



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS “HIDRÁULICA GENERAL”

TRABAJO PRÁCTICO N°8: VERTEDEROS

**MATERIAL PREPARADO POR:
ING. PATRICIA S. INFANTE, PROF. ADJUNTO
ING. ALEJANDRA PUNTA, AYUD. DE PRIMERA**

AÑO: 2002

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 2 DE 28.

VERTEDERO EN PARED DELGADA.

Condiciones de vertedero perfecto.

1. Vertedero en pared delgada: $e < 0.5h$.
2. Contracción de fondo completa: $H = h + a > 4h$.
3. Contracción lateral nula: $B = b$.
4. Velocidad de llegada nula ó $U < 0.3 \text{ m/seg}$.
5. Umbral horizontal y perpendicular a la corriente, paramento vertical.
6. Lámina libre (caída libre).

La ecuación de gasto es la siguiente:

$$Q = C_I \times m_{VP} \times b \times h \sqrt{2gh}$$

El coeficiente de gasto m_{VP} según los distintos autores tiene los siguientes valores:

BOUSSINESQ $\Rightarrow m_{VP} = 0.4232 \therefore h > 0.15 \text{ m}$

CIPOLLETTI $\Rightarrow m_{VP} = 0.42$

BAZIN $\Rightarrow m_{VP} = \left(0.405 + \frac{0.003}{h} \right) \therefore 0.1 \text{ m} < h < 0.6 \text{ m}$

AICHEL $\Rightarrow m_{VP} = \left(0.4107 + \frac{0.00033}{h - 0.0003} \right)$

KING $\Rightarrow m_{VP} = 0.4165 \times h^{-0.03}$

FRESE $\Rightarrow m_{VP} = 0.41 + \frac{0.0014}{h} \therefore 0.1 \text{ m} < h < 0.6 \text{ m}$

y $\therefore b > h$

Coeficientes de corrección de las condiciones que no se verifican.

Coeficiente de Francis. Aplicable cuando no se cumple contracción lateral nula.

$$C_3 = \left(1 - 0.1 \times N \times \frac{h}{b} \right)$$

N: es el número de contracciones laterales.

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

b: es el ancho del vertedero en (m).

Hay contracción completa cuando: $(B-b)/2 \geq 2h$

Coeficiente C_{34} : Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción lateral nula y velocidad de llegada nula.

$$C_{34} = \left(1 - 0.1 \times N \times \frac{h}{b} \right) \left[\left(h + \frac{U^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{U^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

N: es el número de contracciones laterales.

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

b: es el ancho del vertedero en (m).

U: es la velocidad de llegada en (m/s).

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 3 DE 28.

Coefficiente de Bazin: Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción fondo completa y velocidad de llegada nula.

$$C_{24} = 1 + 0.55 \frac{h^2}{(h+a)^2}$$

h: es la carga hidráulica en el vertedero en (m).
a: es la altura de la barrera del vertedero en (m).

Aplicable cuando no se cumple la condición velocidad de llegada nula.

$$m_{VP} \times C_4 = 0.434 + 0.21 \times \left(\frac{h}{h+a} \right)^2$$

h: es la carga hidráulica en el vertedero en (m).
a: es la altura de la barrera del vertedero en (m).

Coefficiente de Hégly: Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción fondo completa, contracción lateral nula y velocidad de llegada nula.

$$C_{234} \times m_{VP} = \left[0.405 + \frac{0.0027}{h} - 0.03 \left(\frac{B-b}{B} \right) \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{b}{B} \right)^2 \left(\frac{h^2}{(h+a)^2} \right) \right]$$

h: es la carga hidráulica sobre el vertedero en (m). $0.1m \leq h \leq 0.6m$
B: es el ancho de la canalización en (m). $(B-b)/B < 0.9$
b: es el ancho del vertedero en (m). $0.4m \leq b \leq 1.8m$
a: es la altura de la barrera del vertedero en (m). $0.4m \leq a \leq 0.8m$

Coefficiente de Boussinesq: Aplicable cuando no se cumple la condición de pared vertical.

$$C_5 = 1 + 0.39 \left(\frac{\varphi}{180^\circ} \right)$$

φ: es el ángulo del paramento con la vertical.
φ>0 para inclinación desde la vertical hacia aguas abajo.
φ<0 para inclinación desde la vertical hacia aguas arriba

Coefficiente de Boileau: Aplicable cuando no se cumple la condición de vertedero perpendicular a la corriente.

$$C_5 = 0.8 + 0.2 \times \sin \alpha$$

α: ángulo que forma el paramento del vertedero con la dirección del flujo, es siempre menor que 90°. Para α=90°, C₅=1.

Coefficiente de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos: Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción de fondo completa y velocidad de llegada nula.

$$m \times C_{24} = 0.41 \times \left[1 + \frac{1}{1000h + 1.6} \right] \times \left[1 + 0.5 \left(\frac{h}{h+a} \right)^2 \right]$$

h: es la carga hidráulica sobre el vertedero en (m). $0.025m \leq h \leq 0.8m$
a: es la altura de la barrera del vertedero en (m). $a \geq 0.3m$ y $h/a \leq 1$

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 4 DE 28.

Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción fondo completa, contracción lateral nula y velocidad de llegada nula.

$$C_{234} \times m_{VP} = \frac{2}{3} \times \left[0.578 + 0.037 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 \left(\frac{b}{B} \right)^2}{1000h + 1.6} \right] \times \left[1 + \left(0.5 \times \left(\frac{b}{B} \right)^4 \times \left(\frac{h}{h+a} \right)^2 \right) \right]$$

h: es la carga hidráulica sobre el vertedero en (m). $0.025(B/b)m \leq h \leq 0.8m$ y $h \leq a$
 B: es el ancho de la canalización en (m).
 b: es el ancho del vertedero en (m). $b > 0.3B$
 a: es la altura de la barrera del vertedero en (m). $a \geq 0.3m$

Coefficiente de Rehbock: Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción de fondo completa y velocidad de llegada nula.

$$m \times C_{24} = \frac{2}{3} \times \left[0.6035 + 0.0813 \left(\frac{h}{a} \right) + \frac{0.00009}{a} \right] \times \left[1 + \frac{0.0011}{h} \right]^{3/2}$$

h: es la carga hidráulica sobre el vertedero en (m).
 a: es la altura de la barrera del vertedero en (m).

Coefficiente de Frese: Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción fondo completa, contracción lateral nula y velocidad de llegada nula.

$$C_{234} \times m_{VP} = \frac{2}{3} \times \left[0.5755 + \left(\frac{0.017}{h+0.18} \right) - \left(\frac{0.075}{b+1.2} \right) \right] \times \left[1 + \left(0.25 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + 0.025 + \frac{0.0375}{\left(\frac{h}{h+a} \right)^2 + 0.02} \right) \times \left(\frac{h}{h+a} \right)^2 \right]$$

h: es la carga hidráulica sobre el vertedero en (m). $0.1m \leq h \leq 0.6m$
 B: es el ancho de la canalización en (m).
 b: es el ancho del vertedero en (m).
 a: es la altura de la barrera del vertedero en (m).

Coefficiente de Weisbach: Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción lateral nula, contracción de fondo completa y velocidad de llegada nula.

$$C_{234} = 1 + 1.718 \times \left(\frac{h \times b}{(h+a) \times B} \right)^4$$

B: ancho del canal en (m).
 b: ancho del vertedero en (m).
 h: carga hidráulica del vertedero en (m).
 a: altura de la barrera del vertedero en (m)

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 5 DE 28.

Aplicable cuando no se cumplen las condiciones de contracción de fondo completa y velocidad de llegada nula.

$$C_{24} = 1 + 0.36 \times \left(\frac{h}{(h+a)} \right)^2$$

h: carga hidráulica del vertedero en (m).

a: altura de la barrera del vertedero en (m).

VERTEDERO EN PARED GRUESA.

