



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
Facultad de Ingeniería



HIDRÁULICA GENERAL

TEMA 7B: VERTEDEROS EN

PARED GRUESA Y LATERAL

JTP: Andrés Facundo Correas

Ing. Civil

2023



Hidráulica General Unidad 7B: Vertederos de pared gruesa y lateral

Objetivos

Para completar los conocimientos respecto a las canalizaciones abiertas, es necesario incluir las singularidades en contornos abiertos, es decir, los cambios de sección y dirección en los canales. Así como singularidades cuya finalidad es medir caudales en canales, o sea, los vertederos en sus distintas formas.

El objetivo es que adquieras las capacidades necesarias en la comprensión del funcionamiento de los vertederos y el diseño de los mismos para medir caudales en canales.

Bibliografía

1. *HIDRÁULICA GENERAL DE GILBERTO SOTELO ÁVILA*
2. *MECÁNICA DE FLUIDOS DE VICTOR L. STREETER.*
3. *HIDRÁULICA DE FANCISCO J. DOMINGUEZ.*
4. *HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS DE VEN TE CHOW*
5. *MECÁNICA DE LOS FLUIDOS DE HUNTER ROUSE.*
6. *MANUAL CÉSPEDES DE HIDRÁULICA DE JUAN Y JOSE GANDOLFO*
7. *MECÁNICA DE LOS FLUIDOS DE FRANK M. WHITE*
8. *APUNTES DE CÁTEDRA*

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
GRUESOS**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
EJEMPLO**

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
LATERALES**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
DE EJEMPLO**

**ACTIVIDAD
DE CLASE**

Comenzamos!



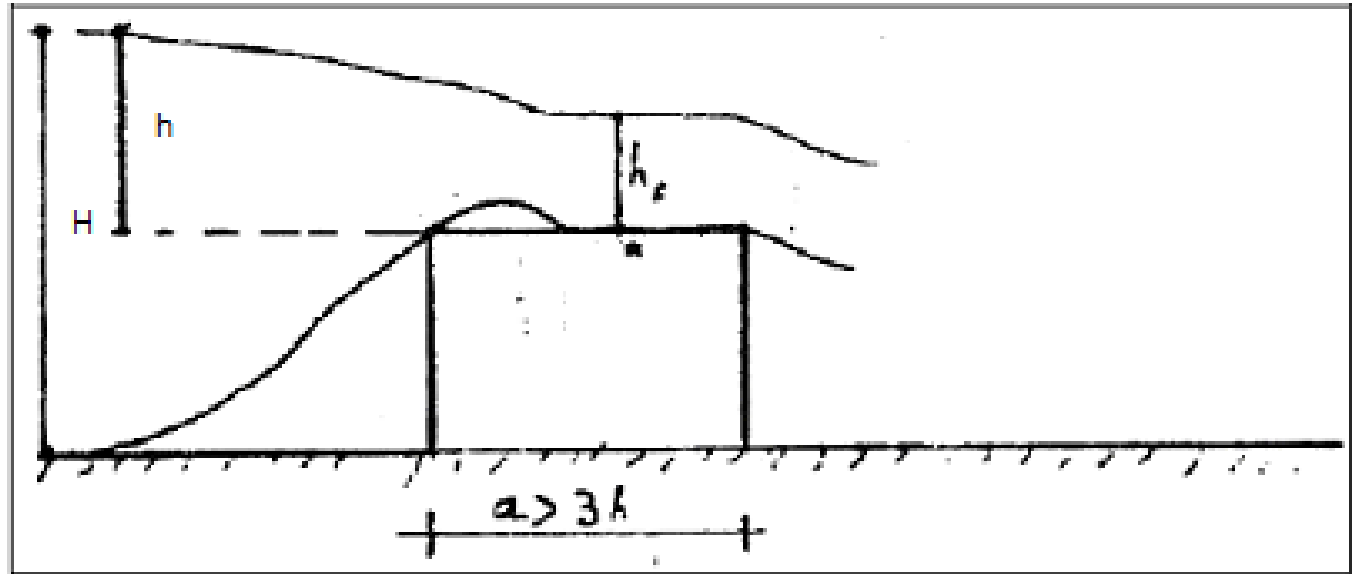
TEORÍA DE
VERTEDEROS
GRUESOS

GENERALIDADES

Desde el punto de vista hidráulico, es el escurrimiento que se verifica sobre una barrera cuando ésta se interpone en una canalización abierta.

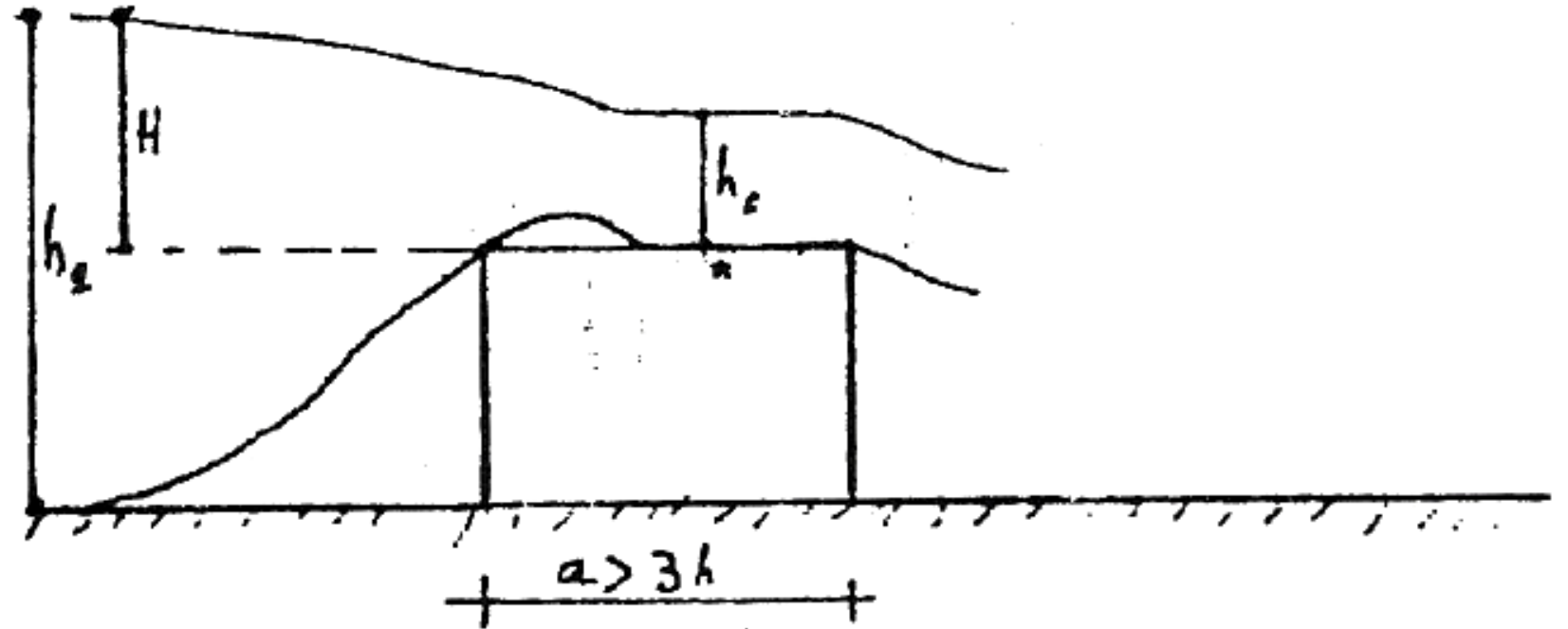
Si se considera sólo la singularidad, vertedero es la barrera que se interpone en el escurrimiento en un canal.

