

300618

4  
20



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE  
MEDIDORES DE FLUJO TIPO VERTEDERO PARA EL  
LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA  
DE LA UNIVERSIDAD LA SALLE

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A :**  
**LUCIA YOLANDA ELIZONDO RANGEL**

DIRECTOR DE TESIS:  
MC ANTONIO VALIENTE BARDERAS



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.

## INDICE

### CAPITULO I TEORIA SOBRE MEDIDORES DE VERTEDERO.

- 1.1 DEFINICION
- 1.2 TERMINOLOGIA
- 1.3 CLASIFICACION DE LOS VERTEDEROS
  - 1.3.1 POR SU FORMA
  - 1.3.2 ALTURA RELATIVA DEL UMBRAL
  - 1.3.3 LONGITUD DE LA CRESTA
  - 1.3.4 POR SU DISPOSICION CON RELACION A LA CORRIENTE
  - 1.3.5 POR EL ESPESOR DE LA PARED
  - 1.3.6 POR EL PERFIL DE LA CRESTA
  - 1.3.7 POR LA POSICION DE LA PARED
  - 1.3.8 POR LA FORMA DE LA LAMINA VERTIENTE
  - 1.3.9 POR EL PERFIL DEL FONDO
- 1.4 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES
  - 1.4.1 DESARROLLO DE LA FORMULA PARA UN VERTEDERO - -  
TRIANGULAR.
- 1.5 VERTEDERO DE PARED DELGADA
- 1.6 VERTEDERO RECTANGULAR
- 1.7 FORMULAS PRACTICAS
  - 1.7.1 FORMULA DE FRANCIS
  - 1.7.2 FORMULA DE LA SOCIEDAD SUIZA DE INGENIEROS Y -  
ARQUITECTOS.
- 1.8 VELOCIDAD DE LLEGADA
- 1.9 FORMULA DE REHBOCK

- 1.10 INFLUENCIA DE LAS CONTRACCIONES
- 1.11 VERTEDERO TRIANGULAR
- 1.12 VERTEDEROS TRAPEZOIDALES
  - 1.12.1 VERTEDERO DE CIPOLLETTI
- 1.13 VERTEDERO CIRCULAR
- 1.14 OTROS VERTEDEROS
  - 1.14.1 VERTEDERO TUBULAR
  - 1.14.2 VERTEDERO EXPONENCIAL
- 1.15 INFLUENCIA DE LA FORMA DE LA VENA
- 1.16 VERTEDERO AHOGADO
- 1.17 VERTEDEROS DE CRESTA ANCHA
- 1.18 VERTEDEROS DE EXCEDENCIAS
- 1.19 VERTEDEROS PROPORCIONALES
- 1.20 VERTEDOR SOTRO
- 1.21 VERTEDOR DI RICCO (FORMA APROXIMADA)
- 1.22 CONDUCTO AFORADOR PARSHAL
  - 1.22.1 ESTRUCTURA
  - 1.22.2 FUNCIONAMIENTO
- 1.23 SELECCION Y USO DE LOS VERTEDEROS
- 1.24 SIMBOLOGIA Y NOMENCLATURA.

**CAPITULO II DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PROPUESTO  
PARA PRACTICAS.**

- 2.1 ANTECEDENTES
- 2.2 DISEÑO
- 2.3 ISOMETRICO
- 2.4 MATERIAL
- 2.5 BOMBA, VALVULAS Y ACCESORIOS
- 2.6 ANALISIS DE COSTOS

**CAPITULO III EXPERIMENTACION Y OBTENCION DE RESULTADOS.**

- 3.1 OBJETIVO
- 3.2 DESARROLLO
- 3.3 OBTENCION DE RESULTADOS

**CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

- 4.1 VERTEDERO RECTANGULAR
- 4.2 VERTEDERO TRIANGULAR
- 4.3 VERTEDERO CIRCULAR
- 4.4 CONCLUSIONES

**CAPITULO V DISEÑO DE LA PRACTICA PROPUESTA**

- a) OBJETIVO
- b) EQUIPO A UTILIZAR
- c) TECNICA DE OPERACION
- d) TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA

**PRACTICA PROPUESTA NO. 2 (OPCIONAL)**

- a) **OBJETIVO**
- b) **EQUIPO A UTILIZAR**
- c) **TECNICA DE OPERACION**
- d) **TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA**

TEORIA SOBRE MEDIDORES DE VERTEDERO

1.1 DEFINICION.

Un vertedero es un dique o pared que intercepta la corriente, causando una elevación de nivel aguas arriba, y -- que se emplea para control de nivel o para medición de caudales de pequeños cursos de agua y conductores libres.

Como ejemplo de vertederos de control de nivel están los vertederos de presa.

## 1.2 TERMINOLOGIA.

El borde horizontal se denomina cresta o umbral.  
(Ver fig. 1.1).

Los bordes verticales constituyen las caras del vertedero. La carga del vertedero (H), es la altura alcanzada por el agua, a partir de la cresta del vertedero. La carga (H) debe ser medida a una distancia mínima (d) de la cresta para evitar que la medida esté afectada por el abatimiento de la lámina vertiente sobre la cresta.

Esta distancia (d) puede variar entre 60 cm y 1m ó de 5 a 10 veces la carga (H). Al espesor del chorro medido sobre la cresta (en el plano del vertedor), se le llama carga sobre la cresta (h).



FIG.1.1

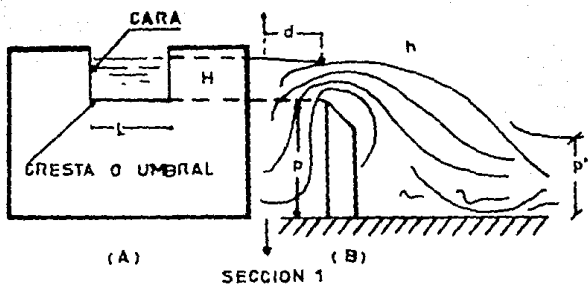


FIGURA 1.1 PARTES QUE FORMAN UN VERTEDERO.

### 1.3 CLASIFICACION DE LOS VERTEDEROS

Hay diferentes clases de vertederos según la forma que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circula por la escotadura, siendo muchos los factores que pueden servir para su clasificación.

#### CLASIFICACION:

##### 1.3.1 Por su Forma:

- a) Simples: Rectangulares, trapezoidales, triangulares, circulares, etc.  
(Ver fig. 1.2.D)
- b) Compuestos: Secciones Combinadas.

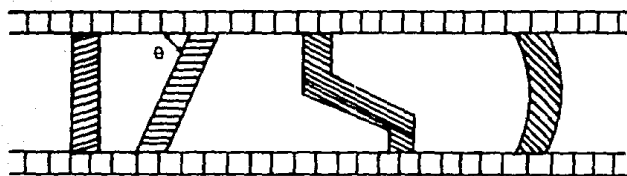
##### 1.3.2 Altura Relativa del Umbral:

- a) Vertederos completos o libres, ( $p > p'$ ).  
(Ver fig. 1.2.C)
- b) Vertederos incompletos o ahogados ( $p < p'$ ).  
(Ver fig. 1.2.C)

##### 1.3.3 Longitud de la Cresta:

- a) Vertederos sin contracciones laterales.  
( $L=B$ ). (Ver fig. 1.2.E (a) ).
- b) Vertederos con contracciones ( $L < B$ ).  
(Ver fig. 1.2.E (b) ).

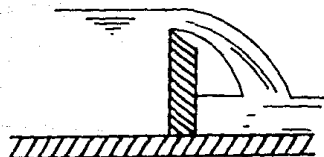
FIG 1.2



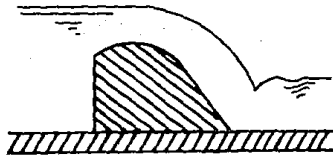
(A) (B)

(C) (D)

- A) VERTEDERO NORMAL
- B) " INCLINADO
- C) " QUEBRADO
- D) " CURVILINEO



A) VERTEDERO DE PARED DELGADA



B) VERTEDERO DE PARED GRUESA

FIG. 1.2 CLASIFICACION DE LOS VERTEDEROS.

1.3.4 Por su Disposición con Relación a la Corriente:

- a) Vertederos Normales.
- b) Vertederos Inclínados.
- c) Vertederos Quebrados.
- d) Vertederos Curvilíneos.

(Ver fig. 1.2.A)

1.3.5 Por el Espesor de la Pared:

- a) Vertederos de Pared Gruesa (e  $0.66 H$ ).  
(Ver fig. 1.2.B. (b) ).
- b) Vertederos de Pared Delgada, placas o madera biselada. (Ver fig. 1.2.B (a) ).

Los Vertederos de pared delgada, con cresta en arista viva sirven para medir caudales con gran precisión, - mientras que los vertederos de pared gruesa desaguan un caudal mayor. De aquí la diferencia de las aplicaciones: los de pared delgada se emplean para medir caudales y los de pared gruesa, como parte de una presa u otra estructura, para control de nivel.

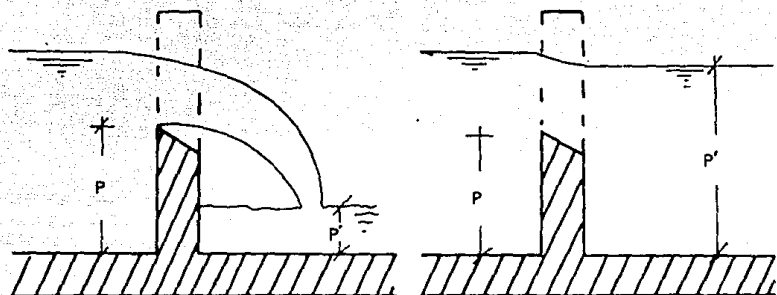
1.3.6 Por el Perfil de la Cresta:

- a) Redondeadas
- b) De Cresta Viva

1.3.7 Por la Posición de la Pared:

- a) De Pared Vertical
- b) De Pared Inclínada

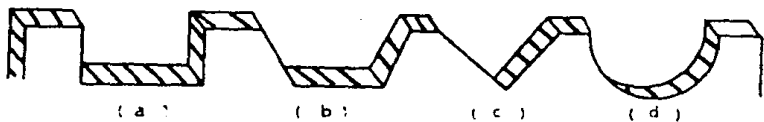
FIG. 1.2.c



(a) VERTEDERO DE LAMINA  
LIBRE O COMPLETO

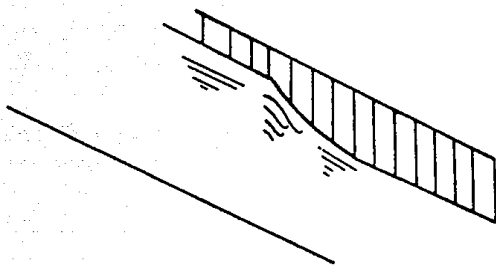
(b) VERTEDERO SUMERGIDO  
O INCOMPLETO

FIG. 12D

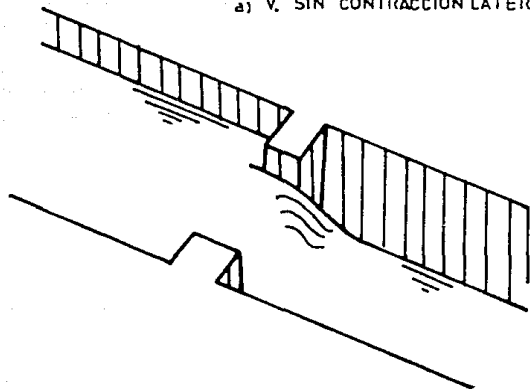


- a) V. RECTANGULAR
- b) V. TRAPEZOIDAL
- c) V. TRIANGULAR
- d) V. PARABOLICO

FIG. 12.E



a) V. SIN CONTRACCION LATERAL



b) V. CON CONTRACCION LATERAL

**1.3.8 Por la Forma de la Lámina Vertiente:**

- a) De Lámina Libre.
- b) De Lámina Alterada.

**1.3.9 Por el Perfil del Fondo;**

- a) A nivel
- b) Ondulado.

#### 1.4 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

No es posible derivar con exactitud la ecuación para la descarga sobre un vertedero debido, no sólo a que el patrón de flujo de un vertedero es muy diferente de cualquier otro, sino que también el patrón de flujo sobre el vertedero varía con la descarga.

Además, el número de variables involucradas es tan grande que hace casi imposible una resolución analítica rigurosa. Sin embargo, es necesaria una apreciación de estas complejidades, para el entendimiento de los resultados experimentales y de las deficiencias de las fórmulas simplificadas para vertederos.

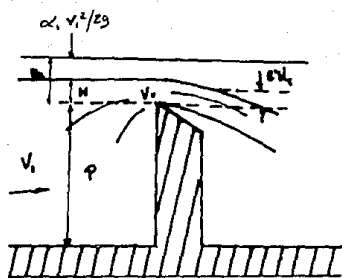
Las derivaciones de estas fórmulas simplificadas muestran el efecto de las fuerzas gravitacionales de forma aproximada, pero no incluyen los efectos de la viscosidad, la tensión superficial, la relación de las dimensiones del vertedero y las del canal de aproximación, la naturaleza de la cresta, la velocidad de distribución del canal de aproximación, y la rugosidad de la superficie del vertedero.

Se hará una derivación simplificada para mostrar la naturaleza de la relación entre la descarga y otras variables importantes. Esta derivación es válida para vertederos de pared delgada pero es posible aplicarla a otros vertederos.

La ecuación de Bernoulli escrita para cualquier punto en la sección 1 a V, (ver fig. 1.3), que es el centro de gravedad de la vena contracta queda:



FIG. 13



$$H + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = H_t = C^1 H_t + \frac{v_v^2}{2g} + h_e \quad \dots 1$$

Despejando  $v_v$

$$v_v^2 = [ H_t - C^1 H_t - h_e ] \frac{2g}{\alpha}$$

Reacomodando

$$v_v = \sqrt{2g \frac{1}{\alpha} [ H_t (1 - C^1) - h_e ]} \quad \dots 2$$

Donde

$H$  = Carga sobre la Cresta

$H_t$  = Carga Total

$v$  = Velocidad sobre la Cresta

$v_1$  = Velocidad en el Punto 1

$C^1$  = Coeficiente Arbitrario.

$h_e$  = Pérdidas por fricción

Introduciendo un coeficiente arbitrario  $c''$  que sirva para representar las funciones de  $h_e$ ,  $c_1$  y  $v$  y simplifique la ecuación 1:

$$V_v = c'' \sqrt{2gH_t} \quad \dots (3)$$

La descarga se expresa:

$$Q = A_v V_v \quad \dots (4)$$

El área en la vena contracta,  $A_v$ , se debe expresar en términos de la abertura del vertedero y de un coeficiente de contracción como sigue:

$$A_v = C_c A \quad \dots (5)$$

Donde  $A$  es el área de la abertura del vertedero medida por el plano de la superficie del agua en el canal de aproximación.

