

296
2 eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TEORIA Y DESARROLLO DE LAS PRACTICAS
DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
MARIA DEL PILAR PILLADO HERNANDEZ

México, D.F.

1994.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

A mi papá, por que con su ejemplo
de trabajo, nobleza y perseverancia
siempre me impulso a seguir adelante.

A ti, gracias mamá, por tus palabras de
aliento, tus cuidados, desvelos y tu cariño.

A mis hermanas, Katina,
Kio y Gloria por cuidarme y ayudarme.

A Mayo, gracias hermana por creer en mi.

Al amigo que se desvelo, estudió y compartió
connigo los fracasos y alegrías durante mis
estudios en la Facultad.

A mi esposo, sin ti no hubiera concluido esto y
un trabajo no vale la pena si no se finaliza
correctamente.

A la Facultad de Ingeniería, y a todos los académicos que por su esfuerzo, vocación y entrega a la enseñanza dan lo mejor de sí mismos a la juventud y a México y logran así un país con un futuro lleno de esperanza.

A las ingenieras Adriana Caffagi y Rosfo Ruíz
por sus conocimientos y paciencia;
además de ser amas de casa y esposas
son profesionales capaces, dignas de admiración
y respeto.

Al ingeniero Arturo Nava M. por sus comentarios
y enseñanzas.

a todos, Gracias



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-159/93

Señorita
MA. DEL PILAR PILLADO HERNANDEZ
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. ADRIANA A. CAFAGGI FELIX** que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"TEORIA Y DESARROLLO DE LAS PRACTICAS DEL LABORATORIO DE
HIDRAULICA"**

- I. INTRODUCCION
- II. PRACTICAS DE HIDRAULICA BASICA
- III. PRACTICAS DE HIDRAULICA DE CANALES
- IV. PRACTICAS DE HIDROMECAICA
- V. PRACTICAS DE HIDROLOGIA
- VI. PRACTICAS DE OBRAS HIDRAULICAS
- VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universidad, a 05 de octubre de 1993.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nl

INTRODUCCION

INTRODUCCION

No se puede esperar adquirir un conocimiento de la ciencia solamente leyendo acerca de ella, por ello, la mayor parte de los cursos de ciencia vinculan al estudiante a comprobar las teorías. Tampoco es fácil relacionar al estudiante al trabajo experimental.

La recopilación e interpretación de los datos va acompañada de dificultad; por muchas razones los datos pueden estar errados o defectuosos. Gran destreza, cuidado, sentido común e ingenio se necesitan para tomar buenas medidas.

A través del trabajo experimental se aprende como manejar los datos, como transformar un conjunto de observaciones en un valor estimativo de una cantidad física y a como valorar la precisión de un resultado. Los fenómenos sobre los cuales ha leído se entenderán más claramente y se recordarán con mayor facilidad cuando en realidad se han visto físicamente

Gran parte del objetivo de la creación y mejoramiento del laboratorio es que se desarrolle conciencia crítica, destreza manual y familiaridad con alguna parte del equipo científico.

La Facultad de Ingeniería cuenta con un laboratorio de hidráulica donde se observa el comportamiento de algunos fenómenos hidráulicos

El presente documento tiene como finalidad el brindar al alumno no sólo una guía experimental que le auxilie a comprender mejor el objetivo y realización de la práctica que reforzará el conocimiento adquirido en su asignatura; si no que además proporciona de manera sencilla las bases teóricas de partida. Generalmente el alumno esta familiarizado con el modelo matemático, sin

embargo en la mayoría de los casos, no alcanza a comprender el concepto real que encierran estas expresiones matemáticas.

El objetivo del laboratorio es pues, el relacionar al alumno con métodos, técnicas y modelos experimentales y a través de ellos llegar a la total comprensión y comprobación de los modelos matemáticos que describen el comportamiento del agua bajo determinadas condiciones.

Para lograr lo anterior el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería ha propuesto una serie de prácticas estructuradas y encaminadas de tal manera que siguen el programa propuesto por la División de Ingeniería Civil para el área de hidráulica.

Estas prácticas se realizan durante el semestre acorde con el programa de la materia respectiva, a fin de que exista un seguimiento entre la teoría impartida por el profesor y la realización de la práctica para así lograr un refuerzo del conocimiento teórico.

El laboratorio cuenta con instalaciones adecuadas para llevar a cabo las prácticas y lograr resultados con pequeños márgenes de error. Se tienen modelos de tuberías a presión, manómetros con diferentes órdenes de magnitud, canales, aforadores, bombas, turbinas, una estación climatológica real, una mesa hidrológica, un generador de olas y otros modelos para estudios más específicos (empuje hidrostático, golpe de ariete, tránsito de avenidas) hasta un modelo a escala de una obra de excedencias.

En la carrera de Ingeniero Civil impartida por la Facultad de Ingeniería el área de hidráulica comprende las siguientes asignaturas obligatorias:

Hidráulica Básica

Hidráulica de canales

Hidromecánica

Hidrología

Obras Hidráulicas

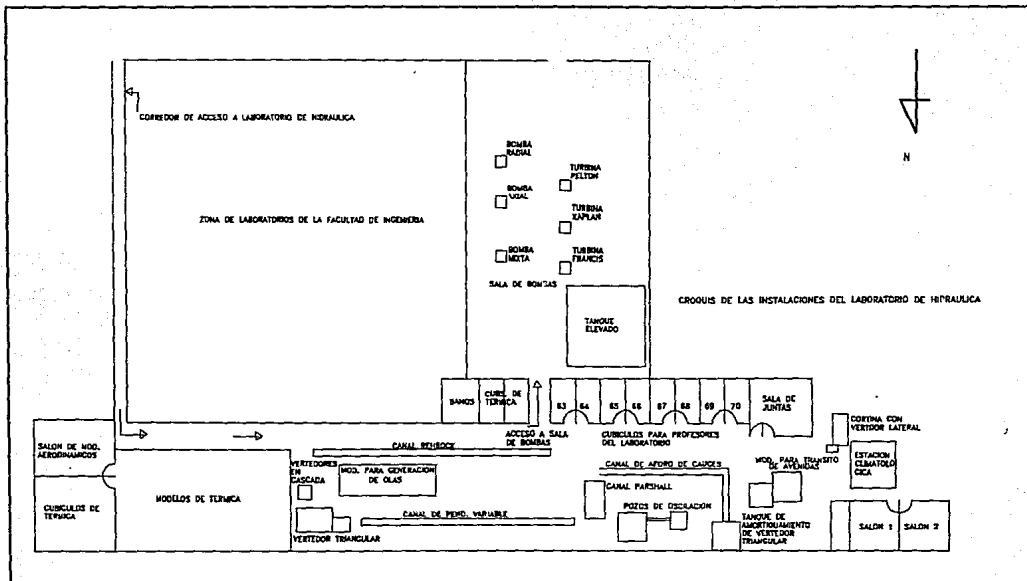
Captaciones y conducciones

El Laboratorio de hidráulica cuenta con instalaciones suficientes para cubrir las inquietudes y cuestionamientos experimentales que surgen por parte del alumnado que cursa las primeras materias ya que Captaciones y conducciones es asignatura de diseño.

Cabe hacer mención de los siguientes datos del laboratorio.

La construcción del laboratorio empieza en 1957 y hasta 1961 comienza a funcionar. Cuenta con un cárcamo de almacenamiento, un cárcamo de bombeo, un tanque elevado y equipo de bombeo. En 1975 se hizo un proyecto de remodelación para quedar como hasta el momento se conoce.

En el presente se cuenta con modelos suficientes para prácticas de todas las materias de hidráulica (según el plan de estudios de la Facultad de Ingeniería), tiene 8 cubículos para el personal docente, profesores y laboratoristas que también proporcionan asesoría, biblioteca con una colección limitada de volúmenes relacionados a la hidráulica, una sala de juntas, un taller, una bodega y tres pequeños salones en donde se imparte la explicación teórica y el método experimental concernientes a la práctica correspondiente. En la siguiente pagina se muestra un plano con la distribución de las instalaciones del laboratorio.



Para su análisis las prácticas se han organizado por materias y cada una de ellas presenta la siguiente estructura:

INTRODUCCION

Cada práctica tiene una introducción teórica en donde, como ya se mencionó con anterioridad, se trata de vincular al alumno con los conceptos que originan el estudio del fenómeno; se busca que esta introducción sea de fácil entendimiento, somera sin llegar a ser simple y que va ligando el concepto teórico con el método experimental.

DESARROLLO TEORICO

Se tiene un desarrollo teórico simplificado que justificadamente llega a la expresión matemática que describe al fenómeno en cuestión.

DESCRIPCION DEL MODELO

Se detalla al modelo a través de fotografías y un croquis, asimismo se describe someramente su funcionamiento y uso.

DESARROLLO DE LA PRACTICA

En este desarrollo se sigue una metodología de como se realizará la práctica enunciando el objetivo, los antecedentes teóricos que deben cubrirse antes de realizar la práctica; los materiales que se requieren para la realización de ella, la

experimentación que debe seguirse paso a paso y finalmente los resultados que deben entregarse (incluyendo memoria de cálculo) a fin de valorar el aprovechamiento del alumno durante la práctica.

HOJA DE DATOS

Finalmente se incluye una hoja de datos que recibe personalmente cada alumno para la realización de su práctica. Esta hoja incluye nombre del alumno, fecha y hora de realización de la práctica, un cróquis del modelo a emplear y una tabla en donde se facilita la toma de datos para su posterior manejo.

Las prácticas son impartidas por personal académico quienes deben tener la capacidad suficiente para esclarecer todo tipo de dudas referentes a la prácticas. También se cuenta con el servicio de asesoría para el área de hidráulica en general.

Se cuenta también con un grupo de técnicos pendientes del buen funcionamiento de los modelos y del material e instrumentos necesarios para el buen desarrollo de la práctica.

Los grupos que reciben atención son mínimo de 3 personas y máximo 8 a fin de proporcionar una mejor atención a cada uno de ellos.

Los horarios de servicio están organizados de la siguiente forma: cada práctica tiene una duración de 1.5 horas (explicación y experimentación); por la mañana se imparten prácticas de 10:00 a 14:30 hrs. y por la tarde de 16:00 a 20:30 hrs. de Lunes a Viernes.

El servicio está organizado en módulos, estos tienen una duración de 1.5 hrs. y cada uno de ellos consta de tres prácticas de diferente materia, es decir a la

se imparten prácticas de 10:00 a 14:30 hrs. y por la tarde de 16:00 a 20:30 hrs. de Lunes a Viernes.

El servicio está organizado en módulos, estos tienen una duración de 1.5 hrs. y cada uno de ellos consta de tres prácticas de diferente materia, es decir a la misma hora pueden atenderse a un máximo de 24 alumnos en grupos de 8 personas y de 3 materias distintas; y cada uno de ellos atendidos por profesores diferentes. Cada práctica se imparte durante dos semanas y el alumno tiene la ventaja de escoger su fecha, horario, e instructor que más le convengan y en la mayoría de los casos hasta sus compañeros de trabajo logrando de esta manera eficiencia y dinamismo en el servicio.

Para su evaluación las prácticas deben entregarse por los alumnos al lunes siguiente de su realización y las calificaciones son publicadas una semana después de terminada la práctica, en una vitrina especialmente dedicada a ello. Los criterios de calificación son personales y elásticos y cada profesor emplea una rúbrica al evaluar para que el alumno tenga oportunidad de acudir con la persona indicada en caso de aclaraciones.

HIDRAULICA BASICA

PRESION

Para un líquido estático, la presión varía únicamente con la elevación, esto se puede demostrar aislando un elemento cilíndrico como el mostrado.

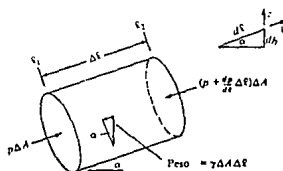


Fig. 1 Variación de la presión con la elevación.

En la dirección "l" se tiene $\Sigma F_l = 0$

$$p\Delta A - \left(p + \frac{dp}{dz}\Delta z\right)\Delta A - \gamma\Delta A\Delta l \text{sen}\alpha = 0$$

$$dp/dl = -\gamma \text{sen}\alpha$$

de la figura

$$\text{sen}\alpha = dh/dl$$

$$dp/dl = -\gamma dh/dl$$

$$dp = \gamma dh$$

de donde se concluye que la presión solo varía con la profundidad vertical. Al integrar entre un punto cualquiera y la superficie libre del líquido se llega a

$$p = \gamma h \quad (1.1.1)$$

$$h = p/\gamma \quad (1.1.2)$$

De la expresión (1.1.1) se observa que la presión depende de la profundidad "h" y el peso específico γ .

A la expresión (1.1.2) se le conoce como carga de presión e indica el valor de la columna "h" de líquido de peso específico γ que produce una presión "p". Las unidades de la carga de presión deben indicar el líquido al cual se refiere; por ejemplo, metro de columna de agua (m.c.a.), pulgadas de mercurio (in Hg) etc. Dentro de las instalaciones del laboratorio se cuenta con dispositivos para medir diferentes órdenes de magnitud de presión. El objetivo de la presente práctica es conocer el manejo de tales dispositivos, así como el orden de magnitud que pueden medir, para ello se analizará cada uno de ellos.

PIÉZOMETRO.

El piezómetro o manómetro simple es el dispositivo más sencillo para medir presiones manométricas pequeñas. Este dispositivo consiste en un tubo vertical conectado a una tubería en la cual se desea medir la presión. Esta se medirá en el eje de la tubería a fin de considerar la presión promedio.

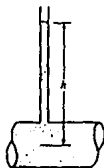


Fig. 2 Piezómetro

El líquido interior asciende hasta alcanzar el equilibrio y la presión en el centro de la tubería será:

$$p = \gamma h$$

Este dispositivo es exacto y simple pero resulta impráctico para presiones grandes y no se puede usar para medir presiones negativas, ni para gases.

MANOMETRO DIFERENCIAL ABIERTO.

Este tipo de manómetro mide presiones positivas o negativas. Tiene forma de U y se puede emplear con fluidos de diferente peso específico, inmiscibles entre sí.

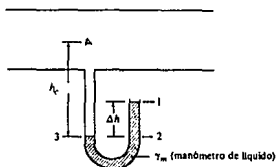


Fig. 3 Manómetro diferencial abierto

$$p_A + \gamma_0 h_0 - \gamma_m \Delta h = 0$$

$$p_A = \gamma_m \Delta h - \gamma_0 h_0 \dots \dots \dots (1.1.3)$$

Si la presión en el interior de la tubería es muy grande entonces se empleará un líquido manométrico de peso específico mucho mayor que el del líquido que está dentro del recipiente o tubería donde se desea medir la presión.

MANOMETRO DIFERENCIAL CERRADO.

Con este dispositivo se mide la diferencia de presiones entre dos puntos. La disposición de este instrumento se muestra a continuación. La diferencia de

presión entre los puntos 1 y 2 esta dada por $\Delta p = \gamma_m \Delta h$; donde γ_m es el peso específico del líquido del manómetro y Δh la deflexión de este líquido.

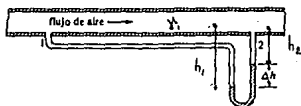


Fig. 4 Manómetro Diferencial Cerrado

$$P_1 + \gamma_1 h_1 - \gamma_m \Delta h - \gamma_1 h_2 = P_2$$

$$P_1 - P_2 = \Delta h (\gamma_m - \gamma_1) \quad (1.1.4)$$

MANOMETRO COMERCIAL.

Este tipo de manómetro mide presiones altas positivas o negativas. Están provistos de un sistema de aguja y carátula graduada que mide directamente las presiones. En la figura siguiente se muestra la disposición de este instrumento.

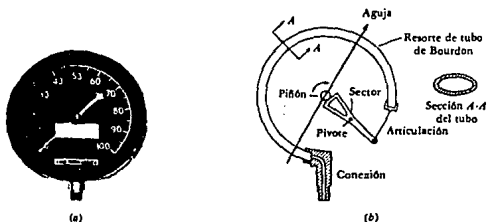


Fig. 5 Manómetro comercial.

Al aplicarse presión al manómetro el tubo curvado se endereza en forma similar a un "espantasuegras" accionándose la aguja para leer la correspondiente alta presión. Al usar estos manómetros, resulta conveniente no sobrepasar cierto rango de presiones así como calibrarlos periódicamente a fin de obtener mayor precisión. Debido a su facilidad de uso, estos dispositivos son los que comúnmente se emplean en la medición de presiones. Estos manómetros llamados manómetros de Bourdon son también conocidos como manómetros comerciales.

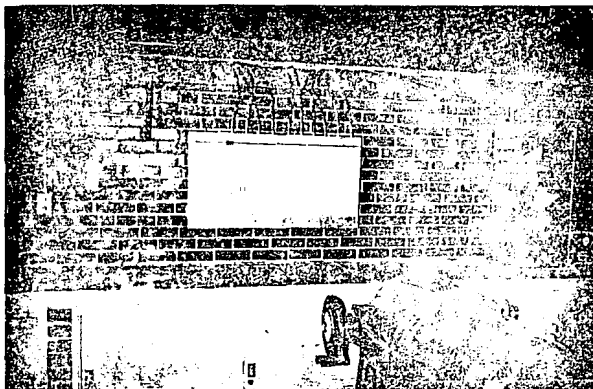
DESCRIPCION DEL MODELO.

Los manómetros disponibles en el laboratorio funcionan como parte integral de algunos modelos, por ello estos dispositivos no se encontrarán aislados.

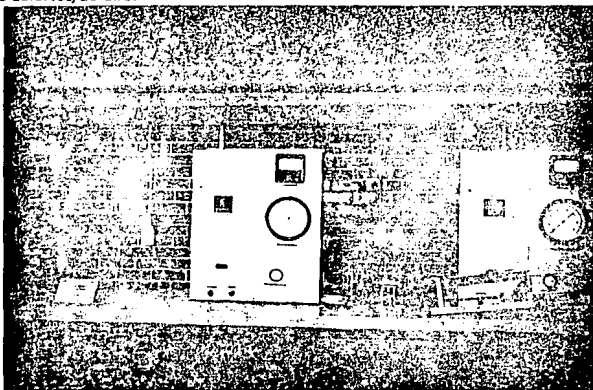
El piezómetro está conectado a una línea de conducción con descarga a un tanque de aforo; a esta misma línea se encuentran conectados los manómetros diferenciales cerrados. Cabe mencionar que para hacer uso de cualquiera de los medidores de presión, es necesario purgarlos.

El manómetro diferencial abierto esta conectado al diafragma de la línea de alimentación del canal de pendiente variable.

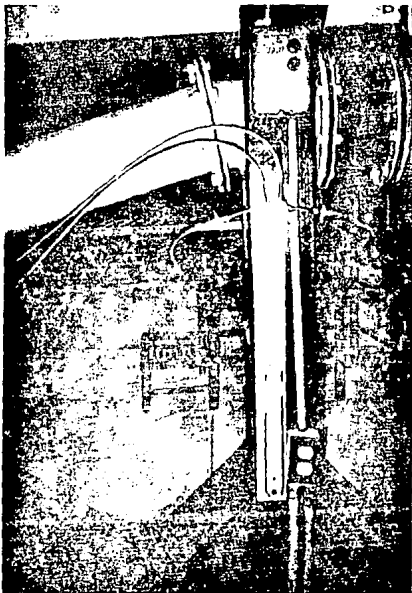
Los manómetros de carátula se encuentran conectados a las línea de conducción de las bombas; por ello es necesario que las mismas estén en funcionamiento para hacer uso de los manómetros.



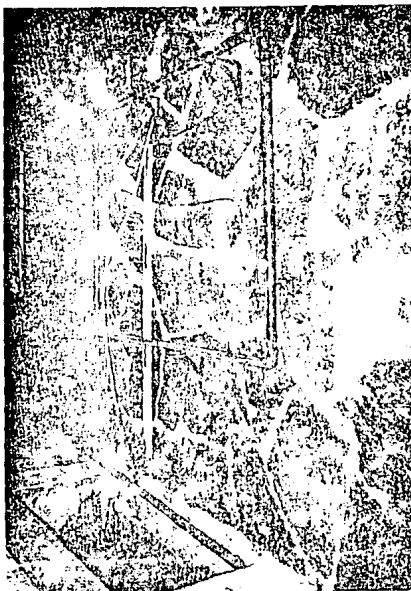
En el cuadro blanco se aprecia un tablero con una serie de manómetros diferenciales abiertos, de aire.



Manómetro comercial de carátula



Manómetro diferencial cerrado empleado para medir la diferencia de presiones en la línea de alimentación del canal de pendiente variable.



El dispositivo más sencillo para medir presiones está formado por una manguera de vinil transparente, y se observa a un costado de la cinta métrica.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**PRESION****OBJETIVO**

Conocer y usar los diferentes dispositivos que se emplean para medir la presión.

ANTECEDENTES

- 1.- Concepto básico de presión (absoluta, atmosférica y manométrica)
- 2.- Dimensiones, unidades y conversiones.
- 3.- Ley de Pascal.
- 4.- Atmósfera estándar.
- 5.- Dispositivos para medir la presión.

MATERIAL DE MEDICION

Todo lo necesario se encuentra en los modelos.

EXPERIMENTACION

- 1.- Medir la presión atmosférica local con el barómetro.
- 2.- Explicar concepto de conexión y purga.
- 3.- Purgar la línea de conducción de agua.
- 4.- En la misma línea generar una presión pequeña, y medirla con el piezómetro.
- 5.- En el mismo conducto incrementar la presión y medirla con el manómetro diferencial abierto.
- 6.- En el manómetro diferencial cerrado que está en la tubería de alimentación del canal de pendiente variable, medir la diferencia de

presiones debidas al gasto que esta circulando.

- 7.- Encender el ventilador que alimenta la línea elevada de aire y en una determinada sección medir la diferencia de carga de presión en el manómetro diferencial abierto.
- 8.- Medir en los manómetros de carátula que están en la bomba diesel las presiones correspondientes a la succión y descarga.

RESULTADOS:

- 1.- A partir de las mediciones realizadas en el laboratorio calcular las presiones en cada dispositivo en kg/cm^2 , kg/cm^2 , lb/in^2 , Pascales, así como su equivalente en m.c.a., m aire y m Hg. Presentar en una tabla los resultados obtenidos.
- 2.- Dar respuesta a las preguntas siguientes:
 - a) Por medio de las ecuaciones de la aerostática calcule la altitud del laboratorio de hidráulica en m.s.n.m. y la densidad y peso específico y del aire en kg/m^3 .
 - b) ¿Hasta qué valor puede disminuir la presión manométrica negativa en la Ciudad de México y en el nivel del mar? Expresar su equivalente en m.c.a.

HIDROSTATICA

Considere una superficie plana inclinada sumergida en un líquido de peso específico γ , y que soporta sobre cada elemento diferencial de su superficie un empuje hidrostático. Ver figura 1.

$$dF = p dA$$

$$dF = \gamma z dA$$

donde A área, en m^2
 p presión, en kg/m^2
 z centro de presiones o punto de aplicacion de la resultante
 medida verticalmente.