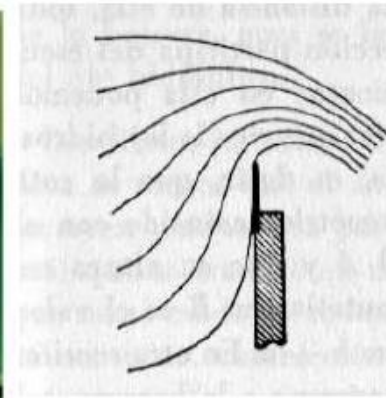
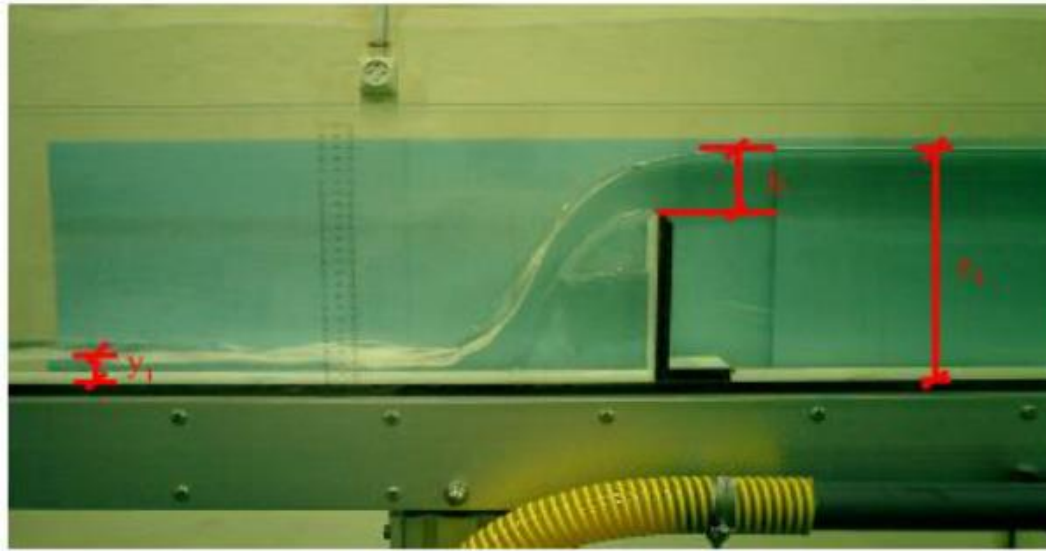
Sus aplicaciones son muchas, fundamentalmente sirven para medir caudales (aforar) y también en obras de control de excedentes en presas.



ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS/ DEFINICIONES

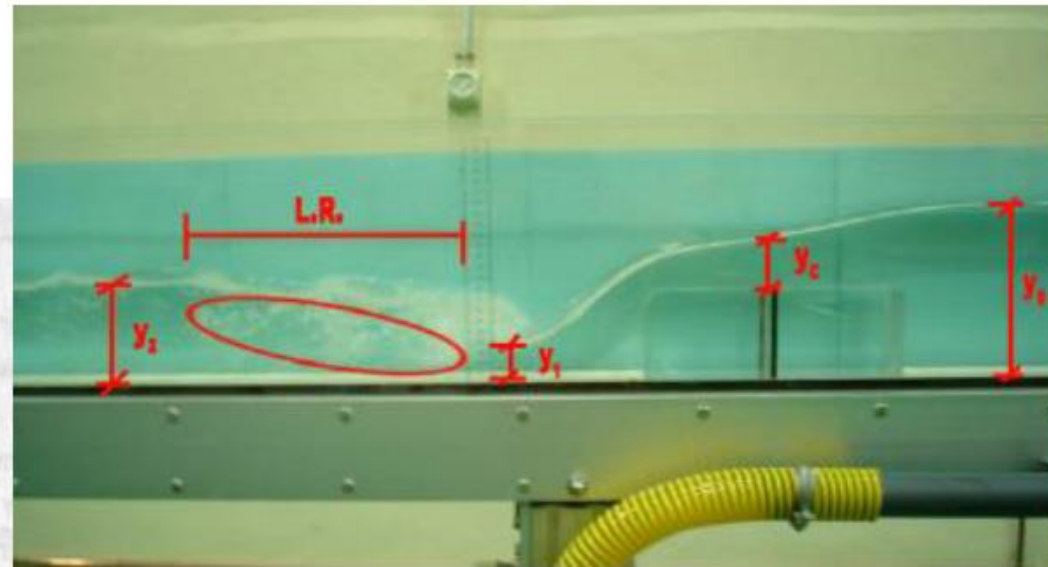
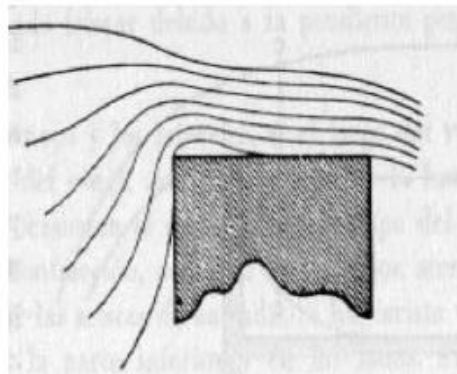
1. **Lámina vertiente:** el agua que vuelca o rebalsa sobre el vertedero, también conocido como **napa**.
2. **Umbral o cresta:** el límite superior de la barrera.
3. **Longitud (l):** será la distancia entre las paredes verticales o inclinadas que limitan el umbral
4. **Carga hidráulica (h):** la altura de agua medida entre la cresta del vertedero y la altura de aguas "aguas arriba" del mismo.
5. **Altura del vertedero (a):** será la distancia desde el fondo de la canalización hasta la cresta del vertedero.
6. **Sacado:** sección llena de agua que se aprecia observando el vertedero desde aguas abajo, la forma de la vena líquida de salida del vertedero.