Entonces:

$$Q = C_c A c'' \sqrt{2g H_t} \quad \dots (6)$$

Y si:

$$C_1 = C_c c'' \sqrt{2g} \quad \dots (7)$$

$$Q = C_1 A \sqrt{H_t} \quad \dots (8)$$

Si el vertedero tiene una cresta horizontal de longitud  $L$  entonces:

$$A = HL$$

Y la ecuación (8) queda:

$$Q = C_1 L H_t^{1/2} \dots (9)$$

Si ahora el coeficiente incluye el efecto de la velocidad de aproximación,  $H_t$  se puede reemplazar por  $H$  y

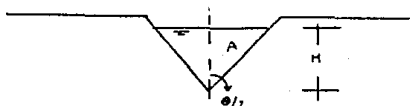
$$Q = CLH^{3/2} \dots (10)$$

La fórmula anterior es la forma general de ecuación usada para vertederos de cresta horizontal.

Este desarrollo, como ya se mencionó, puede ser utilizado para obtener la ecuación general de todos los vertederos.

## DESARROLLO DE LA FORMULA PARA UN VERTEDERO TRIANGULAR

Si el vertedero es triangular como en la figura siguiente:



Se tiene que:

$$A = H^2 \operatorname{tg} \theta/2$$

Sustituyendo en (8) :

$$Q = C_1 \operatorname{tg} \theta/2 H^2 H_t^{1/2}$$

Incluyendo la velocidad de acercamiento en el coeficiente:

$$Q = C_1 \operatorname{tg} \theta/2 H^{5/2}$$

Y haciendo\_:

$$C = C_1 \operatorname{tg} \theta / 2$$

La expresión. de descarga es entonces :

$$Q = CH^{5/2}$$

Fór-mula aplicable para los vertederos triangulares.

Como se puede observar, esta ecuación es similar a la ecuación general de los vertederos:  $Q = KH^n$ . Cabe hacer notar que el valor

de C dependerá del valor del ángulo  $\theta$  de cada vertedero.

## 1.5 VERTEDEROS DE PARED DELGADA

Estos vertederos pueden ser rectangulares, triangulares, etc.

Los vertederos rectangulares se clasifican en vertederos sin contracción lateral, si el ancho de la abertura del vertedero es igual al ancho del canal, y vertedero con contracción lateral en caso contrario.

En los vertederos rectangulares, sobre todo en los vertederos sin contracción lateral, la exactitud de la medida del caudal solamente se puede garantizar si el vertedero está bien ventilado.

La ventilación tiene por objeto introducir aire debajo de la lámina de agua. (Ver fig. 1.4)

En las figuras se muestran 2 vertederos, uno bien ventilado y el otro no ventilado. El agua arrastra el aire que se encuentra debajo de la lámina aguas abajo del vertedero, ahí se crea una succión. La lámina baja y el caudal aumenta, o bien, el caudal se mantiene constante y  $H$  disminuye.

La exactitud de la medida del caudal exige que el vertedero esté bien ventilado.

FIG. 1.4

A) V. VENTILADO

B) V. NO VENTILADO

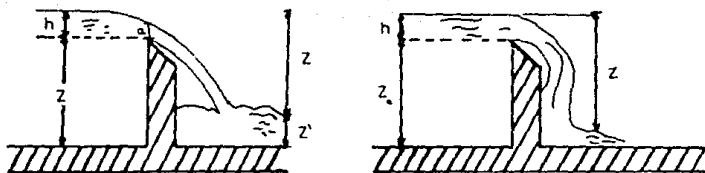


FIG. 1.4. VERTEDEROS DE PARED DELGADA.

## 1.6 VERTEDERO RECTANGULAR

(Ver fig. 1.5)

En la figura se muestra un vertedero rectangular - de paredes delgadas con contracciones y otro sin contracciones.

Examinándose el movimiento del agua en un vertedero (fig. 1.6), se observa que los filetes inferiores aguas arriba, se elevan, tocan la cresta del vertedor y se elevan ligeramente a continuación.

La superficie libre del agua y los filetes próximos bajan. En estas condiciones, se verifica un estrechamiento de la vena, como sucede con los orificios. (Ver fig. 1.7)

Para los orificios de grandes dimensiones se puede deducir la siguiente fórmula:

$$Q = 2/3 C_d L \sqrt{2g} (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

Haciéndose de la siguiente manera:

Siendo:

L = Ancho del orificio

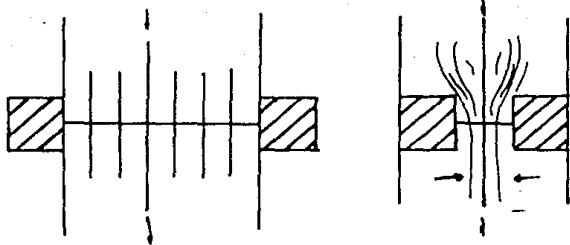
H = Carga sobre un tramo elemental de espesor dh

La descarga sobre un tramo elemental será (Ver fig. 1.7)

$$dQ = \frac{C_d L dh}{A} \frac{\sqrt{2gh}}{v_t}$$



FIG. 16



A) V. SIN C. LATERALES

B) V. CON C. LATERALES

FIG. 1.5 VERTEDEROS RECTANGULARES.

FIG. 1.6

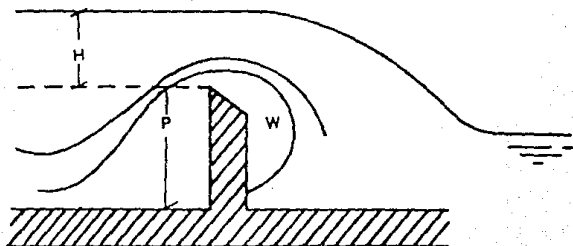
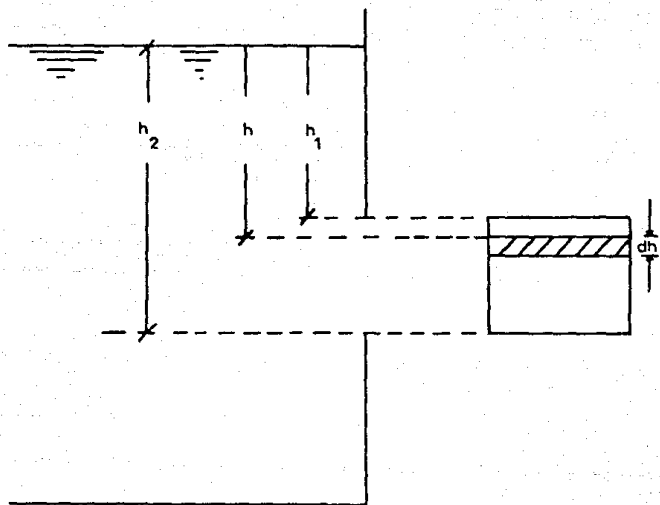


FIG. 1.6. MOVIMIENTO DEL AGUA SOBRE UN VERTEDERO.

FIG 17



MEDIDOR DE ORIFICIO

La descarga de todo el orificio será obtenida integrándose esta expresión entre los límites  $h_1$  y  $h_2$  (cargas correspondientes al tope y a la base del orificio) :

$$Q = \int_{h_1}^{h_2} C_d L d h \sqrt{2gh} = C_d L \sqrt{2g} \int_{h_1}^{h_2} \sqrt{h} dh$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

Haciéndose  $h_1 = 0$

$h_2 = H$

(Debido a que en un vertedero no hay pared superior).

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H^{3/2}$$

$$Q = K L H^{3/2}$$

Que es la ecuación general para vertederos rectangulares de pared delgada.

Donde:  $K = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}$

Para el valor medio de  $C_d = 0.62$  (Ver parrafo 1.7.1)

$$K = \frac{2}{3} * 0.62 * 4.43 = 1.83$$

## 1.7 FORMULAS PRACTICAS.

Se encuentran un gran número de fórmulas propuestas para los vertederos de pared delgada. Las más usuales son:

### 1.7.1. Fórmula de Francis:

$$Q = 1.838 L H^{3/2}$$

Donde:

Q en m<sup>3</sup>/s, L en m. y H en m.

O bien en el sistema inglés:

$$Q = 3.33 L H^{3/2}$$

Q en pies<sup>3</sup>/s, L en pies, H en pies.

Para el empleo de esta fórmula también es usual el uso de un gráfico. (Ver fig. 1.8)

### 1.7.2. Fórmula de la sociedad suiza de Ingenieros y Arquitectos:

$$Q = (1.816 \left[ \frac{1.816}{1000H+16} \right] \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{H}{H+p} \right)^2 \right]) LH^{3/2}$$

### 1.7.3. Fórmula de Bazin:

$$Q = \underbrace{\left( 0.405 + \frac{0.003}{H} \right)}_m \left[ 1 + 0.55 \left( \frac{H}{H+p} \right)^2 \right] LH \quad 2gH$$

Los valores de m se encuentran en diversos libros de hidráulica, resultando la siguiente fórmula:

$$Q = m L H \sqrt{2gH}$$

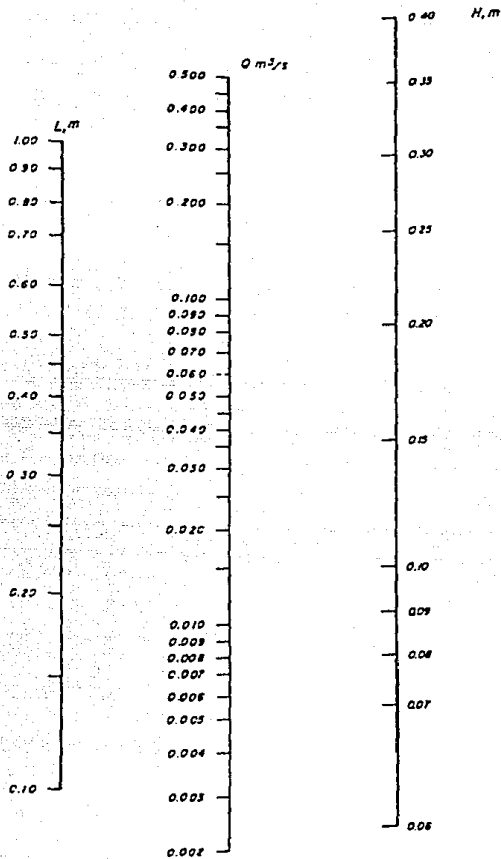


FIGURA 1.8 NOMOGRAMA PARA VERTEDEROS. FORMULA DE FRANCIS  
 $Q = 1.84 LH^{3/2}$ .

Las fórmulas precedentes son válidas para los vertederos, en las cuales actúa la presión atmosférica en la lámina vertiente. En la fórmula anterior de Francis, se desprecia la velocidad de llegada del agua.

## 1.8 VELOCIDAD DE LLEGADA

Como se mencionó en el párrafo anterior, se ha dado una fórmula de Francis sin tomar en cuenta la velocidad de llegada del agua cuyo significado es el siguiente:

Habrán casos en los cuales la corriente llega al vertedor con una determinada velocidad, de tal manera que si la relación entre las dimensiones del vertedero y las del canal está en tal proporción, se alteran las condiciones mecánicas del escurrimiento usado para establecer la fórmula de Francis.

Si la velocidad en el canal es grande, se puede hacer sentir su efecto en el vertedor, incrementando el gasto, es decir, parecerá como si el vertedero estuviera trabajando con una carga mayor.

La fórmula de Francis que considera la velocidad del agua en el canal de acceso es:

$$Q = 1.838L \left[ \left( H + \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} - \left( \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

Donde V = velocidad en el canal.



## 1.9 FORMULA DE REHBOCK

La fórmula de Rehbock para vertederos de pared delgada y sin contracciones es:

$$Q = 2/3 LH^{3/2} (0.605 + \frac{1}{1050H-3} + 0.08 H/P) \sqrt{2g}$$

en la cual:

Q = Gasto del vertedero, en m<sup>3</sup>/s

L = Longitud del vertedero, en m.

H = Carga del vertedero, en m.

P = Altura del vertedero en m, a partir del fondo del canal de conducción en la llegada.

El gasto en un metro de longitud de cresta es:

$$q = Q/L$$

Y la solución gráfica de esta expresión se da para -- ser empleada en la medición de pequeños volúmenes de agua para riego. (Ver fig. 1.9).

Es conveniente hacer notar que esta fórmula es muy exacta y ha sido ampliamente comprobada, que da errores de 1% cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- 1.- Se procederá que en el canal de llegada, la velocidad sea, lo más prácticamente posible, igual en todos los puntos de la sección transversal.
- 2.- La carga será lo suficientemente grande para provocar que el chorro trabaje enteramente libre, y no se monte resbalando, sobre la cara aguas abajo de la pared que forma el vertedero.

FIG. 1.9

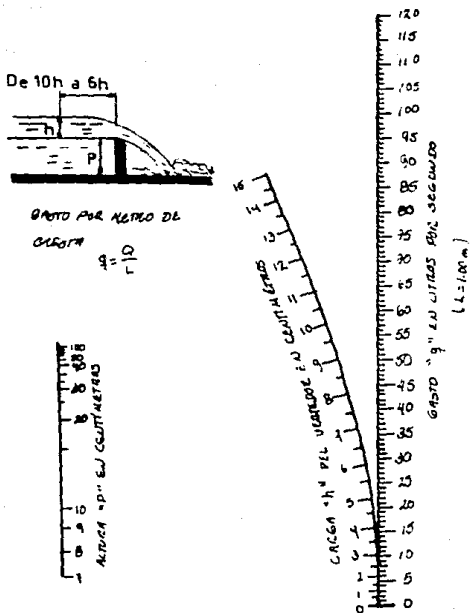


FIG. 1.9 Solución gráfica de la ecuación  $q = Q/L$ .

( Fórmula de Rehbock )

- 3.- El chorro deberá ser ampliamente aerado, de tal manera que se dotarán ventilas para hacer que la presión en el espacio entre la cara inferior del chorro y el paramento aguas abajo de la pared del vertedor, sea practicamente - la presión atmosférica.
- 4.- El nivel del agua, aguas abajo del vertedor - debe ser lo suficientemente bajo para que las cargas no sean afectadas por un remanso.

## 1.10 INFLUENCIAS DE LAS CONTRACCIONES.

Las contracciones ocurren en los vertederos cuyo ancho es inferior a la del canal en que se encuentran -- instalados ( $L < B$ ).

Francis después de muchos experimentos concluyó -- que todo pasa como si en el vertedero con contracciones -- el ancho fuese reducido.

Según Francis se debe considerar en la aplicación de la fórmula un valor corregido para  $L$ .