1. Vertedero en pared gruesa: $e \geq 3h$.
2. Contracción de fondo completa: cuando $a/h_c \geq 3.5$.
3. Contracción lateral nula: $B=b$.
4. Velocidad de llegada nula ó $U < 0.3 \text{ m/seg}$.
5. Umbral horizontal y perpendicular a la corriente, paramento vertical.
6. Lámina libre (caída libre).

La ecuación de gasto es la siguiente:

$$Q = m_{PG} \times b \times h \sqrt{2gh}$$

$$m_{PG} = \frac{1}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{\sum \lambda}{2} \right)^{3/2}} \Rightarrow \sum \lambda = \lambda_e + \lambda_f$$

Factor de resistencia por frotamiento λ_f : Se calcula con la siguiente ecuación:

Factor de resistencia por embocadura λ_e : Depende de la forma de la arista del vertedero, si la arista es redondeada $\lambda_e=0$.

Si la arista no es redondeada, es necesario verificar si se cumple o no la condición de contracción de fondo completa. Si no se cumple ($a/h_c < 3.5$), el valor de λ_e se obtiene de la tabla siguiente:

a/h_c	>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).

Mientras que si se cumple la contracción de fondo completa, o sea que $a/h_c \geq 3.5$, el coeficiente de gasto n se obtiene de la tabla siguiente:

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

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO Nº 8 VERTEDEROS	HOJA Nº 6 DE 28.

Coefficiente de gasto cuando hay velocidad de llegada.

Para...arista...redondeada $\therefore \lambda_e = 0$

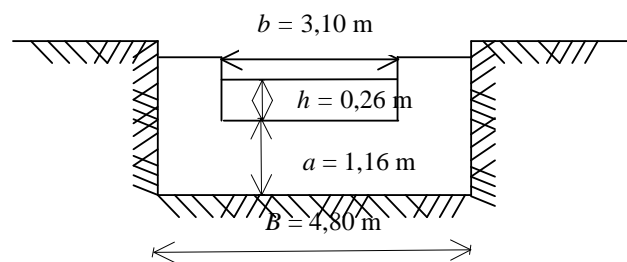
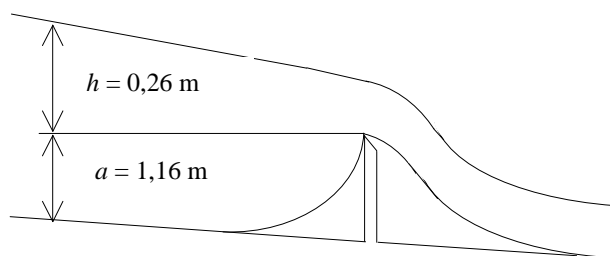
$$m_{PG} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+a}\right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + 0.004 \times n\right)^{3/2}}$$

Para...arista...viva... (s/ tabla) $\lambda_e \neq 0$

$$m_{PG} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+a}\right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda_e + 0.008 \times n}{2}\right)^{3/2}}$$

EJERCICIO Nº1

Un vertedero rectangular de pared delgada tiene un ancho de 310 cm y está situado a 116 cm sobre el fondo del canal. Si el canal tiene un ancho de 480 cm ¿Cuál es la cantidad de agua que descarga, si la carga es de 26 cm y la napa es libre? En las siguientes figuras se representan esquemas del vertedero. Aguas abajo del vertedero la altura normal es de 1,17m.



$$Q = C_i \times m \times b \times h \sqrt{2gh}$$

CONDICIONES DE VERTEDERO PERFECTO

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared delgada, $e \leq 0,5 h$	Sí cumple (por enunciado)
2 – Contracción de fondo completa, $H = a + h > 4h$	$a + h = (1,16 + 0,26) = 1,42 \text{ m}$ $4h = 4 \times 0,26 \text{ m} = 1,04 \text{ m}$ Sí cumple
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	No cumple
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3 \text{ m/s}$	Se verifica posteriormente.
5 – Umbral horizontal	Sí cumple
6 – Pared vertical	Sí cumple
7 – Caída libre	Sí cumple (por enunciado)

La condición de velocidad de llegada nula se verifica después de calcular el caudal.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 7 DE 28.

CONTRACCIÓN LATERAL NULA

Como no cumple la condición de contracción lateral nula utilizamos la ecuación de Francis, donde C se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_c = 1 - 0,1 \times 2 \times \frac{h}{b}$$

Esta expresión es válida si la contracción lateral es perfecta, es decir si se cumple que a cada lado se cumple que $(B-b)/2$ es mayor de $3h$ y B es mayor de $9h$ ⁽¹⁾.

Por lo tanto, reemplazando con los datos del enunciado

$$C_c = 1 - 0,1 \times 2 \times \frac{0,26m}{3,10m} = 0,98$$

$$Q = C_c \times m \times b \times h \sqrt{2gh}$$

Reemplazando

$$Q = 0,98 \times 0,42 \times 3,10m \times 0,26m \times \sqrt{2 \times g \times 0,26} = 0,75m^3 / s$$

$$Q = 0,75 m^3/s$$

Verificación de la Velocidad de Llegada

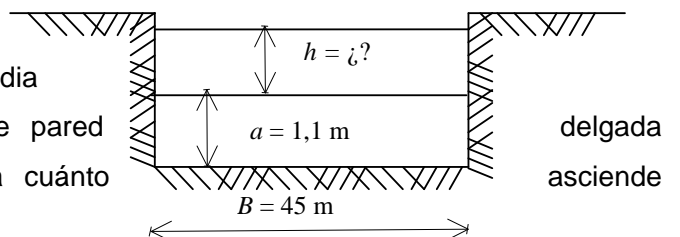
$$U = \frac{Q}{B \times H} = \frac{0,75m^3 / s}{4,8m \times (1,16 + 0,26)m} = 0,11m / s < 0,3m / s$$

Cumple la condición de velocidad de llegada nula, por lo tanto el caudal es de

Q=0.75m³/seg.

EJERCICIO N° 2

Un canal rectangular de 45 m de ancho lleva agua con un tirante de 1,20 m y una velocidad media de 0,660m/s. ¿Si se coloca un vertedero de pared transversal al canal de 1,10 m de altura, a cuánto la carga del vertedero ($h=?$), si la lámina es libre?.



CONDICIONES DE VERTEDERO PERFECTO.

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared delgada, $e \leq 0,5 h$	Sí cumple (por enunciado)
2 – Contracción de fondo completa, $H = a + h > 4h$	Se verifica posteriormente
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	Sí cumple

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 8 DE 28.

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	$U=0.66$ m/s. No se cumple.
5 – Umbral horizontal - Pared vertical	Sí cumple
6 – Caída libre	Sí cumple (por enunciado)

Determinación del caudal

$$Q = \omega \times U$$

$$Q = (45 \times 1,20) \text{ m}^2 \times 0,66 \text{ m/s} = 35,64 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Cálculo de la carga

Considerando que el vertedero no cumple la condición de velocidad de llegada nula, se corrige el coeficiente m_{VP} , para lo cual a la carga h se le suma la altura de velocidad.

$$Q = C_i \times m \times b \times \left(h + \frac{U^2}{2g} \right) \sqrt{2g \left(h + \frac{U^2}{2g} \right)} = C_i \times m \times b \times \left(h + \frac{U^2}{2g} \right)^{3/2} \sqrt{2g}$$

$$\left(h + \frac{U^2}{2g} \right)^{3/2} = \frac{Q}{C_i \times m \times b \times \sqrt{2g}} \Rightarrow \left(h + \frac{U^2}{2g} \right) = \left(\frac{Q}{C_i \times m \times b \times \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

$$h = \left(\frac{Q}{C_i \times m \times b \times \sqrt{2g}} \right)^{2/3} - \frac{U^2}{2g} = \left(\frac{35,64 \text{ m}^3 / \text{s}}{1 \times 0,42 \times 45 \text{ m} \times \sqrt{2g}} \right)^{2/3} - \frac{(0,66 \text{ m/s})^2}{2g} = 0,544 \text{ m}$$

Verificación de contracción de fondo completa y perfecta

$$a + h > 4h$$

$$1,1 \text{ m} + 0,544 \text{ m} = 1,644 \text{ m} < 4h = 4 \times 0,544 \text{ m} = 2,176 \text{ m}$$

No cumple esta condición, por lo tanto se debe corregir con un coeficiente C_{24} .