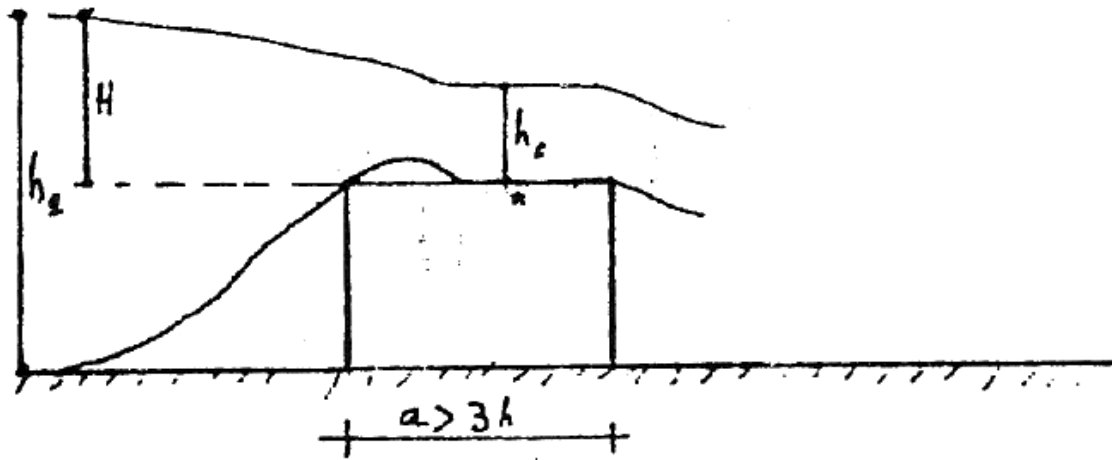


Pared delgada

Pared gruesa



ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS



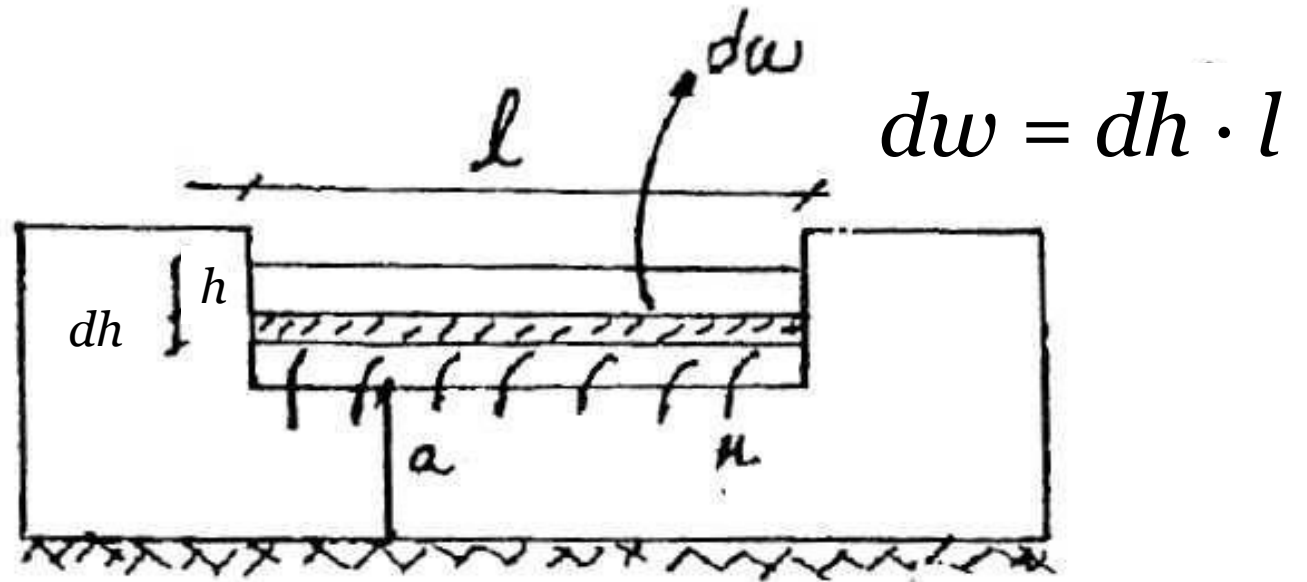
Comportamiento hidráulico, sobre el umbral en el inicio se forma una depresión de la vena líquida, permaneciendo luego el tirante casi constante hasta el final, donde disminuye nuevamente por el llamado hidráulico. La línea de corriente inferior presenta una contracción de la lámina, pero luego se adherirá a la barrera. En la mayoría de los casos el agua llega al vertedero en régimen tranquilo (río) y sale con régimen de torrente, razón por la cual en algún lugar del paramento tendremos una sección con altura crítica.

El problema se limita a la determinación del nuevo coeficiente de gasto " m_{PG} " ya que la ecuación es válida en cualquier tipo de vertedero

ECUACIÓN DE GASTO DE VERTEDERO

La ecuación de gasto puede obtenerse aplicando lo visto en orificios y vertederos delgados, aunque en este caso tenemos certeza que en algún sector sobre el vertedero grueso tendremos una altura crítica.

$$Q = m_{VPG} \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$



ECUACIÓN DE GASTO DE VERTEDERO

$$Q = m_{VPG} \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$Q = \omega \cdot U$$

$$\omega = l \cdot h_c$$

Aplicando Teorema de Torricelli:

$$U = \sqrt{2g(h - h_c)}$$

$$Q = l \cdot h_c \cdot \sqrt{2g(h - h_c)}$$

Relacionando altura crítica con la altura aguas arriba, aplicando Bernoulli entre la sección aguas arriba y la sección crítica, ubicando el plano de referencia en la cresta del vertedero y despreciando pérdidas de carga;

recordando $U_c = \sqrt{g \frac{\omega_c}{B_c}}$:

$$h + \underbrace{\frac{U^2}{2g}}_{\approx 0} = h_c + \frac{U_c^2}{2g} + \underbrace{\Delta}_{\approx 0} \rightarrow h = h_c + \frac{h_c}{2} = \frac{3}{2}h_c$$

$$Q = l \cdot \frac{2}{3}h \cdot \sqrt{2g \left(h - \frac{2}{3}h \right)} \rightarrow Q = l \cdot \frac{2}{3}h \cdot \sqrt{2g \frac{1}{3}h}$$

ECUACIÓN DE GASTO DE VERTEDERO

$$Q = m_{VPG} \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad Q = m_{VPD} \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$Q = l \cdot \frac{2}{3} h \cdot \sqrt{2g \frac{1}{3} h} \quad \Leftrightarrow \quad Q = m_{VPD} \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$\frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{1}{3}} \quad \Leftrightarrow \quad m_{VPG} = 0.385$$

Para un vertedero de pared gruesa perfecto, valor menor (mayor pérdida de carga).

Si consideramos pérdidas de carga:

$$h = h_c + \frac{h_c}{2} = \frac{3}{2} h_c + \Delta$$

$$\Delta = \lambda \frac{U_c^2}{2g} = \lambda \frac{h_c}{2} \rightarrow h = \frac{3}{2} h_c + \lambda \frac{h_c}{2} = h_c \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda}{2} \right)$$

Introduciendo la expresión para la altura crítica en función del caudal, despejando el caudal y operando matemáticamente:

$$m_{VPG} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

ECUACIÓN DE GASTO DE VERTEDERO

$$m_{VPG} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

¿Cuánto vale lambda?

Fuentes de pérdidas:

Embocadura



- Estrechamiento brusco
- Determinada experimentalmente
- Depende de la forma

Frotamiento



- Pérdidas por conducción
- Similar a pérdidas en canales
- Depende del material (J) y longitud

ECUACIÓN DE GASTO DE VERTEDERO

Embocadura

Para aristas de bordes redondeados: $\lambda_e = 0$

Para un paramento vertical y perpendicular y una relación

$$\frac{a}{h_c} = 3,5 \rightarrow \lambda_e = \frac{1}{3}$$

Frotamiento

Se considera la expresión de Chezy, con un $n = 10$ y $C = 50$; siendo $n = e/h_c$

$$\lambda_f = \frac{2g \cdot e}{C^2 \cdot R_H}; R_H \sim h_c \therefore \lambda_f = \frac{2g}{C^2} \cdot \frac{e}{h_c} \therefore \lambda_f = 0,08$$

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_f \cong \frac{1}{3} + 0,08 \quad m_{VPG} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\frac{1}{3} + 0,08}{2} \right)^{\frac{3}{2}}} \cong 0,32 \therefore m_{VPG} \cong 0,32$$

Para aristas vivas: $m = 0,31$ a $0,33$

Para aristas redondeadas: $m = 0,34$ a $0,37$

VERTEDERO GRUESO PERFECTO



1. Pared gruesa:

- $e \geq 3 h$

El espesor de la pared (e) debe ser mayor que tres veces la carga hidráulica del vertedero

2. Contracción de fondo completa:

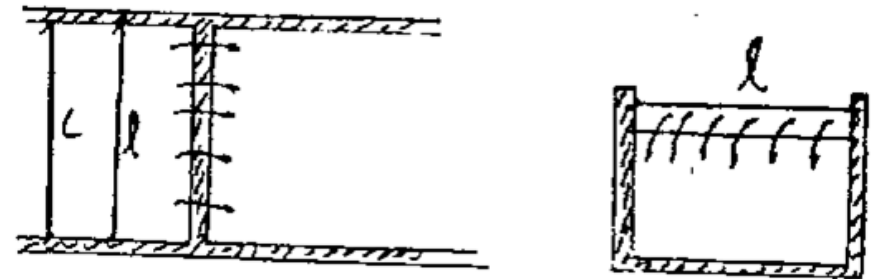
- $\frac{a}{h_c} \geq 3,5$

Existe la posibilidad de que a priori no conozcamos la altura crítica, existen técnicas para analizar los vertederos gruesos si no podemos definirla

VERTEDERO GRUESO PERFECTO

3. Contracción lateral nula:

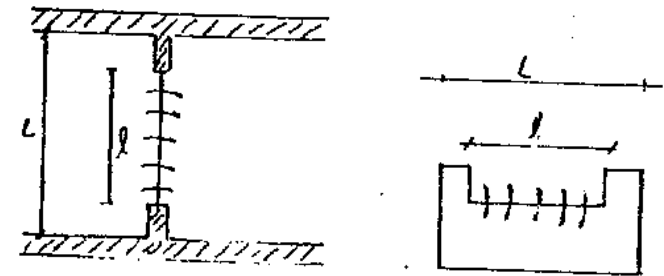
Cuando la longitud del vertedero es igual al ancho del canal



4. Velocidad de llegada nula:

- $U_{llegada} = \frac{Q}{L \cdot H} \leq 0,3 \text{ m/s}$

La condición de contracción de fondo completa y la de velocidad de llegada nula están vinculadas, si el paramento es alto se produce una importante disminución de velocidad