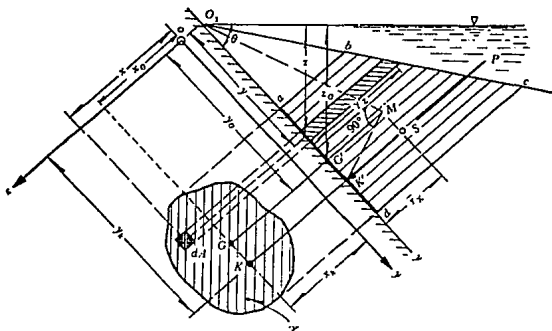


Fig. 1 Empuje hidrostático y centro de presiones sobre una superficie plana e inclinada.

Dado que todas las fuerzas elementales "dF" son paralelas entre sí (p es normal a dA), la integral de ellas extendidas a toda la superficie da como resultado la magnitud de la fuerza total que actúa sobre la superficie, también conocida como empuje hidrostático.

$$F = \gamma \iint_A z dA \quad (1.2.1)$$

donde

$$\iint_A z dA$$

es el primer momento estático del área con respecto a la superficie libre.

desarrollando la integral se llega a

$$F = \gamma A z_G \quad (1.2.2)$$

donde γ peso específico del líquido que ejerce el empuje.

A área de la superficie sobre la cual actúa el empuje

z_G distancia vertical desde la superficie libre del agua hasta el centro de la superficie plana.

Al Al

punto por donde pasa la resultante del empuje hidrostático se le llama centro de presiones y tiene coordenadas (x_k, y_k) .

Tomando momento con respecto a la superficie libre, para encontrar el centro de presiones (x_k, y_k) se tiene

$$Fy_k = \gamma \iint_A zy dA$$

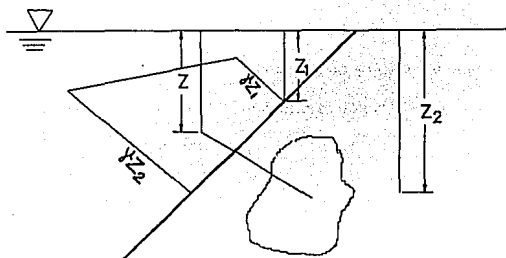
y se llega a

$$y_k = \frac{r_x^2}{y_G} + y_G \quad (1.2.3)$$

- Donde r_x^2 radio de giro de la superficie con respecto al eje centroidal paralelo al eje x (contenido en la superficie libre)
- y_G ubicación del centroide de la superficie plana, medida desde la superficie libre del agua (distancia medida sobre el plano inclinado que contiene a "A")

Cuando una superficie es simétrica con respecto a un eje vertical, x_k coincide con el eje de simetría.

Un método alternativo para determinar la magnitud del empuje hidrostático y la localización del centro de presiones, se basa en el concepto de **prisma de presiones**. La base de este prisma está constituido por la superficie misma y su altura en cada punto queda determinada por la presión γz . La magnitud de la fuerza resultante la proporciona el volumen del prisma, y el centro de presiones coincide con el centro de gravedad del prisma. Ver siguiente figura.



$$dF = p dA$$

$$dF = \gamma z dA$$

$$dF = \gamma dV_{pp}$$

$$F = \gamma V_{pp}$$

Fig. 2

donde V_{pp} es el volumen del prisma de presiones, en m^3

Por ejemplo, para la siguiente figura el empuje hidrostático

es:

$$F = \gamma h^2 b / 2$$

y el centro de presiones se determina como

$$y_k = 2/3 h$$

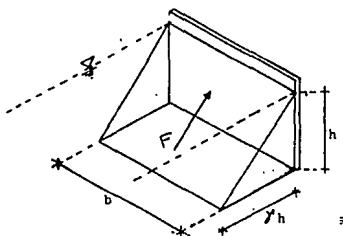


Fig. 3 Cuña de distribución de presiones

PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

En la figura 3 se muestra que cuando se tiene un cuerpo flotando en un líquido la resultante horizontal de la fuerza de presión hidrostática es nula. Sólo existe la componente vertical F_z .

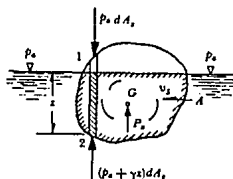


Fig. 3

La fuerza de presión vertical sobre un elemento diferencial de área dA .

$$dF_z = \gamma z dA_z$$

$$F_z = \iint_{A_z} \gamma z dA_z$$

$$F_z = \gamma v_s$$

donde γ es el peso específico del líquido

v_s es el volumen sumergido del cuerpo en flotación.

en base a este análisis se puede enunciar el principio de Arquímedes:

PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

"Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje vertical ascendente igual al peso del volumen de líquido desalojado"

DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

Este modelo esta formado por una caja de acrílico transparente con una pared giratoria (que en adelante se llamará compuerta) que esta fija por medio de dos pernos laterales.

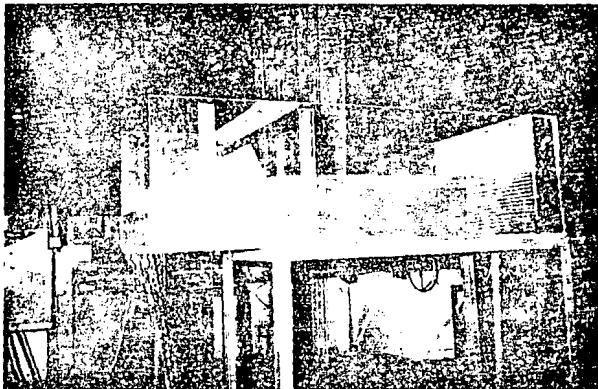
La caja mide 0.4x0.8 m y cuenta con un pequeño depósito de amortiguamiento para disminuir la turbulencia producida por la salida brusca de la línea de agua potable.

Aguas abajo de la compuerta el fondo de la caja tiene dos orificios con sus respectivas tapas. Estos orificios al cubrirse o descubrirse fijan las condiciones de llenado de la caja y en consecuencia el giro de la compuerta ante diferentes magnitudes de empujes hidrostáticos.

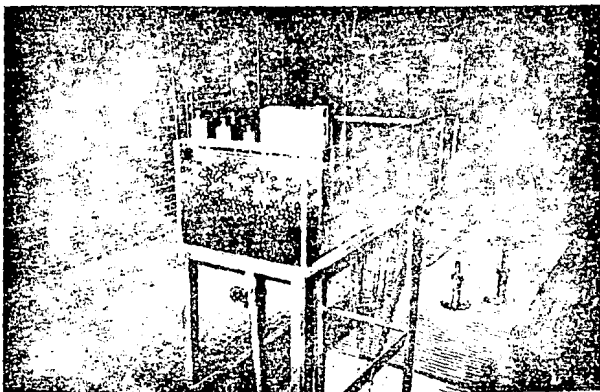
La descarga del modelo es hacia el canal de retorno.

Para la segunda parte de la práctica se emplea el mismo modelo, ahora lleno de agua. Dentro se coloca una pequeña caja de acrílico de 5x10x15 cm que tiene pegada en un costado una cinta métrica.

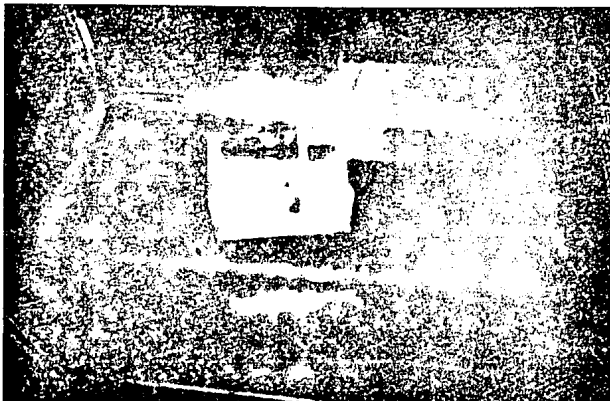
Sobre la cajita se aplican pesitas de 100, 250, 500 y 1000 gr, una cada vez, y se registran los hundimientos producidos por diferentes pesos.



En esta gráfica, claramente se aprecia el giro de la compuerta debido al empuje hidrostático en ambos lados de la compuerta



Se aprecia la caja de acrílico con las pesitas de diferente magnitud.



En esta gráfica se aprecia el hundimiento de la cajita de acrílico debido a la fuerza adicional de la pesa.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**EMPUJE HIDROSTATICO****OBJETIVO**

Observar y justificar el giro de una compuerta plana vertical sujeta a la acción de empuje hidrostático y verificar experimentalmente el Principio de Arquímedes.

ANTECEDENTES

- 1.- Empuje hidrostático sobre superficies planas.
- 2.- Diagrama de distribución de presiones hidrostáticas.
- 3.- Centro de presiones.
- 4.- Principio de Arquímedes.
- 5.- Principios de flotación, se sugiere al profesor explicar el centro de carena.

INSTRUMENTOS DE MEDICION:

Cinta métrica

Pesas de diferente magnitud

Caja de acrílico transparente.

EXPERIMENTACION:

- 1.- En el modelo hidrostático, medir la distancia desde fondo hasta la altura del perno.
- 2.- Medir los niveles del agua justo en el momento del volteo de la compuerta con:
 - carga sólo aguas arriba
 - carga en ambos lados de la compuerta

- 3.- Pesar el prisma de acrílico.
- 4.- Medir los hundimientos del prisma con diferentes pesos.
- 5.- Repetir el experimento si el prisma contiene una sustancia diferente al agua.
- 6.- Obtener el peso de la sustancia.

INFORME

- 1.- Aplicar las ecuaciones de equilibrio y justificar el volteo de la compuerta.
- 2.- Con los datos obtenidos verificar el principio de principio de Arquímedes.
- 3.- Calcular el peso volumétrico (γ_s) de la sustancia que contiene el recipiente y compararlo con el obtenido a partir de $\gamma_s = W/vol$.
- 4.- Responder las siguientes preguntas.
 - a) ¿Qué posición ocupa el centro de presiones con respecto al centroide de la compuerta?
 - b) Suponiendo que la compuerta estuviera inclinada hacia aguas abajo un ángulo θ y los niveles de agua fueran los mismos que se midieron en el laboratorio ¿Cómo serían las magnitudes de los empujes respecto de los calculados? ¿Por qué?

GRADIENTES HIDRAULICOS

Considere un conducto a presión donde no se incluyen efectos termodinámicos en el flujo ni la adición o extracción de energía mecánica desde el exterior.

La ecuación de la energía (por unidad de peso) para una vena líquida en flujo permanente es

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_f \quad (1.3.1)$$

donde cada uno de los términos tiene unidades de longitud.

Esta ecuación establece las relaciones entre las diferentes transformaciones de la energía mecánica por unidad de peso [FL/F].

En la siguiente figura se muestra una interpretación física de cada uno de los términos en un conducto a presión con un escurrimiento no permanente.

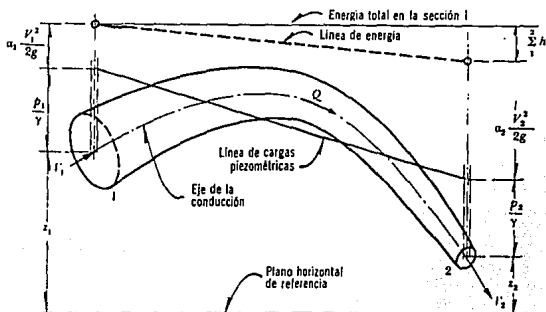


Fig. 1

- z** carga de posición o energía potencial y es la distancia vertical que hay desde el plano de referencia hasta el centroide de la sección transversal.
- p/γ** carga de presión, es la energía correspondiente al trabajo mecánico ejecutado por las fuerzas de presión
- $\alpha V^2/2g$** carga de velocidad y es la energía cinética correspondiente a toda la vena líquida.
- $\Sigma_1^2 h_r$** energía empleada para vencer las fuerzas de fricción y se transforma en energía calorífica; significa una pérdida de carga.

NOTA Todos estos términos tienen unidades de longitud.

En la figura anterior se observa que la línea de energía une los puntos que indican la energía de la vena líquida en cada sección. Esta línea no puede ser horizontal o ascendente en dirección del escurrimiento a menos que se le adicione energía desde el exterior.

La línea de cargas piezométricas une los puntos que suman $z + p/\gamma$ en cada sección e indica el nivel hasta el cual ascendería el líquido si se pusiera un piezómetro en cada sección (si la presión está por encima de la atmosférica local). La línea de energía y la línea piezométrica coinciden y quedan al nivel de la superficie del agua para un líquido en reposo (por ejemplo, un embalse). Cuando la línea de cargas piezométricas queda por debajo de la vena líquida; las presiones locales son menores que la presión cero de referencia.

Si se consideran despreciables las pérdidas de energía y el coeficiente que toma en cuenta la distribución de velocidades en la sección transversal es $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$; la ecuación (1.3.1) adquiere la forma llamada Ecuación de Bernoulli para una vena líquida

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1.3.2)$$

Llamando H a la energía total por unidad de peso en cada sección

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (1.3.3)$$

la ecuación 1.3.1 se simplifica quedando como:

$$H_1 = H_2 + \sum_1^2 h_r \quad (1.3.4)$$

Las tuberías de conducción generalmente están compuestas por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos, a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y a los distintos dispositivos para el control de las descargas, estos cambios originan pérdidas de energía diferentes a las de fricción y se localizan en el sitio mismo del cambio de la geometría o de la alteración del flujo, este sitio se conoce como pérdida local y su magnitud se puede calcular con la fórmula general

$$h = K \frac{V^2}{2g} \quad (1.3.5)$$

donde h pérdida de energía, en m

K coeficiente adimensional que depende del tipo de pérdida que se trate, adimensional.

$V^2/2g$ carga de velocidad, aguas abajo de la zona de alteración del flujo, en m

Para calcular las pérdidas por fricción en un tubo con diámetro constante se propone la formula de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \tag{1.3.6}$$

donde h_f pérdidas por fricción, en m;

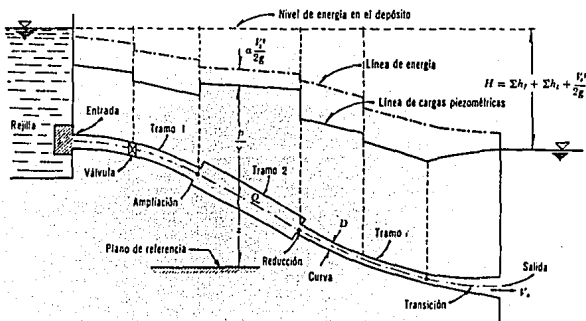
f factor de fricción adimensional;

L longitud del tubo, en m;

D diámetro, en m;

$V^2/2g$ carga de velocidad, en m.

Con el fin de observar el comportamiento de los gradientes hidráulicos se presenta la siguiente conducción.

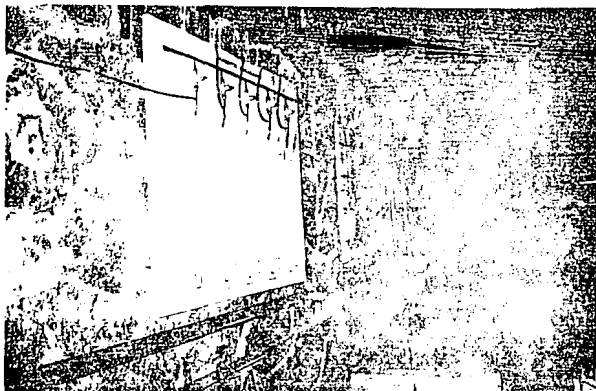


DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS A EMPLEAR

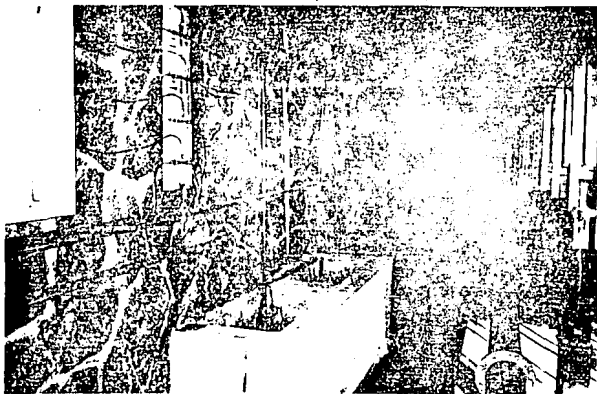
Este modelo esta formado por cinco manómetros abiertos que están conectados a dos tuberías que presentan variaciones de diámetro y cambios bruscos de dirección; este modelo es alimentado por el tanque elevado a través de una tubería y el gasto se controla por medio de una válvula de compuerta

Para hacer uso de esta instalación es necesario purgarla y posteriormente fijar las condiciones de apertura y cierre de las válvulas de paso a fin de lograr un cambio de tubería (tubería A o tubería B).

El aforo de los gastos que circulan por la tuberías A y B se lleva a cabo en sus correspondientes tanques de aforo, finalmente la descarga es hacia el canal de retorno.



En el tablero se pueden apreciar los manómetros diferenciales abiertos, así como las líneas de conducción A (la tubería de mayor diámetro) y B (con un codo a 45).



Se muestran los tanques de aforo así como las válvulas de paso que controlan la dirección del flujo.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**GRADIENTES HIDRAULICOS****OBJETIVO**

Observar y analizar el comportamiento de la línea de energía y piezométrica en conductos a presión.

ANTECEDENTES

- 1.- Representación gráfica de cada uno de los términos que intervienen en la ecuación de la energía para conductos a presión, unidades.
- 2.- Trazo de la línea de energía (L.E), de cargas piezométricas (L.P) y horizonte de energía (L.E.T). Representación de la línea de energía.
- 3.- Comportamiento de las líneas de energía y de cargas piezométricas en una instalación de bombeo y en una instalación hidroeléctrica.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Cronómetro

Flexómetro

EXPERIMENTACION

- 1.- Observar la instalación, purgar la línea de conducción y establecer un gasto en la tubería principal.
- 2.- Para la tubería "A" cerrar las válvulas de paso correspondientes a la tubería "B", aforar el gasto volumétricamente y medir las lecturas ($h_o, \Delta H$) en los manómetros correspondientes a cada sección.
- 3.- Realizar el mismo procedimiento para la tubería "B" cerrando las válvulas de paso correspondientes a la tubería "A".

INFORME

Para las dos tuberías

- 1.- Calcular el gasto y la presión en cada una de las secciones.
- 2.- Para cada sección obtener z , p/γ y $V^2/2g$. Presenta en una tabla los resultados obtenidos.
- 3.- Elaborar un croquis de las tuberías y trazar a escala las líneas de energía, de cargas piezométricas y horizonte de energía, acotando claramente los valores obtenidos.
- 4.- Responder las siguientes preguntas:
 - a) ¿Por qué los gradientes tienen una inclinación descendente en la dirección del flujo?
 - b) ¿En qué casos se presenta una línea de carga piezométrica horizontal?
 - c) Suponiendo que la energía total en la última sección fuera mayor (para cada tubería) ¿Cómo sería el flujo?
 - d) Si la línea de carga piezométrica se ubicara por debajo del eje de la conducción ¿Cómo sería la presión manométrica?

VERTEDORES

Cuando la descarga del líquido se efectúa sobre un muro o una placa y a superficie libre y la placa es de arista aguda el vertedor se llama de pared delgada. Estos vertedores de pared delgada se emplean como aforadores en canales de pequeñas dimensiones.

Análisis de la ecuación general de un vertedor.

Las hipótesis que se consideran en la deducción de la ecuación general de un vertedor son:

Omisión de pérdidas de energía de las sección 0 a 1

En la sección 1 las velocidades tienen dirección horizontal y con distribución parabólica.

Distribución hidrostática de presiones de 0 a 1.

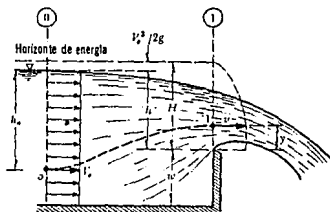


Fig. 1

Aplicando Bernoulli de 0 a 1

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$0 + h_0 + \frac{V_0^2}{2g} = (h_0 - h + y) + 0 + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$\frac{V_0^2}{2g} = y - h + \frac{v_1^2}{2g}$$

si $v_0^2/2g$ es despreciable

$$v = \sqrt{2g(h-y)} \quad (1.4.1)$$

El gasto a través del área elemental de la figura es:

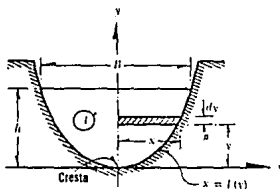


Fig. 2 Geometría de la sección transversal.

$$Q = v A$$

$$dA = 2x dy$$

$$dQ = v dA$$

$$dQ = \sqrt{2g(h-y)} 2x dy$$

$$Q = \int_0^h \sqrt{2g(h-y)} 2x dy$$

$$Q = 2\sqrt{2g}\mu \int_0^h \sqrt{(h-y)} x dy \quad (1.4.6)$$

Donde μ toma en cuenta el efecto de la contracción en la descarga y la pérdida de energía.

Para un vertedor triangular que es el más empleado para aforar gastos pequeños, se presenta el siguiente análisis.