Recálculo de h : Utilizando la expresión de Bazin del C_{24} .

$$C = 1 + 0,55 \frac{h^2}{(h+a)^2}$$

$$Q = C_{24} \times m_{VP} \times b \times h \times \sqrt{2gh} = \left(\left[1 + 0,55 \left(\frac{h^2}{(h+a)^2} \right) \right] \right) \times m_{VP} \times b \times h \times \sqrt{2gh}$$

Se itera el valor de la carga "h" hasta verificar el caudal erogado.

h (m)	C₂₄	Q (m ³ /s)
0.3	1.03	14.10
0.4	1.04	22.01

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 9 DE 28.

h	C₂₄	Q
0.5	1.05	31.19
0.52	1.06	33.17
0.53	1.06	34.18
0.54	1.06	35.20
0.544	1.06	35.61
0.55	1.06	36.23

Entonces la carga es

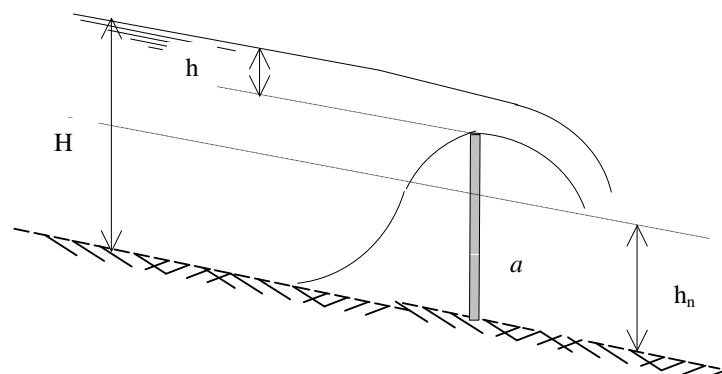
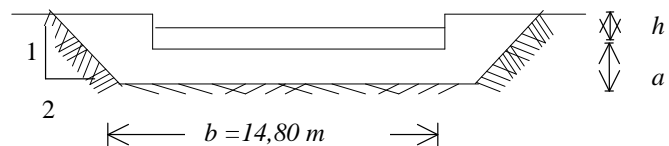
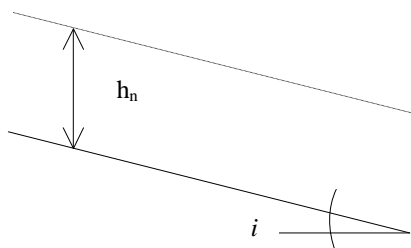
h = 0,544m

EJERCICIO N°3

En un canal de tierra, con $i = 0,00058 = 0,058\%$, con taludes 2H: 1V y escurrimiento normal de 1,26 m debe elevarse el pelo de agua hasta 2,50 m. El ancho inferior es de 14,80 m, y es el ancho del sacado rectangular del vertedero a colocar.

- Calcular la altura de umbral de un vertedero para lograr dicho propósito.
- Considerar el canal sin vegetación y sin mantenimiento ($n=0.025$).

Se diseñará un vertedero de sacado rectangular cuya longitud es del ancho del fondo de la sección.



$$H = 2,50 \text{ m} \quad h_n = 1,26 \text{ m}$$

Para vertedero

$$Q = C_i \times m \times b \times h \sqrt{2gh}$$

Cálculo del caudal

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N°8 VERTEDEROS	HOJA N° 10 DE 28.

Se calcula el caudal con el tirante de escurrimiento normal, la pendiente de fondo y la sección transversal.

$$Q = U \times \omega = \frac{R_H^{2/3}}{n} \times i^{1/2} \times \omega \quad n = 0,025 \text{ para tierra sin vegetación} \quad R_H = \frac{\omega}{\chi}$$

$$\omega = (b + b + 4h_n) \frac{h_n}{2} = (2b + 4h_n) \frac{h_n}{2} = (b + 2h_n) h_n$$

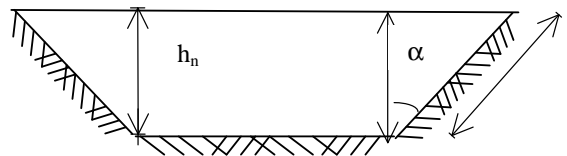
$$\omega = (14,80\text{m} + 2 \times 1,26\text{m}) \times 1,26\text{m} = 21,82\text{m}^2$$

$$\chi = b + 2\sqrt{(2h_n)^2 + h_n^2} = b + 2h_n\sqrt{5}$$

$$\chi = b + 2 \times h_n \times \sqrt{5} = 14,80\text{m} + 2 \times 1,26\text{m} \times \sqrt{5} = 20,43\text{m}$$

$$R_H = \frac{21,82\text{m}^2}{20,43\text{m}} = 1,07\text{m}$$

$$Q = 1,07^{2/3} \times \frac{0,00058^{1/2}}{0,025} \times 21,82\text{m}^2 = 21,96 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow U = 1,01\text{m} / \text{seg.}$$



CONDICIONES DE VERTEDERO PERFECTO.

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared delgada, $e \leq 0,5 h$	Sí cumple (por construcción)
2 – Contracción de fondo completa, $H=a + h > 4h$	Suponemos que no se cumple.
3 – Contracción lateral nula, $b= B$	No cumple; $b \neq B$.
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3 \text{ m/s}$	$U=1,01\text{m/s}$. No se cumple.
5 – Umbral horizontal. Pared vertical	Sí cumple
6 – Caída libre	Sí cumple.

Para el coeficiente de corrección C_{234} se utiliza la fórmula de Hégly, que corrige por contracción lateral, por contracción de fondo y velocidad de llegada.

Cálculo de h

$$C_{234} \times m_{VP} = \left(0,405 - 0,030 \left(\frac{B-b}{B} \right) + \frac{0,0027}{h} \right) \left(1 + 0,55 \left(\frac{b^2}{B^2} \right) \left(\frac{h^2}{(h+a)^2} \right) \right)$$

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 11 DE 28.

$$Q = C_{234} \times m_{VP} \times b \times h \sqrt{2gh}$$

$$b = 14.80\text{m} \Rightarrow B = b + 4H = (14.8 + 4 \times 2.5)\text{m} = 24.8\text{m}$$

$$H = h + a = 2.5\text{m} \Rightarrow a = ? \Rightarrow h = ?$$

$$Q = \left(0,405 - 0,030 \left(\frac{B-b}{B} \right) + \frac{0,0027}{h} \right) \left(1 + 0,55 \left(\frac{b^2}{B^2} \right) \left(\frac{h^2}{(h+a)^2} \right) \right) \times b \times h \sqrt{2gh}$$

$$21.96\text{m}^3/\text{s} = \left(0,405 - 0,030 \left(\frac{24.8 - 14.8}{24.8} \right) + \frac{0,0027}{h} \right) \left(1 + 0,55 \left(\frac{14.8^2}{24.8^2} \right) \left(\frac{h^2}{(2.5)^2} \right) \right) \times 14.8\text{m} \times h \sqrt{2gh}$$

El cálculo se realiza por aproximaciones sucesivas, hasta encontrar la carga h que provoque un caudal de $21,96 \text{ m}^3/\text{s}$. Y luego la altura de la barrera se calcula como: $a = H - h = 2.5\text{m} - h$.

h (m)	$C_{234} * m_{VP}$	Q (m³/s)
0.7	0.40	15.47
0.75	0.40	17.18
0.8	0.40	18.96
0.85	0.41	20.81
0.88	0.41	21.95
0.9	0.41	22.72