Para una contracción:

$$L' = L - 0.1H$$

Para dos contracciones:

$$L' = L - 0.2H$$

Para el caso de dos contracciones la fórmula de -- Francis queda:

$$Q = 1.838 ( L - 2H/10 ) H^{3/2}$$

(Sin tener en cuenta la velocidad de llegada del agua).

Considerando lo anterior podemos apreciar que la longitud de la cresta  $L$  se ve reducida por el efecto de las contracciones laterales y por lo tanto podemos asegurar:

- a) De dos vertederos de igual longitud de cresta y con igual carga, tiene mayor gasto el que no tenga contracciones laterales.
- b) Si en un canal colocamos un vertedero sin contracciones laterales, para dejar un cierto --gasto  $Q$ , trabajando con una carga  $H$ , para dar salida al mismo gasto por otro vertedero con contracciones laterales, de la misma longitud de cresta, necesitamos una mayor carga  $H$ .

### 1.11 VERTEDERO TRIANGULAR.

Otra de las formas de la escotadura comúnmente empleada en los vertederos es la triangular. Los vertederos triangulares hacen posible una mayor precisión en la medida de cargas correspondientes a caudales reducidos.

La fórmula para el gasto en un vertedero triangular es:

$$Q = C_t \frac{\theta}{2} H^{5/2} \quad (\text{Ver principios fundamentales sección 1.4})$$

En donde C es un constante que para escotaduras con ángulo recto ( $90^\circ$ ), tiene el valor medio de 2.54, quedando:

$$Q = 2.54 H^{5/2} \quad (\text{en el sistema inglés}) \quad \dots(A)$$

$$Q = 1.34 H^{5/2} \quad (\text{en el sistema métrico})$$

Para vertederos con escotaduras con un ángulo de  $60^\circ$  tendremos :

$$Q = 0.775 H^{2.47} \quad \dots(B)$$

En la figura 1.11 se muestran escalas adyacentes que resuelven las fórmulas A y B para vertederos triangulares con escotadura que tienen ángulos de  $90^\circ$  y  $60^\circ$ .

FIG. 1.11

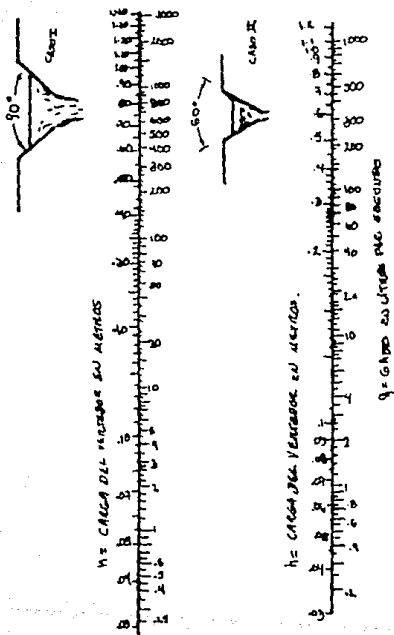
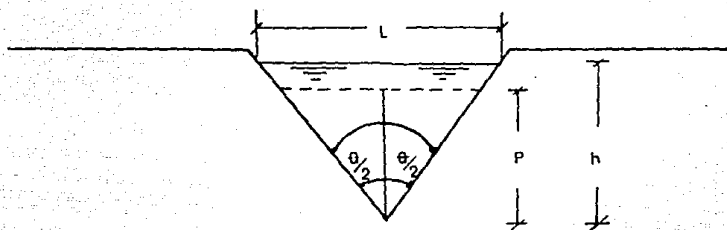


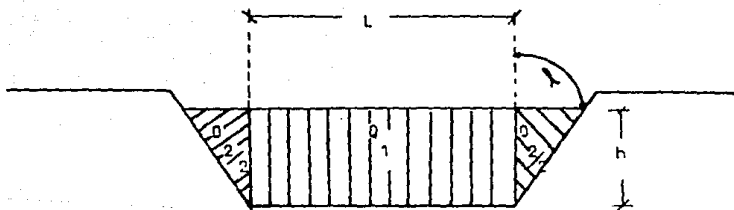
Fig. 1.11 Solución a la ecuación  $Q = 2.54 H^{5/2}$  (vertederos triangulares de  $90^\circ$ ) y a la ecuación  $Q = 0.775 H^{2.47}$  (vertederos triangulares de  $60^\circ$ ).

FIG.1.10



VERTEDERO TRIANGULAR

FIG.1.12



VERTEDERO TRAPEZOIDAL



## 1.12 VERTEDEROS TRAPEZOIDALES.

El vertedero de la fig. 1.12 puede descomponerse en dos partes, un vertedero rectangular (parte central)- y un vertedero triangular (partes laterales), de manera que se tiene:

$$\begin{aligned} Q^1 &= \text{Gasto del Vertedero Rectangular} \\ Q^2 &= \text{Gasto del Vertedero Triangular} \\ Q^3 &= \text{Gasto del Vertedero Trapezoidal} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$Q^3 = Q^1 + Q^2$$

O bien:

$$Q = 1.84 (L - 0.1 nH) H^{3/2} + 8/15 \operatorname{tg} \alpha 2C \sqrt{2g} H^{5/2}$$

Que es la fórmula de los vertederos trapezoidales. Se usa mucho una forma de vertedero trapezoidal llamado Cipolletti que tiene características particulares.

### 1.12.1 Vertedero de Cipolletti

(Ver fig. 1.13)

Este vertedero es rectangular sin contracciones laterales, con una carga  $h$  y una longitud de la cresta  $L$ , cuyas paredes tienen una inclinación tal que sus proyecciones son 1 horizontal por 4 vertical, y el gasto se calcula por la fórmula:

$$\begin{aligned} Q &= 3.367 L h^{3/2} \quad (\text{sistema inglés}) \\ Q &= 1.859 L h^{3/2} \quad (\text{sistema métrico}) \end{aligned}$$

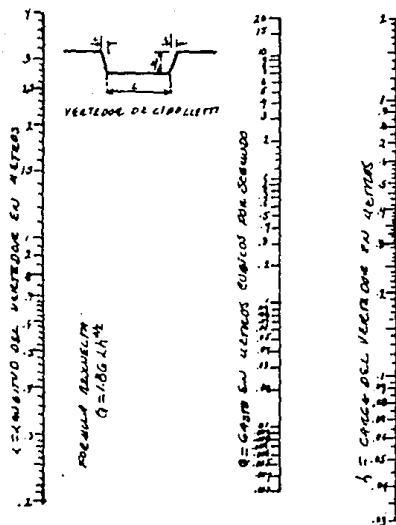


FIG. 1.13 Solución gráfica de la ecuación de Cipolletti.

### 1.13 VERTEDERO CIRCULAR.

Los vertederos de sección circular, aunque se emplean muy poco, ofrecen las siguientes ventajas:

- a) Facilidad de Contrucción.
- b) No Requieren el Nivelar la Cresta

En unidades métricas la ecuación del caudal de un vertedero circular es el siguiente:

$$Q = 1.518 D^{0.693} H^{1.807}$$

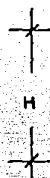
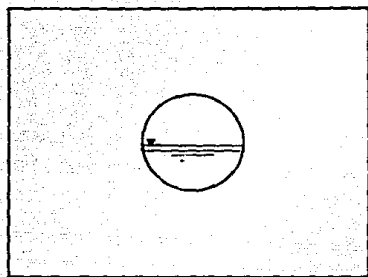
En donde:

$$Q = \text{m}^3/\text{s} \quad (\text{Ver fig. 1.14})$$

$$H = \text{m}$$

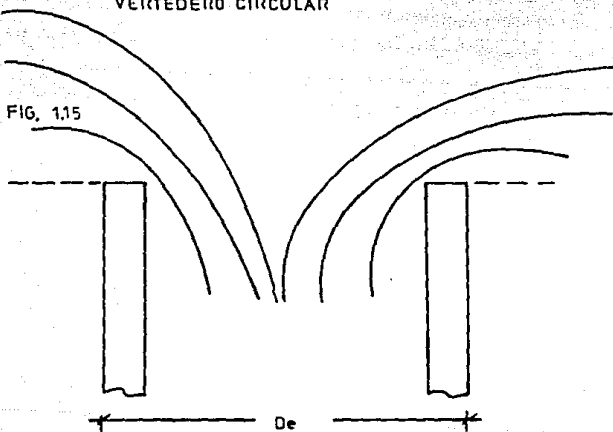
$$D = \text{m} \quad (\text{diámetro})$$

FIG. 1,14



VERTEDERO CIRCULAR

FIG. 1,15



VERTEDERO TUBULAR

## 1.14 OTROS VERTEDEROS.

### 1.14.1 Vertedero Tubular

(Ver fig. 1.15)

Los tubos verticales instalados en tanques, recipientes, depósitos de agua, etc., pueden funcionar como vertederos de la cresta curva siempre que la carga sea inferior a la quinta parte del diámetro externo:

$$H < D_e / 5$$

En este caso se aplica una fórmula del tipo:

$$Q = KLH^n$$

Donde:

$$L = \pi D_e$$

El coeficiente  $k$  depende del diámetro del tubo. Para los valores de  $H$  comprendidos entre  $1/5 D_e$  y  $3 D_e$ , el tubo funciona como orificio con interferencias provocadas por el movimiento del aire (formación de vórtice).

### 1.14.2 Vertedero Exponencial.

Los vertederos exponenciales son aquellos para los cuales la forma del umbral se expresa por:

$$y = C x^p$$

Variándose el valor del exponente  $p$ , se varía la forma del vertedor. La fórmula general, que da el caudal de los vertedores exponenciales se puede escribir:

$$Q = K_1 H^n$$

En la cual:

$$K_1 = \frac{2Cd \sqrt{2g} \gamma^{\frac{1}{2}} (1+1/p) \gamma^{\frac{1}{2}} (3/2)}{C(1/p) \gamma^{\frac{1}{2}} (5/2+1/p)}$$

Donde:  $Cd$ =coeficiente de descarga, cuyo valor medio es de 0.61

Los valores de  $\gamma^{\frac{1}{2}}$  pueden ser calculados basándose en las propiedades:

$$\begin{aligned} \gamma^{\frac{1}{2}}(u+1) &= u \gamma^{\frac{1}{2}}(u) && \text{(Ver tabla 1)} \\ \gamma^{\frac{1}{2}}(n+1) &= n! \end{aligned}$$

Además el área ocupada por la lámina vertiente puede ser expresada por:

$$A = K_2 H^m$$






Donde  $m$  es denominada factor de forma. Para valores de  $m$  superiores a 2, resultarán vertederos con crestas convexas. (Ver tabla 2).

TABLA 1

VALORES DE  $u_i$

$u$	$(u + 1)$	$(u + 1) = u_i$
0.0	1.0	1.000
0.1	1.1	0.951
0.2	1.2	0.918
0.3	1.3	0.898
0.4	1.4	0.887
0.5	1.5	0.886
0.6	1.6	0.893
0.7	1.7	0.909
0.8	1.8	0.931
0.9	1.9	0.962
1.0	2.0	1.000

TABLA 2

VERTEDEROS	FORMA	m	n	p
RECTANGULAR		1	1.5	0
TRIANGULAR		2	2.5	1
PROPORCIONAL		0.5	1	-2
PARABOLICO		1.5	2	2
SEMICUBICO		2.5	3	2/3



## 1.15 INFLUENCIA DE LA FORMA DE LA VENA.

En los vertederos en que el aire no penetra en el es paco W (Ver fig. 1.16 (a)), debajo de la lámina vertiente puede ocurrir una depresión, modificándose la posición de la vena y alterándose el caudal. Está influencia se puede verificar en vertederos sin contracciones, como en la fig. 1.17, en las cuales la prolongación de las caras encierra totalmente la vena vertiente, aislando el espacio W. En estas condiciones la lámina líquida puede tomar una de las siguientes formas:

- a) Lámina Deprimida. (Fig. 1.16 b)
- b) Lámina Adherente. (Fig. 1.16 c)
- c) Lámina Ahogada (Fig. 1.16 d)

Cuando se emplea un vertedero para medir caudales, se deben evitar esas condiciones particulares.

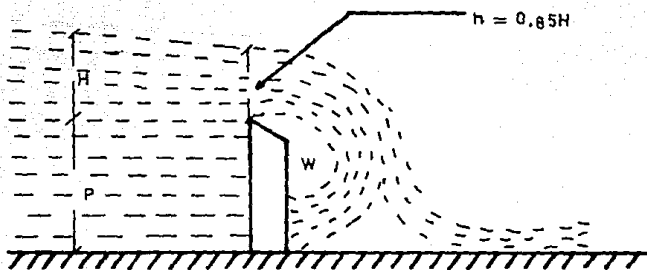
- a) Lámina Deprimida.

El aire es arrastrado por el agua, ocurriendo un vacío parcial en W, que modifica la posición de la vena.

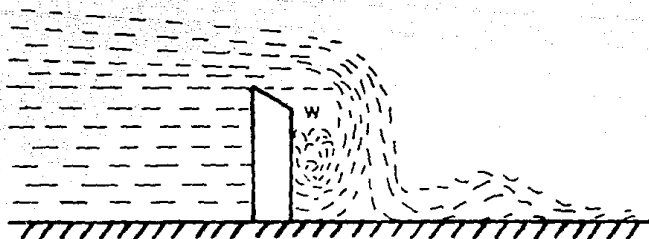
(Ver fig. 1.16)

- b) Lámina Adherente.

FIG.1.16

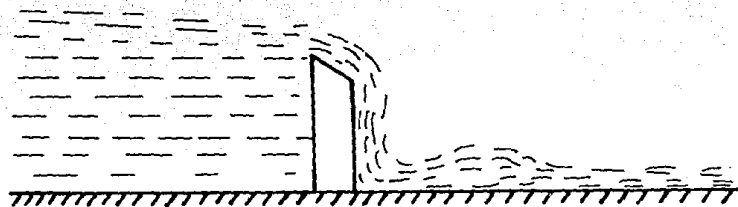


a) Vertedero bien ventilado

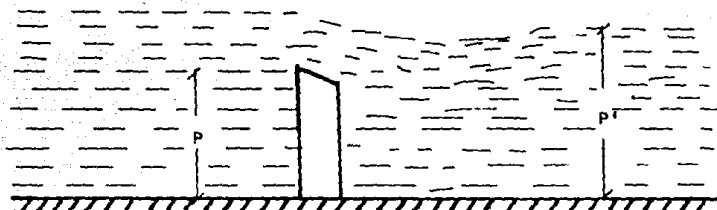


b) Lámina deprimida

FIG. 1,16



c) Lámina adherente



d) Lámina aligada

Ocurre cuando el aire sale totalmente. (Ver fig. 1.16c)

En cualquiera de estos casos el caudal es superior al previsto por las fórmulas indicadas.

c) Lámina Ahogada.