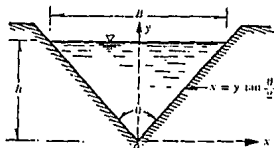


Fig. 3 Sección transversal de un vertedor triangular.

$$dA = 2x dy$$

$$x = y \tan \frac{\theta}{2}$$

$$dQ = v dA$$

$$dQ = \sqrt{2g(h-y)} \frac{1}{2} 2 (\tan \frac{\theta}{2} y) dy$$

e integrando

$$Q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \quad (1.4.3)$$

En la determinación del coeficiente se puede emplear cualquiera de los criterios indicados en la ref. 1 siempre y cuando se presenten los límites de aplicación. En el laboratorio de hidráulica se sugiere usar el criterio de la Universidad Católica de Chile, debido a que su rango de aplicación es más amplio. Finalmente el gasto es:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \mu K \quad (1.4.4)$$

donde

$$\mu = f(\theta, h)$$

$$K = f(\theta, B/h)$$

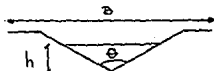
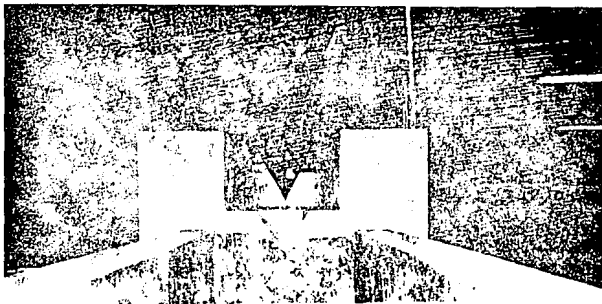
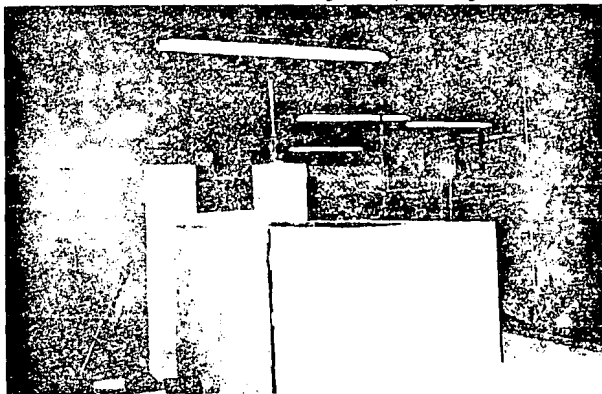


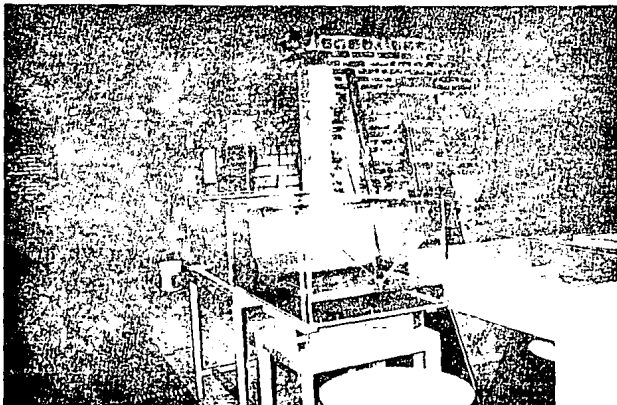
Fig. 4



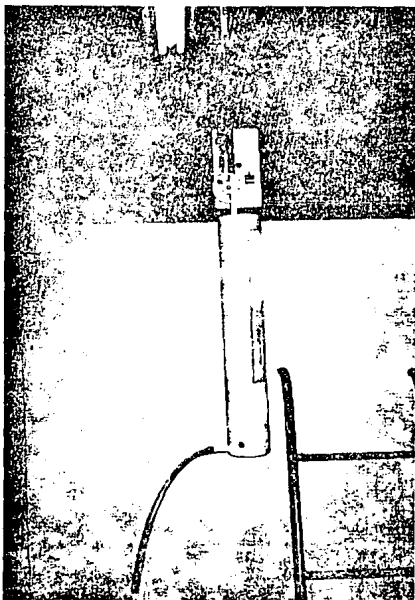
Vista frontal de un vertedor triangular de pared delgada.



Perspectiva del tanque de amortiguamiento con un vertedor triangular. El tanque de menores dimensiones es un depósito de aforo.



Modelo en acrílico con vertedores dipuestos en cascada. La primera descarga es a través de un vertedor de sección rectangular, la siguiente salida es a través de una sección trapecial y la última descarga es a través de un vertedor triangular.



Limnómetro de punta, este dispositivo es empleado para medir las cargas que se presentan sobre el vertedor triangular, y posteriormente utilizar estos datos para determinar el gasto que atraviesa la sección del vertedor.

DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS A UTILIZAR.

Este modelo esta formado por un depósito de llenado con su tanque de amortiguamiento y con un vertedor triangular y un tanque de aforo.

El depósito de llenado es alimentado por el tanque elevado a través de una tubería de 10" y el gasto se controla por medio de una válvula de compuerta.

El tanque de amortiguamiento es una estructura llena de rocas y limitada por una celosía de tabique y su finalidad es la de amortiguar la turbulencia producida por la salida brusca del agua, de manera que cuando el agua atraviese el vertedor lo haga sin fluctuaciones en la superficie libre.

A un costado del vertedor triangular hay un limnómetro cuyo manejo es explicado durante la práctica.

La salida del tanque de aforo se controla por medio de una compuerta y el aforo se lleva a cabo en forma volumétrica.

El descarga del modelo es hacia el canal de retorno.

El hecho de emplear tanto al vertedor triangular como al tanque de aforo para medir el gasto constituyen el objetivo de la práctica.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**VERTEDORES****OBJETIVO**

Comprender el funcionamiento de un vertedor de pared delgada en función de su geometría.

Comprobar experimentalmente la descarga de un vertedor triangular de pared delgada.

ANTECEDENTES.

Desarrollo de la ecuación general de descarga de un vertedor de pared delgada.

Presentar la ecuación para el caso de un vertedor triangular y la forma de obtener sus coeficientes.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Cinta métrica.

Cronómetro.

EXPERIMENTACION

- 1.- Explicar la manera de medir con el limnómetro y el concepto de tara.
- 2.- Medir la geometría del vertedor y del tanque de aforo.
- 3.- En el vertedor triangular, medir 5 cargas y aforar sus respectivos gastos empleando el método volumétrico.
- 4.- Para los vertedores en cascada, medir la carga en cada uno de ellos ante un mismo gasto.

INFORME

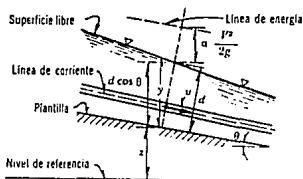
- 1.- Calcular el gasto emplando la expresión proporcionada por la Universidad Católica de Chile.
- 2.- Calcular y graficar en papel milimétrico la curva teórica gastos-cargas (Q-h) del vertedor triangular.
- 3.- Calcular y ubicar los puntos experimentales (Q-h) en el plano de la curva calculada.
- 4.- Responder las siguientes preguntas:
 - a) Con base en las mediciones en el modelo de vertedores en cascada, explique la variación de cargas.
 - b) ¿ Por qué existan diferentes formas de vertedor?
- 5.- Comentarios y conclusiones comparando los resultados obtenidos con los dos métodos de aforo (volumétrico y con aforador) y determinar el grado de confiabilidad del vertedor como aforador.

HIDRAULICA DE CANALES

ENERGIA ESPECIFICA

La energía específica se define como la energía por unidad de peso que fluye en una sección dada y se mide con respecto al fondo del canal. La siguiente figura muestra las cargas de posición y velocidad en un escurrimiento a superficie libre; donde la carga de presión se define como

$$p/\gamma = d \cos \theta = y \cos^2 \theta$$



y tirante vertical
d tirante normal

Fig. 1 Escurrimiento a superficie libre.

La siguiente ecuación indica que la energía específica es igual a la suma de la carga de presión más la carga de velocidad.

$$E = y \cos^2 \theta + \frac{V^2}{2g} \quad (2.1.1)$$

Si $\theta < 10^\circ$, $\cos \theta \approx 1$; $\alpha = 1$ si el flujo es turbulento y para cualquier geometría de la sección transversal

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (2.1.2)$$

Para un gasto y geometría de la sección transversal constante, la energía específica solo es función del tirante.

Representando gráficamente la expresión (2.1.2) se tiene una curva como la siguiente.

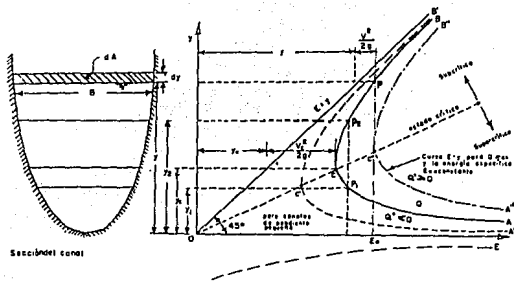


Fig. 2 Curva de energía específica-tirante

En esta curva se muestra que para determinada energía específica, existen dos valores del tirante llamados tirantes alternados para una energía constante.

En el punto c se localiza la menor energía específica con la que puede fluir un gasto a través de una sección y para la cual existe un solo valor del tirante, llamado tirante crítico. El estado del flujo en este punto es llamado estado o régimen crítico. Si el tirante es mayor que el crítico, la velocidad es menor que la que le corresponde al régimen crítico y se tiene entonces un régimen subcrítico o lento.

Si el tirante es menor que el crítico, se tiene una velocidad mayor que la del régimen crítico y se presenta un régimen supercrítico o rápido.

En la siguiente figura se muestra la curva E - y que indica el comportamiento de los tirantes ante variaciones en la plantilla de un canal. (En todos los casos se consideran despreciables las pérdidas de energía)

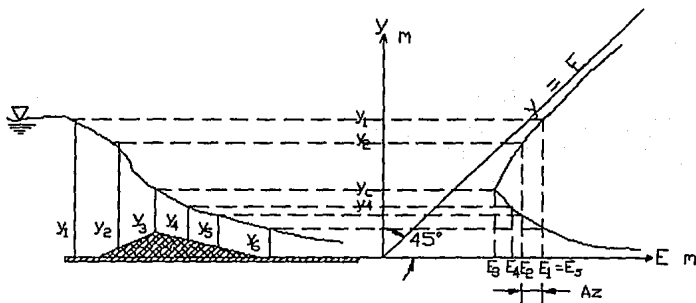


Fig. 3 Comportamiento del tirante ante variaciones de la plantilla.

En la sección 1 la energía específica es

$$E = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

Siendo el ancho del canal constante, al presentarse un escalón ascendente y teniéndose régimen subcrítico la energía específica disminuye y el tirante en la siguiente sección es menor al de la sección 1.

$$E_2 = E_1 - \Delta z_{1-2}$$

Debido a que la descarga del canal es libre, se produce régimen supercrítico y al tenerse régimen subcrítico en la sección 1 se debe presentar el tirante crítico entre las secciones 1 y 6; al analizar la curva E - y se observa que la energía

específica disminuye debido al escalón ascendente, el cual tiene una máxima altura en el punto 3 y después la energía específica aumenta debido al descenso del escalón. por lo tanto se tiene Δz máximo y se produce el tirante crítico el cual cumple

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{B} \quad (2.1.3)$$

REGIMEN CRITICO PARA ENERGIA ESPECIFICA CONSTANTE

Si se supone una energía específica E_0 constante se tiene

$$E_0 = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2.1.4)$$

entonces

$$Q = \sqrt{\frac{2g}{\alpha} A (E_0 - y)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.1.5)$$

Si

$$y = 0 \quad Q = 0$$

$$y = E_0 \quad Q = 0$$

y entre estos valores existe un valor máximo. La siguiente gráfica Q-y muestra la curva obtenida con la ecuación (2.1.4) y se observa que se tienen dos valores de tirante para cada valor del caudal excepto en el Q_{\max} , en este punto se cumple

$$E_0 = y + \frac{A}{2B} \quad (2.1.6)$$

y se demuestra igualando 2.1.4 en 2.1.6 que se presenta el régimen crítico.

Cuando la sección es rectangular se define el gasto unitario

$$q = Q/b$$

y las ecuaciones 2.1.4, 2.1.5 y 2.1.6 son

$$E_0 = y + \frac{q^2}{2g} \quad (2.1.4)'$$

$$q = \sqrt{2gy}(E_0 - y) \quad (2.1.5)'$$

$$E_0 = \frac{3}{2}y_c \quad (2.1.6)'$$

y la gráfica "q-y" queda

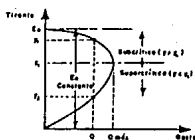


Fig. 4 Relación Q-y para energía específica constante

Cuando el gasto total no cambia, pero los anchos varían, el punto de

$q_{m\acute{a}x} = Q/b_{m\acute{i}n}$ indica hasta que valor se puede contraer la sección, conservando

E_0

DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

Para observar el cambio de energía específica (E.E) pueden emplearse los canales Plint o Rehbock.

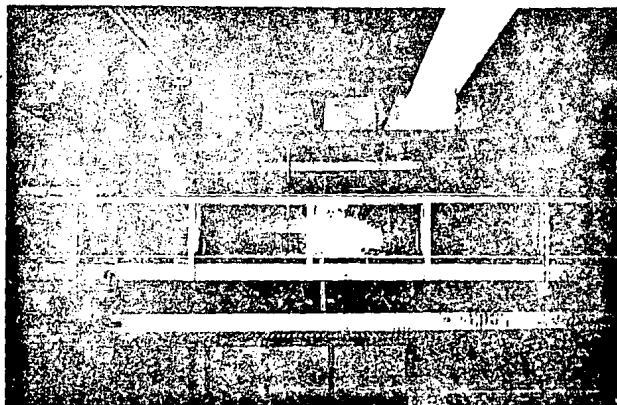
El canal marca Plint de sección rectangular tiene paredes de cristal de un cm de espesor y el agua que emplea es recirculable ya que tiene un cárcamo y bomba propia, el gasto puede controlarse con una válvula de compuerta.

Para aforar el gasto se conectó un manómetro diferencial cerrado al diafragma que se encuentra en la tubería de alimentación del canal.

Para lograr una alteración de la plantilla, se colocan en el fondo del canal uno o dos escalones distribuidos en la longitud del canal. Para observar el cambio de régimen con E.E. constante se colocan dos piezas especialmente diseñadas en las paredes del canal a fin de obtener una contracción local.

En la parte superior del canal hay dos carriles por donde se desliza un limnómetro de punta que se usa para medir los tirantes.

La salida del agua hacia el canal puede controlarse manualmente con una compuerta (A) en tanto que la descarga se controla también con otra compuerta (B). La descarga de este modelo es hacia su propio cárcamo de bombeo.



Canal de pendiente variable marca Plint, tiene paredes de cristal y entrepaños a cada metro; en la parte superior de las paredes se aprecian los rieles por donde se desliza el limnómetro de punta. En este canal se lleva a cabo el fenómeno de energía específica. En la gráfica se observa un escalón en la plantilla del canal a fin de lograr un cambio de energía específica cuando se presentan variaciones de plantilla.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**ENERGIA ESPECIFICA CONSTANTE (CONTRACCION)****OBJETIVO**

Observar y analizar el efecto que produce el cambio local de sección sobre los tirantes.

ANTECEDENTES

- 1.- Definición de energía específica, clasificación de régimen en función del número de Froude.
- 2.- Curva "E-y" para gasto y energía constante.
- 3.- Curva "q-y" para energía constante.
- 4.- Aplicación de la curva "q-y" al caso de una compuerta con descarga libre como sección de control.

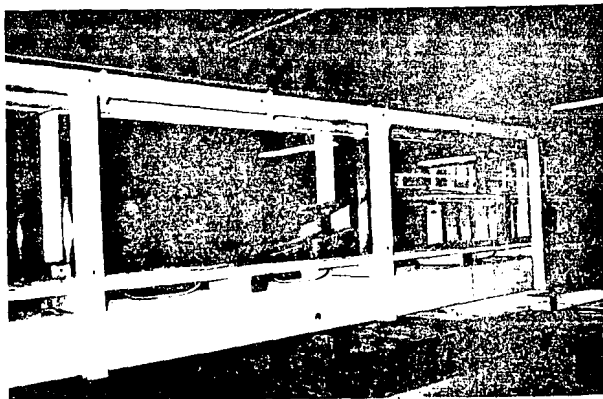
INSTRUMENTOS DE MEDICION:

Flexómetro

EXPERIMENTACION:

Para la contracción, en el canal Rehbock:

- 1.- Aforar el gasto con el vertedor triangular.
- 2.- Para el gasto establecido, medir los anchos y sus respectivos tirantes en las secciones indicadas de la transición (con la compuerta aguas abajo abierta).
- 3.- Observar el perfil que se presenta en la transición cuando la compuerta aguas abajo está operando.



Perspectiva del mismo fenómeno anterior.

INFORME

- 1.- Calcular el gasto.
- 2.- A partir del gasto aforado, calcular y graficar la curva "q-Y" tomando como condiciones iniciales $E_0 = \text{cte.}$
- 3.- Clasificar el régimen de cada tirante medido.
- 4.- Ubicar los puntos experimentales (q,y) en el plano de la curva calculada.
- 5.- De acuerdo a la curva "q-y" y considerando despreciables las pérdidas de energía, responda, justificando sus respuestas:
 - a) ¿En cuál sección se debió presentar el tirante crítico?
 - b) ¿Se presentó el tirante crítico en el caso de la compuerta operando?
 - c) ¿Es correcta la suposición de $E_0 = \text{cte.}$? ¿De cuánto fue la pérdida de energía?

DESARROLLO DE LA PRACTICA**ENERGIA ESPECIFICA VARIABLE (ESCALON)****OBJETIVO**

Observar el cambio del nivel del agua producido por variaciones en el fondo de un canal.

ANTECEDENTES

- 1.- Definición de Energía Específica.
- 2.- Comentarios generales sobre el tipo de régimen para el caso del escalón con ayuda de la curva E-y

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Todo lo necesario se encuentra en el modelo (canal de pendiente variable).

EXPERIMENTACION

- 1.- Purgar el manómetro diferencial cerrado.
- 2.- Abrir la válvula de compuerta y establecer un gasto. Medir la diferencia de presiones en el diafragma con el manómetro.
- 3.- Dividir la totalidad del canal en secciones de igual longitud.
- 4.- Medir los 6 tirantes que se presentan al tener variaciones en el fondo del canal.

RESULTADOS

- 1.- Graficar la curva E-y teórica para el gasto aforado y la geometría del canal, y vaciar los puntos experimentales en el mismo plano.
- 2.- Ubicar los puntos experimentales (E_1, y_1) en el plano gráfico.
- 3.- A partir de y_1 medido en el laboratorio calcular y_2 teórico y

compararlo con el medido.

- 4.- Obtener teóricamente el tirante y_2 sobre el primer escalón y compararlo con el medido.
- 5.- Conclusiones dirigidas al cambio de régimen en cada escalón.

SALTO HIDRÁULICO

El salto hidráulico es fenómeno hidráulico local en el cual se lleva a cabo una transición de régimen supercrítico a subcrítico.

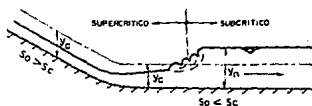


Fig. 1 Transición de régimen supercrítico a subcrítico.

Durante este proceso sucede lo siguiente:

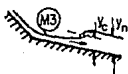
El flujo se encuentra inicialmente en régimen supercrítico debido a la reducción de pendiente, el flujo se frena por efectos de fricción, aumenta gradualmente el tirante y disminuye su energía específica. El cambio de régimen no puede ser gradual, ya que al tener régimen subcrítico aguas abajo la energía específica es mayor que la mínima, y si alcanzara el tirante crítico, la energía específica no tendría posibilidad de aumentar debido a que la poca pendiente no aporta energía adicional al flujo. Según evidencia experimental la transferencia de régimen de supercrítico a subcrítico ocurre en forma violenta y acompañada de gran turbulencia y pérdida de energía. El cambio de régimen ocurre con fuertes pulsaciones y gran inclusión de aire. En un tramo relativamente corto se alcanza un tirante en régimen subcrítico.

Las pérdidas por fricción son insignificantes en comparación con las pérdidas por turbulencia. El fenómeno antes descrito se conoce como "onda estacionaria" o "salto hidráulico" y actúa como un gran disipador de energía.

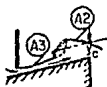
Puede presentarse en:



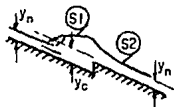
a) Al pie de un cimacio



b) Transición de pendiente de supercrítica a subcrítica

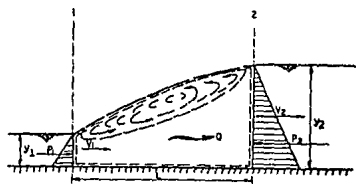


c) Descarga de una compuerta en pendiente adversa



d) Escalones

Para el análisis de este fenómeno se aplica el principio de la cantidad de movimiento. Para ello se toma como volumen de control, la sección en donde se presenta el salto hidráulico.



Volumen de control.

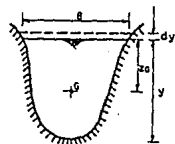


Fig. 2

Sección transversal.

Se tiene el siguiente análisis considerando las hipótesis:

- 1.- Canal horizontal y de sección constante
- 2.- Se desprecian pérdidas por fricción
- 3.- $\delta_1 = \delta_2 = 1$ (coeficiente de Bousinesq que considera el efecto de la distribución de velocidades)
- 4.- No hay obstáculos en el salto

Aplicando la expresión de cantidad de movimiento al volumen de control.

$$F_1 - F_2 = \frac{\gamma}{g} Q (V_2 - V_1) \quad (2.2.1)$$

donde el empuje hidrostático F es

$$F = \gamma A z_0$$

sustituyendo en la ecuación (2.2.1) y simplificando

$$\frac{Q^2}{gA_1} + z_{G_1}A_1 = \frac{Q^2}{gA_2} + z_{G_2}A_2$$

$$M = \frac{Q^2}{gA} + z_G A \quad (2.2.2)$$

Esta expresión llamada función momentum indica la cantidad de movimiento del flujo por unidad de tiempo y por unidad de peso, que pasa através de una sección del canal. La función momentum también se conoce con el nombre de fuerza específica.

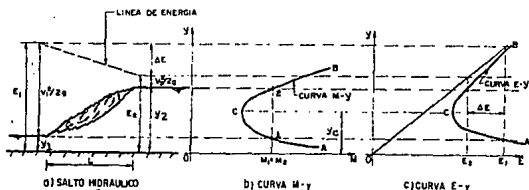


Fig. 3 Curvas de momentum y energía específica para el salto hidráulico.

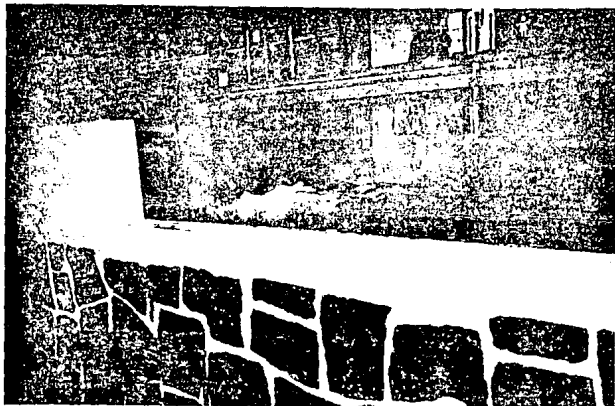
Gráficamente, esta expresión indica que antes y después del salto se tienen dos tirantes para una misma función momentum. A los tirantes \$y_1\$ y \$y_2\$ se les llama conjugado menor y conjugado mayor respectivamente.

DESCRIPCION DEL MODELO

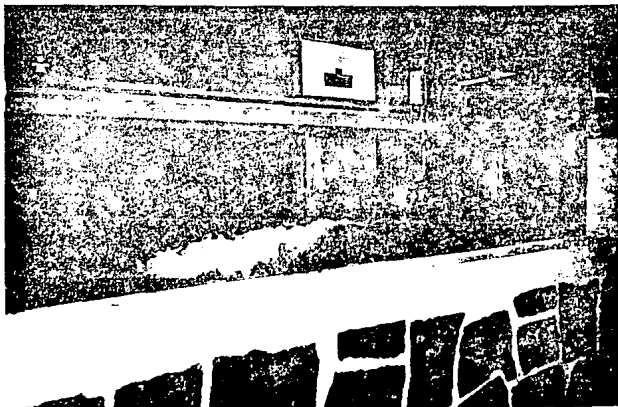
El modelo empleado es el canal Rehbock; este canal es de sección rectangular, pendiente nula y tiene paredes de cristal de 1" de espesor.

El canal es alimentado por el tanque elevado a través de una tubería de 10" de diámetro, el gasto se controla con una válvula de compuerta y se afora por medio de un vertedor triangular.