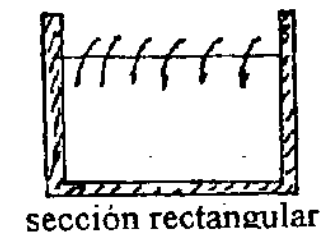
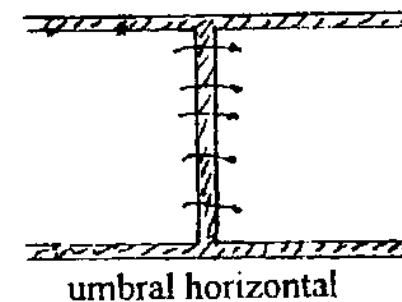
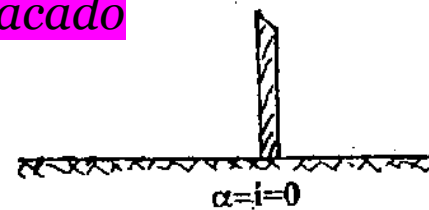
VERTEDERO GRUESO PERFECTO



5. Paramento vertical, umbral horizontal y sección de calado rectangular:

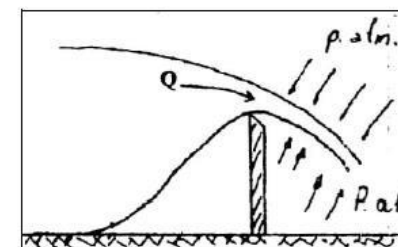
Formas geométricas de la barrera y forma del sacado

**Se dejan intencionalmente las mismas imágenes de vertederos delgados*



6. Lámina libre:

Se verifica considerando que existe presión atmosférica por debajo y por encima de la lámina vertiente





COEFICIENTE DE GASTO

Si se cumplen las condiciones de vertedero perfecto

Se adopta un coeficiente??

$m_{VPG}=??$

Si no se cumplen hay que aplicar un coeficiente de corrección

$$Q = m_{VPG} \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$m_{VPG} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}; \quad \text{Con: } \lambda = \lambda_e + \lambda_f$$

$$\lambda_f = 0,008 \cdot n; \quad n = \frac{e}{h_c}$$

Embocadura

Para aristas de bordes redondeados: $\lambda_e = 0$

Aristas vivas:

NO cumple contracción de fondo completa

a/hc	>3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.25
a/h	2.04	1.78	1.48	1.19	0.91	0.67	0.314	0.162
λ_e	0.33	0.328	0.315	0.282	0.240	0.188	0.110	0.056

En donde: a es la altura del vertedero en (m).

h_c es la altura crítica con el caudal de erogación del vertedero en (m).

h es la carga hidráulica sobre el vertedero en (m).

SI cumple
contracción de
fondo completa

m	n					
	3.5	5	7.5	10	12.5	15
Arista redondeada	0.381	0.375	0.374	0.37	0.366	0.362
Arista viva	-----	0.322	0.32	0.317	0.315	0.311

Coeficientes de gasto



Coeficiente cuando NO se cumple la condición de velocidad de llegada nula

Para arista redondeada

$$m_{VPG} = \frac{1 + 0,26 \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2 \left(\frac{3}{2} + 0,004 \cdot n \right)^{3/2}}}$$

Para aristas vivas

$$m_{VPG} = \frac{1 + 0,26 \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2 \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda_e + 0,008 \cdot n}{2} \right)^{3/2}}}$$

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
GRUESOS**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
EJEMPLO**

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
LATERALES**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
DE EJEMPLO**

**ACTIVIDAD
DE CLASE**

Seguimos!



EJERCICIOS
PRÁCTICOS
EJEMPLO

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°1

Un canal rectangular presenta un vertedero de largo igual al ancho del canal de las siguientes características: alto (a) = 1,7 m , espesor (e) = 2,5 m, aristas vivas, pared vertical, umbral horizontal y caída libre. Determinar la carga y el coeficiente de gasto del vertedero cuando conduce un caudal por unidad de longitud igual a 0,69 m²/s. (Considerar napa libre)

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared gruesa, $e \geq 3 h$	¿?
2 – Contracción de fondo completa, $a/h_c = 4,66 > 3,5$	Si cumple.
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	Sí cumple (por enunciado)
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	¿? Suponemos que sí
5 – Pared vertical y umbral horizontal	Sí cumple
6 – Caída libre	Sí cumple.

$$h_c = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{L}\right)^2 \frac{1}{g}} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°1

Aristas vivas

Suponiendo contracción de fondo completa y velocidad de llegada nula. Por tabla

$$n = \frac{e}{h_c} = \frac{2,5 \text{ m}}{0,36 \text{ m}} = 6,85 \text{ m}$$

n	m
5	0,322
7,5	0,32
6,85	0,321

	n					
m	3,5	5	7,5	10	12,5	15
Arista redondeada	0,381	0,375	0,374	0,37	0,366	0,362
Arista viva	-----	0,322	0,32	0,317	0,315	0,311

$$Q = m_{VPG} \times l \times h \sqrt{2gh} = q = m_{VPG} \times h^{3/2} \sqrt{2g}$$

$$h = \left(\frac{q}{m_{VPG} \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{q}{0,321 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}} \right)^{2/3} = 0,62 \text{ m}$$

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°1
Aristas vivas
Verificaciones

Pared gruesa

$$e \geq 3h \rightarrow 2,5 \text{ m} \geq 3 \cdot 0,62 \text{ m} \Rightarrow 2,5 \text{ m} \geq 1,85 \text{ m}$$

CUMPLE

Velocidad de llegada

$$U = \frac{q}{H} = \frac{q}{a + h} = \frac{0,69 \text{ m}^2/\text{s}}{1,70 \text{ m} + 0,62 \text{ m}} = 0,298 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

CUMPLE

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°1

Aristas vivas

Cálculo de m por ecuación

$$m_{VPG} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$m_{VPG} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda_e + \lambda_f}{2} \right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{0,33 + 0,008 \cdot 6,85}{2} \right)^{\frac{3}{2}}} = 0,321$$

$$n = \frac{e}{h_c} = \frac{2,5 \text{ m}}{0,36 \text{ m}} = 6,85$$

a/hc	>3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25
a/h	2,04	1,78	1,48	1,19	0,91	0,67	0,314	0,162
λ_e	0,33	0,328	0,315	0,282	0,24	0,188	0,11	0,056

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
GRUESOS**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
EJEMPLO**

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
LATERALES**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
DE EJEMPLO**

**ACTIVIDAD
DE CLASE**

Seguimos!



TEORÍA DE
VERTEDEROS
LATERALES

VERTEDERO LATERAL

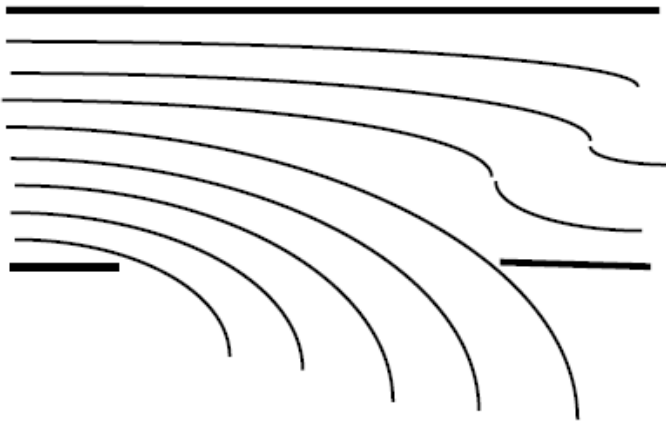
*Se trata de una singularidad en contorno abierto muy útil en hidráulica, que se usa para **eliminar o derivar excesos de caudal** de un canal.*

En un vertedero lateral hay que considerar tres características propias del fenómeno:

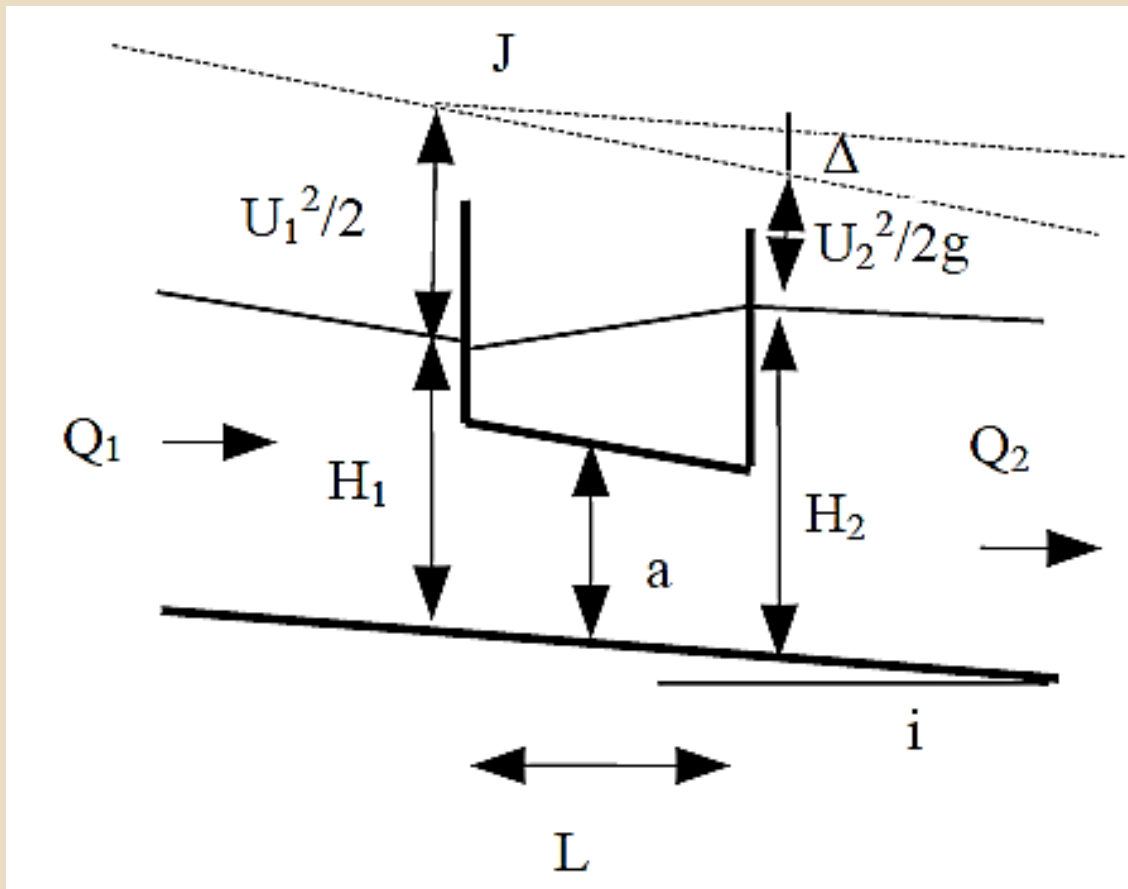
- 1. Las perturbaciones en los extremos del vertedero*
- 2. El gasto unitario o coeficiente de gasto del vertedero lateral*
- 3. El régimen de escurrimiento del canal, que determina las cargas de agua que toma el vertedero lateral.*

Las perturbaciones en los extremos se refiere al despegue de los filetes en el borde anterior y el choque de los mismos con el borde hacia aguas abajo.

Esto se traduce en una disminución de la longitud útil del vertedero, que aumentará si las velocidades son grandes y la longitud L es pequeña.

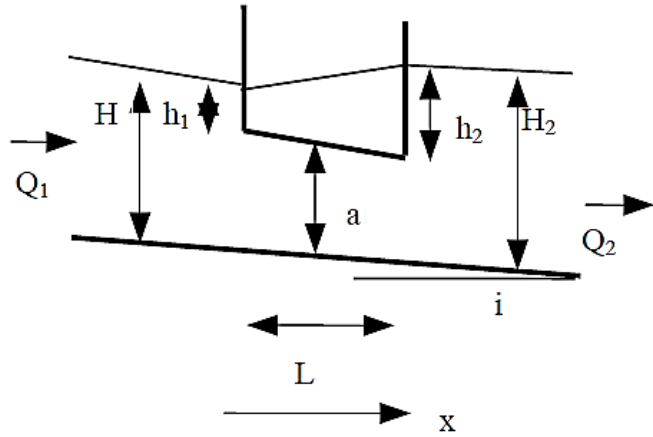


VERTEDERO LATERAL



- La carga sobre el umbral del vertedero es variable y se deben tomar coeficientes de gasto variable de un extremo al otro.
- Las fórmulas experimentales están dadas en función de la **carga final**, cuando el régimen frente al vertedero es de **río** y en función de la **carga inicial** cuando es de **torrente**.

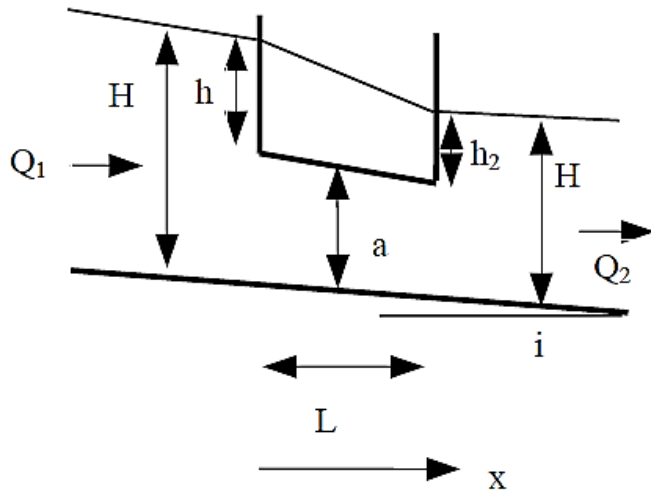
VERTEDERO LATERAL



$$h_x = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{L} x$$

$$dq = m\sqrt{2g}(h_x)^{3/2} dx$$

$$Q = \sqrt{2g} \int_0^L m \left(h_1 + \frac{h_2 - h_1}{L} x \right)^{3/2} dx$$



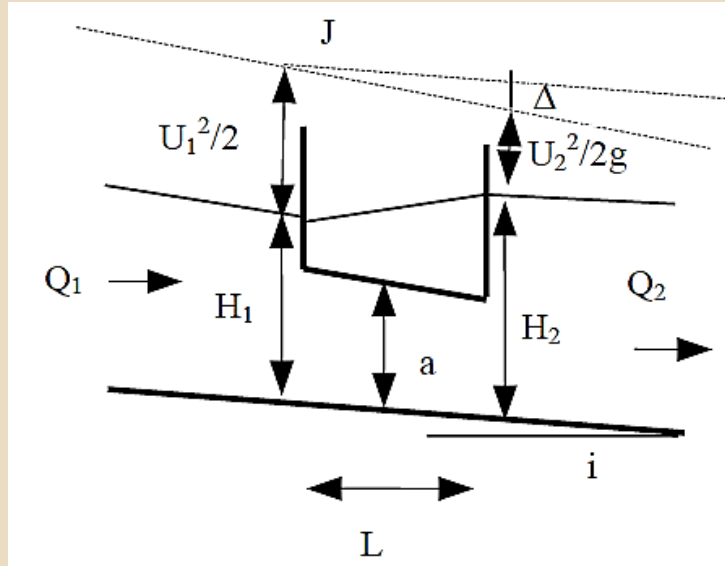
$$h_x = h_1 - \frac{h_1 - h_2}{L} x$$

$$dq = m\sqrt{2g}(h_x)^{3/2} dx$$

$$Q = \sqrt{2g} \int_0^L m \left(h_1 - \frac{h_1 - h_2}{L} x \right)^{3/2} dx$$

- El eje hidráulico del canal (la altura de agua) frente al vertedero es una curva, pero en la mayoría de los casos de corrientes tranquilas, que es el más frecuente, la curvatura del mismo es muy pequeña, de modo que puede considerarse sin error apreciable que tiene una variación lenta y lineal.
- Aceptada la linealidad de la carga hidráulica pueden darse dos casos, según si la carga de agua **crece** o **decrece** en la longitud del vertedero lateral, y de acuerdo a ello, la función lineal tendrá pendiente positiva o negativa:

VERTEDERO LATERAL



$$B_1 = H_1 + \frac{U_1^2}{2g} + i \cdot L = H_1 + \frac{Q_1^2}{2g \cdot \omega_1^2}$$

$$B_2 = H_2 + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta = H_2 + \frac{Q_2^2}{2g \cdot \omega_2^2} + J \cdot L$$

- La tercera particularidad es el régimen que crea el vertedero lateral en el canal, y que es el que determina la carga variable sobre su umbral.
- Considerando un plano de comparación que pasa por el fondo de la sección del canal al final del vertedero, y aplicando Bernoulli
- Los sumandos iL y JL son muy pequeños y más aún su diferencia: $(iL - JL)$ por lo que se desprecian.