Cuando el nivel aguas abajo es superior al de la cresta  $p < p'$  (Ver fig. 1.16 d)

En los vertederos ahogados, el caudal disminuye a medida que aumenta la sumersión.

### 1.16 VERTEDERO AHOGADO

Los efectos de sumersión en el flujo en vertederos, son de cierto interés, teórico y práctico. Los vertederos de cresta afilada no pueden considerarse como dispositivos de medición precisos cuando operan sumergidos, - pero en el caso de los vertederos de cresta amplia el efecto de la sumersión es sorprendentemente pequeño, lo que hace de este tipo de vertedor un dispositivo confiable de medición aún para una gran sumersión. (Ver fig. 1.18)

Para el cálculo de vertederos ahogados de cresta afilada se emplea la ecuación:

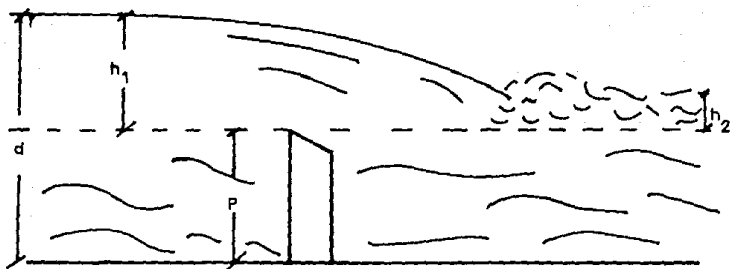
$$Q = CL \sqrt{2g (h_1 - h_2)} [2/3 (h_1 - h_2) + h_2]$$

Si se toman en cuenta las contracciones laterales de la cresta, se puede reducir su longitud a:

$$L = 0.1 \pi h_1$$

Y para tener en cuenta la velocidad de llegada, se aumenta a la carga  $h_1$  la correspondiente a la velocidad de circulación en el canal.

FIG. 1,18



VERTEDERO SUMERGIDO

### 1.17 VERTEDEROS DE CRESTA ANCHA

Un vertedero es considerado de pared gruesa, cuando la cresta es suficientemente gruesa, para que en la vena adherente se establezca el paralelismo de los filetes. (Ver fig. 1.19)

Las figuras a,b,c,d y e, representan diversos tipos de vertederos de pared gruesa utilizados en los embalses y canales como control. Pueden utilizarse como medidores de flujo, pero dan menos precisión que los de pared delgada, los cuales, como hemos dicho, se prefieren en dicha aplicación. El vertedero parabólico de la figura (e) ofrece la ventaja de que para desaguar un caudal determinado con una ancho de cresta determinada, la altura de la lámina  $h$  requerida es mínima. (Ver fig. 1.20)

Si ahora se establece la altura  $h$  para que ocasione un caudal máximo, tenemos que, derivando  $Hh^2 - h^3$ , e igualando a cero queda:

$$2 H h - 3 h^2 = 0$$
$$2 H = 3 h \quad h = 2/3 H$$

Si sustituimos  $h$  en la ecuación de Torricelli:

$$Q = Lh \sqrt{2g (H - h)}$$

Quedaría:

$$Q = L \frac{2}{3} H \sqrt{2g \frac{1}{3} H}$$
$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g/3} L H^{3/2}$$
$$Q = 1.71 L H^{3/2}$$

Expresión confirmada en la práctica.

FIG. 1.19 Vertederos de cresta ancha.

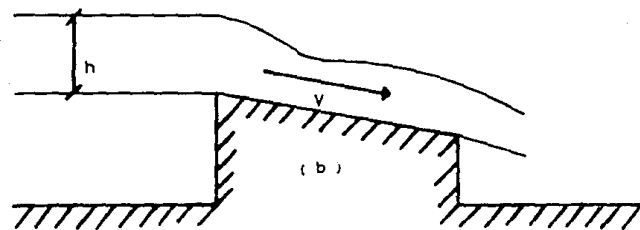
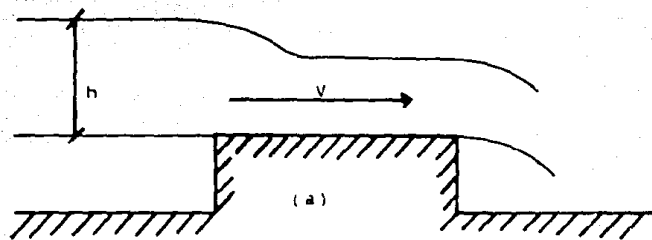
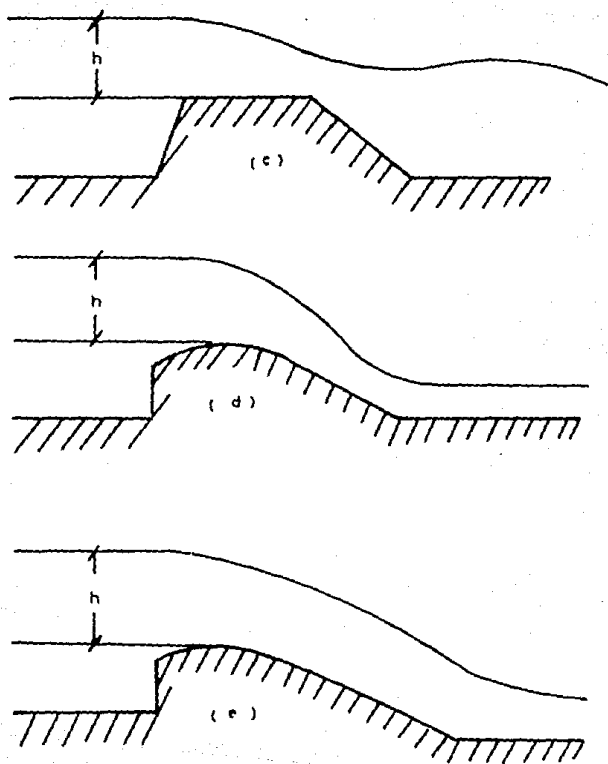


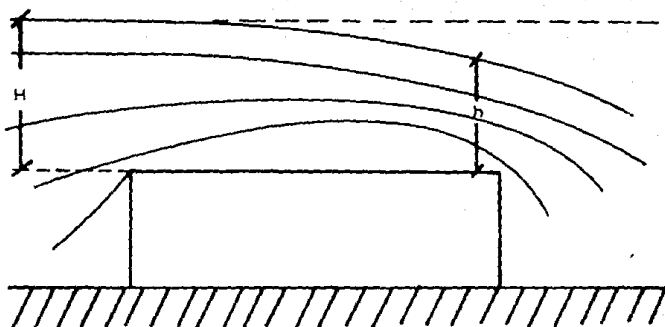


FIG. 1.19



VERTEDEROS DE PARED GRUESA

FIG. 1.20



### 1.18 VERTEDERO DE EXCEDENCIAS.

En el trazado de la sección transversal de las obras de excedencias, o en el estudio del perfil de los propios diques que funcionan ahogados, se busca adoptar la forma más satisfactoria, teniendo en cuenta el flujo de la lámina vertiente.

La forma ideal es aquella que favorece el caudal o descarga y que al mismo tiempo, impide la eventualidad de efectos nocivos a la estructura, tales como el vacio parcial, las pulsaciones de la vena, las vibraciones, etc.

El trazado de la cresta deber ser hecho para el caudal máximo esperado, o sea, para la mayor carga admisible (carga de diseño).

### 1.19 VERTEDEROS PROPORCIONALES.

Los vertederos proporcionales son contruidos con una forma especial, para la cual el caudal varía proporcionalmente a la altura de la lámina líquida (primera potencia de H). Por ello también se les llama vertederos de ecuación lineal. Se aplican ventajosamente en algunos casos de control de las condiciones de flujo en canales, particularmente en canales de sección rectangular, en plantas de tratamiento de aguas negras, etc.

## 1.20 VERTEDEDOR SUTRO

Su Ecuación:

$$Q = 2,74 \sqrt{ab} (H - a/3)$$

En donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

a = Altura mínima en m (Ver fig. 1.21)

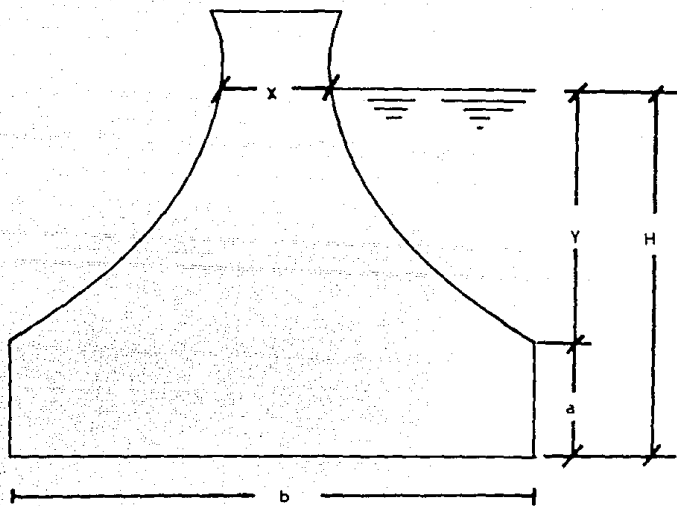
b = Ancho de la base en m

H = Altura del agua en m

La forma de las paredes del vertedor es dada por:

$$x/b = 1 - 2/\pi \operatorname{arc} \operatorname{tg} \sqrt{y/a}$$

FIG. 1.21



VERTEDOR SUTRO

### 1.21 VERTEADOR DI RICCO (Forma Aproximada)

(Ver fig. 1.22)

$$Q = K L \sqrt{a} (H + 5/8 a)$$

Expresión válida para láminas comprendidas entre 2.5a y 10a y para:

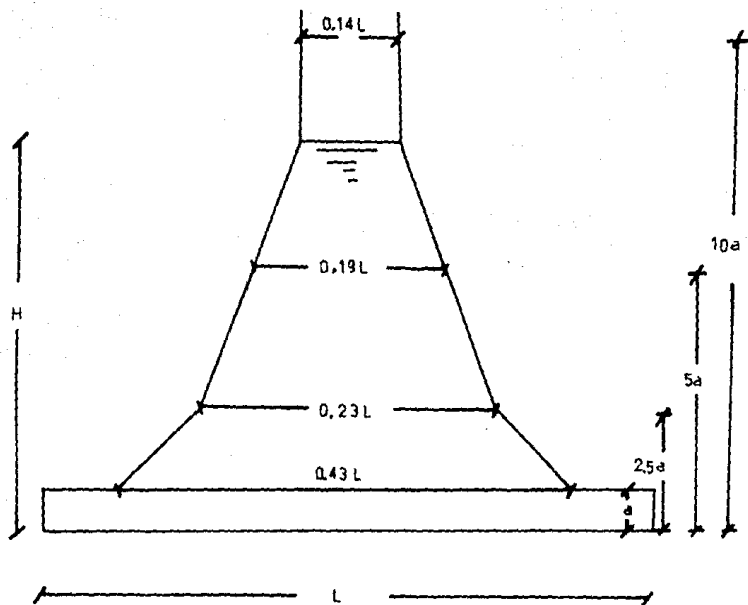
$$10/3 \leq L/a \leq 25$$

L, H y a se expresan en metros.

TABLA DE VALORES DE K

L/a	3	5	7	10	15	20
k	2,094	2,064	2,044	2,022	1,997	1,978

FIG.1,22



VERTEDOR DE DI RICCO



## 1.22 CONDUCTO AFORADOR PARSHALL

Se considera que el empleo de los vertederos es uno de los mejores procedimientos para efectuar aforos, pero sólo dentro de ciertos límites y con una adecuada -- instalación y conservación de la estructura, con el objeto de no alterar con el tiempo las características de con tracción en el chorro ni la velocidad de llegada. En los canales debido a su poca pendiente, no es adecuada la ins talación de un vertedero puesto que por una parte no siem pre es tolerable un aumento de consideración en el tiran te, en el canal aguas arriba del vertedero, y por otra al agua usualmente acarrea en suspensión partculas de tie rra que son depositadas arriba de la estructura debido a la disminución de la velocidad, y esos sedimentos afec-- tan la forma de la cresta y por ende de la vena líquida. El medidor Parshall ha tenido mucha aceptación pues dismi nuye los problemas antes mencionados, y presenta las si-- guientes ventajas:

- 1.- El diseño de la estructura es demasiado simple y por lo tanto su construcción es eco-- nómica.
- 2.- La estructura trabaja eficientemente aún teniendo gran variación en el gasto pues tan to para gastos pequeños como para grandes su-- determinación se hace con bastante exactitud-- utilizando sus fórmulas empíricas.
- 3.- El problema de azolve aguas arriba de la estructura y en la estructura misma es elimi-- nado debido a que el aumento de la velocidad-- lo mantiene libre de obstrucciones conservan-- do su precisión.

4.- La velocidad de llegada del agua no tiene influencia prácticamente en la determinación del gasto y por lo tanto se puede prescindir de las cámaras de reposo.

5.- La pérdida de carga es muy pequeña en comparación con las que se originan en las estructuras de aforo.

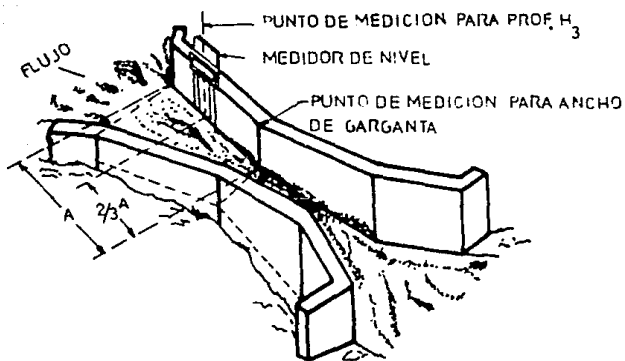
### 1.22.1. ESTRUCTURA

El medidor Parshall está constituido por tres partes fundamentalmente que son: La entrada, la garganta y la salida. La primera está formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes y un fondo horizontal; la garganta está formada por dos paredes verticales y paralelas, y el fondo está inclinado hacia abajo con una pendiente de 2.67:1. La salida, por dos paredes verticales divergentes y el fondo está ligeramente inclinado hacia arriba.