Para lograr el salto hidráulico, se cuenta con dos compuertas que son operadas manualmente, ubicadas en los extremos opuestos del canal. En la parte superior del canal se encuentra un limnómetro deslizable con el cual se miden los tirantes. La descarga del canal Rehbock es hacia el canal de retorno y de ahí al cárcamo de bombeo.



Perspectiva de un salto hidráulico establecido. La realización de este fenómeno se llevo a cabo en el canal Rehbock; en la parte superior de las paredes de cristal se aprecian los rieles circulares por donde se desliza el limnómetro de punta. En la siguiente gráfica se observa el mismo fenómeno desde otro angulo.



DESARROLLO DE LA PRACTICA**SALTO HIDRAULICO****OBJETIVO:**

Analizar el fenómeno del salto hidráulico.

ANTECEDENTES

- 1.- Explicar el fenómeno del salto hidráulico tomando como referencia la curva E-Y, remarcando la pérdida de energía que se presenta de una sección a otra.
- 2.- Explicar de donde se obtiene la función momentum (M) y su representación gráfica.
- 3.- Explicar la obtención de la longitud, pérdidas y eficiencia del salto hidráulico.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Todo lo necesario se encuentra en el modelo

EXPERIMENTACION:

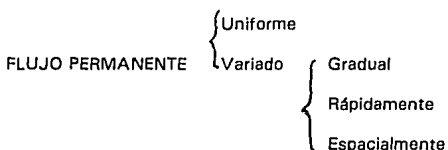
- 1.- Abrir la válvula que permite el llenado del tanque que alimenta al canal Rehbok.
- 2.- Medir la tara en el limnómetro, establecer un gasto y aforarlo.
- 3.- Fijar una abertura a_1 de la primer compuerta; con la compuerta aguas abajo provocar un salto hidráulico y medir los tirantes conjugados y la longitud en los dos saltos una vez que se hayan estabilizado.
- 4.- Fijar otra abertura a_2 y repetir lo indicado en el inciso anterior.

INFORME

- 1.- Calcular el gasto con la fórmula del vertedor triangular.
- 2.- Calcular y graficar la curva "M-y" para el gasto establecido en el modelo.
- 3.- Para cada uno de los saltos ubicar en la curva teórica "M-y" el conjugado menor obtenido en forma experimental, obtener la función momentum M_1 , hacer $M_1 = M_2$ y determinar gráficamente el valor del conjugado mayor teórico.
- 4.- Comparar y_2 teórico con y_2 (experimental) y obtener el error relativo para cada uno de los saltos.
- 5.- Calcular la longitud de acuerdo a dos criterios distintos y compararla con la obtenida en forma experimental. Obtenga el error relativo ¿ A qué creé que se deben las variaciones entre los resultados obtenidos con las formulas recomendadas y las medidas?
- 6.- ¿Cuál de los dos saltos es más eficiente?
- 7.- ¿Cuál es el principal uso que se le da al salto hidráulico?
- 8.- ¿Qué le sucede al salto cuando se abre o cierra la segunda compuerta?

FLUJO GRADUALMENTE VARIADO (F.G.V)

El flujo permanente en canales presenta la siguiente clasificación:



Tanto el flujo permanente como el no permanente toman al tiempo como parámetro de referencia. El flujo permanente es aquel en donde el tirante se mantiene constante en cualquier intervalo de tiempo y el Flujo Gradualmente Variado es en donde el tirante sufre pequeñas variaciones a lo largo del canal y en dirección a él.

En seguida se presenta el análisis del F.G.V. hasta llegar a la expresión denominada ecuación dinámica del flujo gradualmente variado.

ANALISIS DEL F.G.V.

Primeramente se consideran las siguientes hipótesis:

- a) Pendiente de plantilla uniforme y pequeña
- b) Distribución de velocidades constante en cualquier sección del canal
- c) La pérdida de energía más importante es debida a la fricción.

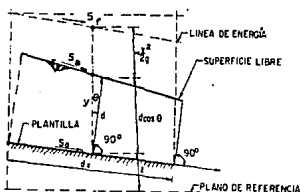


Fig. 1 Derivación de la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado.

S_1 es la pendiente de la línea de energía

S_s es la pendiente de la superficie libre del agua

S_0 es la pendiente de la plantilla

Se tiene el siguiente desarrollo.

Partiendo de la ecuación diferencial de energía

$$\frac{d}{dx} \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_r \right) = 0$$

desarrollando algebraicamente y simplificando se llega a la expresión

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_1}{1 - F^2} \quad (2.3.1)$$

donde dy/dx representa la variación del tirante en dirección del eje longitudinal del canal, y el segundo miembro de esta expresión indica que el perfil que adopta el agua depende de S_0 , S_1 y F^2 (F es el número de Froude).

Para determinar la tendencia que sigue el flujo es necesario tomar en cuenta el comportamiento de algunos parámetros de la expresión (2.3.1).

Considerando el signo de la pendiente de la plantilla

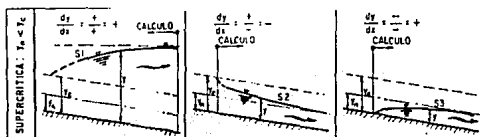
S_0 será > 0 si la plantilla desciende en dirección del movimiento.

S_0 será < 0 si la plantilla asciende en dirección del movimiento.

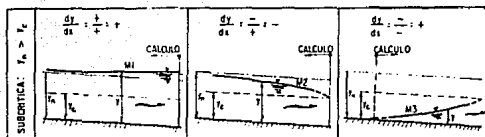
S_0 será $= 0$ si la plantilla permanece horizontal.

Para pendientes positivas se tiene la siguiente clasificación, donde y_n es el tirante normal y y_c es el tirante crítico.

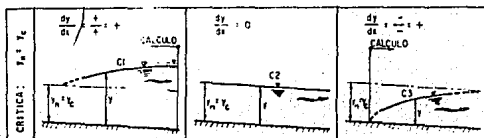
$S_0 > S_c$, $y_n < y_c$ se tienen perfiles tipo "S".



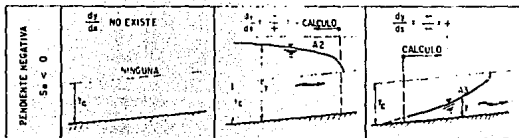
$S_0 < S_c$, $y_n > y_c$ y se tienen perfiles tipo "M".



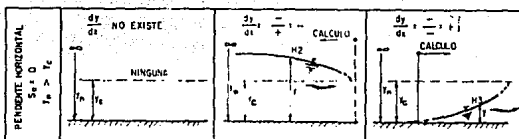
$S_0 = S_c$, $y_n = y_c$ y se tienen perfiles tipo "C".



para $S_o < 0$ y_n no existe, y_c si existe y se forman perfiles tipo "A"



para $S_o = 0$ con flujo uniforme $y_n = a$, y_c si existe y se tienen perfiles tipo "H"



Las líneas que indican los tirantes crítico y normal dividen el espacio en el que se desarrolla el pérfil, en 3 zonas:

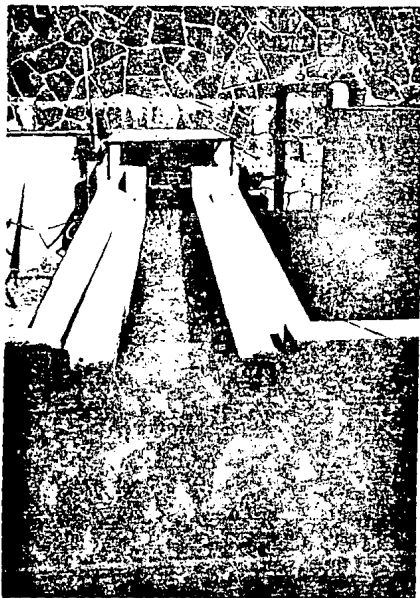
- Zona 1 arriba de la línea superior
- Zona 2 entre las dos líneas
- Zona 3 abajo de la línea inferior

DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo que se usa en esta práctica es un canal de pendiente variable marca Plint, también se emplea un canal de concreto de pendiente fija y sección rectangular.

Para fines de la práctica la pendiente de plantilla del primer canal se modifica hasta obtener una pendiente adversa; el gasto se varía hasta que se presente un salto hidráulico y se miden los tirantes de los perfiles obtenidos.

El canal de pendiente fija es alimentado por el tanque elevado a través de la tubería de 10" y tiene una pendiente de plantilla supercrítica. En este canal se puede lograr un salto hidráulico, y dependiendo del gasto y del control aguas abajo, se obtienen diferentes perfiles los cuales se miden con el limnómetro.



Vista frontal del canal de pendiente fija, este canal tiene una pendiente de plantilla supercrítica y descarga hacia el modelo de aforo de cauces. El otro modelo empleado es el canal de pendiente variable el cual puede observarse en la práctica de Energía Específica.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**FLUJO GRADUALMENTE VARIADO****OBJETIVO:**

Clasificar los perfiles de flujo medidos en el laboratorio.

ANTECEDENTES

- 1.- Concepto de flujo gradualmente variado
- 2.- Presentación de la ecuación general de F.G.V.
- 3.- Clasificación de los perfiles de F.G.V.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Todo lo requerido se encuentra en los modelos correspondientes. Canal de pendiente variable y canal de vertedor de cresta recta.

EXPERIMENTACION:

- 1.- Fijar una pendiente adversa en el canal Plint.
- 2.- Establecer un gasto, y aforar auxiliándose con el manómetro diferencial cerrado.
- 3.- Medir los tirantes de los perfiles formados con el salto.
- 4.- En el canal con vertedor de cresta recta, medir un perfil en régimen supercrítico. Aforar con el vertedor triangular.

INFORME

- 1.- Calcular el gasto de cada canal.
- 2.- Graficar los perfiles obtenidos, distorsionando las escalas vertical y horizontal.
- 3.- Calcular pendiente normal, y el tirante normal que le corresponde a cada

gasto.

- 4.- Clasificar los perfiles medidos en el laboratorio.
- 5.- Comparar la tendencia de los perfiles medidos con lo que indica la ecuación dinámica.

HIDROMECANICA

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA

Una máquina puede definirse como un dispositivo para transformar energía. Las máquinas pueden clasificarse en:

Máquinas herramientas

Máquinas de fluido

Máquinas eléctricas

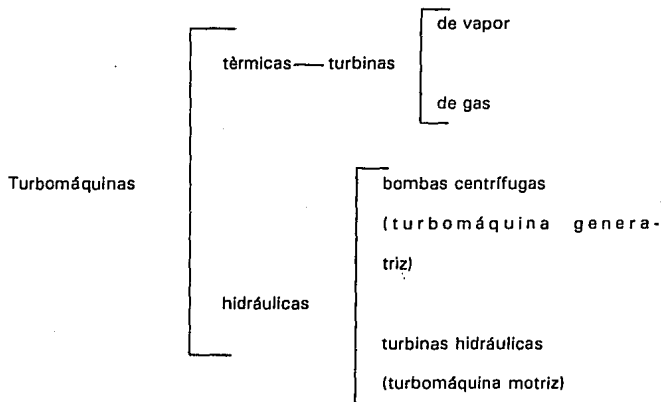
Las máquinas de fluido pueden ser térmicas o hidráulicas. En las máquinas térmicas el fluido de trabajo sufre cambios considerables de densidad a diferencia de las máquinas hidráulicas en donde la densidad del fluido de trabajo no se modifica considerablemente.

Dependiendo del funcionamiento de las máquinas de fluido estas se clasifican en:

- a) Máquinas de desplazamiento positivo
- b) Turbomáquinas

En las máquinas de desplazamiento positivo el intercambio de energía se desarrolla basándose en el trabajo mecánico directo al desplazar un volumen de fluido bajo la acción de una presión (sistema émbolo-cilíndro).

En las turbomáquinas el intercambio de energía se realiza en base a fuerzas dinámicas que se desarrollan entre el fluido en movimiento y el elemento móvil de la máquina. El movimiento de las turbomáquinas siempre es rotatorio; enseguida se presenta una clasificación de estas máquinas



Las turbomáquinas motrices aprovechan la energía del fluido para transformarla en energía mecánica. Las turbomáquinas generatrices absorben energía mecánica y la ceden al fluido

Una bomba centrífuga es una turbomáquina generatriz a la que se le proporciona energía mecánica y que adiciona energía al fluido que la atraviesa.

Para estudiar el comportamiento de las bombas centrífugas es necesario apoyarse en las curvas características, las cuales son una familia de curvas que determinan el funcionamiento real de la máquina para efectos de selección de sistemas de bombeo. Esta práctica se realiza con el objetivo de reflejar el funcionamiento real de una bomba centrífuga a través de sus curvas características. Para esto se ha seleccionado una bomba centrífuga de tipo radial. El análisis teórico que se presenta comprende el funcionamiento de la bomba así como la manera de obtener las curvas características. Para la selección de bombas en el

diseño de sistemas de bombeo, se requiere de curvas características reales, mismas que se obtienen a través de pruebas de laboratorio.

En la figura siguiente se muestra la instalación de una bomba en un laboratorio.

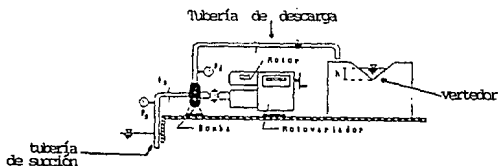


Fig. 1

La bomba está acoplada a un motor de velocidad variable (motovariador). La tubería de succión toma el agua de un depósito y la introduce a la bomba; esta le adiciona energía y sale por la tubería de descarga en la cual está instalada una válvula de compuerta para regular el gasto. Finalmente la descarga es recibida en un tanque con vertedor de pared delgada que tiene descarga hacia un canal de retorno. En este caso se tiene un solo impulsor de diámetro fijo y la velocidad angular del motovariador puede ajustarse a las necesidades de la práctica, por lo tanto la forma de las curvas características será la siguiente:

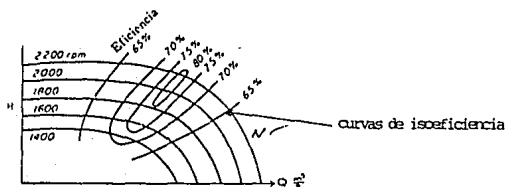


Fig. 2 Comportamiento de curvas características.

- Donde
- H_B Carga de la bomba, en m
 - Q Gasto, en m^3/s
 - N_B Velocidad angular de la bomba, en rad/s
 - η Eficiencia de la máquina, en %

Enseguida se describe el procedimiento para obtener las curvas características.

La bomba se comporta en la siguiente forma:

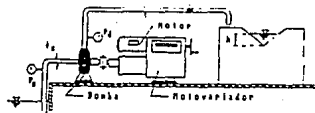


Fig. 3

La potencia mecánica es medida con un dispositivo llamado Freno de Prony por lo que se acostumbra designar a la potencia mecánica potencia al freno, (P_f). Haciendo un balance de energías y tomando como plano de referencia al eje que

pasa por la flecha de la bomba y que coincide con las elevaciones de los manómetros en la succión y la descarga, se tiene:

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + H_B = z_d + \frac{p_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g}$$

$$H_B = \frac{p_d}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g} \quad (3.1.1)$$

La carga obtenida esta en función de las lecturas tomadas en los manómetros y de los gastos aforados en el vertedor triangular. En la expresión anterior se tiene:

p_s	Presión en la succión, en kg/m^2
p_d	Presión en la descarga, en kg/m^2
v_s	Velocidad en la succión, en m/s
v_d	Velocidad en la descarga, en m/s

En el laboratorio de hidráulica la potencia al freno P_f de una de las bombas está dada por la expresión empírica.

$$P_f = 0.182 P_e^{1.596} \text{ (Kw)}$$

donde P_e es la potencia eléctrica en watts y los coeficientes y exponentes numéricos son producto de conversión de unidades y calibración experimental de los dispositivos. Esta potencia eléctrica es medida con un wattmetro que se conecta al motor. Finalmente la eficiencia de la bomba será:

$$\eta_B = \frac{P_h}{P_f} = \frac{\gamma QH}{101.96 \cdot 0.182 P_o^{1.596}} \quad (3.1.2)$$

El gasto se afora con un vertedor triangular de pared delgada, y se calcula con:

$$Q = \frac{8}{15} \mu K \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh_v}^{\frac{5}{2}} \quad (3.1.3)$$

Para construir las curvas características se propone una tabla de cálculo la cual facilita el manejo de la información obtenida durante la prueba de laboratorio.

N_m	N_b	h_v m	Q m^3/s	p_s/γ m	p_d/γ m	$V^2s/2g$ m	$V^2d/2g$ m	H_b m	P_o kw	P_f kw	η %

NOTA: La relación de giro entre el-motovariador y la bomba es:

$$N_b = 1.5 N_m$$

Con ayuda de las columnas N_b , Q y H_b se procede al trazo de las curvas características, las cuales presentarán una tendencia similar a la que se muestra en la figura 2.

Ahora bien, como los puntos con los que se construyeron estas curvas, tienen asociada una cierta eficiencia la cual puede localizarse en la tabla, esta también puede ser indicada en las mismas curvas. Al unir puntos de igual eficiencia obtenemos las curvas de isoeficiencia las cuales se encuentran sobrepuestas en las curvas características. Las curvas características muestran la relación entre

Las curvas de isoeficiencia permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualquier condición carga-gasto dentro de los límites de la gráfica.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

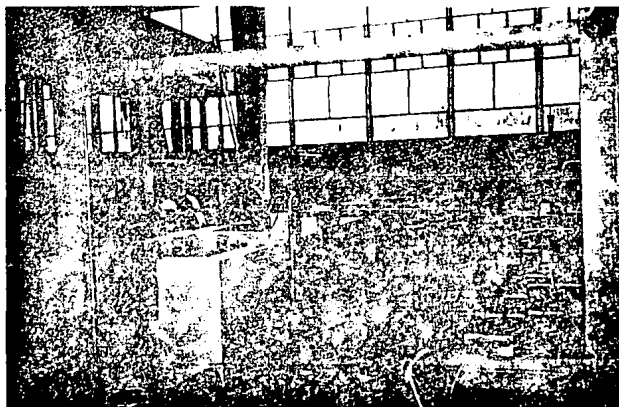
Esta práctica se lleva a cabo en una bomba radial cuyas características son las siguientes:

Gasto	20 l/s
Potencia	15 H.P.
Carga máxima	20 m
Voltaje	220-440 volts

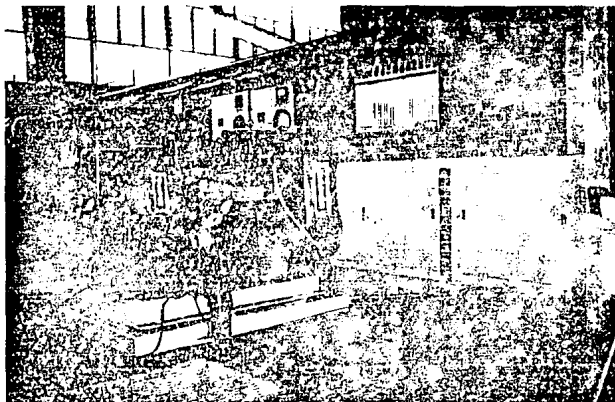
Nota Estos datos están basados en las mediciones realizadas en el laboratorio.

La succión se lleva a cabo en el cárcamo de la propia bomba (independiente del cárcamo del tanque elevado) y el gasto que proporciona la bomba se regula a través de una válvula que se encuentra en la tubería de descarga.

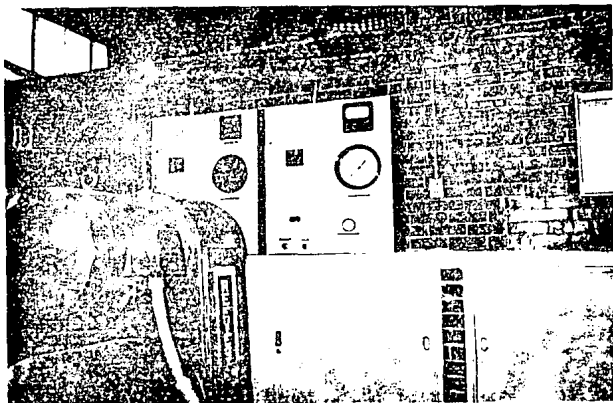
La velocidad angular de la bomba puede modificarse debido a que tiene acoplado un motovariador con un rango de velocidad angular de 3280-1640 rpm máxima y mínima respectivamente. Este dispositivo tiene una manivela de fácil manejo para los alumnos y con la cual puede regularse la velocidad angular auxiliándose con un tacómetro. Una vez que se ha fijado la velocidad angular se miden presión de succión, presión de descarga, potencia al freno (en kw) y gasto. La descarga de la bomba se efectúa en un depósito que tiene un vertedor triangular (para aforar el gasto). La salida del vertedor es hacia el canal de retorno y de ahí al cárcamo.



Vista general de las bombas instaladas en el laboratorio, en el primer plano se observa un vertedor triangular así como una bomba radial; al fondo se aprecian tres tipos de bombas.



Motor de bomba radial conectado al motovariador que controla la velocidad angular.



Perspectiva del motovariador conectado al motor de la bomba radial, también se observa el tablero en donde leen presiones de succión y descarga y potencia eléctrica consumida.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**CURVAS CARACTERISTICAS****OBJETIVO**

Determinar el funcionamiento real de una bomba definir las curvas de igual eficiencia. (isoeficiencia).

ANTECEDENTES

- 1.- Definición de bomba y clasificación.
- 2.- Potencia hidráulica, potencia al freno (mecánica) y eficiencia.
- 3.- Esquema de instalación de bombas (en succión y en carga).
- 4.- Curvas características y de isoeficiencia.
- 5.- Dispositivos de medición.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Tacómetro, manómetro y limnómetro.

EXPERIMENTACION

- 1.- Recorrido por las instalaciones de bombeo y estructuras en corte.
Explicación breve de las partes internas de la máquina: estopero (lubricación), chumaceras, carcaza (voluta y difusor), bomba autocebante.
- 2.- Con el tacómetro fijar en el motovariador una velocidad angular de 900 rmp.
- 3.- Medir la tara del vertedor .
- 4.- Con la válvula controlar 5 aberturas diferentes y para cada una de ellas medir:

- a) Presión de succión y presión de descarga en los manómetros.
 - b) Potencia eléctrica en el wattmetro.
 - c) Carga del vertedor triangular.
- 5.- Una vez tomadas las lecturas anteriores, modificar la velocidad del motorvariador a 1100 y 1200 rpm y repetir el paso 2.

INFORME

- 1.- Elaborar una tabla de resultados donde se incluyan todos los parámetros que se requieren para construir las curvas características (gasto, carga de la bomba, potencia hidráulica y potencia al freno y eficiencia).
- 2.- Graficar la familia de curvas características ($Q-H_B$) para las tres velocidades angulares seleccionadas, indicar en cada punto la eficiencia obtenida y trazar a partir de estos valores como mínimo tres curvas de isoeficiencia en la rama ascendente de eficiencia y tres en la rama descendente.
- 3.- Responder las siguientes preguntas
 - a) ¿Por qué para el arreglo de la bomba empleada, la presión en la succión siempre fue negativa? ¿Qué se requiere en la misma instalación para que esa presión tenga un valor positivo en la succión? Justifique su respuesta.
 - b) Clasifique la bomba utilizada en la práctica en base a su velocidad específica. Considere gasto y carga para la máxima eficiencia.
 - c) En base a la relación entre potencia hidráulica, potencia al freno y eficiencia ¿Qué sucedería si se utiliza una bomba con una eficiencia muy baja?
 - d) Suponga que esta bomba trabaja con una velocidad angular mayor a las

establecidas en el laboratorio, si la bomba trabaja con un gasto pequeño.