$$H_1 + \frac{U_1^2}{2g} = H_2 + \frac{U_2^2}{2g} = \text{constante}$$

VERTEDERO LATERAL



$$H_1 + \frac{U_1^2}{2g} = H_2 + \frac{U_2^2}{2g} = \text{constante}$$

- El Bernoulli es constante, pero no el caudal, ya que parte del mismo se deriva por el vertedero lateral.
- Se deriva Bernoulli respecto de la altura de agua y se iguala a cero, ya que es constante.

$$B_1 = B_2 \Rightarrow B = H + \frac{Q^2}{2g \cdot \omega^2} = \text{constante} \qquad dB = d\left(H + \frac{Q^2}{2g \cdot \omega^2}\right) = 0$$

Debe recordarse que el caudal y la sección transversal son funciones de H y $d\omega = dH \cdot B_s$

Trabajando la expresión se llega a:

$$dH = \frac{Q \cdot dQ}{g \cdot \omega^2 \left(\frac{U^2}{U_c^2} - 1\right)}$$

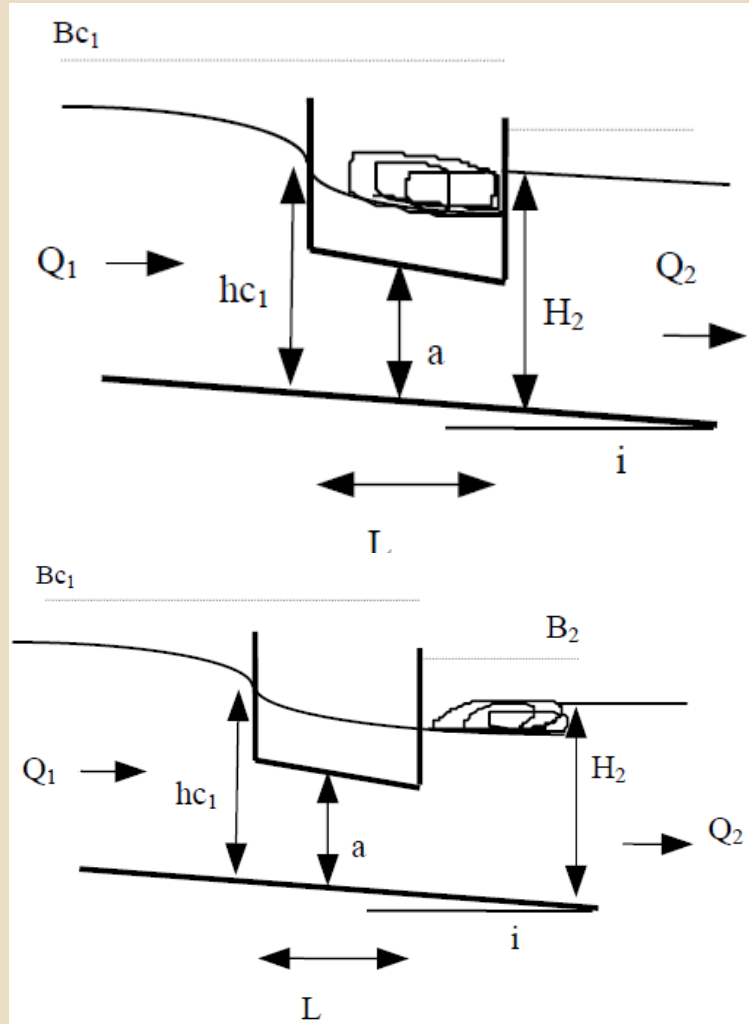
VERTEDERO LATERAL



$$dH = \frac{Q \cdot dQ}{g \cdot \omega^2 \left(\frac{U^2}{U_c^2} - 1 \right)}$$

- El denominador es **negativo** en regímenes de **río** (ya que $U < U_c$), y **positivo** en **torrentes** (ya que $U > U_c$).
- El dQ es siempre **negativo** (porque el caudal en el sentido positivo de la dirección x siempre disminuye).
- Entonces el dH es **positivo en ríos** y **negativo en torrentes**.
- Lo que significa que el nivel de aguas **sube** hacia aguas abajo si hay un **régimen de río**, y **disminuye** con un **régimen torrente**.

VERTEDERO LATERAL



- Si el Bernoulli de río final (aguas abajo) es menor que el Bernoulli crítico del canal de aguas arriba del vertedero, se verificará **escurrimiento crítico** al comenzar el vertedero seguido de torrente y luego un resalto, antes de pasar a río.
- El resalto puede estar frente o aguas abajo del vertedero lateral
- Cuando el resalto se ubica frente al vertedero, la diferencia entre $(B_{c1} - B_2)$ no es muy grande y puede calcularse el caudal con la formula anterior.

VERTEDERO LATERAL



- Operando matemáticamente se puede determinar el cálculo de gasto o caudal o de la longitud del vertedero utilizando la siguiente ecuación

$$dH = \frac{m \cdot \sqrt{B - H} \cdot (H - a)^{3/2} dL}{(B - H)B_s - \frac{\omega}{2}}$$

- Se pueden presentar dos casos: calcular el caudal Q o calcular la longitud L.
- Se supone que la altura de la barrera “a” es dato.
- Se calcula por diferencia finita, o por puntos escalonados, sea cual fuere el régimen frente al vertedero.

CÁLCULO DE LA LONGITUD L DEL VERTEDERO LATERAL



- Se tiene como datos el caudal inicial (Q_1) y el caudal final (Q_2) del canal.
- Q_2 se calcula restando del primero el caudal que es necesario derivar.
- Con los caudales se pueden calcular las alturas de agua H_1 y H_2 , aguas arriba y abajo del vertedero lateral, las que constituyen los límites de variación de carga hidráulica sobre el mismo (h_1 y h_2).
- El intervalo entre estos dos valores extremos implica un incremento dH , al que corresponde un dL .

$$dH = \frac{m \cdot \sqrt{B - H} \cdot (H - a)^{3/2} dL}{(B - H)B_s - \frac{\omega}{2}}$$

- Cada dL calculado en función del dH , hasta llegar a la carga hidráulica final, se suma para obtener la longitud total necesaria.

CÁLCULO DE LA LONGITUD L DEL VERTEDERO LATERAL



- De acuerdo a si la carga hidráulica es creciente o decreciente se presentan dos casos, que corresponden al régimen de escurrimiento de la canalización, siempre se comienza el cálculo desde la carga hidráulica mayor hacia la menor.
- Si el **RÉGIMEN ES TORRENCIAL** la carga hidráulica es **decreciente** en el sentido del escurrimiento, por lo tanto, el cálculo se comienza desde aguas arriba con el caudal total Q_1 , y se continúa hasta que quede el caudal restante necesario sea Q_2 .
- Al final del vertedero la altura que queda determina el régimen que sigue, que puede ser torrente peraltado o deprimido.
- Si el **RÉGIMEN ES RÍO** la carga hidráulica es **creciente** en el sentido del escurrimiento, y por lo tanto, se comienza el cálculo desde aguas abajo, es decir, por el caudal Q_2 .

CÁLCULO DEL CAUDAL Q DEL VERTEDERO LATERAL



- Cuando el **RÉGIMEN ES DE TORRENTE** se dan los valores de ΔL desde aguas arriba para determinar el caudal del vertedero lateral, hasta cubrir la longitud total del vertedero lateral.
- El caudal total Q se obtiene haciendo la sumatoria de los ΔQ que corresponden a cada ΔL .

$$dQ = m \cdot h \cdot dL \sqrt{2gh} = m(H - a)^{3/2} \sqrt{2g} \cdot dL$$

- Cuando el Bernoulli aguas abajo del vertedero lateral es menor que el Bernoulli crítico ($B_2 < B_c$), existe un resalto frente o aguas abajo del vertedero, se procede por tanteos dándose caudales iniciales críticos y procediendo como en torrente desde aguas arriba.
- La verificación es que $(B_c - B_2) = \Delta B$, la variación de Bernoulli producida por el resalto.
- Cuando el **RÉGIMEN ES DE RÍO** se dan los valores de ΔL desde aguas abajo para determinar el caudal del vertedero lateral, hasta cubrir la longitud L total del vertedero lateral.
- El caudal total Q se obtiene haciendo la sumatoria de los ΔQ que corresponden a cada ΔL .