La cresta que se forma por la unión del fondo de la entrada y el de la garganta se llama cresta del medidor y a su longitud (o sea distancia entre las paredes de la garganta) se le llama tamaño del medidor y se le designa por la letra W. (Ver fig. 1.23)

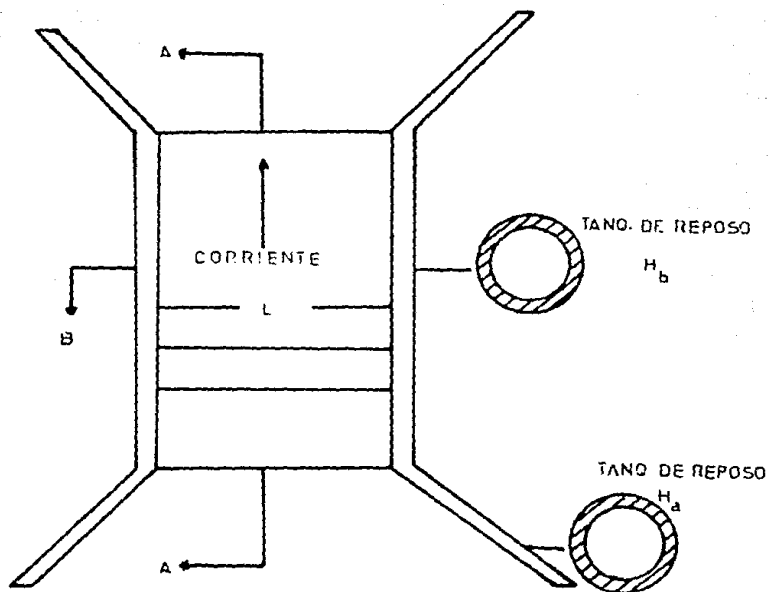
Tiene la estructura dos pozos amortiguadores que sirven para medir con precisión las cargas  $H_a$  y  $H_b$  antes y después de la cresta, están colocados en los lados de la estructura y comunicados a ella por tubería que se conecta a puntos bien definidos de la entrada y la garganta.

FIG.1.23



MEDIDOR PARSHALL

FIG. 1.23



MEDIDOR PARSHALL

### 1.22.2 FUNCIONAMIENTO

Al entrar el agua en el medidor debido a que la sección va reduciéndose, su velocidad va en continuo aumento, pues al llegar a la cresta del medidor se precipita siguiendo el piso descendiente de la garganta, hasta que al salir de ella empieza a perder velocidad y como ésta es menor en el canal aguas abajo, resulta que debe producirse un salto hidráulico cerca del extremo inferior de la garganta. La localización de este salto es variable con el gasto que pasa por el medidor ya que la carga  $H_b$  variará haciéndose más pequeña o aumentando tendiendo a ser igual a  $H_a$ . La localización del salto es afectada igualmente por la elevación de la cresta sobre la plantilla del canal así como también por la diferencia de elevación de la plantilla en los canales aguas arriba y aguas-abajo de la estructura. Cuando la carga  $H_b$  es considerablemente menor que la carga  $H_a$  se dice que el medidor trabaja con DESCARGA LIBRE y en estas condiciones el gasto es función únicamente de la carga  $H_a$  de la entrada; pero cuando la carga  $H_b$  difiere poco de la carga  $H_a$  se dice -- que el medidor trabaja con SUMERSION y entonces el gasto es función de las dos cargas  $H_a$  y  $H_b$ .

A la relación  $S = H_b/H_a$  se le llama GRADO DE-SUMERSION y es la que determina si en un momento dado el medidor trabaja con descarga libre o con sumersión con los siguientes valores límites:

TAMARO DE MEDIDOR	DESCARGA LIBRE	CON SUMERSION
$W < 0.3m$	$S < 0.6$	S de 0.6 a 0.95
$0.3 < W < 2.50m$	$S < 0.7$	S de 0.7 a 0.95
$2.5 < W < 15.00m$	$S < 0.6$	S de 0.8 a 0.95

Es recomendable que se trabaje con una sumersión menor a 0.95 y con una descarga libre ya que la determinación del gasto es más exacta y sólo será necesario conocer  $H_a$  para sustituirla en la expresión general.

$$Q = m H_a^n \quad \dots A$$

Q para diversos valores de W :

$$\begin{aligned}
 0.5 \text{ ft.} & \quad Q = 2.06 H_a^{1.58} \\
 \text{entre 1 y 8 ft} & \quad Q = 4 W H_a^{1.55} W^{0.026} \\
 \text{entre 10 y 50ft} & \quad Q = (3.687 W + 2.5) H_a^{1.6}
 \end{aligned}$$

En sistema Métrico:

$$\begin{aligned}
 0.15 \text{ m} & \quad Q = 0.3812 H_a^{1.58} \\
 \text{entre 0.3 y 2.5m} & \quad Q = 0.372 W (3.281 H_a)^{1.57} W^{0.026} \\
 \text{entre 2.5 y 15.0m} & \quad Q = (2.293 + 0.474) H_a^{1.6}
 \end{aligned}$$

TABLA 3

VALORES DE  $m$  Y  $n$  EN UNIDADES METRICAS

W (metros)	m	n	W (metros)	m	n
0.15	0.3812	1.580	4.50	10.790	1.60
0.30	0.680	1.522	5.00	11.937	1.60
0.50	1.161	1.542	6.00	14.229	1.60
0.75	1.774	1.558	7.00	16.522	1.60
1.00	2.400	1.570	8.00	18.815	1.60
1.25	3.033	1.579	9.00	21.107	1.60
1.50	3.673	1.588	10.00	23.400	1.60
1.75	4.316	1.593	11.00	25.692	1.60
2.00	4.968	1.599	12.00	27.985	1.60
2.50	6.277	1.608	13.00	30.278	1.60
3.00	7.352	1.60	14.00	32.570	1.60
3.50	8.498	1.60	15.00	34.863	1.60
4.00	9.644	1.60			

Fórmulas para calcular el gasto cuando el medidor trabaja con sumersión.

La ec. general del gasto para sumersión queda:

$$Q = m H_a^n - C$$

Donde C es función de W,  $H_a$ , y  $H_b$  y se calcula:  
para W = 0.5 ft.

$$C = \frac{0.072 H_a^{2.22}}{\left(\frac{H_a + 10}{15}\right)^{1.44}} - \frac{H_a - 0.184}{8.17}$$

para W entre 8 y 10 ft

$$e = \left[ \left( \frac{H_a}{\left(\frac{1.8}{5}\right)^{1.8} - 2.45} \right)^{4.57 - 3.145} + 0.0935 \right] W^{0.815}$$

para W entre 10 y 15 ft

$$C = \left[ \frac{(100 S - 71)^{3.333}}{66620} H_a^2 \right] W$$

Para unidades en el sistema métrico:

$$W = 0.15m$$

$$C = \frac{0.0285 H_a^{2.22}}{\left(\frac{H_a + 3.05}{3.05} - S\right)^{1.44}} - \frac{H_a - 0.056}{87.94}$$

para W .3m y 2.5m

$$C = 0.0746 \left[ \left( \frac{3.28 H_a}{\left(\frac{1.8}{5}\right)^{1.8} - 2.45} \right)^{4.57 - 3.145} + 0.0935 \right] W^{0.815}$$

para W entre 2.5 y 15m

$$C = 69.671 (S - 0.71)^{8.530} H_a^2 W$$



### 1.23 SELECCION Y USO DE LOS VERTEDEROS

La selección de un vertedero para una situación en particular depende del rango de descargas a medir, la exactitud deseada, y de si va a ser calibrado o no después de la instalación. La mayoría de las ecuaciones para vertederos de cresta afilada no son adecuados para menores a .2 ft, por lo tanto, para muy pequeñas descargas se debe seleccionar un vertedero triangular, por otro lado es posible usar los vertederos de cresta afilada para cargas mayores a 2 ft.. Los vertederos de cresta redonda se usan para cargas mucho más grandes. Los vertederos con posibilidad de calibrarse en el sitio de trabajo presentan una mayor exactitud, especialmente los de cresta afilada, y los errores será principalmente los resultantes por la mala medición de la carga.

Si la carga se mide muy lejos corriente arriba del vertedero, habrá una caída de la superficie del agua debido a la fricción.

Para evitar, errores debidos a esta caída, la carga deberá ser medida por lo menos a una distancia de  $4H$  desde el vertedero (de cresta horizontal) y de  $2.5H$  para vertederos triangulares.

En el caso de que el líquido al que se medirá el caudal tenga sólidos presentes y produzca azolve, se recomienda el uso de un conducto aforador Parshall, para evitar errores de medición.

## 1.24 SIMBOLOGIA

- $A_v$  = Area de la vena contracta.  
 $C^1$  = Coeficiente arbitrario.  
 $c^m$  = Coeficiente que representa las funciones de  $h_e$ ,  $C^1$  y en la ecuación de Bernoulli.  
 $C_c$  = Coeficiente de contracción.  
 $C_d, C, K$  = Coeficiente del vertedero.  
 $d$  = distancia mínima para la medición de la carga  $H$  desde la pared del vertedero.  
 $D$  = Diámetro del vertedero circular.  
 $g$  = fuerza de gravedad.  
 $h$  = Carga sobre la cresta del vertedero ( de la lámina deprimida)  
 $H$  = Carga del vertedero total sobre la cresta  
 $h_e$  = Pérdidas por fricción  
 $H_t$  = Carga total del vertedor igual a la suma de la carga sobre la cresta más la carga dinámica.  
 $L, L'$  = Longitud de la cresta.  
 $m$  = Factor de la ecuación de Bazin  
 $P, Z$  = Altura desde el fondo del canal hasta la cresta del vertedero.  
 $P', Z'$  = Altura del nivel del agua después del vertedero.  
 $Q$  = Gasto del vertedero  
 $S$  = Grado de sumersión  
 $V$  = Velocidad sobre la cresta del vertedero  
 $W$  = Tamaño del medidor (medidores Parshall)

### Letras griegas:

- $\alpha$  = Coeficiente de corrección de Coriolis del término de carga dinámica de la ecuación de Bernoulli.  
 $\beta$  = Constante de la ecuación de los vertederos exponenciales.  
 $\theta$  = Angulo del vertedero triangular.

### Exponentes:

- $m$  = Factor de forma en los vertederos exponenciales  
 $n, p$  = Exponentes de la ecuación de caudal para vertederos exponenciales.

CAPITULO II  
DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PROPUESTO  
PARA PRACTICAS.

II.1 ANTECEDENTES

Para el diseño y construcción del equipo requerido para las prácticas es necesario hacer algunas consideraciones:

- Las dimensiones del equipo no deberán ser mayores que las siguientes:

ANCHO : 1 m.  
LARGO : 2 m.  
ALTO : 2 m.

Esto es debido a que el espacio disponible para su colocación en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad La Salle está limitado.

- El agua utilizada para la experimentación se deberá recircular para evitar su desperdicio.
- El material para la construcción del equipo debe ser resistente, de fácil manejo y económico.

## II. 2 DISEÑO

### a) VERTEDOR RECTANGULAR

Tomando como base de diseño las consideraciones anteriores, las dimensiones de este vertedero quedarán como se muestra en la figura 2.1

Para estas dimensiones el gasto máximo que se espera que circule por la abertura se calcula con la ecuación:

$$Q = 1.84 LH^{3/2}$$

En donde se considerará una carga

$$H = 5 \text{ cm. y la longitud } L \text{ es igual a } 10 \text{ cm.}$$

Entonces se tiene que:

$$Q = 1.84 (0.1\text{m.}) (0.05\text{m.})^{3/2} = 0.002 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 2.00 \text{ l/seg.} = 30 \text{ GPM}$$



Figura 2.1 Vertedero rectangular.

## b) VERTEDERO TRIANGULAR

Con el fin de facilitar la construcción y la experimentación en este vertedero se considerará un triángulo de  $90^\circ$  y con 9cm. de altura.

De esta forma la longitud L será:

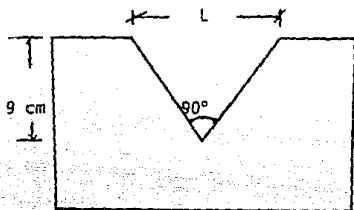


Figura 2. 2

$$\frac{L}{2} \operatorname{tg} 45^\circ (9\text{cm}) = (1) (9) = 9 \text{ cm.}$$

$$L = 18 \text{ cm.}$$

Ahora, comprobando que estas dimensiones son adecuadas para el gasto -  $Q = 2 \text{ l/seg.}$  tenemos:

$$Q = 1.34 H^{5/2} = 0.002 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$H = \left\{ \frac{0.002}{1.34} \right\}^{2/5} = 0.07 \text{ m.} = 7 \text{ cm.}$$

Este valor queda dentro del valor de  $H = 9 \text{ cm.}$ , por lo que las dimensiones son aceptables.

Ver. Fig. 2.2

c) VERTEDERO CIRCULAR

Para calcular las dimensiones de este vertedero se tomará el gasto máximo que se espera que circule en el sistema, obtenido en el inciso a)

Con  $Q = .002 \text{ m}^3/\text{seg.}$  tenemos que:

$$Q = 1.52 D^{0.693} H^{1.807} = .002$$

Y suponiendo  $H = 6 \text{ cm}$ , entonces:

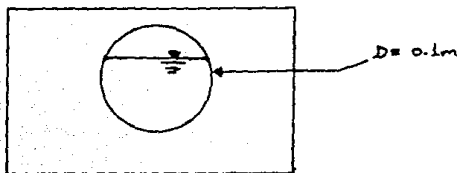
$$Q = 1.52 D^{0.693} (0.06)^{1.807} = 0.002$$

En donde:

$$D = \left( \frac{0.002}{1.52 (0.06)^{1.807}} \right)^{1/0.693} = 0.1 \text{ m}$$

$$D = 10 \text{ cm}$$

La figura 2.3 muestra las dimensiones de este vertedero:



### II.3 ISOMETRICO

El diagrama isométrico del sistema propuesto se muestra en la figura 2.4.

### II.4 MATERIAL

En un principio se había considerado que el material más adecuado para la construcción del equipo era el acrílico transparente ya que facilitaría la observación de la caída del agua, pero se encontraron muchas dificultades para conseguir el material, las herramientas para cortarlo así como las resinas necesarias para su unión; además resultaba muy costosa su construcción.

Por todo esto, se optó por utilizar para la fabricación lámina negra de 1/8" de espesor, la cual es económica, fácil de conseguir y la construcción es más económica.

Para darle estabilidad al equipo, contará con 4 soportes fabricados con ángulo estructural

Por último, aunque el equipo no estará lleno de agua continuamente, se le aplicará una capa de un primario anticorrosivo en las paredes interiores, así como una capa de pintura, en el exterior, para de este modo evitar la corrosión.