¿què sucede con la carga?

e) Dibuje un cróquis de un corte de impulsor e indique el sentido de giro.

•

PUNTO DE OPERACION DE UNA BOMBA

El objetivo de esta práctica es analizar el comportamiento de una bomba al operar en un sistema de bombeo. Esta práctica difiere de otras debido a que no hay experimentación, ya que es la aplicación y manejo de los datos registrados en la práctica de "Curvas características de una bomba".

Para estudiar el comportamiento de una bomba es necesario obtener las curvas características que indican la carga, el gasto, y la potencia al freno que se obtiene con determinada velocidad angular y un diámetro dado del impulsor; estas curvas generalmente son proporcionadas por los fabricantes y son de gran utilidad cuando se requiere de la selección de una bomba que satisfaga determinados requerimientos en un sistema de bombeo.

Un sistema de bombeo opone cierta resistencia que debe ser vencida por la bomba. En la siguiente gráfica se muestra la instalación de un sistema de bombeo.

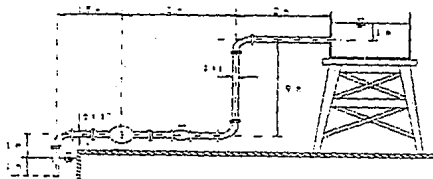


Fig. 1

La carga dinámica H_b que debe vencer la bomba, es la que se requiere para llevar el gasto a la altura proyectada; es decir, H_b es la suma de la carga estática más

la pérdida producida por longitud de tubos, válvulas y accesorios de la línea de succión y descarga.

La carga estática es la diferencia de altura que hay entre el nivel de succión y el nivel de descarga.

$$H_{es} = h_l + H_E \quad (3.2.1)$$

donde
$$h_l = \Sigma h_L + h_f \quad (3.2.2)$$

h_f pérdida por longitud, en m.

h_L pérdida local, en m.

H_E carga estática, en m.

La carga dinámica varía aproximadamente en forma proporcional al cuadrado del gasto, por lo tanto, gráficamente se obtiene una curva de forma parabólica.

A la curva que representa la carga que debe proporcionar la bomba según el gasto de bombeo se le conoce como "curva de carga del sistema" o también llamada "curva de resistencia". Ver figura 2.

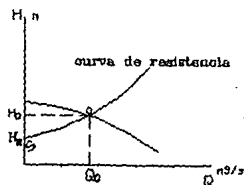


Fig. 2

El punto de intersección entre la curva de carga de la bomba con la curva de resistencia indica el punto de operación de la bomba, en ese punto la bomba puede proporcionar a la instalación un gasto Q_0 con una carga H_0 .

Para demanda variable puede operarse una sola bomba si se tienen demandas bajas y dos o más bombas en serie o en paralelo para satisfacer la demanda alta.

SISTEMAS DE BOMBEO EN SERIE Y PARALELO

Para arreglos en serie, la curva de comportamiento del sistema se obtiene sumando la carga de cada una de las bombas que conforman el arreglo.

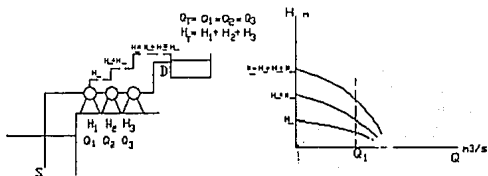


Fig. 3 Sistema de bombeo en serie.

Cuando las bombas operan en paralelo, la curva resultante se obtiene sumando el gasto proporcionado por cada bomba del arreglo, para una misma carga.

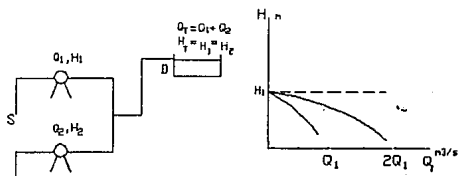


Fig 4 Sistema de bombeo en paralelo.

PUNTO DE OPERACION

Para seleccionar correctamente una bomba y analizar su comportamiento bajo determinadas especificaciones, debe usarse la curva de carga del sistema (resistencia) junto con la curva de carga de la(s) bomba(s).

Al superponer la curva de resistencia del sistema sobre la curva de carga del arreglo se tiene lo siguiente:

Suponiendo un arreglo en paralelo con dos bombas iguales.

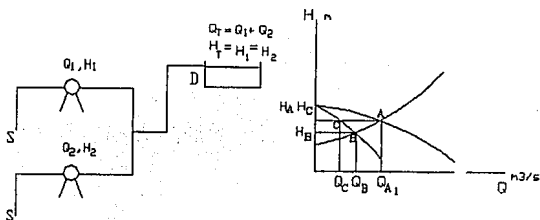


Fig. 5

El punto A indica el punto de operación (Q, H) del arreglo mostrado. El punto B indica el Q y la H que se obtiene cuando solamente esta funcionando una bomba en el sistema (suponiendo que las otras bombas no funcionan). El punto C indica el Q y la H cuando se analiza una sola bomba funcionando dentro del sistema, (siempre que las demás bombas que integran el arreglo también estén funcionando).

DESARROLLO DE LA PRACTICA

PUNTO DE OPERACION DE UNA BOMBA

OBJETIVO:

Obtener el punto de operación para un sistema de bombeo.

ANTECEDENTES

- 1.- Curva de carga del sistema (de resistencia)
- 2.- Punto de operación de una bomba.
- 3.- Sistema de bombeo en paralelo.
- 4.- Obtención de las curvas características y de resistencia para una instalación con dos bombas en paralelo.
- 5.- Comportamiento de la curva de resistencia (carga) para diferentes aperturas de la válvula de control de la tubería.

INSTRUMENTOS DE MEDICION:

Debido a que esta sesión esta basada en la experimentación de la práctica anterior no se requiere de instrumentos. Se propone un sistema de bombeo cuya disposición se muestra en la gráfica 1. Las características de la bomba así como su comportamiento se presentan en las curvas características obtenidas en la sesión "Punto de operación de una bomba".

Las especificaciones del sistema se indican en la misma gráfica.

EXPERIMENTACION:

No hay. Se emplearán las curvas obtenidas en la práctica "Punto de operación de una bomba"

INFORME

- 1.- Para una instalación con una sola bomba obtener:
 - La curva de resistencia (carga) y graficarla en el plano de las curvas $Q-H_b$ de la sesión anterior.
 - Punto de operación ($Q-H_b$), velocidad angular (N) potencia al freno en HP y en KW (considere el punto con mayor eficiencia).
- 2.- Para un sistema de dos bombas iguales en paralelo, obtener y graficar:
 - Curva característica resultante.
 - Curva de resistencia (carga) del sistema.
 - Punto de operación ($Q-H$) del sistema en paralelo.
 - Para la bomba resultante la P_1 en HP y en KW.
- 3.- Responder las siguientes preguntas
Para el sistema con una sola bomba.
 - a) ¿Qué pasa con la curva de resistencia del sistema si se cierra la válvula de control?
 - b) Para el 75% del gasto máximo ¿Cuál es la carga de la bomba?Para el sistema en paralelo
 - a) ¿Si una bomba está fuera de servicio qué pasa con la curva de resistencia del sistema?
 - b) El punto de intersección de la curva de resistencia del sistema con la curva característica de una bomba proporciona el 50% del gasto del punto de operación del sistema en paralelo? Justifique su respuesta.

- c) Para ambas instalaciones calcule el consumo eléctrico de cada bomba en KWH, si estas operan durante 1.5 horas.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TURBINAS

La palabra turbina proviene del latín "turbo-inem" que significa rotación. Las turbinas hidráulicas son turbomáquinas que permiten la transferencia de energía del agua a un rodete provisto de álabes mientras el agua pasa a través de ellos. El rodete es el elemento básico de la turbina pues en él se realiza la transferencia energética. Las turbinas se clasifican en dos tipos:

-De impulso

-De reacción

Las turbinas de impulso transforman únicamente la energía cinética del flujo en energía mecánica; el paso del flujo a través del rodete móvil, es a presión atmosférica. Estas tipo de máquinas son ruedas Pelton ó turbinas de impulso tangencial.

La turbina Pelton de impulso trabaja con cargas altas de unos 250 m a 2200 m y gastos bajos menores a 30 m³/s; la alimentación se lleva a cabo a través de chiflones que transforman la energía de presión en energía cinética (alta velocidad) para ser aprovechado por el rodete provisto de cangilones. Después de accionar los álabes el agua es descargada por los cangilones y cae libremente al canal de desfogue. Como el chorro de agua actúa en dirección tangencial al rotor, la turbina Pelton también es conocida como turbina tangencial.

En las siguiente figura se muestra un corte transversal así como una disposición de una turbina Pelton de eje horizontal.

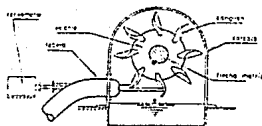


Fig. 1 Turbina Pelton

Las turbinas de reacción transforman las energías cinética y de presión del fluido en energía mecánica; el paso del flujo es a presión, y con direcciones radial y axial al eje del rodete. Estas máquinas están representadas por las turbinas Francis o de flujo mixto y por las turbinas hélice o de flujo axial.

Estas turbinas constan de los siguientes elementos:

- 1.- Caracaza consistente en
 - a) espiral o voluta de alimentación
 - b) puente de la persiana Fink.
 - c) cubierta del cabezal con sello de la flecha motriz.
 - d) cubierta del cubre álabes del rodete móvil, con sus anillos de desgaste.
- 2.- Rodete móvil
- 3.- Tubo de succión o de aspiración

La espiral o voluta es un caracol de acero fundido en las unidades pequeñas o de dovelas de acero rolado soldado en las unidades grandes que sirve para distribuir el agua uniformemente en toda la circunferencia del rodete móvil.

El rodete móvil Francis es un conjunto de álabes perimetrales pegados al cabezal que a su vez está directamente acoplado a la flecha motriz por medio de una cuña y una tuerca de sujeción para transmitir el par motor.

El tubo de succión de la turbina es un tubo en forma de L que sirve para desfogar la máquina; es decir, para llevar el agua desde el anillo de descarga hasta el canal de desfogue que arroja el agua al río.

Las turbinas de reacción (Francis ó Kaplan) trabajan con cargas medias y bajas (de 25 a 380 m aproximadamente) y gastos medios; en ellas se dispone de un ducto alimentador en forma de caracol circundando el rotor, el cual recibe el agua de la tubería de llegada y la sirve al rodete a través del distribuidor, este regula el gasto de acuerdo a la demanda de energía exigida a la turbina. En la descarga se instala otro ducto llamado tubo de desfogue el cual permite mejorar la eficiencia de la máquina.

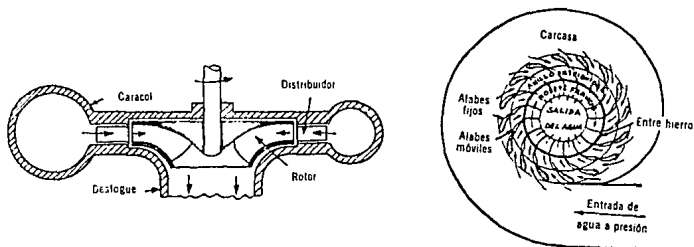


Fig. 2 Turbina de reacción Francis.

En las turbinas hëlices lo único que cambia es la forma del rodete movil (Ver figura 3) y su posición de èsta dentro de la carcaza, quedando los álabes del rodete aguas abajo de los álabes directrices de la persiana y la forma del rodete es un cubo que va acoplado directamente a la flecha motriz, en que se apoyan los álabes que se extienden radialmente hasta el anillo de descarga de la turbina que coincide con el diámetro de entrada del tubo de succión.

Cuando los álabes del rodete se pueden mover por medio de un mecanismo interno al cubo accionado por medio de un servomotor colocado dentro de la flecha motriz que ahora es hueca, a esta turbina se le denomina Kaplan que es sumamente eficiente pues tiene doble regulación para conseguir las mejores condiciones de operación.

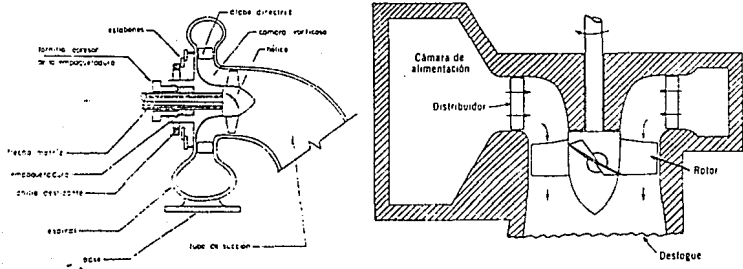


Fig. 3 Corte transversal del rodete en turbina Hèlice.

Las turbinas trabajan con condiciones de carga y gasto determinados para una velocidad síncrona que permita la demanda de energía elèctrica de un sistema hidroelèctrico. Ver figura 4.

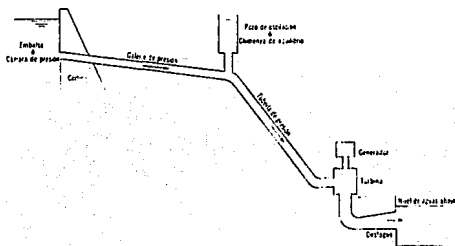


Fig. 4

Para observar el funcionamiento y determinar la eficiencia de la turbina es necesario construir el modelo de una turbina real, realizar pruebas de laboratorio y obtener las curvas características reales las cuales servirán para diseñar la turbina prototipo de la central hidroeléctrica. En la siguiente figura se muestra la instalación de la turbina Pelton que se encuentra en el laboratorio de hidráulica.

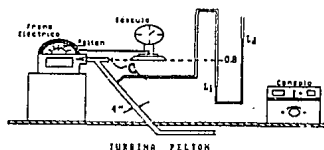


Fig. 5

La máquina está acoplada a un generador, tiene un brazo de palanca L que se apoya sobre una báscula la cual mide la fuerza F producida por el par de resistencia $F \times L$. La velocidad angular N se mide con un tacómetro t conectado en la extensión de la flecha motriz del generador. El gasto turbinado es aforado con un venturi. La admisión a la turbina se controla con la válvula de aguja de la tobera, la abertura deseada se logra haciendo uso del indicador de carrera C.

La carga neta de la turbina se calcula con :

$$H_n = \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (3.3.1)$$

donde H_n es la carga neta realmente aprovechada por la turbina.

La presión se mide con un manómetro diferencial instalado en la entrada de la tubería de presión de la turbina y se calcula con

$$p_o = -(0.8-L_1)\gamma_o + (L_d-L_1)\gamma_m \quad (3.3.2)$$

El gasto se determina con la ecuación de ajuste del venturi.

$$Q = 4.672 \sqrt{\Delta h}$$

La potencia hidráulica suministrada a la turbina se puede calcular con:

$$P_h = \gamma Q H, \text{ en kg m/s} \quad (3.3.3)$$

Y la potencia al freno entregada por la turbina se mide con:

$$P_f = F \times L \times W, \text{ en kg.m/s} \quad (3.3.4)$$

donde

$$F = F_b - \text{tara, (la tara es el peso inicial que marca la báscula)}$$

$$W = 2\pi N / 60, \text{ velocidad angular en rad/s}$$

finalmente la eficiencia real de la turbina será:

$$\eta_T = P_f / P_h \quad (3.3.5)$$

Para construir las curvas características de la turbina se propone una tabla en donde se resumen los datos experimentales obtenidos así como los cálculos que se requieren para el trazo de las curvas.

N	Q	F _b	p _o /γ	V	H _T	P _h	P _f	η
	m ³ /s	Kg	m	m	m	Kgm/s	Kgm/s	%

Haciendo uso de las columnas Q , N , P_f y H se procede al trazo de las curvas N - P_f y N - H .

Como cada punto (N, P_f) tiene asociado un valor de eficiencia, pueden graficarse en el mismo plano curvas para unir puntos de igual eficiencia; los puntos intermedios se obtienen por interpolación lineal a partir de los puntos medidos. De esta manera se trazan las curvas de isoeficiencia.

En la siguiente figura se muestran las curvas características y de isoeficiencia de una turbina obtenidas experimentalmente.

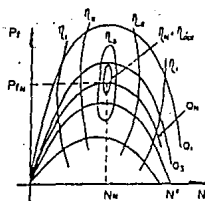
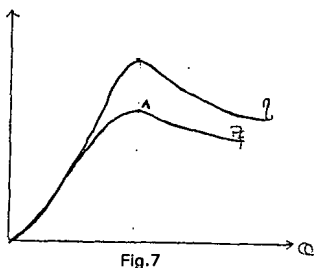


Fig. 6

Hacia el centro se cierran las curvas de isoeficiencia y es ahí en donde se localizan las eficiencias más altas. En el núcleo se encuentra el punto óptimo de funcionamiento de la turbina y los valores asociados a este punto se conocen como valores nominales. Para fines de la práctica se obtienen las curvas $Q - P_f$ y $Q - \eta$ operando la turbina con $N = 600$ rpm que es la velocidad angular nominal de operación (el punto óptimo de la turbina se obtiene con determinada velocidad angular, esta velocidad es conocida con el nombre de velocidad angular nominal y los valores que le corresponden a este punto se le conocen

como carga nominal, gasto nominal, potencia al freno nominal, etc.) la cual se obtuvo previamente en el laboratorio.



El punto A indica la potencia al freno que entrega la turbina cuando opera a su máxima eficiencia, así como el gasto requerido para desarrollar esta potencia.

DESCRIPCION DEL MODELO

Para está práctica se emplea una pequeña réplica de una turbina Pelton que tiene las siguientes características:

Gasto 30 l/s

Carga 15 m

Potencia mecánica (potencia al freno) 35 kg m/s

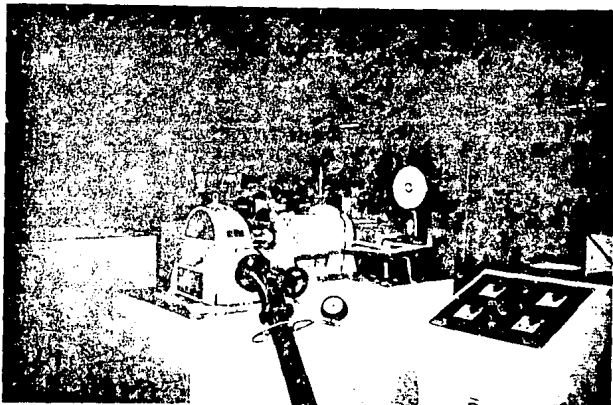
Este turbina es alimentada por una bomba de 15 H.P. y el gasto es aforado a través de un venturi.

El gasto de entrada se regula con una válvula de aguja.

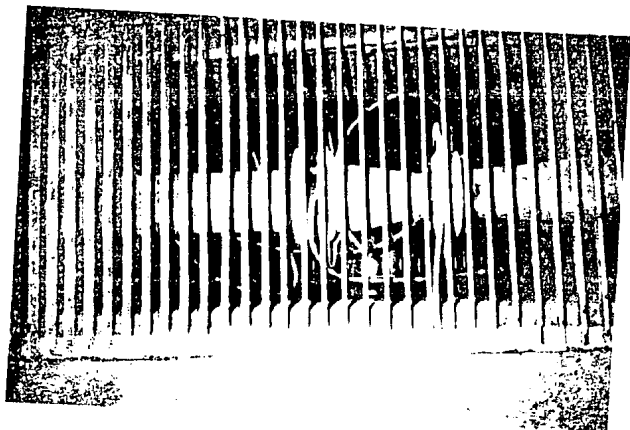
La turbina esta conectada a un dispositivo llamado freno de Prony a través del cual se puede obtener la fuerza generada por la turbina (potencia al freno) y medirse con una báscula en kg.

Tanto la presión de entrada como la diferencia de presiones que se genera en el venturi son medidos con manómetros diferenciales cerrados (estos deben purgarse primero).

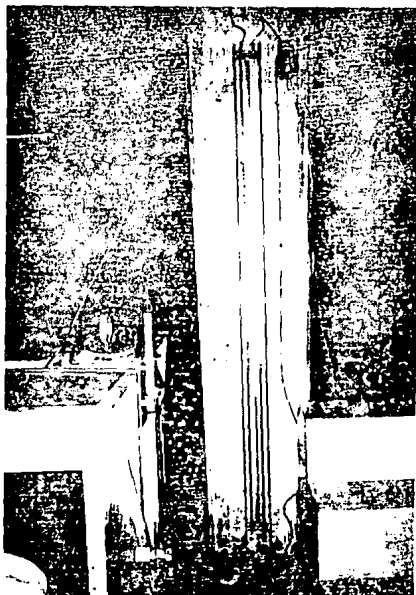
La descarga de la turbina es hacia el canal de retorno.



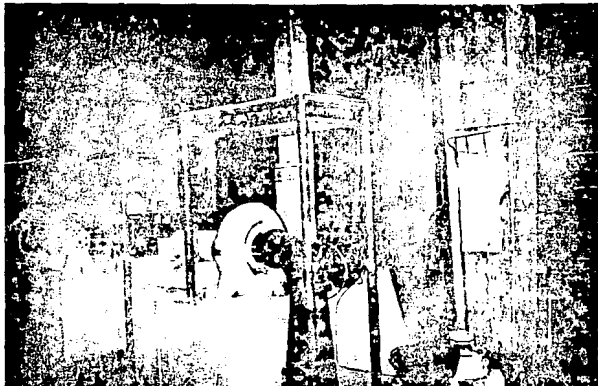
Perspectiva de la instalación de la turbina Pelton; se observa la válvula de aguja que controla la entrada de gasto, también se tiene el generador que esta conectado a la turbina y en primer plano se alcanza a apreciar el reóstato donde se regula la velocidad angular de la turbina.



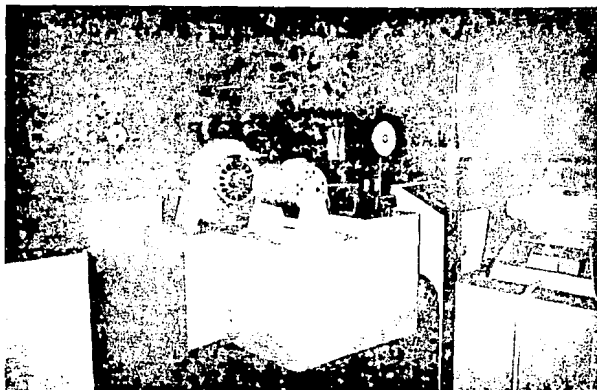
Venturímetro conectado a la línea de 4" que alimenta a la turbina, este dispositivo sirve para aforar el gasto que se suministra a la turbina.