Adoptamos: $h = 0.88 \text{ m}$

$$a = 2.50 \text{ m} - 0.88 \text{ m} = 1.62 \text{ m}$$

Verificación de contracción de fondo completa y perfecta

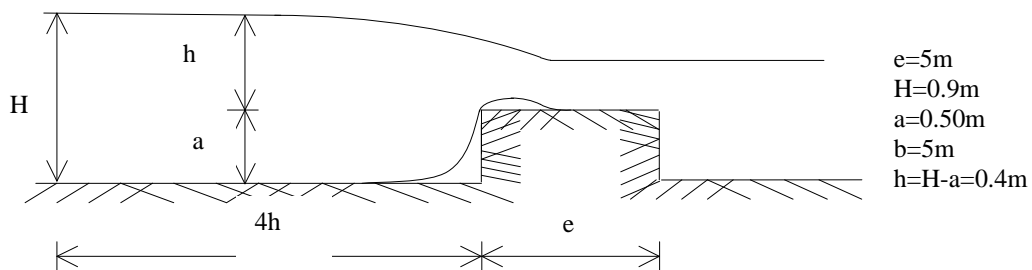
$$H = a + h = 2,50 \text{ m} < 4 h = 3,52 \text{ m}$$

No cumple la condición, por lo que el supuesto es correcto.

Carga hidráulica $h=0.88\text{m}$ y altura del umbral $a= 1.62\text{m}$

EJERCICIO N°4

Se quiere construir un vertedero de ancho igual al del canal, de 5 m de espesor y aristas vivas. La altura total de agua es de 0,90 m (H) y la altura del vertedero es de 50 cm (a). El ancho total del canal es de 5m (B). Determinar el caudal que vierte por el mencionado vertedero.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 12 DE 28.

$$Q = m_{PG} \times b \times h \sqrt{2gh}$$

CONDICIONES	VERIFICACIÓN	CUMPLIMIENTO
1 – Pared gruesa, $e \geq 3 h$	$e = 5m \geq 3 h = 1.2m$	Sí cumple.
2 – Contracción de fondo completa, $a/h_c \geq 3.5$	No se puede verificar sin Q.	Suponemos que no se cumple y luego se verifica
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	$B = b$	Sí cumple.
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	Se necesita Q para verificación.	Suponemos que no se cumple y luego se verifica
5 – Umbral horizontal. Pared vertical		Sí cumple
6 – Caída libre		Sí cumple.

No se cumplen las segunda y cuarta condición, de modo que se usa la fórmula siguiente:

$$m_{PG} = \frac{1 + \frac{0.26 \times h^2}{(h+a)^2}}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda_e + 0.008n}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

λ_e representa las pérdidas por embocadura, en este caso las aristas son vivas, de modo que el valor se extrae de la tabla ya transcrita interpolando entre los siguientes valores:

$$\frac{a}{h} = \frac{0.50m}{0.4m} = 1.25 \dots \Rightarrow \frac{a}{h} = 1.48 \dots y \dots \frac{a}{h} = 1.19 \Rightarrow \lambda_e = 0.29$$

No se incluye la primera fila de a/h_c , ya que ésta última aún no se puede calcular.

El valor de n se calcula como $n = e/h_c$.

$$Q = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{0.4m}{0.90m} \right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{0.29 + 0.008 \times 5m/h_c}{2} \right)^{\frac{3}{2}}} \times 5m \times 0.4m \times \sqrt{2g \times 0.4m} \Rightarrow h_c = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{5m} \right)^2 \frac{1}{g}}$$

Para resolver la ecuación anterior se usa el método de las iteraciones sucesivas, ya que la h_c que está en la fórmula del caudal, necesita el mismo caudal para ser resuelta. Entonces se supone un caudal inicial y se calcula la h_c , con la cual se calcula n , m , y luego se verifica el caudal Q . La tabla siguiente resume los cálculos realizados.

Q_i (m ³ /s)	h_c (m)	n	m_{PG}	Q_f (m ³ /s)
0.5	0.10	49.68	0.30	1.66
1.66	0.22	22.32	0.33	1.82

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 13 DE 28.

Q_i (m ³ /s)	h_c (m)	n	m_{PG}	Q_f (m ³ /s)
1.82	0.24	21.00	0.33	1.83
1.83	0.24	20.92	0.33	1.83
1.83	0.24	20.92	0.33	1.83

Verificación de la velocidad de llegada

$$U = \frac{Q}{b \times h} = \frac{1.83 \text{ m}^3 / \text{s}}{5 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}} = 0.41 \text{ m/s} < 0.3 \text{ m/seg.}$$

No se cumple velocidad de llegada nula, como se supuso al principio.

Verificación de la contracción de fondo completa.

$$\frac{a}{h_c} = \frac{0.5 \text{ m}}{0.24 \text{ m}} = 2.08 < 3.5 \Rightarrow \text{Noverifica.}$$

La interpolación realizada es la correcta y el caudal calculado también. De modo que:

$$Q = 1.83 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

EJERCICIO N°5

Se va a construir, en el tramo recto de un arroyo de 4 m de ancho (B), un vertedero para realizar aforos. El mismo será de pared gruesa con una longitud total igual al ancho del arroyo, con un umbral de 0.50m de altura (a) desde el fondo del canal y de 3m de ancho (e). Además tendrá el borde de aguas arriba redondeado. Se desea determinar la gráfica que relaciona caudales contra carga para ser proporcionada al aforador que efectuará las mediciones (curva de gasto). La altura total del arroyo es de 1.5m, lo que constituye la carga máxima sobre el vertedero grueso.

CONDICIONES	VERIFICACIÓN	CUMPLIMIENTO
1 – Pared gruesa, $e \geq 3 h$	$e = 3m = 3 (1.5 - 0.5) = 3m$	Sí cumple.
2 – Contracción de fondo completa, $a/h_c \geq 3.5$	No se puede verificar sin Q.	Suponemos que no se cumple y luego se verifica
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	$B = b$	Sí cumple.
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	Se necesita Q para verificación.	Suponemos que no se cumple y luego se verifica
5 – Umbral horizontal. Pared vertical		Sí cumple
6 – Caída libre		Sí cumple.

La ecuación de gasto es la siguiente, en función de las condiciones anteriores:

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 14 DE 28.

$$Q = m_{PG} \times b \times h \times \sqrt{2gh}$$

$$m_{PG} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda_e + 0.008n}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q = \frac{1 + 0.26 \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{0 + 0.008 \times 3m/h_c}{2} \right)^{\frac{3}{2}}} \times 4m \times h \times \sqrt{2g \times h} \Rightarrow h_c = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b} \right)^2 \frac{1}{g}}$$

En este caso λ_e es igual a cero por tener el vertedero aristas redondeadas.

