o prácticas), se incentiva la enseñanza - participativa y audiovisual, con la realización de una amplia variedad de estudios y pruebas en el área de mecánica de fluidos e hidráulica con carácter experimental. Con una base teórica obtenida en el salón de clase.
2. Con la realización del presente proyecto y tesis se da también la oportunidad de aumentar el criterio de los - estudiantes, mismo que es muy importante para su desenvolvimiento futuro . Por cuanto nos enseña a escoger - lo más práctico y económico. Criterio que se debe desarrollar, ya que el ingeniero ante todo tiene que ingeniar la solución a un problema dado, sin olvidar tampoco su formación formal.
3. La realización de las prácticas de campo dan también a los estudiantes una idea de los conceptos que se manejan en la mecánica de fluidos e hidráulica, lo que en - un momento dado puede influir para que sus estudios - posteriores se inclinen o no por esta rama de la ingeniería.

4. Indudablemente a mí en lo particular me ha permitido familiarizarme con una amplia gama de información, ya que el diseño, construcción, consulta y escritura de este manuscrito me ha llevado desde cortar el perfil con que se fabricó el bastidor, resolver problemas de construcción defectuosa, hasta llegar finalmente a compendiar todo de una manera clara, sencilla y concisa.

5. Debo señalar también la imperiosa necesidad de implementar 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.

A P E N D I C E

TABLA No. 9
 DIAGRAMA DE RUGOSIDAD RELATIVA PARA
 DIFERENTES MATERIALES

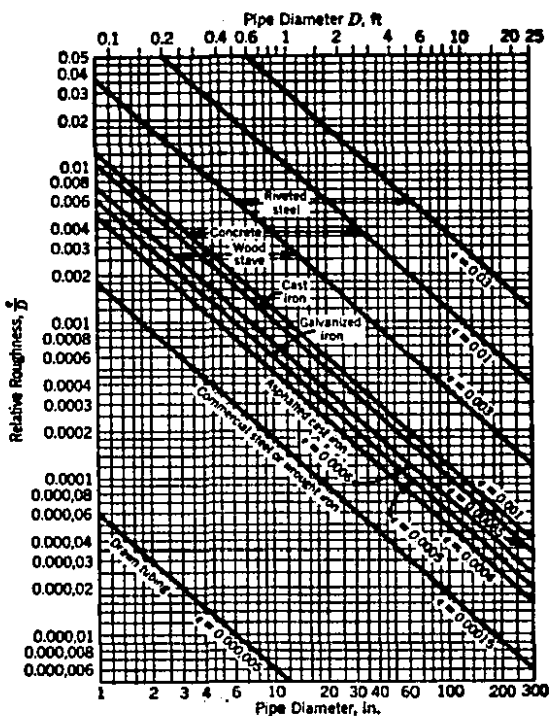


TABLA No. 10
 FACTOR DE FRICCIÓN COMO UNA FUNCIÓN DEL NÚMERO DE
 REYNOLDS CON LA RUGOSIDAD COMO UN PARAMETRO

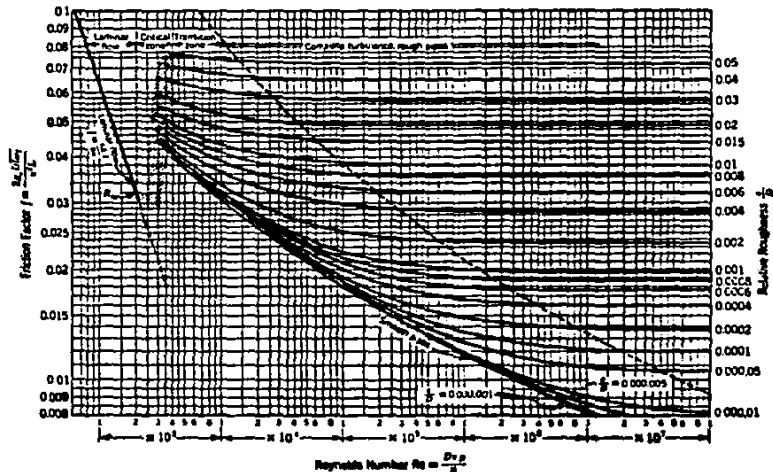


TABLA No. 11
 PERDIDAS EN ACCESORIOS

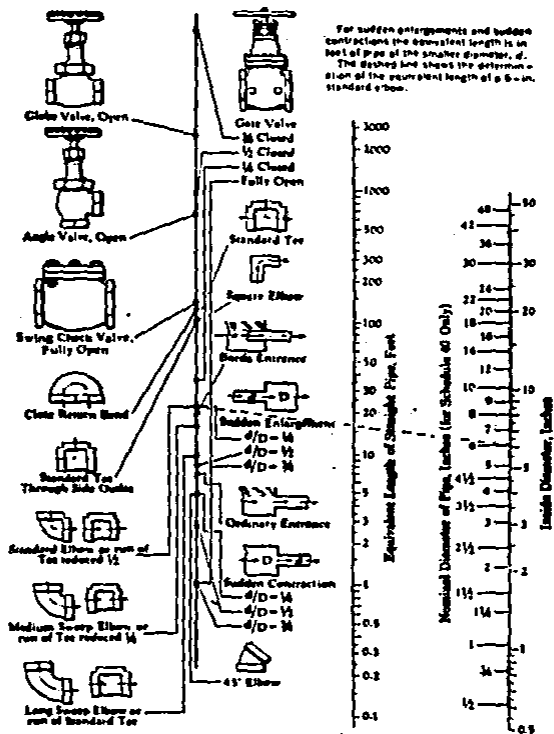


TABLA No. 12
 PERDIDAS EN ACCESORIOS
 REDUCCION BRUSCA

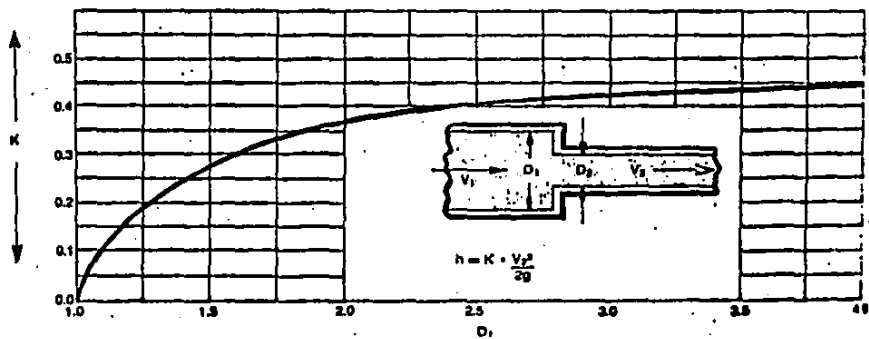


TABLA No. 13
 PERDIDAS EN ACCESORIOS

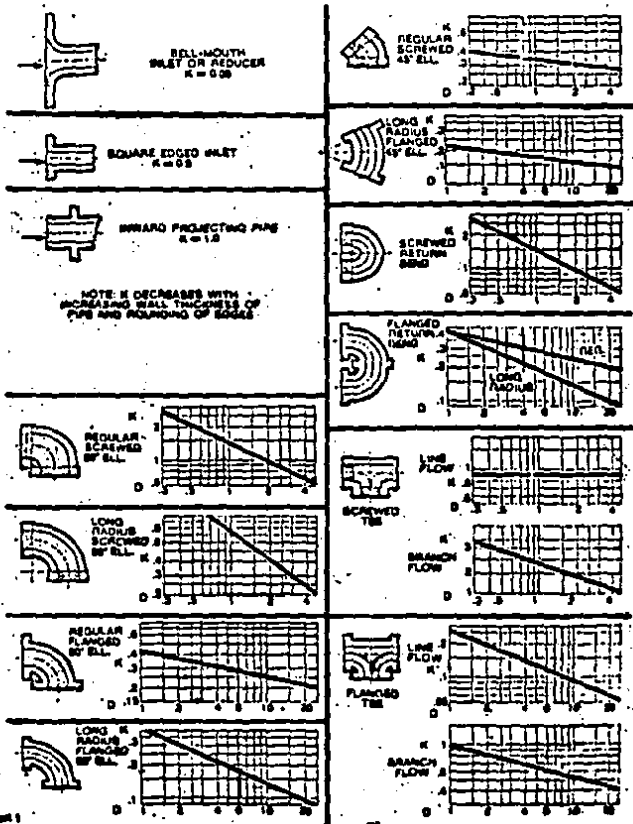


Chart 1

Where:
 f = Frictional Resistance in Feet of Liquid
 V = Average Velocity in Feet/Second in a Pipe of Corresponding Diameter
 L = 20.17 Feet/Second/Barrel
 C = Resistance Coefficient For Valve or Access