## 11.5 BOMBA, VALVULAS Y ACCESORIOS.

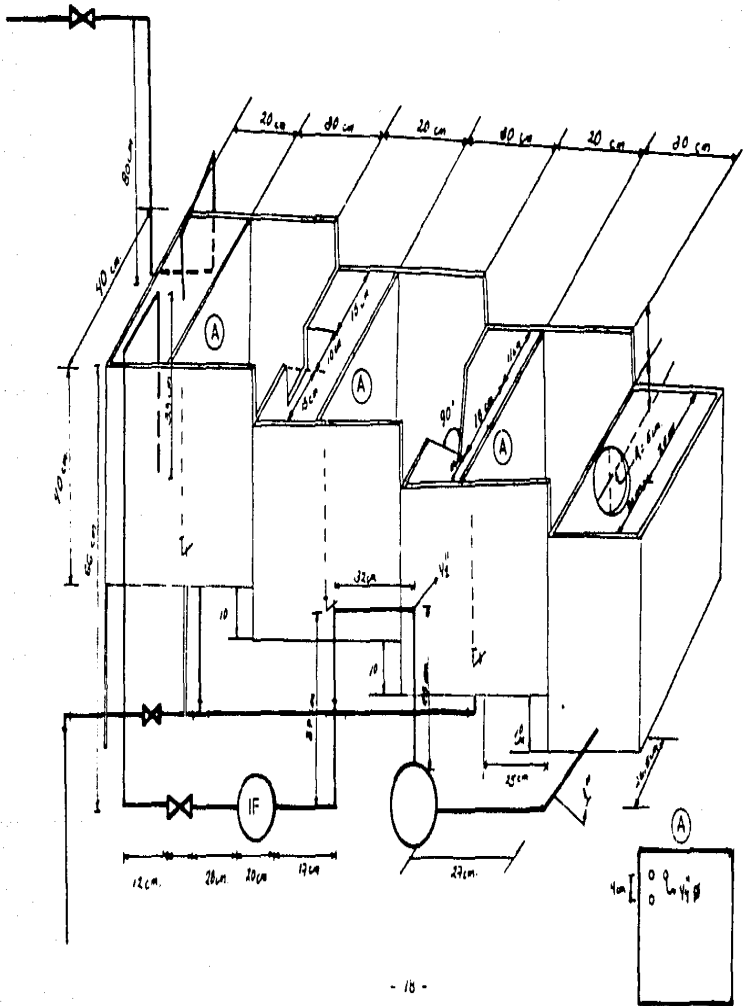
Como se puede ver en el diagrama isométrico y tornado como base los antecedentes del punto 11.1, se requiere una recirculación para evitar el desperdicio de agua así como de una tubería para desagüe.

En la recirculación se necesitan además de tubería y codos, una bomba con la capacidad de manejar un gasto de 30 GPM, que es el que esperan el sistema, así como una válvula de globo para control de gasto.

Por otro lado, para poder medir la carga (H) de cada vertedero, que es la altura alcanzada por el agua a partir de la cresta, se necesitan 3 medidores de nivel (1 por cada vertedero), los cuales se fabricarán con un codo de 1/2" de diámetro y un tubo de vidrio del mismo diámetro y se colocarán en el equipo por medio de un tramo de tubo unido por soldadura a un orificio hecho en la pared del vertedor, como se muestra en el diagrama isométrico.



FIG. 24



II.6 ANALISIS DE COSTOS:

Para la construcción del equipo antes descrito son necesarios algunos materiales e instrumentos, así como mano de obra, los cuales se describen a continuación y se muestra el desglose del costo total.

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	COSTO V.	COSTO TOTAL
14	Piezas	Lámina negra lisa, ca libre 16, varias medidas.	Varios.	\$ 134,000.00
1	Subcontrato	Para el corte, perforación y construcción de una serie de vertederos incluyendo materiales auxiliares y mano de obra.	\$ 150,000.00	150,000.00
8	metros	Tubo de cobre de 1/2" de diámetro	6,917.00	55,336.00
1	metro	Tubo de cobre de 3/4" de diámetro.	11,618.00	11,618.00
10	Piezas	Codo 90° de 1/2" de diámetro en cobre.	435.00	4,350.00
1	Pieza	Codo 90° de 3/4" de diámetro en cobre.	945.00	945.00
3	Piezas	Tee de 1/2" de diámetro de cobre.	750.00	2,250.00
1	Pieza	Válvula de globo de 3/4" de diámetro de bronce.	23,011.00	23,011.00
2	Piezas	Válvula de compuerta de 1/2" de diámetro de bronce.	25,000.00	50,000.00
1	Pieza	Medidor de flujo tipo turbina, doméstico.	120,000.00	120,000.00
1	Pieza	Interruptor para bomba tipo on-off de pared.	25,000.00	25,000.00
2	Piezas	Cople de 3/4" de diámetro de cobre sin cuerda.	1,270.00	2,540.00

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	COSTO	COSTO TOTAL
2	Piezas	Reducción Bushing de- \$ 3/4 x 1/2" de diáme-- tro en cobre.	1,620.00	\$ 2,240.00
2	Piezas	Conector de 1/2" de - diámetro en cobre.	2,000.00	4,000.00
2	metros	Soldadura de estaño - 50 - 50.	1,000.00	2,000.00
3	metros	Cable para conexión - de bomba Cal. 14	1,000.00	3,000.00
1	Pieza	Segueta 124-D	1,240.00	1,240.00
1	Pieza	Lata de pasta para sol- dar de 250 gramos.	2,300.00	2,300.00
1	Pieza	Lata de primario anti corrosivo de color -- verde de 500 gramos.	28,000.00	28,000.00
4	Piezas	Latas de pintura para metal, de color azul- en aerosol, de 355 g.	13,000.00	39,000.00
1	Pieza	Bomba de 1/4 H.P. pa- ra uso doméstico.	375,000.00	375,000.00
1	Pieza	Pichanca check de -- bronce 1" de diámetro	28,000.00	28,000.00
1	Lote	Conexiones para insta- lación de una bomba - de 1/4 H.P.	40,000.00	40,000.00
1	Subcontrato	Por la mano de obra - para la interconexión soldadura y pintura - del sistema antes des- crito.	100,000.00	100,000.00
SUB - TOTAL				\$1'201,830.00
+ 15% I.V.A.				180,274.00
COSTO TOTAL				\$1'382,104.00

(UN MILLON TRESCIENTOS OCHENTA Y DOS MIL, CIENTO CUATRO PESOS 00/100 M.N.)

## CAPITULO III

### EXPERIMENTACION Y OBTENCION DE RESULTADOS

#### III.1 OBJETIVO:

Obtener un número suficiente de valores para el gasto ( $Q$ ) y la carga ( $H$ ) variando las condiciones de sistema, para determinar los coeficientes  $C_d$  para cada vertedero.

### III. 2 DESARROLLO:

Para cumplir el objetivo fue necesario que el sistema cubriera las siguientes condiciones:

- El equipo debió estar lleno de agua hasta 3/4 partes de su capacidad. Evitando con esto, que el vertedero trabajara ahogado, lo cual afectaría los resultados obtenidos durante la experimentación.
- Que la bomba estuviera cebada, es decir que tuviera el impulsor cubierto totalmente de agua.
- Que los drenajes de los vertederos estuvieran obstruidos por medio de tapones. Ya que con esto se evitó que el agua de los vertederos superiores pasara a los inferiores por medio de la tubería de desagüe, debido a la diferencia de alturas.
- Se debió esperar unos minutos después de haber encendido la bomba y ---abierto la válvula de control al máximo, con el fin de que el sistema se estabilizará.

Después de haber cubierto las condiciones anteriores se procedió a tomar las mediciones del gasto, así como los de la carga (H) o altura del agua alcanzada en los indicadores de nivel.

Se debe procurar que estas mediciones sean lo más exactas posible, por lo que para la experimentación se utilizaron los siguientes instrumentos:

Un medidor flujo tipo paletas y un cronómetro, para la medición del gasto y ,

Un catetómetro para la medición del nivel.

El catetómetro es un instrumento para la medición precisa de alturas -- verticales, compuesto por un conjunto de lentes formando un telescopio, que montado sobre una escala graduada en décimas de milímetro puede ser ajustado

a un nivel de referencia y a partir de éste encontrar una diferencia de alturas con gran exactitud.

Para lograr que los resultados fueran más precisos se realizaron (15) quince mediciones de carga a diferentes gastos que varían entre el valor máximo de 0.4 l/seg. y un valor mínimo determinado por la capacidad propia de cada vertedor. De esas mediciones fueron eliminadas aquellas que tuvieran valores no ajustables al modelo de la ecuación lineal.

### III.3 OBTENCION DE RESULTADOS:

Con los datos obtenidos de la experimentación se obtuvieron los siguientes resultados para cada vertedero:

a) "Datos obtenidos en la experimentación" - TABLA I.

b) "Valores de Cd obtenidos de la ecuación general del vertedero". - - TABLA II. Esta tabla tiene el fin de comparar el valor de Cd de la ecuación general con el valor de Cd obtenido con los datos experimentales.

c) "Valores de X y Y para la ecuación de regresión lineal por mínimos cuadrados". - TABLA III. Esta tabla muestra los valores de X y Y obtenidos por la linealización de los datos experimentales, que serán utilizados en la regresión lineal.

d) Datos para obtener el coeficiente Cd y el exponente n de la ecuación general del vertedero. - TABLA IV. Esta tabla muestra los datos que se sustituirán en la ecuación de regresión lineal.

e) Ecuación para el vertedero obtenida con los datos experimentales.

f) Gráficas

VERTEDOR RECTANGULAR

TABLA 1. Datos obtenidos en la experimentación:

	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	$Q$ (l/seg)
1)	28.34	30.06	0.4166
2)	28.34	29.96	0.3821
3)	28.34	29.92	0.3656
4)	28.34	29.9	0.365
5)	28.34	29.88	0.35108
6)	28.34	29.87	0.35
7)	28.34	29.84	0.3416
8)	28.34	29.74	0.3083
9)	28.34	29.663	0.281
10)	28.34	29.48	0.225
11)	28.34	29.39	0.20

DONDE:

$h_1$  = Altura del vertedero desde su base hasta la cresta.

$h_2$  = Altura medida desde la base del vertedero hasta el nivel de agua indicado en el medidor.

$Q$  = Gasto de l/seg. medido en el medidor de flujo.



TABLA 2. Valores de Cd. obtenidos de la ecuación  $Q = C_d L H^{3/2}$

	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	Cd
1)	0.0172	4.166x10 <sup>-4</sup>	1.846
2)	0.0162	3.821x10 <sup>-4</sup>	1.85
3)	0.0158	3.656x10 <sup>-4</sup>	1.839
4)	0.0156	3.65 x10 <sup>-4</sup>	1.837
5)	0.0154	3.5108x10 <sup>-4</sup>	1.84
6)	0.0153	3.51 x10 <sup>-4</sup>	1.842
7)	0.01499	3.416x10 <sup>-4</sup>	1.86
8)	0.014	3.083x10 <sup>-4</sup>	1.85
9)	0.01323	2.8089x10 <sup>-4</sup>	1.845
10)	0.0114	2.25 x10 <sup>-4</sup>	1.845
11)	0.0105	2.00 x10 <sup>-4</sup>	1.85

Como la ecuación general de los vertederos es:

$$Q = K H^n$$

Podemos tener la ecuación de una recta de la siguiente forma:

$$\ln Q = n \ln H + \ln K$$

$$(y = m x + b)$$

TABLA 3.

	X=ln H	y= ln Q
1)	-4.063	-7.784
2)	-4.1227	-7.87
3)	-4.1477	-7.914
4)	-4.1477	-7.914
5)	-4.1734	-7.9545
6)	-4.1799	-7.9545
7)	-4.2003	-7.9818
8)	-4.2687	-8.0844
9)	-4.3253	-8.1775
10)	-4.474	-8.3994
11)	-4.5564	-8.5172

La Ecuación para obtener la ordenada al origen por regresión lineal es:

$$b = \frac{Ex (ExEy/n - Exy)}{(nEx^2 - (Ex)^2) + EY/n}$$

Para la pendiente es:

$$m = \frac{(n ExY - ExEY)}{(nEx^2 - (Ex)^2)}$$

Y la correlación se obtiene:

$$r = m \frac{sx}{sy} \quad \text{donde } S = \text{desviación estándar.}$$

E = Equivale a la letra griega  $\Sigma$  (sigma)

TABLA 4. Datos para obtener el coeficiente  $C_d$  y el exponente  $n$ .

$$\begin{aligned} E_y &= -88.55 \\ E_x &= -46.66 \\ n &= 11 \\ E_{xy} &= 375.96 \\ E_x^2 &= 713.36 \\ S_X &= 0.2283 \\ S_Y &= 0.153 \end{aligned}$$

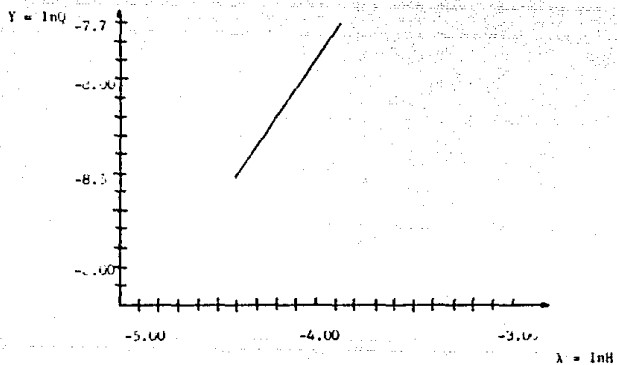
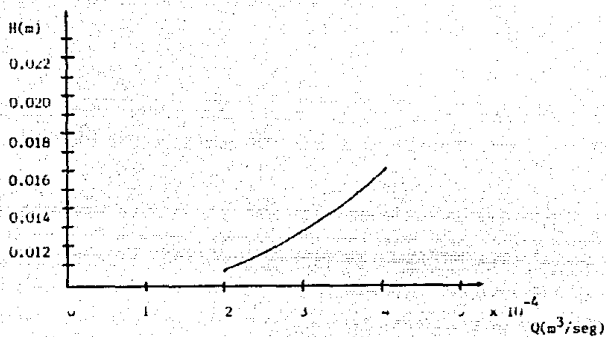
Sustituyendo en las ecuaciones anteriores:

$$\begin{aligned} b &= -1.73 \\ m &= 1.48 \quad \text{----> } n = 1.48 \\ r &= 0.9998 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \ln K = -1.73 \\ K &= 0.1773 = C_d L \quad \text{Si } L = .1 \\ C_d &= \frac{k}{L} = 1.77 \end{aligned}$$

ENTONCES:  $Q = \underline{\underline{1.77 L H^{1.48}}}$  Ec. para el vertedero.

VERTEDERO RECTANGULAR



Grafica 4.1 Curva  $H$  vs  $Q$  y  $\ln Q$  vs  $\ln H$ .

VERTEDERO TRIANGULAR

TABLA 1.