El cálculo, al igual que en el ejercicio anterior es iterativo. Los valores se resumen en la siguiente tabla:

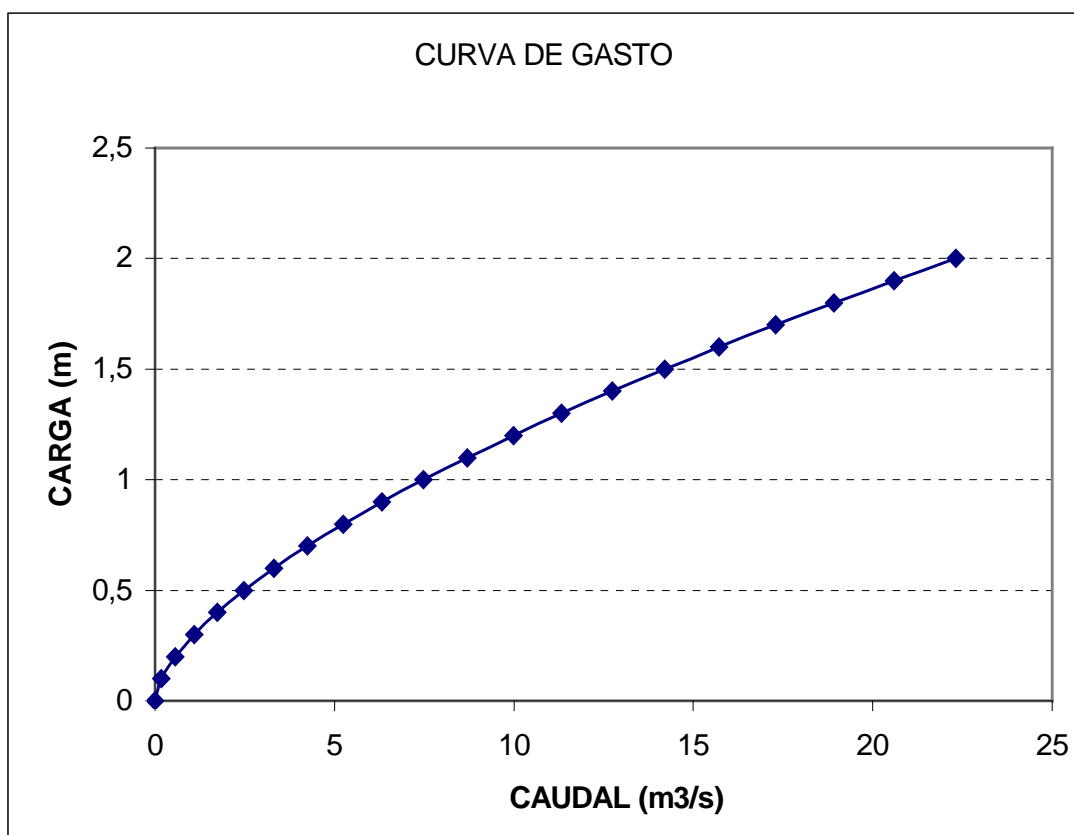
h(m)	Qi (m³/s)	hc (m)	n	m _{PG}	Qf (m³/s)
0.1	0.5	0.12	25.69	0.35	0.20
0.1	0.2	0.06	47.32	0.32	0.18
0.1	0.18	0.06	50.76	0.32	0.18
0.2	0.18	0.06	50.76	0.32	0.51
0.2	0.51	0.12	25.35	0.36	0.56
0.2	0.56	0.13	23.82	0.36	0.57
0.2	0.57	0.13	23.54	0.36	0.57
0.3	0.57	0.13	23.54	0.36	1.06
0.3	1.06	0.19	15.57	0.38	1.09
0.3	1.09	0.20	15.28	0.38	1.09
0.4	1.09	0.20	15.28	0.38	1.71
0.4	1.71	0.27	11.32	0.39	1.73
0.4	1.73	0.27	11.23	0.39	1.74
0.4	1.74	0.27	11.19	0.39	1.74
0.5	1.74	0.27	11.19	0.39	2.46
0.5	2.46	0.34	8.88	0.40	2.48
0.5	2.48	0.34	8.83	0.40	2.48
0.6	2.48	0.34	8.83	0.40	3.30

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N°8 VERTEDEROS	HOJA N° 15 DE 28.

h(m)	Qi (m³/s)	hc (m)	n	m_{PG}	Qf (m³/s)
0.6	3.3	0.41	7.30	0.40	3.32
0.6	3.32	0.41	7.27	0.40	3.32
0.7	3.32	0.41	7.27	0.41	4.22
0.7	4.22	0.48	6.20	0.41	4.24
0.7	4.24	0.49	6.18	0.41	4.24
0.8	4.24	0.49	6.18	0.41	5.23
0.8	5.23	0.56	5.37	0.41	5.25
0.8	5.25	0.56	5.36	0.41	5.25
0.9	5.25	0.56	5.36	0.42	6.31
0.9	6.31	0.63	4.74	0.42	6.33
0.9	6.33	0.63	4.73	0.42	6.33
1	6.33	0.63	4.73	0.42	7.47
1	7.47	0.71	4.23	0.42	7.48
1	7.48	0.71	4.23	0.42	7.48
1.1	7.48	0.71	4.23	0.42	8.69
1.1	8.69	0.78	3.83	0.43	8.70
1.1	8.7	0.78	3.83	0.43	8.70
1.2	8.7	0.78	3.83	0.43	9.97
1.2	9.97	0.86	3.49	0.43	9.99
1.2	9.99	0.86	3.49	0.43	9.99
1.3	9.99	0.86	3.49	0.43	11.32
1.3	11.32	0.93	3.21	0.43	11.33
1.3	11.33	0.94	3.21	0.43	11.33
1.4	11.33	0.94	3.21	0.43	12.73
1.4	12.73	1.01	2.97	0.43	12.74
1.4	12.74	1.01	2.97	0.43	12.74
1.5	12.74	1.01	2.97	0.44	14.19
1.5	14.19	1.09	2.76	0.44	14.20
1.5	14.2	1.09	2.76	0.44	14.20
1.6	14.2	1.09	2.76	0.44	15.71
1.6	15.71	1.16	2.58	0.44	15.72

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N°8 VERTEDEROS	HOJA N° 16 DE 28.

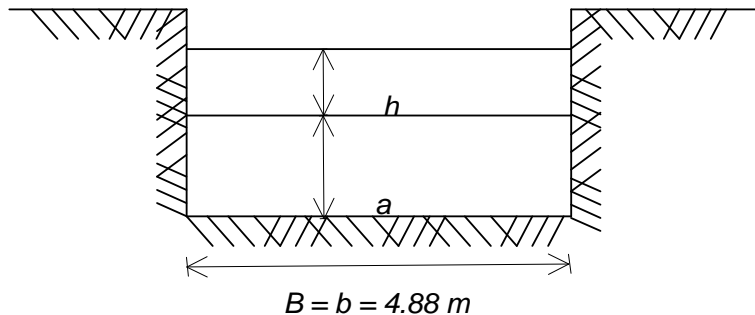
h(m)	Qi (m³/s)	hc (m)	n	m _{PG}	Qf (m³/s)
1.6	15.72	1.16	2.58	0.44	15.72
1.7	15.72	1.16	2.58	0.44	17.28
1.7	17.28	1.24	2.42	0.44	17.29
1.7	17.29	1.24	2.42	0.44	17.29
1.8	17.29	1.24	2.42	0.44	18.91
1.8	18.91	1.32	2.28	0.44	18.92
1.8	18.92	1.32	2.28	0.44	18.92
1.9	18.92	1.32	2.28	0.44	20.58
1.9	20.58	1.39	2.15	0.44	20.59
1.9	20.59	1.39	2.15	0.44	20.59
2	20.59	1.39	2.15	0.45	22.31
2	22.31	1.47	2.04	0.45	22.32
2	22.32	1.47	2.04	0.45	22.32



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 17 DE 28.

EJERCICIO N°6

Calcular la altura del umbral horizontal y la carga de un vertedero en pared delgada por el que pasan 10.9 m³/s, con una altura total de agua H=2.44m (H=h+a), el sacado del vertedero es rectangular y de ancho b=4.88m.



CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared delgada, $e \leq 0,5 h$	Sí cumple (por enunciado)
2 – Contracción de fondo completa, $a + h > 4h$	Suponemos que no cumple y luego se verifica.
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	Sí cumple
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3 \text{ m/s}$	$U = Q / (h+a)b = (10.9 \text{ m}^3/\text{s}) / (2.44 \times 4.88 \text{ m}^2) = 0.92 \text{ m/seg}$. No cumple.
5 – Umbral horizontal	Sí cumple
6 – Pared vertical	Sí cumple
7 – Caída libre	Sí cumple

$$Q = m_{VP} * C_{24} * b * h * \sqrt{2gh} \Rightarrow m_{VP} = 0.42$$

Usamos el coeficiente de corrección de Bazin:

$$C_{24} = 1 + 0.55 \frac{h^2}{(h+a)^2}$$

h: es la carga hidráulica en el vertedero en (m).
a: es la altura de la barrera del vertedero en (m).