VERTEDERO LATERAL





**TEORÍA DE
VERTEDEROS
GRUESOS**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
EJEMPLO**

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
LATERALES**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
DE EJEMPLO**

**ACTIVIDAD
DE CLASE**

Seguimos!



**EJERCICIOS
PRÁCTICOS DE
EJEMPLO**

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

Un canal rectangular de hormigón con un ancho $b = 2.5$ m tiene una pendiente de fondo $i = 0.00075$.

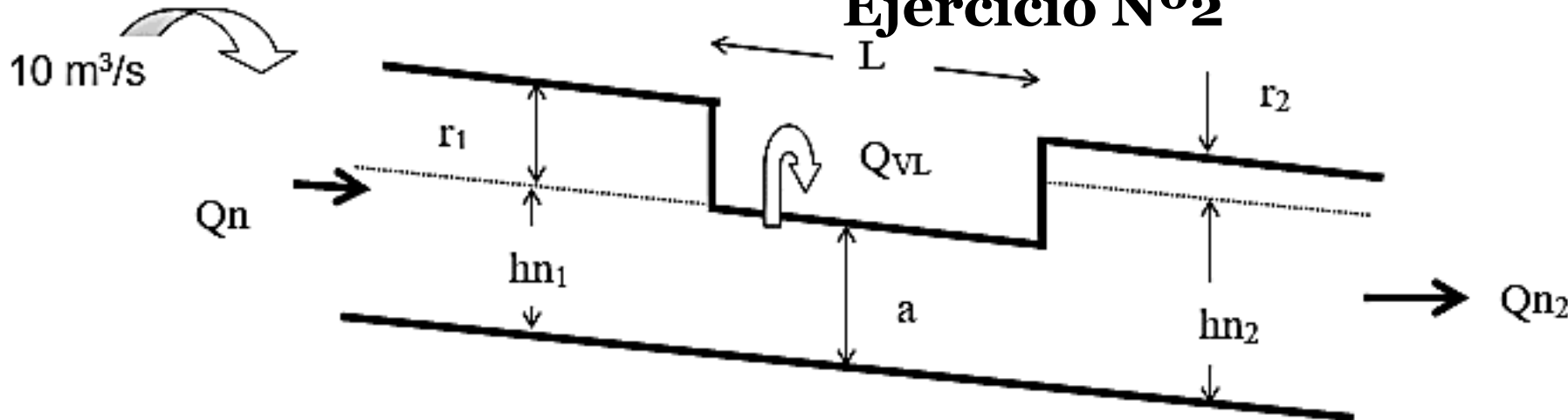
La altura normal de escurrimiento en el mismo es de 1.5 m. La revancha es de 0.35 m.

Existe un aliviadero lateral cuyo perfil transversal es Creager, y cuyo coronamiento tiene la misma pendiente que el fondo del canal, con una altura igual a la altura normal del canal.

Calcular la **longitud** necesaria del vertedero lateral para que puedan captarse en el canal $10 \text{ m}^3/\text{s}$, quedando una revancha de 5 cm en el canal, aguas abajo del aliviadero lateral.

Es necesario calcular las condiciones de escurrimiento aguas arriba del vertedero lateral, para conocer el caudal.

Ejercicio N°2



DATOS

$$h_{n1} = 1.5 \text{ m}$$

$$b = 2.5 \text{ m}$$

$$i = 0.00075$$

$$r_1 = 0.35 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.05 \text{ m}$$

$$n = 0.014$$

CALCULO DE Q PARA h_{n1}

$$Q_{n1} = \omega_{n1} \cdot \frac{R_H^{2/3}}{n} \cdot \sqrt{i} = \frac{b \cdot h_{n1}}{n} \cdot \left(\frac{b \cdot h_{n1}}{b + 2 \cdot h_{n1}} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

$$Q_{n1} = \frac{2.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}}{0.014} \times \left(\frac{2.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}}{2.5 \text{ m} + 2 \times 1.5 \text{ m}} \right)^{2/3} \times \sqrt{0.00075} = 5.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cuando por alguna circunstancia (llámese crecida o cualquier ingreso de caudal) el caudal aumenta por encima de los $5.7 \text{ m}^3/\text{s}$, el excedente de éste vuelca sobre el vertedero lateral, ya que la altura de la barrera es la misma que la altura h_{n1} .

CALCULO DE Q PARA h_{n2}

Aguas abajo del vertedero lateral debe quedar una revancha de 5 cm lo que permite calcular la altura normal de escurrimiento, y por lo tanto el caudal correspondiente a la misma. Además, del régimen de escurrimiento y del valor de la energía aguas abajo B_2 .

$$h_{n_2} = (1.5 + 0.35 - 0.05) \text{ m} = 1.80 \text{ m}$$

$$Q_{n_2} = \omega_{n_2} \cdot \frac{R_H^{2/3}}{n} \cdot \sqrt{i} = \frac{b \cdot h_{n_2}}{n} \cdot \left(\frac{b \cdot h_{n_2}}{b + 2 \cdot h_{n_2}} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

$$Q_{n_2} = \frac{2.5 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}}{0.014} \times \left(\frac{2.5 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}}{2.5 \text{ m} + 2 \times 1.8 \text{ m}} \right)^{2/3} \times \sqrt{0.00075} = 7.2 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$h_{c_2} = \sqrt[3]{\left(\frac{Q_{n_2}}{b} \right)^2 \frac{1}{g}} = \sqrt[3]{\left(\frac{7.2 \text{ m}^3 / \text{s}}{2.5 \text{ m}} \right)^2 \frac{1}{g}} = 0.95 \text{ m}$$

$\Rightarrow h_{n_2} \rangle h_{c_2} \Rightarrow \text{RÉG. RÍO}$

Ejercicio N°2

DATOS

$$h_{n_1} = 1.5 \text{ m}$$

$$b = 2.5 \text{ m}$$

$$i = 0.00075$$

$$r_1 = 0.35 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.05 \text{ m}$$

$$n = 0.014$$

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

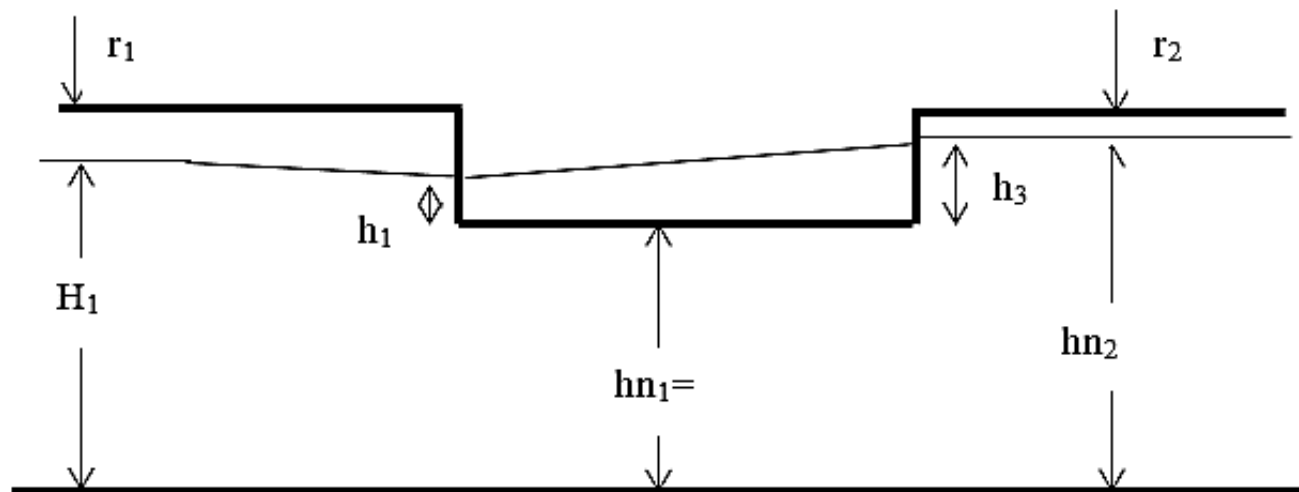
Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

$$U_{n_2} = \frac{Q_{n_2}}{b \cdot h_{n_2}} = \frac{7.2 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}} = 1.6 \text{ m/s}$$

$$B_2 = h_{n_2} + \frac{U_{n_2}^2}{2g} = 1.8 \text{ m} + \frac{1.6^2 \text{ m}^2}{2g \text{ s}^2} = 1.93 \text{ m}$$