TABLA No. 14
 PERDIDAS EN ACCESORIOS

120

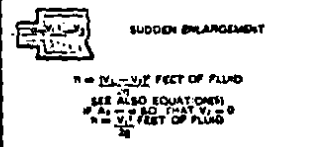
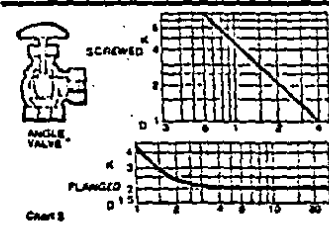
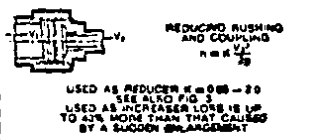
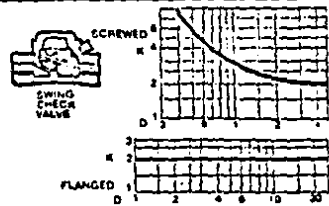
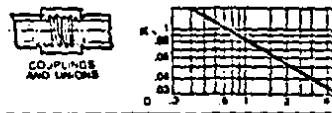
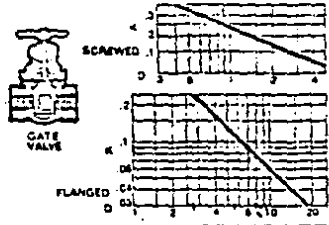
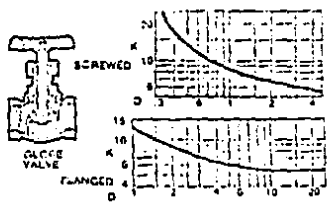


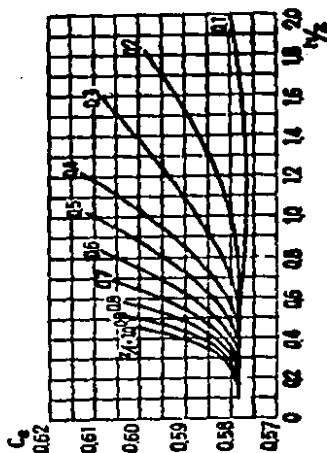
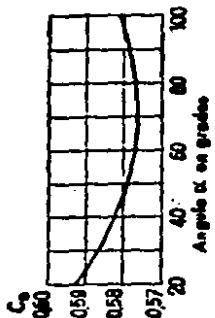
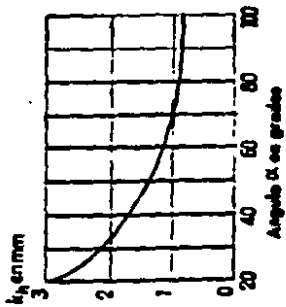
Chart 8

N.P.K. 17/20

TAJILA 15 Fórmulas experimentales para determinar los coeficientes de gasto μ o C aplicables a las Ecs. 10 para vertedores triangulares con diferentes ángulos θ 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	$C = \frac{8}{15} \sqrt{75 \tan(\theta/2)} \mu K$	Vale para $15^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$. La profundidad w no tiene influencia en el coeficiente de gasto.	μ , coeficiente experimental que depende de h y θ según la Fig. 7.9. K es otro coeficiente que depende de B/h según la Fig. 7.10 y vale 1 si $B/h \leq 5$ para $\theta = 90^\circ$ y si $B/h \geq 2.75$ para $\theta = 45^\circ$.
Gourley y Crimp	$C = \frac{1.32 \tan(\theta/2)}{\sin \theta}$	Vale para ángulos θ de $45^\circ, 60^\circ$ y 90° y para profundidades w grandes.	Esta fórmula, substituída en la ecuación (7.11b), conduce a la ecuación: $Q = 1.32 \tan(\theta/2) h^{3/2}$
Itigly (1921)	$\mu = \left\{ 0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right\} \left\{ 1 + \left[\frac{M^2}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	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)	$\mu = 0.565 + \frac{0.0087}{h^{0.2}}$	Vale para $\theta = 90^\circ$ con cargas $0.05 \text{ m} \leq h \leq 0.25 \text{ m}$, $w \geq 3h$, $B \geq 8h$.	El valor medio $\mu = 0.593$ que resulta de esta fórmula corresponde bastante al resultado de Thompson (1961) y que substituído en la Ec. (7.11a), conduce a la ecuación: $Q = 1.4 h^{3/2}$
Koch (1923) Yarnall (1928)	$\mu = 0.54$	Vale para $\theta = 90^\circ$ con cargas muy grandes, $w \geq 3h$, $B \geq 8h$.	No se limita con precisión el rango de valúes.
Heyndrickx	$\mu = [0.5775 + 0.214 h^{-1}] \dots \left\{ 1 + \left[\frac{M^2}{B(h+w)} \right]^2 \right\}$	Vale para $\theta = 60^\circ$ y cargas muy grandes.	Es bastante precisa.