La ecuación queda:

$$Q = 0.42 \times \left(1 + 0.55 \left(\frac{h}{h+a} \right)^2 \right) * 4.88 \text{ m} * h * \sqrt{2gh}$$

$$H = 2.44 \text{ m} = h + a \Rightarrow Q = 0.42 \times \left(1 + 0.55 \left(\frac{h}{2.44 \text{ m}} \right)^2 \right) * 4.88 \text{ m} * h * \sqrt{2gh} = 10.9 \text{ m}^3 / \text{seg}.$$

Se puede resolver esta ecuación despejando la carga h de la ecuación del caudal, o bien, por iteraciones sucesivas.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 18 DE 28.

h (m)	Q(m³/s)
0,5	3,28
0,8	6,88
1	9,92
1,1	11,64
1,05	10,76
1,06	10,94

$h = 1.06$ m. Por lo tanto, la altura del umbral $a=(2.44-1.06)m =1.38m$

Verificación de la contracción de fondo completa:

$H > 4h \Rightarrow H=2.44m < 4 \times (1.06m)=4.24m \Rightarrow$ No se cumple esta condición, como se supuso.

La carga hidráulica $h=1.06m$ y la altura del umbral $a =1.38m$

EJERCICIO N° 7.

Calcular el caudal sobre un vertedero de altura $a=1m$, cuyo umbral es horizontal y tiene un espesor $e=1$ cm, ubicado en un canal de ancho $B=2.5m$. La carga $h=0.42m$ se mide a 2 m aguas arriba de la barrera. La napa es libre.

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared delgada: $e \leq 0.5h$. $e=0.01m < 0,5(0.42m)=0.21m$	Sí cumple
2 – Contracción de fondo completa, $H=a + h > 4h$. $H=(0.42+1m)=1.42m < 4(0.42m)=1.68m$	No cumple.
3 – Contracción lateral nula, $b= B$	Si cumple.
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	Se supone que no cumple y se verifica posteriormente con Q.
5 – Umbral horizontal	Sí cumple
6 – Pared vertical	Sí cumple
7 – Caída libre	Sí cumple (por enunciado)

Se debe corregir con un coeficiente C_{24} , se puede usar Bazin:

$$C_{24} = 1 + 0.55 \frac{h^2}{(h + a)^2}$$

h : es la carga hidráulica en el vertedero en (m).
 a : es la altura de la barrera del vertedero en (m).

La ecuación de gasto queda:

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO Nº 8 VERTEDEROS	HOJA Nº 19 DE 28.

$$Q = m_{VP} * C_{24} * b * h * \sqrt{2gh} \Rightarrow m_{VP} = 0.42$$

$$Q = 0.42 \times \left(1 + 0.55 \left(\frac{0.42m}{1.42m} \right)^2 \right) \times 2.5m \times 0.42m \times \sqrt{2 \times g \times 0.42m} = 1.33m^3 / s.$$

Q=1.33 m³/seg.

EJERCICIO Nº 8.

Calcular cuánto baja la carga de agua (h) de un vertedero de 0.60m de altura (a), 2m de espesor (e) y 2.5 m de longitud (b=B), sobre cuyo umbral pasan 2 m³/seg., si se le redondea la entrada que primitivamente era de arista viva. El vertedero no tiene influencia de aguas abajo.

Se calcula la altura crítica:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 \times g}} = \sqrt[3]{\frac{(2m^3/s)^2}{(2.5m)^2 \times g}} = 0.403m \Rightarrow \frac{a}{h_c} = \frac{0.6m}{0.403m} = 1.49(3.5)$$

CONDICIONES	VERIFICACIÓN	CUMPLIMIENTO
1 – Pared gruesa, e≥3 h	e = 2m > 3 (0.6m) = 1.8m	Sí cumple.
2 – Contracción de fondo completa, a/h _c ≥ 3.5	a / h _c = 1.49 < 3.5	No se cumple.
3 – Contracción lateral nula, b= B	B=b	Sí cumple.
4 – Velocidad de llegada nula, U < 0,3 m/s	No se puede calcular sin la carga.	Suponemos que no se cumple y luego se verifica
5 – Umbral horizontal. Pared vertical		Sí cumple
6 – Caída libre		Sí cumple.

La ecuación de gasto es distinta para arista redondeada, que para arista viva:

Para...arista...redondeada ∴ λ_e = 0

$$m_{PG} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + 0.004 \times n \right)^{3/2}} \Rightarrow Q_{AR} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+0.6m} \right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + 0.004 \times \frac{2m}{0.403m} \right)^{3/2}} \times 2.5m \times h \times \sqrt{2gh}$$

Se usa el método de las iteraciones sucesivas para la resolución de esta ecuación:

h(m)	hc (m)	n	m _{PG}	Q (m³/s)
0,45	0,40	4,97	0,40	1,32
0,5	0,40	4,97	0,40	1,56

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 20 DE 28.

h(m)	hc (m)	n	m _{PG}	Q (m ³ /s)
0,55	0,40	4,97	0,40	1,81
0,59	0,40	4,97	0,40	2,01

$$h_{AR}=0.59m$$

Para arista viva el λ_3 se extrae de la tabla para contracción de fondo incompleta:

$$\text{Para...arista...viva...} \Rightarrow \frac{a}{h_c} = 1.5 \therefore \lambda_e = 0.24$$

$$m_{PG} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+a} \right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{\lambda_e + 0.008 \times n}{2} \right)^{3/2}} \Rightarrow$$

$$Q_{AV} = \frac{1 + 0.26 \times \left(\frac{h}{h+0.6m} \right)^2}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + \frac{0.24 + 0.008 \times 2m/0.403m}{2} \right)^{3/2}} \times 2.5m \times h \times \sqrt{2gh}$$

De igual manera se resuelve por iteraciones sucesivas:

h(m)	hc (m)	n	m _{PG}	Qf (m ³ /s)
0,55	0,40	4,97	0,36	1,61
0,6	0,40	4,97	0,36	1,85
0,65	0,40	4,97	0,36	2,09
0,64	0,40	4,97	0,36	2,04

$$h_{AV}=0.64m$$

$$\Delta h = 0.64m - 0.59m = 0.05m$$

EJERCICIO N° 9.

En un canal rectangular de 10 metros de ancho se instala un vertedero rectangular en pared delgada, sin contracción lateral. La altura de agua aguas arriba del vertedero con relación a la solera del canal es de 1.5m, cuando el mismo desagua un caudal de 4 m³/seg. Calcular la altura del vertedero.

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
1 – Pared delgada, $e \leq 0,5 h$	Sí cumple (por enunciado).
2 – Contracción de fondo completa, $H=a + h > 4h$	Suponemos que se cumple y luego se verifica.
3 – Contracción lateral nula, $b= B$	Sí cumple.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 21 DE 28.

CONDICIONES	CUMPLIMIENTO
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	$U=Q/(h+a)b=4m^3/s/(1.5 \times 10m^2)=0.27m/s$ Sí cumple..
5 – Umbral horizontal	Sí cumple
6 – Pared vertical	Sí cumple
7 – Caída libre	Sí cumple.

Se puede usar el coeficiente de vertedero perfecto:

$$Q = m_{vp} \times b \times h \sqrt{2gh} = 0.42 \times 10m \times h \times \sqrt{2gh} \Rightarrow h = \left(\frac{4m^3/s}{0.42 \times 10m \times \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 0.36m$$

$$a + h = 1.5m \Rightarrow a = 1.5m - 0.36m = 1.14m$$

La altura del umbral $a=1.14m$

EJERCICIO N° 10.

Calcular la longitud de un vertedero rectangular en pared gruesa con cresta redondeada cuyo espesor es de 2m, a instalar en un canal de 5 m de ancho, que transporta un caudal máximo de $2.5m^3/seg.$, si la altura de la lámina por encima de la cresta nunca puede superar los 50 cm y la altura del umbral es de 1.2m.