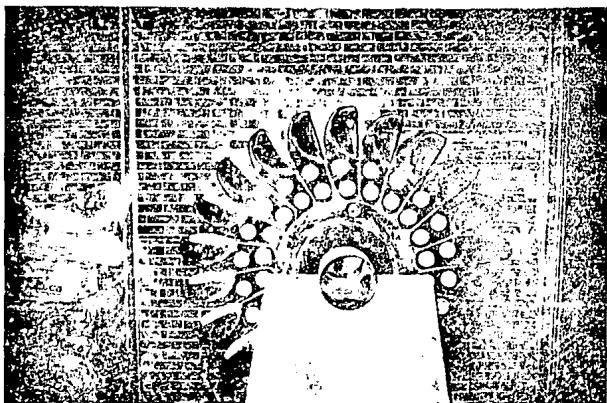
Manómetro diferencial cerrado de grandes dimensiones, este dispositivo es empleado para determinar la presión de entrada del fluido hacia la turbina.



Turbina Kaplan conectada a su generador.



Turbina Francis conectada su generador.



Rodete de turbina Pelton con un diámetro aproximado de 2.00 m.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**TURBINAS****OBJETIVO:**

Determinar el funcionamiento real de una turbina y analizar sus condiciones de operación.

ANTECEDENTES

- 1.- Definición de turbina y clasificación.
- 2.- Potencia hidráulica y potencia al freno (mecánica) y eficiencia
- 3.- Curvas características y de isoeficiencia de las turbina
- 4.- Curvas $Q-P_f$ y $Q-\eta$
- 5.- Dispositivos de medición.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Tacómetro, Manómetro, Báscula, Venturímetro, Reóstato.

EXPERIMENTACION:

- 1.- Medir la tara de la báscula
- 2.- Establecer una velocidad angular de 600 rpm y para cinco aberturas diferentes de la válvula de admisión medir:
 - 2.- Diferencia de presiones generada en el venturi.
 - 3.- Presión de entrada.
 - 4.- El peso registrado en la báscula (F_b)

INFORME

- 1.- Elaborar una tabla de resultados donde se incluyan todos los parámetros que se requieren para construir las curvas gasto-potencia al freno ($Q-P_f$) y gasto eficiencia ($Q-\eta$).
- 2.- Graficar las curvas ($Q-P_f$) y ($Q-\eta$).
- 3.- Responder las siguientes preguntas:
 - a) ¿Para qué gasto es óptimo el funcionamiento de la turbina?
 - b) Suponga que se requiere una potencia al freno 55 % mayor que la máxima que se puede proporcionar a la turbina. Si se dispone de dos unidades y una de ellas se opera con el gasto óptimo ¿Cuáles serían el gasto y la eficiencia de la otra?
 - c) Proponga otra solución con dos turbinas para el inciso anterior e indique el gasto y la eficiencia de cada una.
 - d) Calcule la potencia hidráulica de los dos sistemas anteriores.
 - e) Compare su proposición con la del inciso b) e indique cual es más conveniente.

HIDROLOGIA

ESTACION CLIMATOLOGICA

Para optimizar la administracion de los recursos hidráulicos de una región es necesario conocer el comportamiento del clima en esa zona.

El clima local es el producto del tiempo diverso que existe en un área muy amplia; es por esta razón que para conocer la variación del estado del tiempo se distribuyen estaciones climatológicas en una misma región.

En estas instalaciones diariamente se mide la precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura máxima y mínima.

Con los registros diarios leídos en las estaciones climatológicas y apoyándose en técnicas de probabilidad y estadística el ingeniero civil predice con cierto rango de confiabilidad las condiciones climáticas que deberán considerarse durante el proyecto de una obra hidráulica.

Enseguida se describe el funcionamiento y finalidad de cada uno de los elementos que constituyen una estación climatológica.

MEDIDORES DE PRECIPITACION

PLUVIOMETRO

Los pluviómetros son recipientes cilíndricos que tienen un área de captación "A" formada por un embudo; este embudo descarga a un recipiente cilíndrico con un área "a". El área de captación "A" es regularmente 10 veces mayor que el área del recipiente "a" de tal manera que por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente cilíndrico. Ver figura 1.

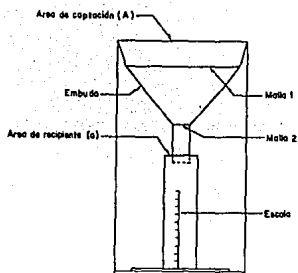


Fig. 1 Pluviómetro

Pluviógrafo. El pluviógrafo tiene una función similar a la del pluviómetro, a diferencia de que cuenta con un dispositivo que proporciona un registro continuo de la precipitación. Este está formado por un tambor que gira con un mecanismo de cuerda y a velocidad constante; sobre el tambor se coloca un papel graduado especial. El recipiente de captación cuenta con un flotador unido mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel. El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de precipitación y al alcanzar esta capacidad se vacía a través de un sifón. Ver figura 2.

El registro obtenido en este dispositivo se llama pluviograma. Ver figura 3. Con este pluviograma se calcula la gráfica de precipitación acumulada contra el tiempo, llamada curva masa de precipitación. Figura 4.

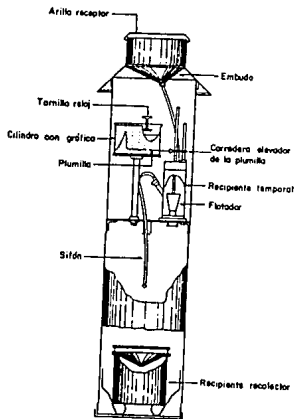


Fig. 2 Pluviógrafo

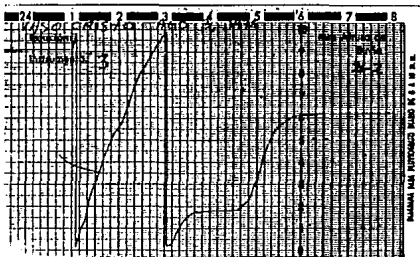


Fig. 3 Pluviograma

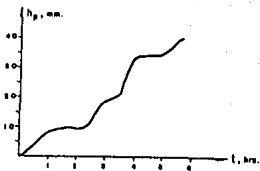
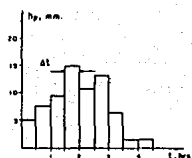
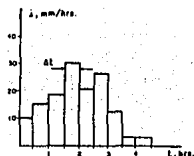


Fig. 4 Curva masa de precipitación

La intensidad de la lluvia es igual a la pendiente de la curva. A partir de la curva masa de precipitación se pueden obtener los hietogramas, los cuales son diagramas de barras que representan la variación de la altura de precipitación en intervalos.



a) Hietograma de altura de precipitación.



b) Hietograma de intensidades.

Fig. 5 Hietogramas

El hietograma de alturas de precipitación se obtiene dividiendo el tiempo de duración de la tormenta en n intervalos y midiendo la altura de precipitación que se obtuvo en cada uno de ellos. El hietograma de intensidades se obtiene dividiendo la altura de precipitación de cada barra de la figura 5a entre el tiempo Δt que dura la misma.

MEDIDOR DE EVAPORACION

EVAPORACION

La evaporación se mide en un recipiente llamado evaporímetro, el cual se llena de agua hasta cierta altura. La variación en el nivel provocado por la evapora-

ción, se mide con la frecuencia con que se considere conveniente (normalmente se toman lecturas diarias). La evaporación es mayor en los depósitos pequeños que en los grandes, debido a ello los datos registrados en un evaporímetro deben corregirse si se desean usar en la estimación de evaporación en presas, lagos o en cualquier otro tipo de almacenamiento.

Existen varios tipos de evaporímetros; el más común es el llamado clase A, fabricado en hierro galvanizado y con las dimensiones que se muestran en la siguiente figura

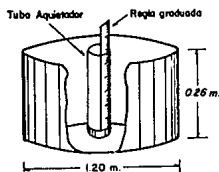


Fig. 6 Evaporímetro

MEDIDORES DE TEMPERATURA

TERMOMETRO DE BULBO SECO

En este termómetro, el bulbo indicador está expuesto al ambiente e indica la temperatura del aire.



Fig. 7 Termómetro de bulbo seco.

TERMOMETRO DE BULBO HUMEDO

En este termómetro el bulbo está conectado a un lazo sumergido en agua.

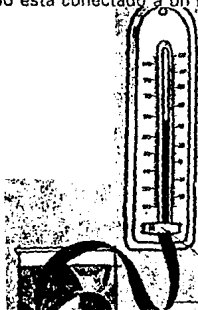


Fig. 8 Termómetro de bulbo húmedo

La lectura del depósito húmedo es menor que la del seco debido a que el calor ambiente resulta insuficiente para aumentar la temperatura con la misma rapidez en una masa de agua que en una masa de aire.

La relación entre las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo establece la humedad relativa, la cual se calcula usando tablas psicrométricas o con expresiones empíricas que se explican más adelante

TERMOMETRO DE MAXIMAS Y MINIMAS

Este termómetro indica las temperaturas extremas que se presentan en un período de tiempo preestablecido.

El medidor esta formado por una tubo de vidrio lleno de mercurio y con forma de U. El mercurio oscila ante la variación de temperaturas. Cuando disminuye la temperatura la columna que indica calor desciende, y el otro lado de la columna asciende; al aumentar la temperatura, el extremo que indica calor asciende y el otro extremo desciende. Además este termómetro cuenta con dos barras indicadoras colocadas en cada extremo de la columna de mercurio y que se mueven conjuntamente con ella. Por ejemplo, si en un período de 24 horas se presenta a las 12 AM una temperatura de 20°C la columna de mercurio se mueve con la barra hasta la posición que indica 20°C.

Si a las 0:00 hrs. se presenta una temperatura de 10°C (desciende la columna de mercurio del lado izquierdo y asciende del lado derecho) entonces la columna de mercurio desplaza al barra indicadora en el lado derecho hasta la posición de 10°C.

Si se presentan variaciones de temperatura entre 10°C <T< 20°C y a diferentes horas, las barras indicadoras permanecerán fijas en 10°C y 20°C ya que no podrán ser alcanzadas al menos en ese período y estos valores se considerarán como temperaturas extremas máximas y mínimas en un intervalo de 24 hrs.

HUMEDAD RELATIVA

Como ya se mencionó la relación entre las temperaturas húmeda y seca establece la humedad relativa.

La atmósfera esta formada por elementos como son hidrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etc. y desde luego el agua en forma líquida, sólida y gaseosa.

La cantidad de vapor de agua contenida en el aire se puede expresar como la presión que se ejercería si los otros elementos gaseosos de la atmósfera estuvieran ausentes; es decir el peso de una columna de vapor por unidad de área. Esto se conoce como presión de vapor. Para una presión y temperatura dadas, siempre hay una cantidad máxima de vapor por unidad de volumen que puede existir sin condensarse, es decir, sin pasar al estado líquido. Cuando una masa de aire contiene esta cantidad máxima de vapor, se dice que esta saturada, y la temperatura existente en ese momento se denomina punto de rocío.

La presión de vapor de saturación es la presión de vapor que existe en una masa de aire cuando ya no admite más vapor de agua, es decir esta saturada.

La humedad relativa se define como la relación entre la presión de vapor real y la presión de saturación expresada en porcentaje.

$$H_r = \frac{e_a}{e_d} * 100 \quad (4.1.1)$$

donde

H_r la humedad relativa, en porcentaje

e_a es la presión de vapor real

e_d es la presión de vapor de saturación.

La humedad relativa se puede determinar, utilizando un psicrómetro o bien un higrómetro.

Las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo se pueden relacionar con la presión de vapor de saturación mediante la siguiente expresión:

$$e_d = e_w - 0.00066p (T_a - T_w) (1 + 0.00115T_w) \quad (4.1.2)$$

donde

p es la presión barométrica, en mb.

T_a es la temperatura de bulbo seco, en °C

T_w es la temperatura del bulbo húmedo, en °C

Otra forma de obtener la humedad relativa, es empleando un higrómetro el cual es un aparato de carátula en donde se puede medir directamente la humedad relativa con una aguja indicadora. Ver figura 10.

MEDIDOR DE PRESION ATMOSFERICA

La presión atmosférica se define como el peso de la columna de aire que gravita sobre una unidad de área, dividida entre dicha área.

El barómetro se basa en el principio de Torricelli (fig 11) y consiste en un tubo de vidrio lleno de mercurio con un extremo cerrado y el otro abierto, sumergido en un recipiente también con mercurio.

La presión atmosférica ejercida sobre el mercurio del recipiente fuerza a elevarse la columna de mercurio dentro del tubo hasta alcanzar una altura "h" que equilibra la presión atmosférica.

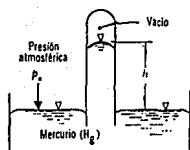


Fig. 11 Barómetro

La presión atmosférica en el barómetro es:

$$p = \gamma_{Hg} h$$

donde

γ es el peso específico del mercurio, 13595 kg/m³ al nivel del mar

Al nivel del mar y a la temperatura de 15°C la presión atmosférica es de 10,333 kg/m² y la altura barométrica del mercurio es:

$$h = \frac{10333}{13595} = 0.76mH_g$$

MEDIDORES DE VELOCIDAD DEL VIENTO.

El viento es el aire en movimiento. Su velocidad se mide con anemómetros o anemógrafos y su dirección por medio de veletas.

Las unidades más comunes en que se expresa la velocidad la velocidad del viento son: km/h, m/s o nudos (1 nudo = 0.526 m/s), generalmente se le llama viento a la componente horizontal de la velocidad; ya que la componente vertical es muy pequeña.

Un anemómetro consiste en tres o cuatro cazoletas o copas montadas al extremo de brazos horizontales que se extienden a ángulos rectos a partir de un vástago vertical. El viento entra en las cazoletas, las hace girar, y con ellas gira el vástago el cual está conectado a un dispositivo que registra la velocidad de rotación y los presenta en términos de km/h.

El anemógrafo es un instrumento similar al pluviógrafo, y está formado por un anemómetro conectado a un tambor que gira con un mecanismo de reloj y a velocidad constante y que tiene conectado a través de un juego de varillas una plumilla; sobre este tambor se coloca un papel especialmente graduado. Las revoluciones a las que giran las copas debido a la acción del viento, son registradas en el papel con la plumilla.

Debido a que en un eje de la gráfica se tienen alturas y en el otro eje se miden distancias, la velocidad media del viento se puede obtener calculando la pendiente de la curva.

$$V = d/t$$

Los aparatos antes descritos se encuentran en la estación climatológica y con ellos es posible obtener una lectura confiable del estado del tiempo en un área determinada.

Cabe mencionar que la estación climatológica debe instalarse en un lugar alejado de muros y todo tipo de obstrucciones que impidan la lectura real de los fenómenos atmosféricos.

DESCRIPCION DEL MODELO

La estación climatológica que se ocupa en esta práctica es una estación de características y dispositivos reales. Cuenta con un espacio aproximado de 1.5x2.00 m que esta cercado por malla metálica.

Dentro se tienen los siguientes dispositivos:

Pluviómetro

Evaporímetro

Pluviógrafo

Caseta de abrigo, donde se resguardan los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo y el termómetro de máximas y mínimas.

Veleta

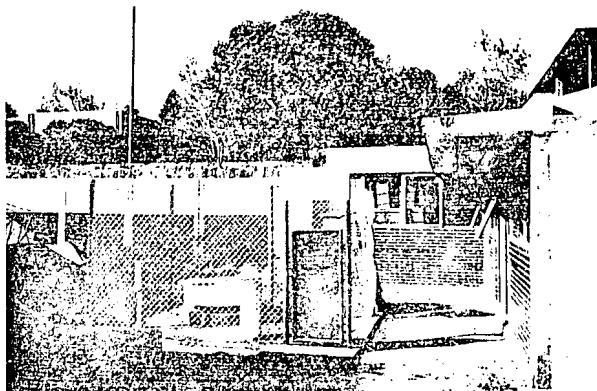
En un salón cercano a la estación climatológica se encuentran:

Anemógrafo

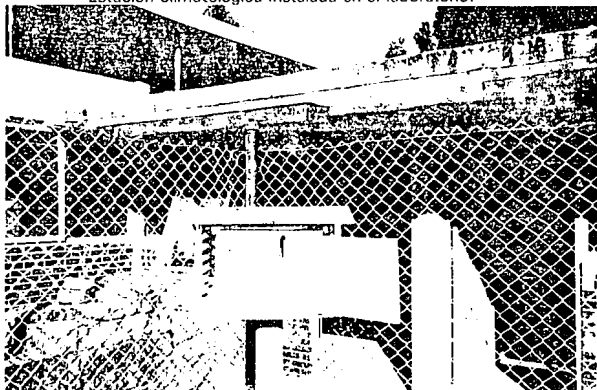
Barómetro

Higrómetro

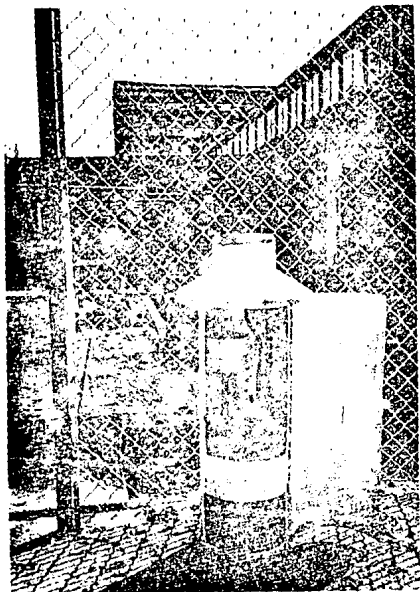
Las características y funcionamiento de estos dispositivos se explican en el análisis de la práctica.



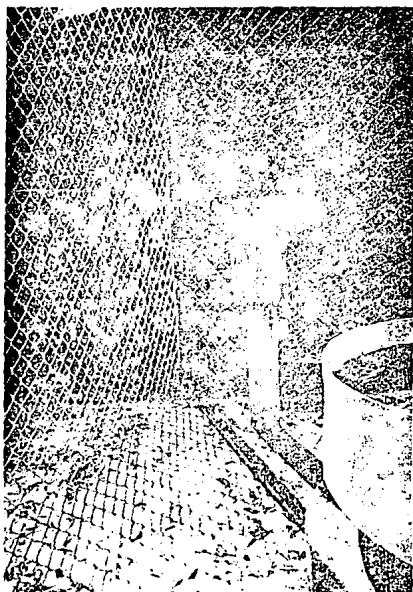
Estación climatológica instalada en el laboratorio.



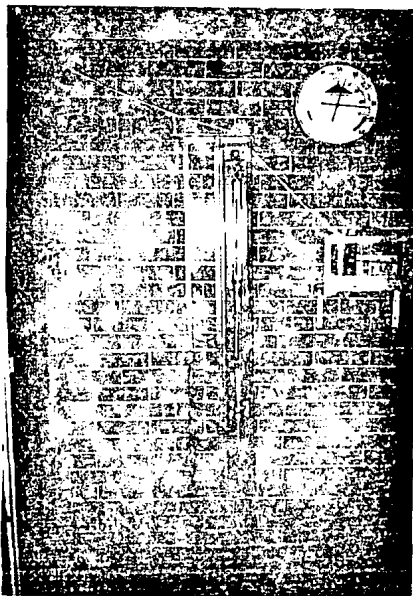
Caseta de abrigo en donde se resguardan los termómetros de máximas y mínimas, de bulbo seco y de bulbo húmedo.



Vista interior del pluviógrafo .



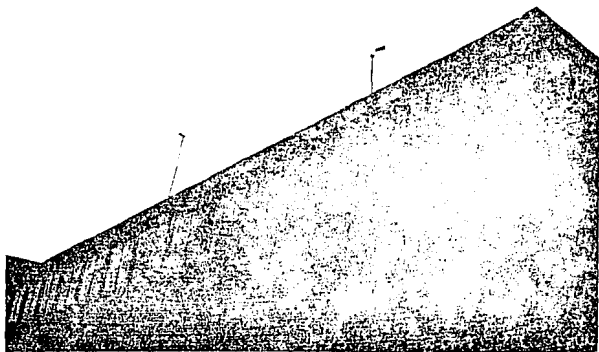
Pluviómetro.



Barómetro, este dispositivo se encuentra protegido por un caja de cristal; a un lado se observa el anemógrafo y sobre él, el higrómetro.



Evaporímetro y al centro un tubo tranquilizador que protege las lecturas del limnómetro que esta dentro de él.



Al extremo superior izquierdo se alcanzan a observar las copas giratorias que están conectadas al anemógrafo, en la extrema derecha se aprecia una veleta.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**ESTACION CLIMATOLOGICA****OBJETIVO**

Conocer el funcionamiento de los instrumentos que componen una estación climatológica, su operación y procedimiento de registro de datos.

ANTECEDENTES

- 1.- Descripción de la estación climatológica.
- 2.- Pedir al alumno mencionar ejemplos de aplicación de la ingeniería en donde se empleen los registros obtenidos en la estación.
- 3.- Explicar el funcionamiento de cada aparato, y la manera de obtener datos y registros; mencionando la existencia de otros instrumentos de medición.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Pluviómetro, pluviógrafo, evaporímetro, termómetros de bulbo húmedo, de bulbo seco y termómetro de máximas y mínimas, barómetro, higrómetro, anemógrafo.

EXPERIMENTACION

Primera sesión:

- 1.- Registrar lecturas de evaporímetro, temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, presión atmosférica y humedad relativa (higrómetro y tabla).
- 2.- Bajar barras del termómetro de máximas y mínimas.
- 3.- Colocar los registros del pluviógrafo y el anemógrafo (se recomienda que al menos el registro del pluviógrafo lo coloquen los alumnos).

Segunda sesión.

- 4.- Registrar las lecturas del evaporímetro, pluviómetro y del termómetro de máximas y mínimas.
- 5.- Obtener los registros del anemógrafo y pluviógrafo.

INFORME

- 1.- Presentar en una tabla las lecturas de: evaporación, presión atmosférica, (en mmHg, mca y kg/cm^2) temperaturas del bulbo seco, bulbo húmedo, máxima y mínima, humedad relativa (de higrómetro y tabla) y la precipitación (del pluviómetro y registro del pluviógrafo).
- 2.- Obtener las velocidades mínima, máxima y media del viento.
- 3.- Presentar los registros obtenidos.
- 4.- Responder las siguientes preguntas:
 - a) ¿Qué gráficas se pueden obtener del registro del pluviógrafo? mencionarlos y elaborarlos.
 - b) ¿Por qué la presión medida en el laboratorio es diferente a la registrada a nivel del mar?
 - c) Al llevar a cabo obras civiles, ¿Cuál es la utilidad de la lectura del evaporímetro?

AFORO DE CAUCES

Aforar una corriente es medir el gasto o caudal que pasa por la sección transversal de un río. Los métodos más comunes de aforar en cauces naturales son:

Método sección de control.

La sección de control de una corriente es aquella en donde existe una relación única entre el tirante y el gasto; entre las secciones de control más comunes para aforar, se tienen las secciones en que presenta el tirante crítico (y_c), los vertederos y algunas transiciones.

Este método es el más preciso de los que se mencionan en esta práctica pero resulta costoso y sólo puede utilizarse para medir gastos pequeños, cauces artificiales o cuencas experimentales.