Aguas abajo del vertedero lateral el escurrimiento es río, por lo que la carga sobre el mismo es creciente en el sentido del escurrimiento: $dh > 0$ y $dH > 0$, ya que h es la carga hidráulica sobre el vertedero lateral y $H = h + a$



Ejercicio N°2

CALCULO DE B_{c_1}

Si el Bernoulli de río final (B_2) es menor que el Bernoulli crítico del canal de aguas arriba (B_{c_1}) del vertedero, se verificará escurrimiento crítico al comenzar el vertedero seguido de torrente y luego de río a través de un resalto, que puede estar frente o aguas abajo del vertedero lateral.

$$h_{c_1} = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2 \frac{1}{g}} = \sqrt[3]{\left(\frac{10 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m}}\right)^2 \frac{1}{g}} = 1.18 \text{ m}$$

$$U_{c_1} = \frac{Q}{b \times h_{c_1}} = \frac{10 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m} \times 1.18 \text{ m}} = 3.39 \text{ m/s}$$

$$B_{c_1} = h_{c_1} + \frac{U_{c_1}^2}{2g} = 1.18 \text{ m} + \frac{(3.39 \text{ m/s})^2}{2g} = 1.77 \text{ m} \Rightarrow B_{c_1} = 1.77 \text{ m} < B_2 = 1.93 \text{ m}$$

Para este caso el $B_2 = 1,93 \text{ m}$ es mayor que el $B_{c_1} = 1,77 \text{ m}$, no se forma resalto.

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

CALCULO DE H_1

Una de las hipótesis en el cálculo de los vertederos laterales es que $J \cong i$ y si ambos valores son pequeños significa que los Bernoulli permanecen constantes, o sea que; $B_1 = B_2$.

$$B_1 = H_1 + \frac{U_1^2}{2g} = B_2 \Rightarrow B_2 = H_1 + \frac{Q^2}{(b \cdot H_1)^2 \cdot 2g} = 1.93 \text{ m}$$

Ecuación que se resuelve por iteraciones sucesivas de la siguiente manera, para el cálculo de H_1 :

Se trabaja con $Q = 10 \text{ m}^3 / \text{s}$

H_1 (m)	U_1 (m/s)	B_1 (m)
0.50	8.00	3.77
0.70	5.71	2.37
0.90	4.44	1.91
1.10	3.64	1.77
1.30	3.08	1.78
1.50	2.67	1.86
1.60	2.50	1.92
1.62	2.47	1.93

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

CALCULO DE h_1 y h_3

$$h_1 = H_1 - a = 1.62 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 0.12 \text{ m}$$

$$h_3 = hn_2 - a = 1.80 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 0.30 \text{ m}$$

CALCULO DEL CAUDAL DERIVADO POR EL VERTEDERO

$$Q_{VL} = Q - Q_{n_2} = (10 - 7.2) \text{ m}^3/\text{s} = 2.8 \text{ m}^3/\text{s} = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \times (h)^{3/2}$$

CALCULO DE LA LONGITUD DEL VERTEDERO

Conocidas las cargas sobre el mismo, su coeficiente de gasto ($m = 0.4$), y el caudal que es necesario que derive, la única incógnita a calcular es la longitud del vertedero lateral. Para lo cual existen tres criterios.

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

1º CRITERIO SIMPLIFICADO

Puede utilizarse en el caso en que las cargas no sean muy diferentes entre sí, y que consiste en hacer un promedio de las mismas y calcular la longitud de vertedero con ese promedio.

$$Q_{VL} = 2.8 \text{ m}^3/\text{s} = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot (h)^{3/2}$$

$$h = \frac{h_1 + h_3}{2} = \frac{(0.12 + 0.30) \text{ m}}{2} = 0.21 \text{ m}$$

$$L = \frac{Q_{VL}}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot (h)^{3/2}} = \frac{2.8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.4 \cdot \sqrt{2g} \cdot (0.21\text{m})^{3/2}} = 16.42 \text{ m}$$

$$\mathbf{L = 16.42 \text{ m}}$$

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

2º CRITERIO

Se divide el caudal Q en el mismo número de partes en que se divide la longitud.

Por ejemplo: se adopta 6 ΔQ , con cada $\Delta Q = (2.8/6)\text{m}^3/\text{s} = 0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ y con la ecuación de gasto del vertedero lateral se calculan las longitudes parciales y luego se suman.

$$\Delta L = \frac{\Delta Q_{VL}}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_m)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\Delta Q_{VL} = 0.47 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m = 0.40$$

h_m = altura media de cada intervalo

$$L = 18.55 \text{ m}$$

h_i (m)	h_f (m)	h_m (m)	L_i (m)
0.30	0.27	0.285	1.732
0.27	0.24	0.255	2.046
0.24	0.21	0.225	2.469
0.21	0.18	0.195	3.060
0.18	0.15	0.165	3.932
0.15	0.12	0.135	5.313
LONGITUD TOTAL			18.553

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

3° CRITERIO

Se usa la fórmula diferencial de la carga sobre el vertedero dividiendo en varias partes el intervalo de cargas. Se usa la ecuación siguiente:

$$\Delta L = \frac{\left[B_s \times (B - H) - \frac{\omega}{2} \right] \times \Delta H}{m \times (B - H)^{1/2} \times (H - a)^{3/2}}$$

m es el coeficiente de gasto del vertedero lateral.

B es el Bernoulli aguas abajo (B_2).

H es la altura de agua en el vertedero lateral, o sea, $H = h + a$

a es la altura del vertedero lateral = 1.5 m

B_s es el ancho superficial del canal.

ω sección transversal $\omega = B_s \cdot H$

L es la longitud del vertedero lateral.

Ejercicio N°1

Ejercicio N°2

Ejercicio N°3

Ejercicio N°4

Ejercicio N°2

h (m)	H=h+a (m)	B ₂ (m)	B _s (m)	w=B _s x H (m ²)	(B-H) (m)	(H-a) (m)	ΔH (m)	ΔL (m)
0.30	1.8	1.93	2.50	4.50	0.13	0.30	0	0.000
0.27	1.77	1.93	2.50	4.43	0.16	0.27	-0.03	2.422
0.24	1.74	1.93	2.50	4.35	0.19	0.24	-0.03	2.488
0.21	1.71	1.93	2.50	4.28	0.22	0.21	-0.03	2.638
0.18	1.68	1.93	2.50	4.20	0.25	0.18	-0.03	2.897
0.15	1.65	1.93	2.50	4.13	0.28	0.15	-0.03	3.324
0.12	1.62	1.93	2.50	4.05	0.31	0.12	-0.03	4.051
LONGITUD TOTAL								17.820

L = 17.820 m

h (m)	H=h+a (m)	B ₂ (m)	B _s (m)	w=B _s x H (m ²)	(B-H) (m)	(H-a) (m)	ΔH (m)	ΔL (m)
0.30	1.8	1.93	2.50	4.50	0.13	0.30	0	0.000
0.24	1.74	1.93	2.50	4.35	0.19	0.24	-0.06	4.976
0.18	1.68	1.93	2.50	4.20	0.25	0.18	-0.06	5.794
0.12	1.62	1.93	2.50	4.05	0.31	0.12	-0.06	8.101
LONGITUD TOTAL								18.871

L = 18.871 m

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
GRUESOS**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
EJEMPLO**

**TEORÍA DE
VERTEDEROS
LATERALES**

**EJERCICIOS
PRÁCTICOS
DE EJEMPLO**

**ACTIVIDAD
DE CLASE**

Seguimos!



ACTIVIDAD DE
CLASE



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

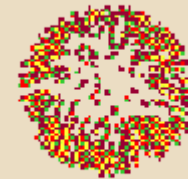
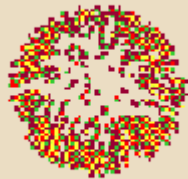


**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
Facultad de Ingeniería



***MUCHAS GRACIAS POR SU
ATENCIÓN
FIN***



Expositor: Andrés Facundo Correas

Ing. Civil