CONDICIONES	VERIFICACIÓN	CUMPLIMIENTO
1 – Pared gruesa, $e \geq 3 h$	$e = 2m > 3 (0.5m) = 1.5m$	Sí cumple.
2 – Contracción de fondo completa, $a/h_c \geq 3.5$	No se puede calcular h_c	Suponemos que sí se cumple y luego verificamos..
3 – Contracción lateral nula, $b = B$	$b = ?$	Suponemos sí cumple.
4 – Velocidad de llegada nula, $U < 0,3$ m/s	$U=Q/(h+a)*B=2.5m^3/s/(0.5+1.2)m \times 5m=0.29m/s$	Sí cumple.
5 – Umbral horizontal. Pared vertical		Sí cumple
6 – Caída libre		Sí cumple.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N°8 VERTEDEROS	HOJA N° 22 DE 28.

$$Q = m_{PG} \times b \times h \sqrt{2gh} = \frac{1}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + 0.004 \frac{e}{h_c} \right)^{3/2}} \times b \times h \sqrt{2gh} \Rightarrow h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 \times g}}$$

$$2.5m^3/s = \frac{1}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + 0.004 \frac{2m}{\sqrt[3]{\frac{(2.5m^3/s)^2}{b^2 \times g}}} \right)^{3/2}} \times b \times 0.5m \sqrt{2 \times g \times 0.5m}$$

Se cumplen todas las condiciones y como la cresta es redondeada $\lambda_e=0$.

La incógnita en esta ecuación es el ancho b del vertedero, para resolverla se usa el método de las iteraciones sucesivas, obteniendo la siguiente tabla con los cálculos realizados:

b(m)	hc (m)	n	m _{PG}	Qf (m ³ /s)
2	0,54	3,69	0,38	1,19
3	0,41	4,83	0,38	1,77
4	0,34	5,86	0,38	2,36
4,25	0,33	6,10	0,38	2,50

Verificación de contracción de fondo completa: $a/h_c = 1.2m/0.33m = 3.63 > 3.5$. Sí cumple.

Verificación de contracción lateral nula: $B=5m > b=4.25m$

Por lo tanto es necesario corregir el coeficiente de gasto, suponiendo que la contracción lateral se realiza desde los dos lados, con lo cual $N=2$. Y la ecuación de gasto queda como:

$$C_3 = \left(1 - 0.1 \times N \times \frac{h}{b} \right)$$

$$2.5m^3/s = \frac{1}{\sqrt{2} \times \left(\frac{3}{2} + 0.004 \frac{2m}{\sqrt[3]{\frac{(2.5m^3/s)^2}{b^2 \times g}}} \right)^{3/2}} \times \left(1 - 0.1 \times 2 \times \frac{0.5m}{b} \right) \times b \times 0.5m \sqrt{2 \times g \times 0.5m}$$

De igual manera se resuelve con iteraciones sucesivas:

b(m)	hc (m)	n	m _{PG}	Qf (m ³ /s)
4	0,34	5,86	0,37	2,30

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 23 DE 28.

b(m)	hc (m)	n	m_{PG}	Qf (m³/s)
4,3	0,33	6,15	0,37	2,47
4,4	0,32	6,24	0,37	2,53
4,35	0,32	6,19	0,37	2,50

La longitud del vertedero es b=4.35m

EJERCICIOS PROPUESTOS.

EJERCICIO N° 11.

Un vertedero en pared gruesa con una altura de umbral $a=1.5\text{m}$ y una longitud $b=3\text{m}$, con la arista aguas arriba redondeada, se construirá de hormigón en un arroyo en su tramo recto para poder aforarlo. Se desea determinar su curva de gasto.

EJERCICIO N° 12.

Un canal rectangular de 10 m de ancho transporta $30\text{m}^3/\text{seg.}$. Por medio de una pantalla vertical de 10 cm de espesor, se proporciona una abertura de ancho igual al del canal de 1.5m de altura. Calcular el tirante del canal de aguas arriba, considerando caída libre.

EJERCICIO N° 13.

Un vertedero de 4m de longitud está situado en un canal rectangular de 3m de ancho. El vertedero no presenta contracción lateral. La carga es de 0.4m cuando por el vertedero pasa un caudal de $1,277\text{m}^3/\text{seg.}$ Determinar el coeficiente de gasto m del vertedero y la altura del mismo.

EJERCICIO N° 14.

Por un canal rectangular de hormigón ($n=0.01$) de ancho 2m y altura 1.2m, se produce una descarga de $2\text{ m}^3/\text{seg.}$, con una pendiente de 0.001 y el tirante normal es de 60cm. Determinar la carga de un vertedero rectangular en pared delgada de altura de umbral de 50cm, a instalar en el extremo del canal, suponiendo descarga libre y contracción de fondo completa, de tal modo que erogue el mismo caudal que circula por la canalización.

EJERCICIO N° 15.

Diseñar un vertedero de pared delgada y vertical de ancho menor al del canal. El canal tiene un ancho de 3m y transporta un caudal de $0.22\text{ m}^3/\text{seg.}$ ¿Cuáles son los valores de la longitud y la altura del vertedero?, si la carga debe ser menor de 20cm y el tirante aguas arriba del vertedero es de 0.9m.

EJERCICIO N° 16.

Se coloca un vertedero de ancho igual al del canal de 5 m de espesor. La altura total de agua aguas arriba del mismo es de 0.90m, y la altura del vertedero de 0.50m. El ancho es de 3.05m. Calcular el caudal que transporta dicho vertedero.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 25 DE 28.

$$Qn_1 = \omega_{n1} \times \frac{R_H^{1/6}}{n} \times \sqrt{R_H \times i} = \frac{b \times hn_1}{n} \times \left(\frac{b \times hn_1}{b + 2 \times hn_1} \right)^{1/6} \times \sqrt{\left(\frac{b \times hn_1}{b + 2 \times hn_1} \right) \times i}$$

$$Qn_1 = \frac{2.5m \times 1.5m}{0.014} \times \left(\frac{2.5m \times 1.5m}{2.5m + 2 \times 1.5m} \right)^{1/6} \times \sqrt{\left(\frac{2.5m \times 1.5m}{2.5m + 2 \times 1.5m} \right) \times 0.00075} = 5.7m^3 / s$$

$$Qn_1 = 5.7m^3 / seg.$$

Cuando la altura de agua en el canal aguas arriba del vertedero lateral es la hn_1 , el caudal que circula por el mismo es de $5.7 m^3/seg.$

Cuando por alguna circunstancia (llámese crecida o cualquier ingreso de caudal) el caudal aumenta por encima de los $5.7 m^3/seg.$, el excedente de éste vuelca sobre el vertedero lateral, ya que la altura de la barrera es la misma que la altura hn_1 .

Cálculo del caudal y régimen que corresponde a la altura hn_2 aguas abajo del vertedero lateral.