Método sección pendiente.

Este método se emplea para determinar el gasto máximo durante una avenida. Para su aplicación se requiere de conocer la topografía de un tramo del cauce, las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida y la rugosidad del terreno.

Partiendo de la ecuación de la energía aplicada entre dos secciones del cauce y empleando la ecuación de Manning, se puede determinar el gasto

Método sección velocidad

Este método consiste en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal de un cauce así como el área total de la sección.

Posteriormente se aplica la ecuación de continuidad para determinar el gasto

$$Q = VA$$

En la figura 1 se presenta la distribución aproximada de velocidades en la sección transversal de un cauce.

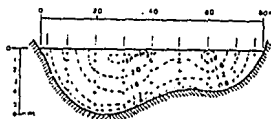


Fig. 1 Distribución de velocidades en la sección transversal de un cauce.

Dicha distribución se presenta en base a las curvas que unen puntos con igual velocidad, dichas curvas se interpolan a partir de mediciones realizadas con molinetes en diferentes puntos de la sección transversal.

En la figura 1 se observa que la velocidad mínima ocurre en la proximidad de la pared y hay un incremento hacia la superficie libre.

El punto de velocidad máxima queda ligeramente abajo de la superficie libre (esto se atribuye al movimiento circulatorio inducido por la proximidad de los lados).

En la misma figura también se observa que la zona donde ocurre la máxima velocidad se localiza prácticamente sobre la vertical que tienen mayor profundidad y a una distancia de 0.05 a 0.25 del tirante desde la superficie libre hacia abajo.

En la figura 3 se muestra la distribución de la velocidad sobre una vertical y en ella se observa que la velocidad media se localiza a una profundidad aproximada de 0.6 y se considera como el promedio de la velocidad a 0.2 y 0.8 del tirante o bien entre 0.8 y 0.95 de la velocidad superficial. Al analizar el flujo que pasa a través de chiflones, tuberías y canales abiertos, comúnmente se

habla de la resistencia ofrecida por la fricción de superficie o fricción superficial, lo que significa la resistencia ofrecida al fluido en movimiento por los muros o paredes limitantes. Las partículas de fluido en contacto con una superficie limitante se adhieren a ella y no tienen movimiento. Entre estas y las partículas adyacentes que tienen movimiento, se presenta, la acción del esfuerzo cortante, y es en esta forma como la superficie ejerce un arrastre sobre el fluido que se mueve.

Si la superficie es áspera, su desigualdad puede causar la formación de vórtices que contienen energía rotatoria que debe derivarse o extraerse de la corriente en movimiento. Cuando una corriente reduce bruscamente su velocidad, debido a un agrandamiento abrupto de la sección transversal se desarrolla una turbulencia extrema con la pérdida de energía consecuente.

La rugosidad del canal aumenta la curvatura de la curva de distribución de velocidades sobre una vertical.

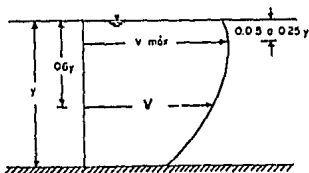


Fig. 2 Distribución de velocidades sobre una vertical en la sección de un canal.

Como resultado de la distribución no uniforme de las velocidades de un canal, se ha determinado experimentalmente que el coeficiente α (coeficiente de Coriolis para corregir el efecto de la distribución irregular de velocidades en la sección) varía entre 1.03 y 1.36, en la misma forma el coeficiente β (coeficiente de Boussinesq que corrige el efecto de la distribución irregular de velocidades) varía aproximadamente entre 1.01 y 1.12. La evaluación de los coeficientes α y β requiere, el conocimiento previo de la distribución de velocidades en cada sección; en la mayoría de los casos los escurrimientos son turbulentos y es común considerar que $\alpha = \beta = 1$; sin embargo debe tenerse presente que pueden inducirse errores de consideración en donde se presenten problemas locales de separación o de otra índole.

Cuando se conoce por medición directa la magnitud de la velocidad en diferentes puntos de una sección, a cada punto se le considera un área de influencia ΔA_i y, por tanto la magnitud de la velocidad media como la de los coeficientes, se puede determinar por incrementos finitos en la forma aproximada

$$V_m \approx \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n v_i \Delta A_i$$

donde n es el número de elementos ΔA_i elegidos. si los incrementos de área son todos iguales, las ecuaciones anteriores se simplifican de la manera siguiente:

$$Q_i = a_i v_{mi}$$

donde a_i es el área de cada dovela, en m^2 .

v_{mi} es la velocidad media de cada dovela, en m/s

Experimentalmente la velocidad media se puede considerar como la medida a $0.6y_1$, donde y_1 es el tirante medido al centro de la dovela como se muestra en la figura 3.

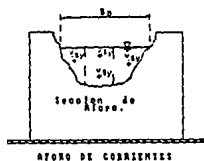


Fig. 3

En la sección central la velocidad se toma como un promedio de velocidades:

$$V_m = \frac{V_{0.2y} + V_{0.8y}}{2}$$

Finalmente el gasto total es:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

La velocidad de las líneas de corriente es medida con un instrumento llamado micromolnete el cual está formado por una hélice o rueda de aspas o copas que gira impulsada por la línea de flujo, ver figura 5; a través de un mecanismo eléctrico se transmiten por un cable el número de revoluciones por minuto o segundo con que gira la hélice. Esta velocidad angular se traduce después a velocidad lineal usando una constante de calibración que se determina previamente para cada aparato en particular.

El principal inconveniente de este método es que los aforos son relativamente tardados, por lo que durante una avenida se pueden hacer unas cuantas mediciones que resultan insuficientes para conformar un hidrograma y menos aún para estimar el gasto máximo producido por la tormenta que frecuentemente es el punto más importante para fines de diseño.

Cabe hacer mención de la existencia de otros métodos de aforo como son los trazadores.

El método de trazadores consiste en soltar partículas fluorescentes, radiactivas, etc. en una sección a cierta distancia aguas arriba de la sección de aforos para medir la velocidad de llegada de ellas.

Este método se encuentra aún en la etapa de experimentación.

DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo empleado es un canal de sección trapecial de taludes 1:2 con un revestimiento rústico de concreto en las paredes inclinadas de manera que se tiene una rugosidad considerable en las paredes del canal.

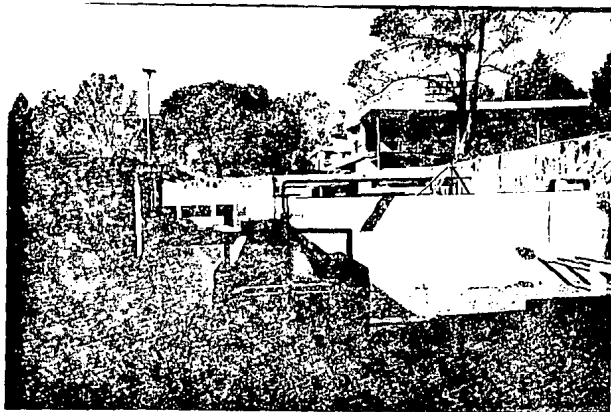
Este modelo es alimentado a través de una línea de 4" que desemboca a un tanque de amortiguamiento, después de disminuir la turbulencia provocada por la salida brusca de la tubería el gasto atraviesa y es aforado por un vertedor triangular. La descarga del canal es hacia el canal de retorno.

El agua fluye libremente a lo largo del canal y tanto la velocidad de las líneas de corriente como el tirante pueden ser controlados manualmente con una compuerta plana rectangular que se encuentra aguas abajo.

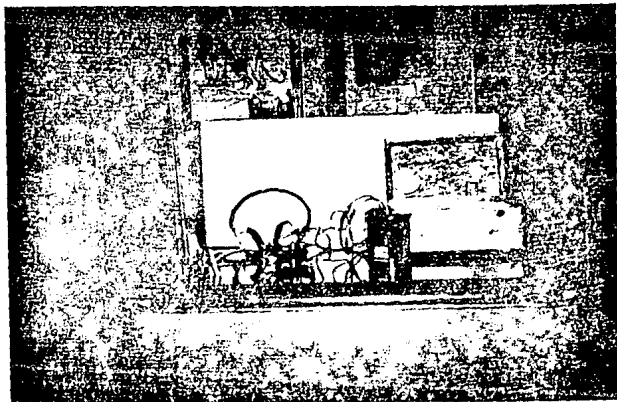
En la parte superior de las paredes del canal esta apoyado transversalmente un limnómetro de tornillo que se desliza sobre dos rieles.

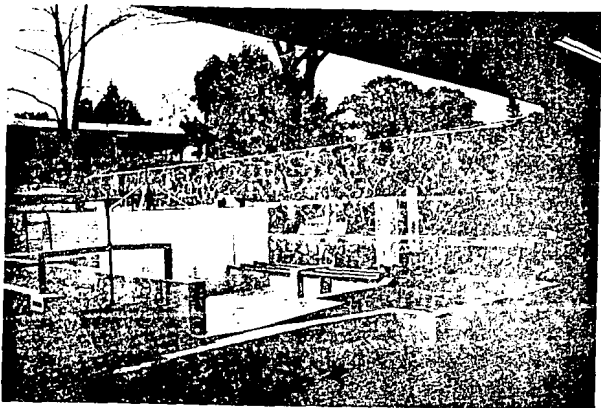
Cuando se ha estabilizado la altura del agua se coloca el limnómetro sobre una sección determinada y se toman las medidas necesarias siguiendo la explicación impartida durante la introducción teórica.

El micromolinete es el instrumento con el que se mide la velocidad en cada dovela y su funcionamiento se detalla durante la práctica.



En la gráfica superior se tiene una vista frontal de modelo de aforo de cauces con el agua fluyendo sobre la compuerta de control. En la gráfica siguiente se tienen los partes que componen al micromolinetete: base con un sistema giratorio de copas, audífonos y batería.





En esta gráfica se tiene una perspectiva de extremo del canal para aforar cauces, también se alcanzan a apreciar, al fondo, dos torres de oscilación y al frente un canal Parshall.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**AFORO DE CAUCES****OBJETIVO**

Realizar el aforo de un cauce mediante el método de Sección-Velocidad.

ANTECEDENTES

- 1.- Concepto general de aforo en cauces. Concepto de velocidad media.
- 2.- Funcionamiento del molinete incluyendo constante de calibración.
- 3.- Métodos de aforo:
Sección-velocidad
Sección-pendiente
Sección de control.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Micromolinete, flexómetro, cronómetro.

EXPERIMENTACION

- 1.- Establecer un gasto en el modelo.
- 2.- Medir la profundidad al centro de tres secciones equidistantes.
- 3.- Elegir una sección del cauce y realizar la batimetría.
- 4.- Establecer tres dovelas en la sección y medir sus velocidades con el micromolinete. (las dovelas extremas a 0.6y y en la dovela central considerar la velocidad como el promedio $V = (V_{0.2y} + V_{0.8y})/2$).
- 5.- Medir la velocidad superficial.
- 6.- Aforar el gasto en el vertedor

INFORME

- 1.- Para la sección transversal seleccionada realizar un croquis en papel milimétrico indicando las dovelas y puntos de medición. Obtener las áreas de las dovelas así como el área de toda la sección.
- 2.- Calcular
 - a) El gasto del vertedor.
 - b) La velocidad media utilizando el gasto del vertedor.
 - c) Las velocidades puntuales con el miromolneta.
 - d) El gasto por el método de sección-velocidad.
- 3.- Compare el gasto del vertedor triangular con el obtenido en el método de sección-velocidad. Comente los resultados.
- 4.- Compare la velocidad media, la velocidad máxima puntual y la velocidad superficial. Explique a que se debe la diferencia de valores.

OBRAS HIDRAULICAS

PERFIL CREAGER

Las obras de excedencias o vertedores de demasías, en presas de almacenamiento, son estructuras que se construyen con objeto de permitir la salida de los volúmenes de agua que no pueden retenerse en el vaso.

Un vertedor de cresta libre es el que ofrece mayor sencillez tanto en su construcción como en su operación, pues automáticamente da paso a las avenidas cuando la elevación de la superficie del agua es superior al nivel de la cresta.

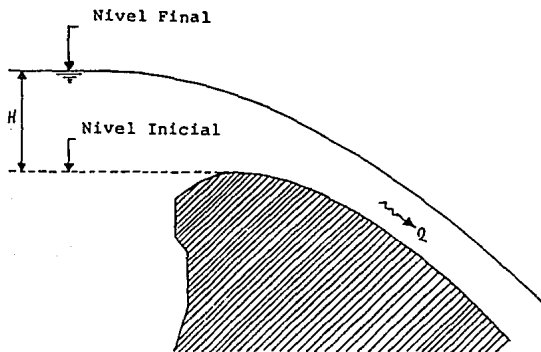


Fig. 5.2.1 Vertedor de cresta libre.

En la figura 5.2.1 se muestra la sección de un vertedor de cresta libre, donde la avenida de diseño entra al vaso cuando el nivel de la superficie libre del agua coincide con la elevación de la cresta vertedora y alcanza su nivel más alto a la cota indicada.

El diseño de este tipo de vertedores se basa en el comportamiento de la lámina vertiente cuando pasa por un vertedor de pared delgada (Fig. 5.2.2) Experimentalmente se ha comprobado que la geometría de la lámina inferior es función de la carga H sobre el vertedor.

Para evitar que se presenten presiones negativas entre el vertedor de pared gruesa y la lámina inferior vertiente, los vertedores se diseñan de tal manera que para la máxima carga de diseño (H_0) la geometría del vertedor coincida con la de la lámina inferior vertiente; cuando las cargas son menores el vertedor siempre estará trabajando a compresión.

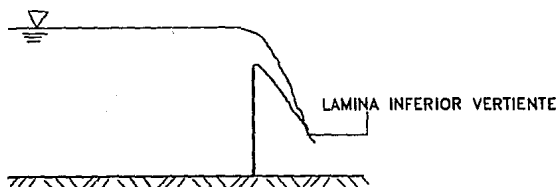


Fig. 5.2.2

Al considerar un vertedor con una cresta de forma similar a la lámina vertiente, se tienen entonces mejores descargas. Este tipo de secciones vertedoras reciben el nombre de cimacios los cuales son empleados como estructuras de control o de excedencias en obras con grandes gastos. La capacidad de descarga de estas estructuras es función de su geometría, de sus dimensiones y de la carga real sobre la cresta.

En la siguiente figura se resumen los parámetros requeridos para determinar la sección de la cresta vertedora.

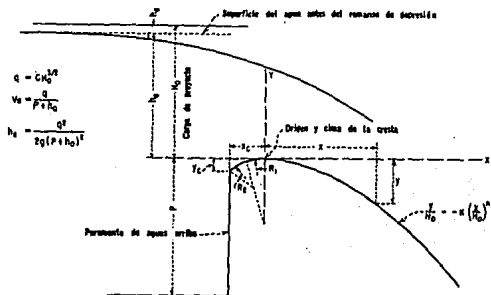


Fig.5.2.3 Elementos de las secciones de las crestas con la forma de la lámina vertical.

De acuerdo a los ejes y origen de la figura anterior la zona aguas arriba se define como una curva compuesta por dos círculos (uno inscrito en el otro, en un punto tangente) para condiciones ordinarias de proyecto de los vertedores de exedencias pequeños, y cuando la altura del parámetro "P" es igual o mayor que la mitad de la carga máxima sobre la cresta, esta sección es suficientemente precisa para evitar presiones reducidas en la cresta y no se altera considerablemente la eficiencia. La zona aguas abajo esta definida por la ecuación propuesta por Creager.

$$\frac{Y}{H_0} = -K \left(\frac{X}{H_0} \right)^n \quad (5.2.1)$$

Donde "K" y "n" son constantes, cuyos valores dependen de la inclinación del paramento y de la velocidad de llegada, y H_0 es la carga de proyecto.

Cuando el paramento es vertical la descarga sobre un cimacio se obtiene aplicando la expresión siguiente.

$$Q = CLH_0^{3/2} \quad (5.2.2)$$

Donde Q caudal descargado, en m^3/s

C coeficiente de descarga variable, en $m/s^{(1/2)}$

L es la longitud efectiva de la cresta, en m

H_0 es la carga total sobre la cresta, incluyendo la carga correspondiente a la velocidad de llegada, h_v

En el coeficiente de descarga, influyen:

La profundidad de llegada.

Efecto de las cargas diferentes de la de diseño.

La pendiente del paramento aguas arriba.

El tirante de la corriente aguas abajo.

La carga total H_0 no toma en cuenta las pérdidas por fricción o locales; cuando en el proyecto del canal de llegada se producen pérdidas importantes, deben añadirse a H_0 para determinar las elevaciones correspondientes a las descargas dadas por la ecuación 5.2.2

COEFICIENTE DE DESCARGA PARA CRESTAS DE CIMACIO SIN CONTROL**A) Efecto de la profundidad de la llegada.**

En los vertedores de pared delgada de cresta alta colocados en un canal, la velocidad de llegada es pequeña y la lámina vertiente alcanza su máxima contracción vertical. Al disminuir la profundidad de llegada la velocidad aumenta y la contracción vertical disminuye. En las crestas con alturas mayores de un quinto de las cargas que la corriente produce, el coeficiente de descarga permanece más o menos constante, con un valor de 3.3, aun cuando la contracción disminuya. Para alturas de vertedores menores, la contracción disminuye. Cuando la altura del vertedor es cero, la contracción se suprime por completo y el vertedor se convierte en un canal o en un vertedor de cresta ancha.

B) Efecto de las cargas diferentes a las de proyecto

Cuando a la cresta de cimacio se le da una sección de forma diferente a la ideal, o cuando se le ha dado una forma para una carga mayor o menor que la que se considera, el coeficiente de descarga difiere del que se tiene para la carga de proyecto.

Las secciones más anchas dan por resultado presiones positivas a lo largo de la superficie de contacto de la presa, reduciendo la descarga; con una sección más angosta, se producen presiones negativas a lo largo de la superficie de contacto, aumentando la descarga.

Otro aspecto importante en el diseño de un cimacio es la economía, algunas veces esta economía se puede lograr usando una carga de proyecto menor que

la máxima prevista. Usando una carga de proyecto menor se obtienen descargas mayores para la variación completa de cargas. El aumento de capacidad permite obtener economías, ya sea por la reducción de la longitud de la cresta o en carga máxima de sobrecarga.

En la mayor parte de las condiciones de proyecto de los vertedores pequeños, las presiones negativas son pequeñas, y se pueden tolerar porque no alcanzan valores absolutos que puedan producir cavitación; es necesario tener cuidado al darle la forma a la cresta cuando se vayan a producir estas presiones negativas, porque las irregularidades producidas por salientes bruscos, depresiones o proyecciones, amplifican las presiones negativas a una magnitud tal que se llegan a producir cavitaciones.

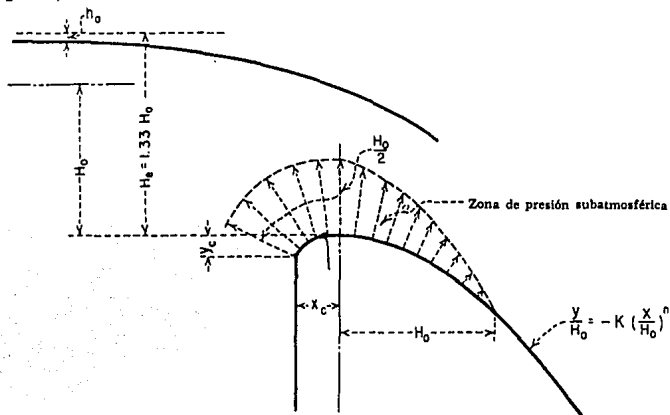
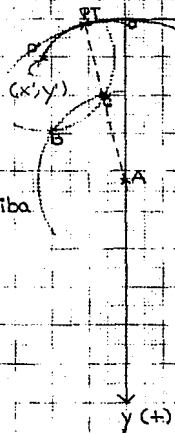


Fig. 5.2.10 Presiones subatmosféricas en la cresta para $H_0/H_c = 0.75$

Enseguida se describe el procedimiento para obtener la curva aguas arriba que se menciona en la referencia de la figura 5.2.3.

- 1.- Fijar un sistema de referencia XY según la figura.
- 2.- A partir del origen y con los valores de k y n conocidos obtener R_1 y R_2 .
- 3.- Ubicar en el sistema de referencia el punto $P'(-x'y')$.
- 4.- Con centro en el origen y sobre el eje de las ordenadas trazar un arco con valor de R_1 (punto **A**).
- 5.- Con centro en **A**, y con un valor de R_1-R_2 trazar otro arco.
- 6.- Haciendo centro en el punto $(-x',y')$ y con radio R_2 trazar el arco correspondiente. Se tiene entonces dos circunferencias que se intersectan en dos puntos, de los cuales no se considera el más alejado del eje de las ordenadas (punto **B**).
- 7.- Trazar una línea que pase por el punto **A** y por **C**. Esta intersección definirá el punto de tangencia **PT** de los trazos que constituyen la curva compuesta aguas arriba del origen.
- 8.- Haciendo centro en el punto de intersección **C** y con radio R_2 trazar el arco correspondiente (desde P' hasta **PT**).
- 9.- Con centro **A** y con radio R_1 trazar el arco faltante desde el origen del sistema hasta el **PT**.

Perfil aguas arriba
Grafico.



Perfil aguas abajo:

$$\frac{y}{H_0} = -k \left(\frac{x}{H_0} \right)^n$$

DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS A EMPLEAR

Esta práctica se lleva a cabo en el canal Rehbock cuyo funcionamiento se describe en la práctica "Salto hidráulico"

El extremo final del canal tiene muros de acrílico, para la práctica la parte terminal del canal se cierra colocando una pared de acrílico de arista afilada (este muro funcionará como un vertedor de pared delgada).

Al funcionar el modelo el agua fluye en el canal, se remansa al chocar con la pared del vertedor y el nivel empieza a elevarse; al superar la altura del vertedor se forma una lámina que escurre sobre él y finalmente cae al canal de retorno. Los muros de acrílico permiten observar la trayectoria del escurrimiento sobre el vertedor.

Sobre una de las paredes se coloca una mica cuadrículada con un sistema de referencia (x,y) y haciendo coincidir el origen de este sistema con el punto más alto de la lámina vertiente se marca la trayectoria del escurrimiento.

Una vez que se ha dibujado la trayectoria de la lámina inferior vertiente, con el limnómetro se mide el nivel del agua; se cierra la válvula que alimenta al modelo y cuando ya no hay escurrimiento sobre el vertedor se mide nuevamente el nivel del agua.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**PERFIL CREAGER****OBJETIVO**

Observar el perfil de la lámina vertiente (inferior) del flujo en la descarga de un vertedor de pared delgada, para la configuración de un cimacio vertedor tipo Creager.

ANTECEDENTES

Origen del perfil Creager.

Concepto y obtención de carga de diseño.

Diseño del perfil Creager.