TABLA No. 16
 DIAGRAMA PARA RESOLVER LA ECUACION (12) PARA
 OBTENER EL GASTO EN UN VERTEDOR TRIANGULAR
 CON $\theta = 90^\circ$



APENDICE PRESUPUESTO DEL BANCO HIDRAULICO

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNIT.	IMPORTE
Bomba corona con motor Siemens centrífuga de 3/4 HP, succión 1 1/4" descarga 1"	Pza.	1	83,000	83,000
Arrancador Klöcner-Müller con caja resistente al agua y aceites, incluye luz piloto indicadora de encendido y botón de encendido-apagado	Pza.	1	67,850	67,850
Tanque en fibra de vidrio con refuerzos en los costados, base y tapa. Pintado con pintura acrílica automotiva	Pza.	1	682,893	682,893
Tramo perfil tubular cuadrado en acero comercial de 1 1/2 A-25	Pza.	1	16,500	16,500
Cable uso rudo # 10 marca CYHSA	m	5	1,250	6,250
Rotámetro marca King con rango de flujo de 6-30 gal/min. En plástico transparente y flotador de Hastelloy Mod. K 72-5-D	Pza.	1	207.5 (USD) 325,775	325,775
Válvula de compuerta reforzada 9 Kg., marca Urrea en cobre de 1/2"	Pza.	1	9,150	9,150
Niple de hierro galvanizado de 1/2" de diámetro x 3" de longitud	Pza	1	300	300

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNIT.	IMPORTE
Niple de hierro galvanizado de 1/2" de diámetro x 5" de longitud	Pza.	1	500.	500
Conector marca Aeroquip de 1" de diámetro NPT a 1" de diámetro manguera flexible	Pza.	2	3,000	6,000
Tornillo de cabeza de gota de 5/16" x 3"	Pza.	4	200	800
Tornillo de cabeza de gota de 5/16" x 1"	Pza.	2	150	300
Tornillo hexagonal de 3/8" x 3"	Pza.	4	279	1,116
Rodaja marca Joyma giratoria, troquelada en lámina recubierta en poliuretano de alta resistencia. Capacidad de carga 250 Kg.	Pza.	4	14,900	59,600
Manguera plástico de 3/4" de diámetro	m	4	1,150	4,600
Manguera Aeroquip de 1" de diámetro con refuerzo de hilo	m	0.6	15,000	9,000
Manguera Aeroquip de 1 1/4" de diámetro con refuerzo de hilo	m	0.1	12,000	1,200
Sellador de silicón de 310 ml.	tubo	1	6,953	6,953

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT.	IMPORTE
Permabond pegamento de cianoacrilato	gr.	20	6,500	6,500
Triplay de 3 líneas	Pza.	1	2,500	2,500
Acrílico transparente de 1 cm. de espesor	Pza.	1	70,000	70,000
Acrílico transparente de 4 mm de espesor con agujeros	Pza.	1	10,000	10,000
Abrazadera de 2" de diámetro con tornillo	Pza.	2	940	1,880
Abrazadera de 1 1/2" de diámetro con tornillo	Pza.	2	724	1,448
Abrazadera de 1" de diámetro con tornillo	Pza.	1	693	693
Rondanas para tornillo de 1/8" de diámetro	Pza.	18	3	54
Rondanas para tornillo de 5/6" de diámetro	Pza.	4	5	20
Rondanas de presión de 3/8" de diámetro	Pza.	4	10	40
Rondanas de presión de 5/16" de diámetro	Pza.	6	10	60
Cinta de teflón	Pza.	1	950	950