	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	Q(l/seg)
1)	18.157	21.97	0.41
2)	18.157	21.857	0.3785
3)	18.157	21.817	0.368
4)	18.157	21.757	0.350
5)	18.157	21.657	0.323
6)	18.157	21.557	0.300
7)	18.157	21.417	0.276
8)	18.157	21.33	0.250
9)	18.157	21.057	0.213
10)	18.157	21.02	0.200
11)	18.157	20.957	0.190
12)	18.157	20.90	0.175
13)	18.157	20.696	0.150

TABLA 2.

	H (m)	Q(m <sup>3</sup> /seg)	Cd
1)	0.0382	$4.1 \times 10^{-4}$	1.43
2)	0.037	$3.785 \times 10^{-4}$	1.445
3)	0.0366	$3.68 \times 10^{-4}$	1.43
4)	0.036	$3.5 \times 10^{-4}$	1.39
5)	0.035	$3.23 \times 10^{-4}$	1.42
6)	0.034	$3.0 \times 10^{-4}$	1.41
7)	0.0326	$2.76 \times 10^{-4}$	1.435
8)	0.0317	$2.5 \times 10^{-4}$	1.395
9)	0.029	$2.13 \times 10^{-4}$	1.44
10)	0.0286	$2.0 \times 10^{-4}$	1.44
11)	0.028	$1.9 \times 10^{-4}$	1.40
12)	0.0274	$1.75 \times 10^{-4}$	1.4
13)	0.0254	$1.5 \times 10^{-4}$	1.46

TABLA 3.

	$X = \ln H$	$Y = \ln Q$
1)	-3.265	-7.799
2)	-3.296 8	-7.879
3)	-3.3077	-7.9074
4)	-3.324	-7.9575
5)	-3.352	-8.038
6)	-3.3814	-8.1117
7)	-3.423	-8.195
8)	-3.4514	-8.294
9)	-3.54	-8.454
10)	-3.554	-8.517
11)	-3.575	-8.568
12)	-3.5972	-8.6507
13)	-3.673	-8.805

TABLA 4.

$$EY = -107.1763$$

$$EX = -44.7405$$

$$EXY = 369.3811$$

$$n = 13$$

$$EX^2 = 154.1917$$

$$SX = 0.1335$$

$$SY = 0.3285$$

Sustituyendo:

$$b = 0.214$$

$$m = 2.46$$

$$r = 0.9988$$

$$b = \ln K = 0.214$$

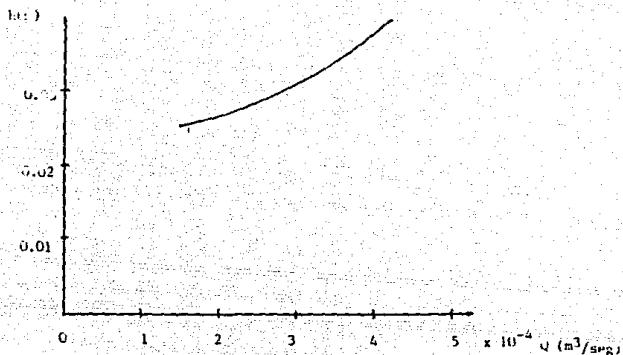
$$Cd = K = 1.24$$

$$n = m = 2.46$$

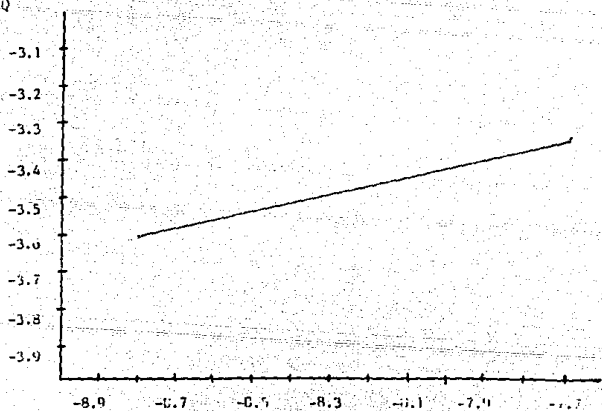
La ecuación del vertedero triangular queda:

$$Q = 1.24 H^{2.46}$$

VERTICELO TRIANGULAR



$Y = \ln Q$



$\lambda = 1.01$

Grafica 4.2. Curvas  $H$  vs  $Q$  y  $\ln Q$  vs  $\ln H$ .

VERTEDERO CIRCULAR

TABLA 1.

	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	Q (l/seg)
1)	4.93	7.5	0.41
2)	4.93	7.39	0.38
3)	4.93	7.267	0.35
4)	4.93	7.18	0.32
5)	4.93	7.08	0.30
6)	4.93	6.98	0.27
7)	4.93	6.87	0.25
8)	4.93	6.69	0.21
9)	4.93	6.64	0.20
10)	4.93	6.49	0.17
11)	4.93	6.41	0.15
12)	4.93	6.28	0.13
13)	4.93	6.1	0.1

TABLA 2.

	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	Cd
1)	0.0257	$4.1 \times 10^{-4}$	1.503
2)	0.0246	$3.8 \times 10^{-4}$	1.514
3)	0.02337	$3.5 \times 10^{-4}$	1.53
4)	0.0225	$3.2 \times 10^{-4}$	1.50
5)	0.0215	$3.0 \times 10^{-4}$	1.524
6)	0.0205	$2.7 \times 10^{-4}$	1.495
7)	0.0194	$2.5 \times 10^{-4}$	1.519
8)	0.0176	$2.1 \times 10^{-4}$	1.523
9)	0.0171	$2 \times 10^{-4}$	1.53
10)	0.0156	$1.7 \times 10^{-4}$	1.534
11)	0.0148	$1.5 \times 10^{-4}$	1.50
12)	0.0135	$1.3 \times 10^{-4}$	1.531
13)	0.0117	$1 \times 10^{-4}$	1.52



TABLA 3.

	$X = \ln H$	$Y = \ln Q$
1)	-3.6612	-7.799
2)	-3.705	-7.875
3)	-3.7563	-7.957
4)	-3.794	-8.047
5)	-3.84	-8.1117
6)	-3.887	-8.217
7)	-3.9425	-8.294
8)	-4.0398	-8.468
9)	-4.0686	-8.5172
10)	-4.1604	-8.6797
11)	-4.2131	-8.8048
12)	-4.305	-8.948
13)	-4.448	-9.2103

TABLA 4.

$$\begin{aligned}
 EX &= -51.55 \\
 EY &= -109.92 \\
 EXY &= 433.078 \\
 n &= 13 \\
 EX^2 &= 205.03 \\
 SX &= 0.2253 \\
 SY &= 0.4375
 \end{aligned}$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned}
 b &= -1.044 \\
 m &= 1.849 \\
 r &= 0.9525
 \end{aligned}$$

$$b = \ln k = -1.044$$

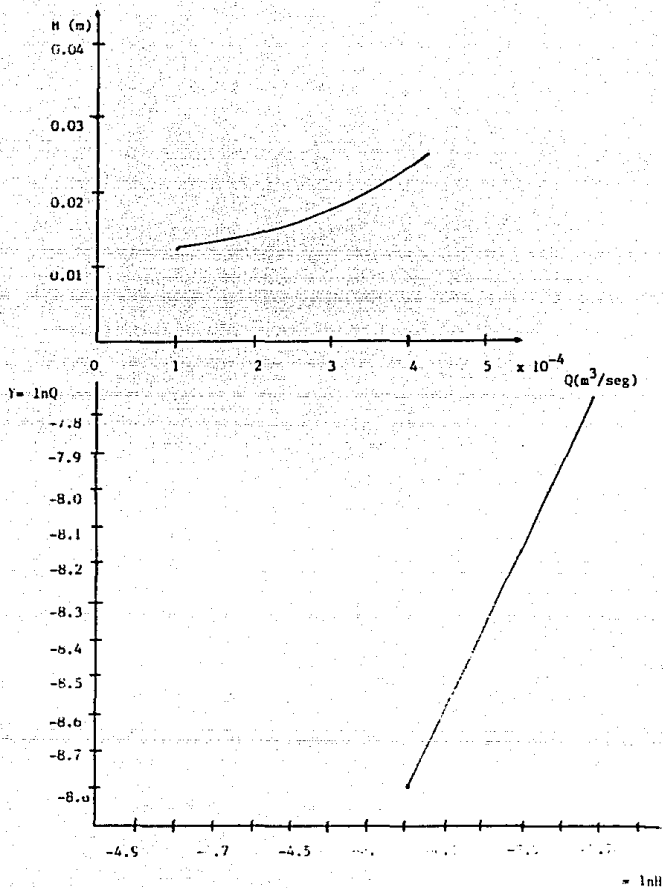
$$k = 0.3519$$

$$k = C_d (D) = C_d = k/0.1 = \frac{0.3519}{0.1} = 3.519$$

$$n = m = 1.849$$

$$Q = 3.519 D H^{1.849}$$

VERTICERO CIRCULAR



Grafica 4.3. Curva H vs Q y ln Q vs ln H.

## C A P I T U L O   I V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez realizadas las experimentaciones y habiendo obtenido los valores de los coeficientes  $C_d$  para cada vertedero, procederemos a realizar -- una comparación entre éstos y los encontrados en la bibliografía.

Como se mencionó en el capítulo I, la ecuación general de los vertederos de pared delgada es:

$$Q = KH^n$$

Que es de donde se partió para encontrar los coeficientes  $C_d$  para cada vertedero.

Ahora bien, en ese mismo capítulo se explicaron las formulas prácticas para los diferentes vertederos, y son éstas formulas las que se compararan -- con las obtenidas experimentalmente.

#### IV. 1 VERTEDEDOR RECTANGULAR

La ecuación más usual para el cálculo de los vertedores rectangulares, de pared delgada es la fórmula de Francis, y por ello, se utilizará como base de comparación de nuestros datos.

Fórmula de Francis.

$$Q = 1.838 (L - 0.2H) H^{3/2}$$

Fórmula obtenida experimentalmente.

$$Q = 1.77 H^{1.48} L$$

Como se puede observar, la ecuación obtenida experimentalmente es muy similar a la obtenida por Francis, pero para determinar de qué forma afecta la diferencia entre éstas a los valores del gasto, se presenta la siguiente tabla:

TABLA 4.1

H (m)	Q FRANCIS (m <sup>3</sup> /seg)	Q EXPERIMENTAL (m <sup>3</sup> /seg)	DIFERENCIA	%
0.0172	4.00 x 10 <sup>-4</sup>	4.33 x 10 <sup>-4</sup>	3.3 x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.01499	3.2721x 10 <sup>-4</sup>	3.533 x 10 <sup>-4</sup>	2.6 x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.14	2.959 x 10 <sup>-4</sup>	3.1933x 10 <sup>-4</sup>	2.3 x 10 <sup>-5</sup>	7.7%
0.0114	2.186 x 10 <sup>-4</sup>	2.356 x 10 <sup>-4</sup>	1.7 x 10 <sup>-5</sup>	7.7%
0.0105	1.936 x 10 <sup>-4</sup>	2.086 x 10 <sup>-4</sup>	1.5 x 10 <sup>-5</sup>	7.7%
0.0158	3.535 x 10 <sup>-4</sup>	3.82 x 10 <sup>-4</sup>	2.8 x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.0154	3.404 x 10 <sup>-4</sup>	3.677 x 10 <sup>-4</sup>	2.7 x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.0162	3.667 x 10 <sup>-4</sup>	3.963 x 10 <sup>-4</sup>	2.9 x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.0158	3.535 x 10 <sup>-4</sup>	3.819 x 10 <sup>-4</sup>	2.84x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.0153	3.37 x 10 <sup>-4</sup>	3.641 x 10 <sup>-4</sup>	2.7 x 10 <sup>-5</sup>	8%
0.0132	2.713 x 10 <sup>-4</sup>	2.927 x 10 <sup>-4</sup>	2.14x 10 <sup>-5</sup>	8%

En la tabla 4.1 se encuentra que la diferencia entre los valores del gasto obtenidos con la fórmula de Francis y los obtenidos con la ecuación experimental es del 8%, lo cual se puede deber a variaciones en las condiciones de medición, o bien, a desviaciones en la lectura de la carga (H) y del gasto Q.

Con respecto a este vertedero podemos concluir que la ecuación obtenida

$$Q = 1.77 LH^{1.48}$$

es muy aproximada a la encontrada en la bibliografía, y que los valores del gasto calculados con ella se acercan mucho a los valores obtenidos con el medidor de flujo del equipo.

Por otra parte, se pudo comprobar que los vertederos rectangulares son más adecuados para la medición de flujos grandes, ya que la experimentación sólo se logró entre los gastos de 0.416 l/seg. (máximo permitido por la válvula de control) y el valor de 0.2 l/seg. Con gastos menores a 0.2 l/seg. la lámina vertiente se adhiere a la pared del vertedero, obteniéndose así valores erróneos de la carga H y por consiguiente del gasto Q.

## IV.2 VERTEDERO TRIANGULAR

La ecuación más utilizada para el cálculo de gastos en este tipo de vertedero y que se dedujo en el punto 4 del capítulo uno es la siguiente:

$$Q = CH^{5/2}$$

en donde, como ya se mencionó, para escotaduras con ángulo de 90°, C toma un valor medio de 1.34.

Comparando esta ecuación con la obtenida experimentalmente tenemos:

FORMULA PARA  
VERTEDEROS TRIANGULARES

$$Q = 1.34 H^{5/2}$$

FORMULA  
EXPERIMENTAL

$$Q = 1.24 H^{2.46}$$

Para poder encontrar la diferencia entre los gastos obtenidos con estas ecuaciones se presenta la siguiente tabla:

TABLA 4.2

H (m)	Q EC. VERTEDEROS	Q EXP.	DIFERENCIA	%
0.026	$1.46 \times 10^{-4}$	$1.56 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	6.4%
0.028	$1.757 \times 10^{-4}$	$1.87 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-5}$	6.4%
0.030	$2.08 \times 10^{-4}$	$2.22 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-5}$	6 %
0.032	$2.45 \times 10^{-4}$	$2.60 \times 10^{-4}$	$1.45 \times 10^{-5}$	5.6%
0.034	$2.85 \times 10^{-4}$	$3.02 \times 10^{-4}$	$1.637 \times 10^{-5}$	5.4%
0.036	$3.3 \times 10^{-4}$	$3.48 \times 10^{-4}$	$1.82 \times 10^{-5}$	5.2%
0.038	$3.77 \times 10^{-4}$	$3.98 \times 10^{-4}$	$2.08 \times 10^{-5}$	5.2%



En la tabla 4.2 se puede ver que la diferencia entre los gastos obtenidos con las dos ecuaciones es de aproximadamente 6%. Esta pequeña diferencia se puede deber a las condiciones en las que se llevó a cabo la experimentación, o bien a desviaciones en la lectura de la carga (H) o del gasto Q.