MATERIAL DE MEDICION

Limnómetro, mica cuadrículada

EXPERIMENTACION

- 1.- Medir la tara de la cresta del vertedor de pared delgada.
- 2.- Pegar la mica sobre la pared del canal haciendo coincidir el eje de las coordenadas con el punto más alto de la lámina inferior vertiente de descarga.
- 4.- Marcar en la mica los puntos de toda la lámina vertiente (inferior) desde su despegue de la cresta del vertedor de pared delgada.
- 5.- Medir la carga H_0 a partir del punto más alto de la lámina inferior vertiente (esta es igual a la carga sobre el vertedor de pared delgada menos la altura y_c)
- 6.- Elaborar una tabla que contenga las coordenadas (x,y) de los puntos

medidos.

- 7.- Medir la diferencia de nivel entre la cresta y el origen de la mica (altura Y_c).

RESULTADOS

- 1.- Calcular y dibujar en papel milimétrico un perfil Creager usando la expresión

$$\frac{Y}{H_d} = K \left(\frac{X}{H_d} \right)^n$$

para aguas abajo del origen y para aguas arriba aplicar el método descrito en los antecedentes.

- 3.- Sobre la misma curva graficar los puntos experimentales obtenidos y comparar ambas gráficas.
- 4.- Responder las siguientes preguntas.
- a) Mencionar dos razones por las que Creager "rellenó" el hueco que forma la lámina vertiente.
- b) ¿Qué provoca que la lámina vertiente se separe del cimacio?
- c) ¿Qué ocurre cuando la lámina vertiente se pega al cimacio?

TRANSITO DE AVENIDAS

Se llama avenida al escurrimiento generado por tormentas que provocan gastos mayores al de diseño en un aprovechamiento hidráulico.

El Tránsito de Avenidas en vasos es un procedimiento analítico cuyo propósito es obtener el hidrograma de salida de la avenida cuando se conoce el hidrograma de entrada.

Algunas de sus aplicaciones son:

- a) Determinar la altura de la presa y dimensionar las obras de desvío y atagúas.
- b) Dimensionamiento de la obra de excedencias.
- c) Conocer la variación de los niveles del agua en el vaso para determinar una política de operación de salidas.

Este método se fundamenta en la ecuación de continuidad, el cual para un vaso de almacenamiento se expresa como:

$$I - O = \frac{dV}{dt} \quad (5.1.1)$$

donde I es el gasto de entrada al vaso, en m^3/s

O es el gasto de salida del vaso, en m^3/s

dV/dt es la razón de cambio del volumen de almacenamiento en el tiempo, en m^3/s

En la figura 1 se presentan los niveles y capacidades del vaso.

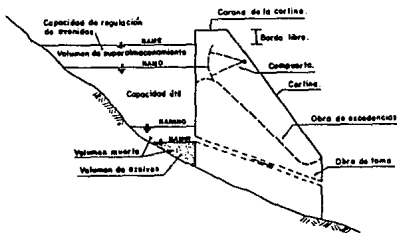


Fig.1 Niveles y capacidades del vaso

La determinación de la avenida requiere de información hidrológica, que consiste en registros llamados hidrogramas de entrada, los cuales son gráficas que indican la variación del gasto durante el tiempo.

En el intervalo de tiempo $t_0 \leq t \leq t_1$ los gastos de entrada son mayores que los de salida, por lo cual se incrementa el volumen de almacenamiento. Ver figura 2.

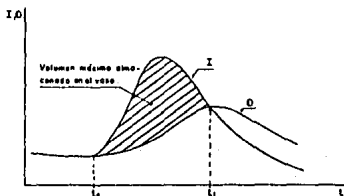


Fig. 2

En el tiempo $t = t_1$, el nivel del agua se incrementa de tal manera que se alcanza su máximo valor y se tiene el máximo volumen de almacenamiento, este nivel recibe el nombre de NAME, Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias.

Para el intervalo de tiempo $t \geq t_1$, los gastos de salida son superiores a los de entrada, disminuyendo entonces el volumen de almacenamiento.

Si el vertedor es de cresta libre, la ley de descarga esta dada por:

$$Q = CL(E - E_0)^{3/2} \dots \dots \dots (5.1.2)$$

$$\text{con } E > E_0$$

- donde
- L es la longitud efectiva del vertedor, en m.
 - C es el coeficiente de descarga, en $m^{1/2}/s$
 - E es la elevación de la superficie libre del agua en el vaso, en m.
 - E_0 elevación de la cresta vertedora, en m.

Aplicando simultáneamente esta expresión con la curva elevaciones-capacidades del vaso (fig. 1) se obtiene para un volumen almacenado, su elevación en la presa y con la ecuación 5.1.2 el gasto de salida por el vertedor .

Si el vertedor es de cresta controlada por compuertas, el gasto de salida estará dado por la política de operación de compuertas previamente establecida. Si la obra de toma estuviera funcionando durante el paso de una avenida, el gasto de salida total se calcula como:

$$O = O_v + O_t \dots\dots\dots (5.1.3)$$

- donde
- O Gasto de salida total, en m³/s
 - O_t Gasto extraído por la obra de toma, en m³/s
 - O_v Gasto de salida por el vertedor, en m³/s

Entre los métodos de solución al Tránsito de Avenidas se mencionan los siguientes:

- a) Método semigráfico
- b) Método numérico de Puls
- c) Método numérico de Euler

Para su aplicación se deben conocer los siguientes datos

- 1.- Hidrograma de entradas
- 2.- Curva de elevaciones-capacidades del vaso
- 3.- Gastos de salida por la obra de toma y la obra de excedencias.

Enseguida se explica el método semigráfico.

Partiendo de la ecuación de continuidad

$$I_t + I_{t+1} + \left(\frac{2V_t}{\Delta t} - O \right) = \frac{2V_{t+1}}{\Delta t} + O_{t+1} \dots\dots\dots (5.1.4)$$

1.- Se debe construir una curva auxiliar que asocie los valores $2V/\Delta t - O$ con O para cada elevación; dicha curva recibe el nombre de "Curva auxiliar" y se construye antes de transitar la avenida.

Procedimiento para trazar la curva auxiliar.

- a) Fijar Δt
- b) Fijar un valor de E , mayor que E_0 .
- b) Se calcula O con la ecuación 5.1.2
- c) Se determina V con la curva elevaciones-capacidades del vaso.
- d) Se calcula el gasto de salida total con $2V/\Delta t + O$
- c) Se regresa al punto (b) tantas veces como sea necesario para definir suficientes puntos.
- g) Se dibuja la curva.

Una vez dibujada la curva, se utiliza el siguiente procedimiento para el tránsito de la avenida.

- a) Se fija un nivel inicial en el vaso E_i . Conviene que este nivel inicial sea el NAMO para hacer el tránsito en las condiciones más desfavorables.
- b) Se calculan las salidas O_i y el volumen V_i correspondientes a la elevación E_i .
- c) Se calcula $2V_i/\Delta t - O_i$.
- d) Con los gastos I_i e I_{i+1} , conocidos de la avenida de entrada y el resultado del inciso c, se calcula

$$2V_{i+1}/\Delta t + O_{i+1}$$

usando la ecuación de continuidad

$$I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2V_i}{\Delta t} - O_i\right) = \frac{2V_{i+1}}{\Delta t} + O_{i+1}$$

- e) Con el resultado del inciso anterior y la curva $2V/\Delta t + O$ contra O (curva auxiliar) se determina O_{i+1} .

f) Se resta O_{i+1} dos veces de $2V_{i+1}/\Delta t + O_{i+1}$ Con esto se tiene

$$2V_{i+1}/\Delta t - O_{i+1}$$

g) Se pasa al siguiente intervalo (esto es, se hace $i = 1$) y se repite el procedimiento desde el paso d tantas veces como sea necesario para terminar con el hidrograma de entrada.

E_L	V	O	$2V/\Delta t + O$
m.s.n.m.	m^3	m^3/s	m^3/s

Tabla 1 Registro para la curva auxiliar

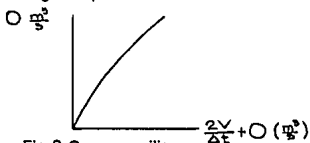


Fig.3 Curva auxiliar

Los cálculos para el tránsito de la avenida se han organizado en la siguiente tabla a fin de facilitar el procedimiento.

t	i	I_i	$I_i + I_{i+1}$	$(2V_i/\Delta t) - O_i$
(1)	(2)	m^3/s	m^3/s	m^3/s
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$(2V_{i+1}/\Delta t) - O_{i+1}$	O_i	V_i	E_i	
m^3/s	m^3/s	$10^3 m^3$	m	
(6)	(7)	(8)	(9)	

TIPOS DE PRESAS

Una estructura hidráulica debe operarse para obtener su máximo rendimiento sin que sobrepase los límites para los cuales fuè diseñada. Los estudios hidrológicos son el punto de partida para el diseño y operación de estructuras hidráulicas.

Durante la etapa de diseño se debe determinar la construcción de tal manera que tenga la capacidad suficiente para cubrir deficiencias o para controlar los volúmenes excedentes.

Durante la operación, la hidrología es fundamental en la propuesta de políticas de uso del agua durante la vida útil de la estructura.

Un estudio de las condiciones climáticas permite predecir con cierta precisión la magnitud de la precipitación así como de la avenida que se generará, de tal manera que se reduzcan los riesgos de que se tengan pérdidas humanas y materiales.

Enseguida se analizará la evolución de niveles así como el control que presenta el vaso ante una avenida dependiendo del uso para el cual haya sido diseñada la cortina.

De acuerdo a la función que desempeñan, las presas pueden clasificarse en:

- Presas de almacenamiento
- Presas para el control de avenidas
- Presas derivadoras

Las presas de almacenamiento se construyen para embalsar el agua en los períodos en que hay excedentes, para utilizarla cuando escasea. Estas presas a su vez pueden clasificarse de acuerdo al tipo de almacenamiento:

Presas de almacenamiento

- para abastecimiento de agua potable
- para generación eléctrica
- para riego

Las presas de derivación se construyen para proporcionar la carga necesaria para desviar el agua hacia zanjas, canales u otros sistemas de conducción hacia el lugar en que se va a usar. Se emplean en los sistemas de riego para la derivación de una corriente natural hacia un vaso de almacenamiento fuera del cauce natural de la corriente.

Las presas reguladoras se construyen para retardar el escurrimiento de las avenidas y disminuir el efecto de las tormentas ocasionales. Estas presas se dividen en dos tipos, una de ellas almacena el agua temporalmente, y se deja salir por una obra de toma con un gasto menor a la capacidad del cauce aguas abajo. En el otro tipo de presa el agua se almacena tanto tiempo como sea posible y se deja infiltrar en las laderas del valle o por estratos de grava de la cimentación.

La capacidad de control que tiene un vaso se refiere a la capacidad de retención que este presenta ante la avenida.

Se debe tomar en cuenta que la finalidad de transitar por el vaso la avenida de diseño, es la de determinar la combinación de superalmacenamiento en el vaso y la capacidad de descarga de la obra de excedencias.

La forma más fácil de proyectar una obra de excedencias es suponerla como un vertedor de cresta fija, coincidiendo con el NAMO. Ver Figura 4.

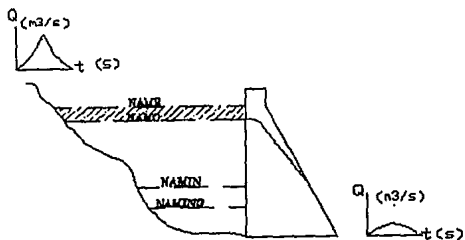


Fig. 4

En la siguiente figura se muestra la sección de un vertedor de excedencias de cresta fija donde la avenida de diseño entra al vaso cuando el agua esta en NAMO y alcanza el nivel más alto en NAME dando lugar a la descarga máxima del vertedor H.

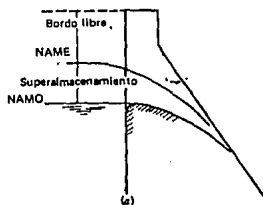


Fig. 5

Este gasto máximo de descarga será menor que el pico de la avenida, debido a que temporalmente ha sido retenido cierto volumen de agua, almacenado entre NAMO y NAME que se denomina superalmacenamiento o capacidad de regulación con descarga controlada.

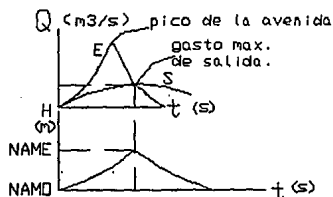


Fig. 6

En el caso de centrales hidroeléctricas puede ser conveniente el aprovechar el volumen de superalmacenamiento y la carga H en producción adicional de energía eléctrica, en cuyo caso se tendría la condición que se muestra en la siguiente figura donde se ha colocado una compuerta de control sobre la cresta del vertedor y el NAMO coincide con el NAME

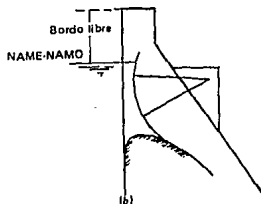


Fig.7

Bajo estas condiciones, cuando se presenta una avenida se levanta la compuerta paulatinamente, de manera que coincide el gasto de entrada al vaso con el de descarga a través de la compuerta, no hay variaciones en el nivel del agua. En este caso que no existe volumen de agua retenida el gasto de salida será igual al de entrada y mayor que el gasto de salida en el caso anterior, por consiguiente el umbral de la compuerta en el caso de la figura deberá estar a una elevación menor que en el caso de la figura para disponer de mayor carga. En el caso en que se desee regular la avenida se pueden proponer casos intermedios, como el que a continuación se muestra.

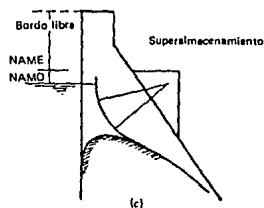


Fig. 8

Por otro lado, además de tener suficiente capacidad, la obra de excedencias debe ser hidráulica y estructuralmente adecuada y con las descargas localizadas de manera que no erosionen el pie de la cortina u otras estructuras existentes aguas abajo.

Cuando sea necesario se deberá prever la construcción de algún dispositivo para disipar la energía cinética del agua antes de entregarla al cauce original.

En el caso de las presas de almacenamiento en que se tienen grandes capacidades de regulación se pueden considerar las siguientes condiciones:

- 1.- En donde la obra de excedencias se concibe para dejar pasar la avenida máxima probable, en cuyo caso debe prevalecer el concepto de seguridad de la presa.
- 2.- Además de dejar pasar la avenida máxima, se desee aprovechar la capacidad del vaso para regular las avenidas máximas y permitir descargas que garanticen ciertos niveles aguas abajo de la presa congruentes con la capacidad de conducción del cauce.

O sea que la estructura trabajara como reguladora de las avenidas ordinarias y como valvula de seguridad de la presa para el caso de la avenida máxima probable.

En este segundo caso, en el diseño de presas para usos múltiples, la obra de excedencias toma el nombre de obra de regulación y excedencias.

DESCRIPCION DEL MODELO

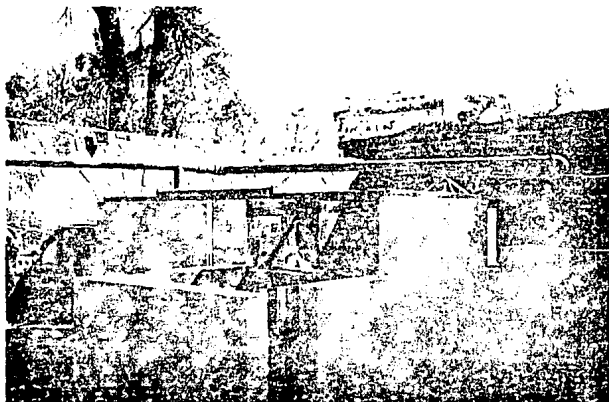
Para esta práctica se utiliza un modelo formado por dos tanques rectangulares de diferentes alturas, uno se emplea como tanque de aforo del hidrograma de entrada y el otro hace las veces de tanque de almacenamiento.

La alimentación de este modelo proviene del tanque elevado a través de una línea de 4" que descarga hacia un tanque de amortiguamiento con salida a través de un vertedor triangular; al llegar el nivel a la altura del vertedor el agua empieza a escurrir sobre él (gasto de entrada) para caer al segundo tanque de amortiguamiento.

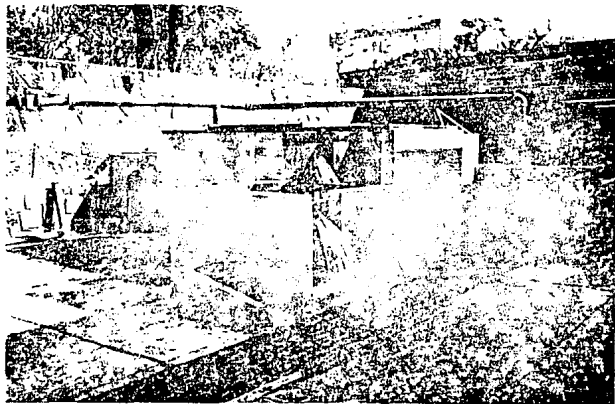
El tanque de mayor altura tiene a un costado un vidrio nivel, así, si se desea conocer el gasto de entrada basta con medir las elevaciones que se presenten en el vidrio.

El tanque de menor altura tiene paredes de acrílico y en un costado se localiza un vertedor de sección rectangular; al recibir el gasto de entrada el nivel del agua empieza a aumentar hasta alcanzar la cresta de este vertedor (esta altura se designará como NAMO). Si el nivel rebasa el NAMO se tiene entonces un escurrimiento sobre el vertedor rectangular (gasto de salida) y para determinar este gasto de salida es necesario marcar el NAMO y las elevaciones mayores a él. Cabe mencionar que tanto las elevaciones que corresponden al gasto de entrada como al gasto de salida son marcadas a cada 10 segundos.

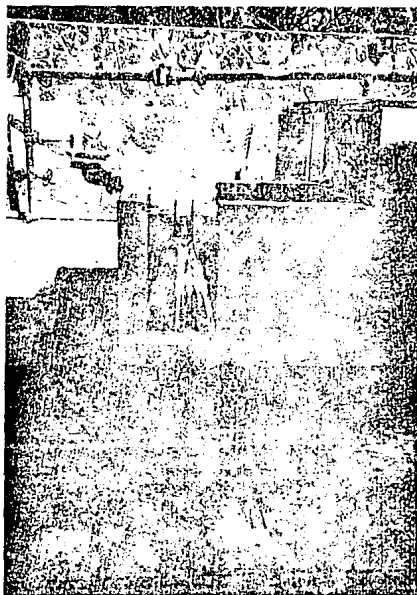
La avenida se simula al controlar la apertura y cierre de una válvula de compuerta que se encuentra en la línea de alimentación; tanto el cierre como la apertura se realizan en forma gradual y constante.



Modelo empleado para transitar avenidas. El tanque de mayor altura proporciona el gasto de entrada, el de menor altura contiene al vertedor que afora el gasto de salida.



Perspectiva del modelo en funcionamiento.



Vista frontal del modelo de tránsito de avenidas.

DESARROLLO DE LA PRACTICA**TRANSITO DE AVENIDAS****OBJETIVO**

Analizar la capacidad de control de un vaso de almacenamiento debido al cambio en la longitud del vertedor de excedencias. Comparar el hidrograma de salida real con el calculado.

ANTECEDENTES

- 1.- Concepto y finalidad del Tránsito de avenidas.
- 2.- Concepto e importancia de la capacidad de control para el diseño de la altura de la presa y la prevención de inundaciones aguas abajo.
- 3.- Diferencias entre transitar y regular una avenida.
- 4.- Explicar la forma de los hidrogramas de entrada y salida.
- 5.- Datos requeridos para analizar el Tránsito.
- 6.- Describir el comportamiento del vaso con los hidrogramas de entrada y salida y la curva elevación tiempo.

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Cronómetro, papel milimétrico, vertedores con diferente longitud de cresta.

EXPERIMENTACION

Para un vertedor con longitud de cresta de 10 cm:

- 1.- Pegar tiras de papel milimétrico a un costado del vertedor rectangular que funcionará como obra de excedencias y el vertedor triangular que servirá para medir el hidrograma de entrada y marcar los niveles iniciales.

- 2.- Abrir gradualmente la válvula que alimenta el modelo y cronometrar el tiempo de apertura desde su inicio hasta el cierre total indicando intervalos a cada 10 segundos.
- 3.- Marcar en el papel los niveles que se presentan en los dos vertedores a cada 10 segundos partiendo desde el nivel inicial (incluyendo el nivel máximo) hasta regresar o aproximarse lo más posible al nivel inicial.
- 4.- Para un hidrograma de entrada similar al anterior medir el hidrograma de salida para una longitud en el vertedor de 5 cm.

INFORME

- 1.- Graficar en un mismo plano los hidrogramas de entrada y salida para las dos longitudes de cresta.
- 2.- Calcular el hidrograma de salida en forma teórica para el vertedor que tiene una longitud de 10 cm y graficarlo en el mismo plano del punto anterior.
- 3.- Responder las siguientes preguntas.
 - a) ¿Cómo es el hidrograma de salida para un vertedor de $L = 10$ cm con respecto al vertedor de $L = 5$ cm?
 - b) ¿Cuál de los dos vertedores requerirá de una presa de mayor altura, y porquè?
 - c) Suponga que se cuenta con una presa para riego, ¿Què modificaciones serían necesarias en el vertedor, si se desea usar la presa como hidroelèctrica?
 - d) ¿Una presa derivadora regularía una avenida?

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La finalidad de elaborar este documento es la de proporcionar al alumno un material de consulta a fin de resolver posibles dudas que llegaran a presentarse durante la realización de la práctica.

Este puede ser usado antes y después del experimento, ya que la introducción teórica encamina al alumno hacia la comprensión del objetivo, aún sin haber asistido a la explicación previa a la experimentación. Además presenta una guía de los puntos más importantes que deben cubrir tanto el profesor que imparte la asignatura, como el alumno que debe cumplir con ciertos antecedentes teóricos.

En la segunda parte se pretende auxiliar al alumno en el manejo del material experimental y en la realización de la práctica.

Otra finalidad es la de organizar de la mejor manera posible, la información generada en el laboratorio desde que éste empezó a funcionar como tal.

Sin embargo, debido a que es necesario actualizarse y mejorar los programas de estudio se están analizando proyectos de nuevas prácticas, métodos de organización, técnicas experimentales y manejo de recursos humanos y materiales y de esta manera se pretende lograr un laboratorio de Hidráulica más eficiente.

BIBLIOGRAFIA

"Hidráulica general, fundamentos"

Gilberto Sotelo Avila

"Hidráulica"

George Roussel

"Mecánica de fluidos"

J.A. Roberson/C.T. Crowe

"Apuntes de turbomáquinas hidráulicas y elementos de aprovechamientos
hidráulicos"

Roberto Rincón Gutierrez

"Apuntes de hidrología de superficie"

Francisco J. Mijares

"Apuntes de hidráulica II"

Gilberto Sotelo Avila

"Obras hidráulicas"

F. Torres H.

"Turbomáquinas hidráulicas"

Manuel Polo Encinas

"Diseño de presas pequeñas"

U.S.B.R.

"Obras de excedencias"

Manual de diseño C.F.E.