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT.	IMPORTE
Cinta aislante	Pza.	1	1,100	1,100
Pintura aerosol azul marino y roja	Pza.	2	3,500	7,000
Pintura automotiva de 250 ml.	Lata	1	3,200	3,200
Pegamento epoxibond	Tubos	1	3,250	3,250
Regleta marcada en un lado en centímetros y m3 /min. y en el otro en pulgadas y ft 3/min. en aluminio fotografado	Pza.	1	20,000	20,000
Letrero en plástico	Pza.	6	1,500	9,000
Tornillo cabeza de gota de 5/16" de diámetro x 1" de longitud	Pza.	2	150	300
Mariposa para tornillo de 5/16" de diámetro	Pza.	2	50	100
TOTAL				<u>\$1'419,902.00</u>

B I B L I O G R A F I A

- GILES RANALD V.- "MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA";
SEGUNDA EDICION, EDIT. MC. GRAW HILL BOOK
COMPANY INC., USA 1979.
- AZEVEDO - ALVAREZ "MANUAL DE HIDRAULICA"; SEXTA EDICION, -
HARLA MEXICO 1975.
- SCHLAG ALBERT "HIDRAULICA"; TERCERA EDICION, EDIT. LIMU
SA-WILEY, S.A. MEXICO 1966.
- MESSERSMITH-WARNER- OLSEN.- "MECHANICAL ENGINEERING LABO
RATORY", SEGUNDA EDICION, EDIT. JOHN WILEY
& SONS USA 1963.
- GRANGER BROWN GEORGE & ASSOCIATES.- "UNIT OPERATIONS",
SEGUNDA EDICION, EDIT. JOHN WILEY & SONS.
USA 1951.
- KING H.W.- "MANUAL DE HIDRAULICA", PRIMERA EDICION,
EDIT. UNION TIPOGRAFICA HISPANO AMERICANA,
MEXICO 1962.
- STANIAR:- "PLANT ENGINEERING HANDBOOK", SEGUNDA -
EDICION, EDIT. MC. GRAW HILL, USA 1959.
- HIDRAULIC INSTITUTE.- "PIPE FRICTION MANUAL", THIRD EDI
TION, EDIT. HIDRAULIC INSTITUTE, USA 1961.

- CONSIDINE M. DOUGLAS.- "PROCESS INSTRUMENTS & CONTROLS HANDBOOK", SEGUNDA EDICION, EDIT. Mc GRAW HILL Co. USA 1974.
- DAUGHERTY FRANZINI R.- "FLUID MECHANICS WITH ENGINEERING APLICACIONES", 7a. EDICION, EDIT. Mc GRAW HILL BOOK Co. INC.; USA 1977.
- BERTIN JOHN J.- "MECANICA DE FLUIDOS PARA INGENIEROS", 1a. EDICION, EDIT. PRENTICE HALL HISPANOAMERICA NA; MEXICO 1986.
- WHITE FRANK M.- "MECANICA DE FLUIDOS", 1a. EDICION, EDIT. Mc GRAW HILL; MEXICO 1984.
- LEWIS F. & BRIEN R. "SHIPS", 1a. EDICION, EDIT. TIME-LIFE USA 1972.
- DILLA S. FELIX.- "PRACTICAS DOCENTES Y EQUIPOS DEMOSTRATIVOS DE LABORATORIO DE INGENIERIA HIDRAULICA" 1a. EDICION, DEPTO. DE EDICIONES DE - JSPJAE, HABANA CUBA 1985.
- GIECK KURT.- "MANUAL DE FORMULAS TECNICAS", 18a. EDICION, EDIT. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA, S.A., MEXICO 1981.
- MATAIX CLAUDIO.- "MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS", 1a. EDICION, EDIT. HARLA, MEXICO 1970.

INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTE-
RREY, MATERIAL BIBLIOGRAFICO DE APOYO A LA
PARTE DE INSTRUMENTACION DEL CURSO DE LABO
RATORIO DE MECANICA DE FLUIDOS, NOTAS RECO
PILADAS POR DR. EN CIENCIAS JESUS PITA, -
MEXICO 1975.