Con respecto al vertedero triangular podemos concluir que la ecuación obtenida en forma experimental:

$$Q = 1.24 H^{2.46}$$

Varía muy poco de la ecuación encontrada en la bibliografía, y que los gastos obtenidos con ella son muy aproximados a los leídos en el medidor de flujo.

De este vertedero también se puede decir que es apropiado para la medición de gastos pequeños, ya que la experimentación se pudo efectuar desde el valor máximo de 0.41 l/seg., hasta el valor de 0.1 l/seg. sin que ocurriera la adherencia de la lámina vertiente a la pared del vertedero.

#### IV.3 VERTEDERO CIRCULAR

Para este tipo de vertederos la ecuación para la obtención del gasto es:

$$Q = 1.518 D^{0.693} H^{1.807}$$

Comparándola con la ecuación obtenida en forma experimental tenemos:

FORMULA PARA  
VERTEDEROS CIRCULARES

$$Q = 1.518 D^{0.693} H^{1.807}$$

FORMULA  
EXPERIMENTAL \*

$$Q = 3.519 D ( H^{1.849} )$$

Para poder encontrar la diferencia entre los gastos obtenidos - con ambas ecuaciones, se muestra la siguiente tabla:

\* Cabe hacer notar que esta ecuación es válida únicamente para un valor del diámetro de 0.1 m.

TABLA 4.3

H (m)	QEC. VERTEADOR ( $m^3/seg$ )	Q EXPERIMENTAL ( $m^3/seg$ )	DIFERENCIA	%
0.010	$7.48 \times 10^{-5}$	$7.057 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{-6}$	5.7%
0.012	$1.04 \times 10^{-4}$	$9.887 \times 10^{-5}$	$5.2 \times 10^{-6}$	5 %
0.014	$1.375 \times 10^{-4}$	$1.3148 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-6}$	4.3%
0.016	$1.75 \times 10^{-4}$	$1.683 \times 10^{-4}$	$6.7 \times 10^{-6}$	3.8%
0.018	$2.165 \times 10^{-4}$	$2.09 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-6}$	3.5%
0.020	$2.619 \times 10^{-4}$	$2.54 \times 10^{-4}$	$7.9 \times 10^{-6}$	3 %
0.022	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.03 \times 10^{-4}$	$8.2 \times 10^{-6}$	2.6%
0.024	$3.64 \times 10^{-4}$	$3.56 \times 10^{-4}$	$8.2 \times 10^{-6}$	2.2%

En la tabla 4.3 se puede ver que a medida que se aumenta la carga (H), la diferencia existente entre los gastos calculados con -- las dos ecuaciones disminuye, variando, en el rango de H entre 10 y - 24 cm. entre el 5.7% y 2.2%, pero. como el flujo más grande que se - logró manejar en este vertedero fué de  $4.1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg.}$ , no es posi- ble saber si el porcentaje de diferencia entre gastos sigue en descen- so, ya que, aunque es posible calcularlo, no es representativo del -- comportamiento real del vertedero.

De este vertedero podemos concluir que la ecuación obtenida experimentalmente es muy aproximada a la encontrada en la bibliogra- ffa, además de que con éste se calcularon los valores del gasto más - cercanos al leído en el medidor de flujo.

Por otro lado, este tipo de vertederos son apropiados para- gastos moderados y pequeños, obteniendose bastante exactitud en las - mediciones.

#### IV. 4 CONCLUSIONES

Después de realizada la experimentación se llegó a las siguientes conclusiones:

- a) Las ecuaciones obtenidas experimentalmente son muy aproximadas a las encontradas en la bibliografía, y los gastos calculados con ellas son muy cercanos a los obtenidos con el medidor de flujo, lo que indica que describen con mucha exactitud el comportamiento de los vertederos.
  
- b) Las mediciones se deben hacer con toda la exactitud posible, ya que cualquier desviación en la lectura de los datos, ocasiona variaciones en los resultados obtenidos.

Por ello, es recomendable el uso de instrumentos de medición-precisa como el catetómetro.

A continuación se muestra un sumario de las ecuaciones obtenidas experimentalmente y de las que se encuentran en la bibliografía para cada vertedero. Cabe hacer notar, que las ecuaciones presentadas a continuación son experimentales (incluyendo las obtenidas en la bibliografía), -- por lo que presentarán desviaciones al comportamiento de los vertederos, dependiendo de las condiciones de operación que se presenten.

## S U M A R I O

VERTEDERO	EC. TEORICA	EC. EXPERIMENTAL	COEFICIENTE Cd EXP.
RECTANGULAR	$Q = 1.38(L - 0.2H)H^{3/2}$	$Q = 1.77 LH^{1.48}$	1.77
TRIANGULAR (90°)	$Q = 1.34 H^{5/2}$	$Q = 1.24 H^{2.46}$	1.24
CIRCULAR	$Q = 1.518D^{0.693}H^{1.807}$	$Q = 3.519DH^{1.849}$	3.519

LA ECUACION GENERAL DE LOS VERTEDEROS ES :

$$Q = K H^n$$

## C A P I T U L O   V

### DISENO DE LA PRACTICA PROPUESTA

a) OBJETIVO:

El alumno obtendrá los coeficientes de descarga de tres tipos diferentes de vertederos a partir de datos experimentales a diferentes gastos, y los comparará con los obtenidos por medio de las ecuaciones correspondientes, que aparecen en la bibliografía.

b) EQUIPO A UTILIZAR : El equipo a usarse consta de:

- Un tanque de alimentación
- Tres vertederos en serie : rectangular, triangular y circular.
- Tres tanques de descarga: uno después de cada vertedero.
- Un medidor de flujo.
- Tres medidores de nivel.
- Una bomba
- Una línea de tubería donde se encuentra instalada una válvula de globo para control de gasto.
- Un Cronómetro
- Un Flexómetro
- Un Catetómetro



### c) TECNICA DE OPERACION

- 1.- Llenar los tanques de descarga con agua hasta 3/4 de su capacidad.
- 2.- Tomar las medidas del equipo que se crean necesarias (longitudes, ángulos, etc.), así como el nivel del agua que se utilizara como referencia.
- 3.- Fijar la válvula de paso al máximo caudal de salida (totalmente abierta) y encender la bomba.
- 4.- Tomar varias mediciones de la carga (H) y del gasto (Q) para cada vertedero con caudales diferentes, variando la apertura de la válvula de control.

NOTA: Los tanques deberán tener bloqueado el orificio de drenaje, por medio de tapones, para evitar que el agua pase del vertedero superior al inferior debido a las diferencias de altura.

d) TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA

- Presentar un diagrama isométrico de la instalación.
- Hacer una gráfica de  $\log Q$  contra  $\log H$  y calcular el coeficiente de descarga ( $C_d$ ) para cada vertedor.
- Calcular el coeficiente de descarga  $C_{d_1}$  utilizando las ecuaciones de cada vertedero.
- Calcular el gasto  $Q_1$  con los coeficientes  $C_{d_1}$  y las cargas medidas.
- Compare los coeficientes  $C_d$  y  $C_{d_1}$  y los gastos  $Q$  y  $Q_1$ .
- Dibuje en el mismo plano las curvas ( $Q$  Vs  $H$ ) y ( $Q_1$  Vs  $H$ ), para cada vertedero usando papel milimétrico.
- Hacer una tabla con los resultados obtenidos en la práctica :  $Q, H, C_d, Q_1, C_{d_1}$  para cada vertedero.
- Dé sus conclusiones.

Debido a que el tiempo para el desarrollo de las prácticas de laboratorio generalmente es de 2 horas y con el fin de que ésta sea más ilustrativa, se propone la siguiente práctica opcional, que resulta más adecuada para cumplir con los objetivos de este trabajo.

## PRACTICA PROPUESTA NO. 2 (OPCIONAL)

### a) OBJETIVO

El alumno calculará el gasto  $Q$  para cada vertedero, a partir de datos experimentales, utilizando las ecuaciones correspondientes que aparecen en la bibliografía, y lo comparará con el obtenido por medio del medidor de flujo instalado en el sistema.

b) EQUIPO A UTILIZAR: El equipo a usarse consta de:

- Un tanque de alimentación
- Tres vertederos en serie: rectangular, triangular y circular.
- Tres tanques de descarga : uno después de cada vertedero.
- Un medidor de flujo
- Tres medidores de nivel
- Una bomba
- Una línea de tubería donde se encuentra instalada una válvula de globo para control de gasto.
- Un Cronómetro
- Un Flexómetro
- Un Catetómetro

c) TECNICA DE OPERACION

- 1.- Llenar los tanques de descarga con agua hasta 3/4 de su capacidad.
- 2.- Tomar las medidas del equipo que se crean necesarias (longitudes, ángulos, etc.), así como el nivel del agua que se utilizará como referencia.
- 3.- Abrir la válvula de paso y encender la bomba.
- 4.- Medir la carga (H) para cada vertedor utilizando el catetómetro, así como el gasto (Q) - registrado en el medidor de flujo con ayuda - de un cronómetro, para un caudal determinado.

NOTA : Los tanques deberán tener bloqueado el orificio de drenaje, por medio de tapones, para evitar que el agua -- pase del vertedero superior al inferior debido a las - diferencias de altura.

d) TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA

- Presentar un diagrama isométrico de la instalación.
- Calcular el gasto ( $Q_1$ ) para cada vertedero utilizando las ecuaciones que aparecen en la bibliografía.
- Comparar el gasto  $Q_1$  (calculado) con el gasto  $Q$  (obtenido durante la experimentación)
- Hacer una tabla mostrando los resultados obtenidos en la práctica para cada vertedero:  
  
H, Q,  $Q_1$ ,  $AQ = \frac{Q - Q_1}{Q} \cdot 100$  % DESVIACION.
- Dar sus conclusiones.

## CUESTIONARIO

- 1.- ¿ Qué es un vertedero ?
- 2.- ¿ Qué tipos de vertederos existen ?
- 3.- ¿ Cuáles son las partes principales de un vertedero ?
- 4.- ¿ A qué distancia mínima se debe medir la carga H del vertedero para evitar que se vea afectada por el abatimiento de la lámina vertiente ?
- 5.- ¿Cuál es la fórmula general de los vertederos ?
- 6.- ¿Cuál es la fórmula de Francis ?
- 7.- Explique el efecto de la velocidad de llegada.
- 8.- Bajo qué condiciones es más exacta la fórmula de Rehbock.
- 9.- ¿Cuál es la fórmula de Francis para vertederos con contracciones ?
- 10.- ¿Cómo se expresa la forma del umbral en los vertederos exponenciales ?
- 11.- ¿Qué ocurre con la vena contracta de un vertedero mal ventilado ?
- 12.- ¿Qué formas puede tomar la lámina líquida y en qué consiste cada una de ellas ?
- 13.- ¿Qué fórmula se emplea para vertederos circulares ?
- 14.- ¿Por qué los vertederos proporcionales son llamados de ecuación lineal ?
- 15.- ¿Cuándo se considera un vertedor de cresta ancha ?
- 16.- ¿Qué es un medidor Parshall ?
- 17.- ¿Qué ventajas presenta el medidor Parshall ?
- 18.- ¿Cuándo se recomienda su uso ?
- 19.- ¿Qué factores influyen en la selección de un vertedero ?
- 20.- ¿Qué factores cree usted que pueden afectar los resultados obtenidos en esta práctica ?



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

- 1.- KING, HORACE W.; BRATER, ERNEST F. Handbook of Hydraulics Mc. Graw Hill Co.; Quinta Edición; EUA 1963.
- 2.- AZEVEDO, J. M. DE ACOSTA GUILLERMO. Manual de Hidráulica; Ed. Harla; sexta edición; México 1975.
- 3.- TRUEBA CORONEL, SAMUEL Hidráulica; Ed. Continental S.A. de C.V.; vigésima tercera impresión de la primera edición; México 1986.
- 4.- MATAIX, CLAUDIO Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas; Ed. Harla; segunda edición; México 1982.
- 5.- PERRY, ROBERT; CHILTON, CECIL Biblioteca del Ingeniero - Químico Vol. 2; Mc. Graw - Hill; Quinta edición (2a. en español); México 1987.
- 6.- SOTELO AVILA, GILBERTO Hidráulica General; vol. 1 fundamentos; Ed. Limusa; - Sexta reimpresión; México-1982.
- 7.- FOUST, A.S.; WENZEL, L.A. Y OTROS. Principios de Operaciones Unitarias; CECSA; Décimatercera edición; México.

- 8.- VENNARD, JOHN; STREET, ROBERT. Elementos de Mecánica de Fluidos; Mc. Graw Hill; primera edición en español; México -- 1979.
- 9.- STREETER, VICTOR Mecánica de los Fluidos; Mc.-Graw Hill; primera edición en español; México 1975.
- 10.- DAILY, JAMES; HARLEMAN, DONALD. Dinámica de fluidos con aplicaciones a la Ingeniería; Ed. Trillas; segunda edición en español; México 1975.
- 11.- WHITE, FRANK Fluids Mechanics; Mc. Graw -- Hill; Tokyo 1979.
- 12.- ADDISON, HERBERT Tratado de Hidráulica Aplicada; Ed. Gustavo Gili S.A.; -- primera edición en español; - Barcelona, España.
- 13.- VEN TE CHOW, PH. D. Open Channel Hydraulics; Ed.- Mc Graw Hill Kogakusha; Tokyo Japón 1959.
- 14.- LINSLEY, RAY; FRANZINI, JOSEPH. Ingeniería de los recursos Hidráulicos; Ed. CECSA; Sexta - impresión en español; México- 1975.

- 15.- BAUMEISTER, THEODORE;  
AVALLONE, EUGENE. Marks, Manual del Ingeniero Mecánico; Mc Graw Hill: octava edición.
- 16.- CRANE Flow of Fluids Through valves, Fittings and Pipes, by the Engineering Division - 1969.
- 17.- BANCO NACIONAL DE CREDITO AGRICOLA. Departamento de fideicomisos . Tablas y nomogramas para calcular medidores --- Parshall. México 1940.
- 18.- TREJO PEREZ, OCTAVIO Apuntes de Hidráulica. Registro de propiedad en trámite.
- 19.- DOMINGUEZ S., FCO. JAVIER Hidráulica; Ed. Universitaria; tercera edición; Santiago de Chile 1959.
- 20.- HERRERA DELGADO, JOAQUIN Apuntes de Hidráulica; Segunda edición; México 1960.
- 21.- ZURITA RUIZ, JOSE Obras Hidráulicas; Ed. CEAC Barcelona España 1971.
- 22.- SCHOKIITSCH, ARMIN Construcciones Hidráulicas, Tomo I; Ed. Gustavo Gili -- S.A.; tercera edición; Barcelona, España, 1968.
- 23.- SCHLAG, ALBERT Hidráulica; Ed. LIMUSA-Wiley S.A.; México 1966.