Considerando que debe quedar una revancha de 5 cm aguas abajo del vertedero lateral, se puede calcular la altura normal de escurrimiento, y por lo tanto el caudal correspondiente. Además, el régimen de escurrimiento y el valor de la energía aguas abajo.

$$hn_2 = (1.5m + 0.35m - 0.05m) = 1.80m$$

$$Qn_2 = \frac{b \times hn_2}{n} \times \left(\frac{b \times hn_2}{b + 2 \times hn_2} \right)^{2/3} \times \sqrt{i} = \frac{2.5m \times 1.8m}{0.014} \times \left(\frac{2.5m \times 1.8m}{2.5m + 2 \times 1.8m} \right)^{2/3} \times \sqrt{0.00075}$$

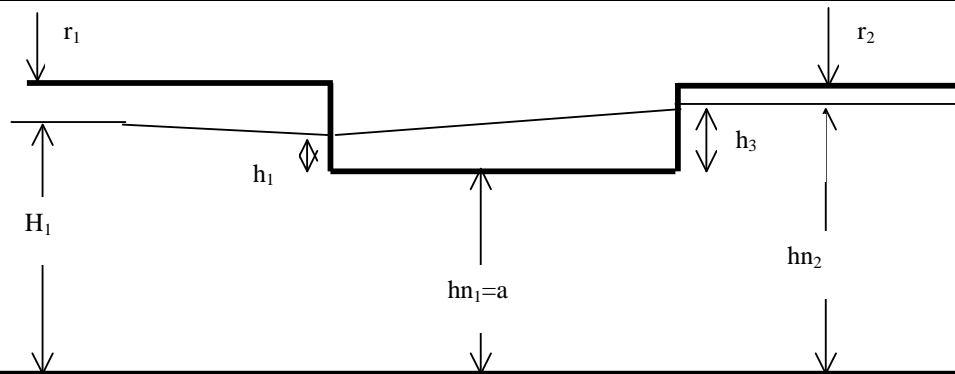
$$Qn_2 = 7.2m^3 / s. \Rightarrow hc_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{Qn_2}{b} \right)^2 \frac{1}{g}} = \sqrt[3]{\left(\frac{7.2m^3 / s}{2.5m} \right)^2 \frac{1}{g}} = 0.95m \Rightarrow hn_2)hc_2 \Rightarrow \text{RÉG.RÍO}$$

$$Un_2 = \frac{Qn_2}{b \times hn_2} = \frac{7.2m^3 / s}{2.5m \times 1.8m} = 1.6m / s$$

$$B_2 = hn_2 + \frac{Un_2^2}{2g} = 1.8m + \frac{1.6^2 m^2}{2g s^2} = 1.93m$$

El régimen de escurrimiento aguas abajo del vertedero lateral es escurrimiento de río, de modo que se concluye que la carga sobre el mismo es creciente hacia aguas abajo: $dh > 0$ y $dH > 0$. Considerando que h es la carga hidráulica sobre el vertedero lateral y $H = h + a$.

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo 3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	HIDRÁULICA GENERAL	
	TRABAJO PRÁCTICO N°8 VERTEDEROS	HOJA N° 26 DE 28.



Cálculo del Bernoulli crítico para el caudal total ingresante aguas arriba del vertedero lateral.

Si el Bernoulli de río final (B_2) es menor que el Bernoulli crítico del canal de aguas arriba (B_c) 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.

$$h_c = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2 \frac{1}{g}} = \sqrt[3]{\left(\frac{10\text{m}^3/\text{s}}{2.5\text{m}}\right)^2 \frac{1}{g}} = 1.18\text{m} \Rightarrow U_c = \frac{Q}{b \times h_c} = \frac{10\text{m}^3/\text{s}}{2.5\text{m} \times 1.18\text{m}} = 3.39\text{m/s}$$

$$B_c = h_c + \frac{U_c^2}{2g} = 1.18\text{m} + \frac{(3.39\text{m/s})^2}{2g} = 1.77\text{m} \Rightarrow B_c = 1.77\text{m} (B_2 = 1.93\text{m})$$

Cálculo de la altura aguas arriba del vertedero lateral (H_1).

Recordando una de las hipótesis en el cálculo de los vertederos laterales es que $J \cong i$, si ambos valores son pequeños significa que los Bernoulli permanecen constantes, o sea que; $B_1 = B_2$. A lo largo del vertedero lateral.

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

Ecuación que se resuelve por iteraciones sucesivas de la siguiente manera:

H_1 (m)	U_1 (m/s)	B_1 (m)
0,4	10	5,50
0,6	6,67	2,87
0,8	5	2,07
1	4	1,82
1,2	3,33	1,77
1,4	2,86	1,82
1,6	2,5	1,92
1,61	2,48	1,92
1,62	2,47	1,93
1,63	2,45	1,94

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 27 DE 28.

El valor de H_1 que hace que los Bernoulli sean iguales es $H_1 = 1.62\text{m}$.

Cálculo de las cargas hidráulicas sobre el vertedero lateral.

Entonces ahora se pueden calcular las cargas hidráulicas sobre el vertedero lateral.

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

$$h_3 = h_{n2} - h_{n1} = 1.80\text{m} - 1.5\text{m} = 0.30\text{m}$$

Cálculo del caudal derivado por el vertedero lateral.

Lo que se deriva es la diferencia entre lo que entra aguas arriba y lo que queda aguas abajo, según

$$Q_{VL} = Q - Q_{n2} = (10 - 7.2)\text{m}^3/\text{s} = 2.8\text{m}^3/\text{s} = m \times L \times \sqrt{2g} \times (h)^{3/2}$$

las condiciones de escurrimiento y revancha dadas como dato.

Cálculo de la longitud del vertedero lateral.

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 hay tres criterios a saber:

Criterio simplificado: que puede utilizarse en este caso, ya que las cargas no poseen valores muy diferentes entre sí, y que consiste en hacer un promedio de las mismas y calcular la longitud de

$$Q_{VL} = 2.8\text{m}^3/\text{s} = m \times L \times \sqrt{2g} \times (h)^{3/2} \Rightarrow h = \frac{h_1 + h_3}{2} = \frac{(0.12 + 0.3)\text{m}}{2} = 0.21\text{m}$$

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

vertedero con ese promedio.

El segundo criterio: se divide el caudal Q en el mismo número de partes en que se divide la longitud, se adopta 6 ΔQ , con cada $\Delta Q = (2.8/6)\text{m}^3/\text{seg} = 0.47 \text{m}^3/\text{seg}$. Y con la ecuación de gasto del vertedero lateral se calculan las longitudes parciales y luego se suman.

hi (m)	hf (m)	hm (m)	li (m)
0.3	0.27	0.285	1.73
0.27	0.24	0.255	2.05
0.24	0.21	0.225	2.47
0.21	0.18	0.195	3.06

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.Cuyo	HIDRÁULICA GENERAL	
3º AÑO- 2002 INGENIERIA CIVIL	TRABAJO PRÁCTICO N° 8 VERTEDEROS	HOJA N° 28 DE 28.

hi (m)	hf (m)	hm (m)	li (m)
0.18	0.15	0.165	3.93
0.15	0.12	0.135	5.31
		suma	18.54

La longitud hallada es un poco mayor que la anterior: L=18.54m.

El tercer criterio es usar directamente la fórmula diferencial de la carga sobre el vertedero, y de la misma manera que el anterior, se divide en diferencias finitas el intervalo de cargas. Se usa la ecuación siguiente:

$$dH = \frac{m \times (B - H)^{1/2} \times (H - a)^{3/2} \times dL}{b \times (B - H) - \frac{\Omega}{2}} \Rightarrow \Delta H = \frac{m \times (B - H)^{1/2} \times (H - a)^{3/2} \times \Delta L}{b \times (B - H) - \frac{\Omega}{2}}$$

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

En donde:

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.

b es el ancho del canal.

Ω sección transversal $\Omega=bxH$

L es la longitud del vertedero lateral.

Usando la misma cantidad de intervalos de carga que para el ítem anterior los cálculos son:

h (m)	H=h+a (m)	B_2 (m)	b (m)	bxH (m ²)	(B-H) (m)	(H-a) (m)	ΔH (m)	ΔL (m)
0,12	1,62	1,93	2,5	4,05	0,31	0,12	0	0
0,15	1,65	1,93	2,5	4,125	0,28	0,15	-0,03	3,32
0,18	1,68	1,93	2,5	4,2	0,25	0,18	-0,03	2,90
0,21	1,71	1,93	2,5	4,275	0,22	0,21	-0,03	2,64
0,24	1,74	1,93	2,5	4,35	0,19	0,24	-0,03	2,49
0,27	1,77	1,93	2,5	4,425	0,16	0,27	-0,03	2,42
0,3	1,8	1,93	2,5	4,5	0,13	0,3	-0,03	2,44
							L=	16,21