ASME .- RESEARCH PUBLICATION, FLUID METERS, PART. 2, -
"DESCRIPTION OF METER" 1931.

ASME .- POWER TEST CODES, FLOW MEASUREMENTS, 1940

INDICE DE FIGURAS

	pág.
Fig. 1 ESQUEMA BANCO HIDRAULICO (MODELO PRIMARIO)	9
Fig. 2 DIMENSIONES INICIALES DEL TANQUE Y LA TAPA	12
Fig. 3 DIMENSIONES INICIALES DEL CANAL ABIERTO .	12
Fig. 4 DIMENSIONES DEL VERTEDOR (DISEÑO)	13
Fig. 5 ESQUEMA DEL NUEVO DISEÑO DE BANCO HID. .	13
Fig. 6 SECCIONAMIENTO DEL BASTIDOR (CALCULO POR AREAS TRIBUTARIAS)	32
Fig. 7 ESQUEMA DEL APARATO DE COMPRESION SIMPLE.	35
Fig. 8 ESQUEMA DEL ROTAMETRO	42
Fig. 9 MEDIDAS FINALES DEL TANQUE	52
Fig. 9 Bis MEDIDAS FINALES DE LA TAPA Y DETALLE DE LOS ACCESORIOS	53
Fig. 10 CARGA DE AGUA EN UN VERTEDOR	55
Fig. 11 ESQUEMA DE LA LAMINA VERTIENTE DE UN VERTEDOR	60
Fig. 12 DIMENSIONES FINALES DEL VERTEDOR	61
Fig. 12 B DETALLE DE LA REGLETA DEL CANAL ABIERTO	63
Fig. 13 ESQUEMA DEL APARATO DE IMPACTO DE CHORRO	84
Fig. 14 ESQUEMA DEL APARATO DE CENTRO DE PRESIONES	97
Fig. 15 ESQUEMA DEL APARATO DE FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO	112

INDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla No. 1 RESULTADOS DE LA PRUEBA CARGA-DEFORMACION EN UNA VIGA. 1 1/2" A-25	37
Tabla No. 2 MATERIALES DE LOS FLOTADORES	45
Tabla No. 3 GASTO EN EL VERTEDERO TRIANGULAR	66
Tabla No. 4 VERTEDEROS TRIANGULARES PARED DELGADA Y LISA. FORMULA DE THOMSON (GASTO)	68
Tabla No. 5 TABLA COMPARATIVA DE GASTOS ENTRE LOS DIFERENTES APARATOS DE MEDICION	71
Tabla No. 6 RESULTADO DE LAS PRUEBAS DEL APARATO DE IMPACTO DE CHORRO	80
Tabla No. 7 RESULTADO DE LAS PRUEBAS DEL APARATO DE CENTRO DE PRESIONES	94
Tabla No. 8 DATOS Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL APARATO DE FLUJO A TRAVES DE UN ORIFICIO	108
Tabla No. 9 DIAGRAMA DE RUGOSIDAD RELATIVA PARA DIFERENTES MATERIALES	115
Tabla No.10 FACTOR DE FRICCION COMO UNA FUNCION DEL NUMERO DE REYNOLDS CON LA RUGOSIDAD COMO UN PARAMETRO	116
Tabla No.11, 12, 13 y 14 PERDIDAS EN ACCESORIOS	117-119
Tabla No.15 FORMULAS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE GASTO EN UN VERTEDEOR TRIANGULAR	121
Tabla No.16 DIAGRAMA PARA RESDLVER LA ECUACION 12	122

INDICE DE GRAFICAS Y CUADROS

	pág
Cuadro No. 1 CARACTERISTICAS DEL TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO	19
Gráfica No. 1 RESULTADO CARGA-DEFORMACION DEL PERFIL CUADRADO	38
Gráfica No. 2 GASTO EN EL VERTEDOR TRIANGULAR	67
Gráfica No. 3 FUERZA CONTRA UNA PLACA HEMISFERICA DE CUCHARON INVERTIDO	81
Gráfica No. 4 FUERZA EJERCIDA POR EL AGUA CONTRA UN CUERPO SUMERGIDO	95
Gráfica No. 5 DESCARGA POR UN ORIFICIO	109