

## AUXILIAR CONTROL N° 2

### HIDRÁULICA APLICADA AL DISEÑO DE OBRAS (CI5104)

Semestre: Primavera 2011  
Prof.: Ricardo González V.  
Prof. aux.: Rodrigo Saraiva S.

#### PREGUNTA N° 1.

Para un caudal de 1600 m<sup>3</sup>/s se solicita a ud. prediseñar el evacuador de crecidas, para lo cual se sugieren los siguientes pasos:

- a) Determine el largo total, largo efectivo y número de compuertas del vertedero (2.5 pts).

Suponga que:

- Durante la ocurrencia de la crecida de diseño, las compuertas del vertedero no regulan el escurrimiento.
  - La carga máxima sobre el vertedero no debe sobrepasar los 10 m.
  - El ancho de los machones es igual a 3 m y asuma despreciable cualquier efecto de contracción en los estribos. Suponga el coef. de contracción en pilas es igual a 0,02.
  - Considere un máximo de 5 compuertas.
- b) En función de la configuración adoptada en la parte a) determine y esquematice la forma del umbral del vertedero según el perfil recomendado por el USACE. Indique la distancia de enlace si ángulo de inclinación es igual a 30°
- c) Considerando que para controlar el escurrimiento se disponen compuertas radiales determine el caudal factible de ser evacuado para una abertura igual a la mitad de la carga de diseño.

Solución:

Para una caudal total es igual a 1.600 m<sup>3</sup>/s y tomando un caudal unitario de  $q = 70 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , el largo efectivo se puede estimar como

$$L_e = Q / q = 1.600 / 70 = 22,86 \text{ m}$$

La ecuación de un vertedero se puede escribir como:

$$Q = C \cdot L_e \cdot H_e \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_e}$$

Donde:

Q=caudal (m<sup>3</sup>/s), C= Coef. de descarga, L<sub>e</sub> = Largo efectivo (m) y H<sub>e</sub> = Carga del vertedero (m)

Adoptando  $C = 0.5$  (supuesto inicial), y despejando  $H$ , se llega a  $H = 10$  m.

Variando el  $N^\circ$  de vanos de compuerta, se puede construir la siguiente tabla:

$N^\circ$ vanos	Ancho vano (m)	$H / b$
2	11,4	0,88
3	7,6	1,31
4	5,7	1,75
5	4,6	2,19

Finalmente, respetando la recomendación de que  $1.2 < H / b < 1.4$ , se llega a 3 vanos de compuertas.

$$L_e = L - 2 * (N * K_p + K_a) * H_e$$

Luego, evaluando se tiene:

$$L_e = 22,9 \text{ m}, N = 3, K_p = 0,02, K_a = 0$$

$$L = L_e + 2 * (N * K_p + K_a) * H_e$$

$$L = 24,1 \text{ m (ancho total umbral)}$$

$$L \text{ total vertedero} = L + (N-1) \times \text{ancho machones} = 24,1 + (2 \times 3 \text{ m}) = 30 \text{ m.}$$

b) Forma del umbral y punto de enlace

Según de vio en la parte a)  $H = 10$  m, luego utilizando las recomendaciones indicadas en clase de cátedra, se tiene:

$$H_d = 75\% * H = 7,5 \text{ m.}$$

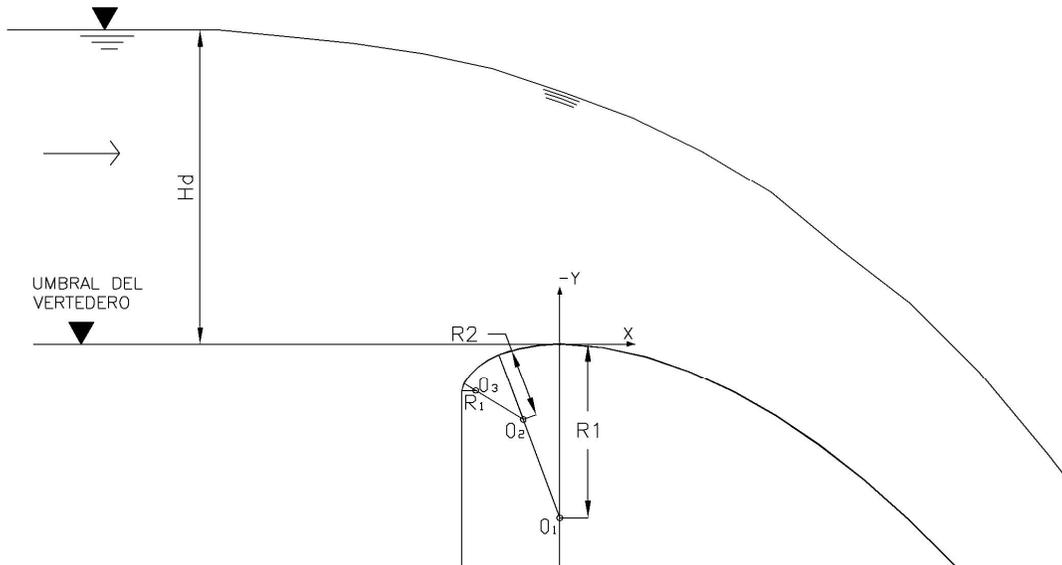
La forma del umbral puede separarse en un cuadrante de aguas arriba y el de aguas abajo.

La forma del cuadrante de aguas arriba está compuesta de 3 arcos de círculo tangentes entre sí de radios, cuyos valores los radios se determinan con las relaciones:

$$\frac{R_1}{H_d} = 0,50$$

$$\frac{R_2}{H_d} = 0,20$$

$$\frac{R_3}{H_d} = 0,04$$



Hd [m]	7,5
--------	-----

#### Perfil Aguas Arriba

	O1	O2	O3	Umbral	P1	P2	P3
x/ Hd	0	-0,105	-0,242	0	-0,175	-0,276	-0,288
Y / Hd	0,5	0,219	0,136	0	0,032	0,115	0,136

X [m]	0,00	-0,79	-1,82	0,00	-1,31	-2,07	-2,16
Y [m]	-3,75	-1,64	-1,02	0,00	-0,24	-0,86	-1,02

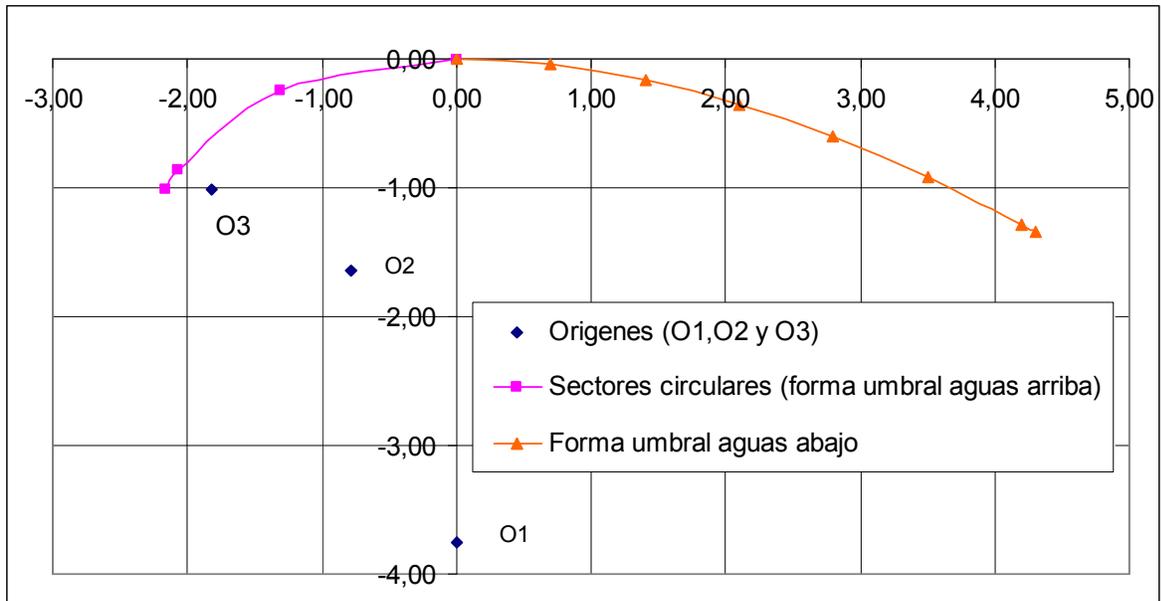
En tanto que, el perfil de aguas abajo viene dado por la ecuación empírica:

$$\frac{y}{Hd} = 0.5 \cdot \left(\frac{x}{Hd}\right)^{1.85}$$

#### Perfil Aguas Abajo

$\Delta x$ [m]	0,7							
X [m]	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,31
Y [m]	0,00	-0,05	-0,17	-0,36	-0,61	-0,92	-1,28	-1,34

### Forma umbral del vertedero (cresta Ogee)



#### Punto de enlace aguas abajo

$$\frac{dy}{dx} = 0.5 \cdot Hd^{-0.85} \cdot 1.85 \cdot (x)^{0.85}$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha$$

$\alpha$ [°]	30
$\alpha$ [rad]	0,52
$\operatorname{tg} \alpha$	0,58
x enlace [m]	4,31

c) Propuesto

## PROBLEMA 2

La obra de seguridad de la central Tucapel esta formada por un vertedero de lateral, un canal colector seguido del rápido de descarga y finalmente un dissipador de energía. Aguas abajo el dissipador se conecta con un canal de entrega. En la figura 2.1 se presenta un esquema de la obra. Se solicita realizar el diseño hidráulico del colchón dissipador considerando los siguientes datos:

$Q_d$	:	130	$m^3/s$
$n_1$	:	0.016	-
$b_1$	:	9	m (sección rectangular)
$i_2$	:	0.0001	m/m
$b_2$	:	35	m (sección rectangular)
$n_2$	:	0.0028	-

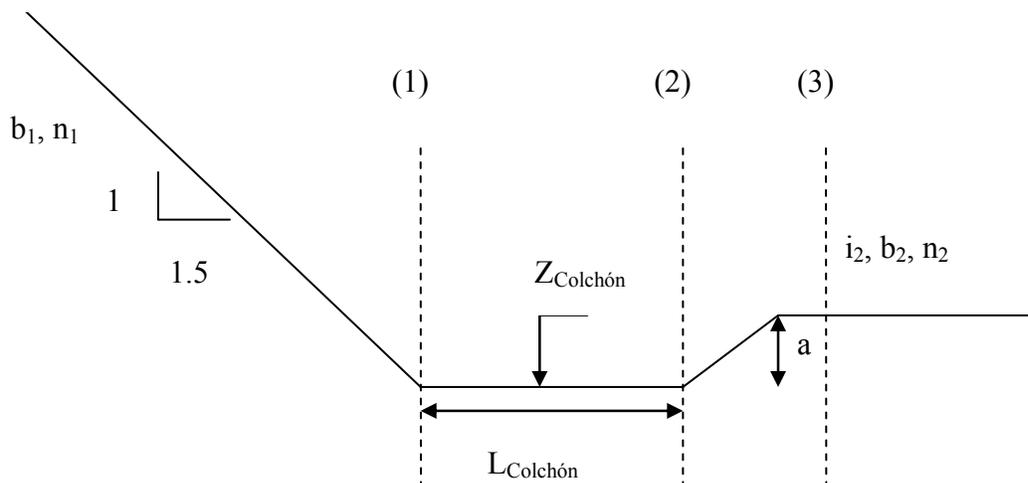


Figura 2.1: Esquema del rápido de descarga y colchón dissipador

### Solución:

En primer lugar se calcularán las condiciones aguas abajo del colchón en la sección (3) Utilizando la ecuación de Manning y resolviendo para la altura tenemos que:

Variable	Unidad	Normal	Crítico
$h_3$	m	4.464	1.121
T	m	35.000	35.000
A	$m^2$	156.226	39.227
Pm	m	43.927	37.242
Rh	m	3.556	1.053
V	m/s	0.832	3.314
E	m	4.499	1.681
Fr	-	0.126	1.000

Por otra parte en el rápido se desarrolla un flujo torrencial cuyas características son:

Variable	Unidad	Normal	Crítico
h	m	0.488	2.771
T	m	9.000	9.000
A	m <sup>2</sup>	4.391	24.942
Pm	m	9.976	14.543
Rh	m	0.440	1.715
V	m/s	29.604	5.212
E	m	45.201	4.157
Fr	-	13.537	1.000

Para determinar las características del resalto aplicaremos la ecuación de Belanger, es decir, supondremos que el resalto es estable.

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot Fr^2} - 1 \right)$$

Resolviendo para  $h_2$  tenemos que:

$$\begin{aligned} h_2 &: 9.101 \text{ m} \\ V_2 &: 1.587 \text{ m/s} \\ E_2 &: 9.229 \text{ m} \end{aligned}$$

Para que el resalto sea estable y quede confinado en el colchón debemos asegurarnos que el nivel de energía en (3) sea al menos igual al de la sección de aguas arriba (2).

Por lo tanto, planteando la ecuación de Bernoulli entre las secciones mencionadas anteriormente y despreciando las pérdidas de carga, se llega a:

$$z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = z_3 + h_3 + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}$$

Calculando la diferencia (Z3-Z2) es decir la altura de la grada llegamos a:

$$a_{\min} \approx 4.75 \text{ m}$$

Finalmente, para determinar la longitud del resalto utilizamos la siguiente expresión:

$$L_R = 6 \cdot \left( h_3 + \frac{6}{5} \cdot a \right)$$

Evaluando tenemos que:  $L_R = 60.98$ . Redondeando cifras  $L_R = 61 \text{ m}$

### PROBLEMA N° 3

Como parte del diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico que considera un embalse de regulación, se solicita a ud. dimensionar la bocatoma profunda del citado embalse. Para lo anterior, se solicita a ud. definir:

- a) El diámetro del túnel en presión (aducción de la central). Considere sección circular, dos unidades independientes y una velocidad máxima de diseño igual a 6 m/s.
- b) El nivel de radier de la obra de toma. Verifique la correcta operación de esta obra durante la totalidad de su vida útil (50 años).

Para lo anterior, se cuenta con los siguientes antecedentes:

- El nivel máximo normal de operación del embalse es igual a 100 msnm y se ha definido una oscilación máxima de hasta 3 m como condición de diseño.
- El caudal de diseño de la central es igual a 600 m<sup>3</sup>/s.
- La tasa gasto sólido total afluente al embalse se estimó igual a 350 ton/año/km<sup>2</sup>. (densidad media del sedimento afluente igual a 2,2 ton/m<sup>3</sup>, área aportante al embalse es igual 2.100 km<sup>2</sup>).
- La curva del embalse se presenta en el Cuadro N° 3.1

Cuadro N° 3.1: Curva de Embalse

Nivel [m]	Vol. Emb [m <sup>3</sup> ]
64,0	0,0
65,0	0,0
66,0	0,0
67,0	0,0
68,0	0,0
73,0	3,4
78,0	22,6
83,0	61,1
88,0	113,0
89,0	124,9
90,0	137,4
91,0	151,9
92,0	166,9
93,0	210,2
94,0	239,3
100,0	260

- La sumergencia necesaria para una correcta operación puede ser calculada con las siguientes fórmulas.

Fórmula	Expresión
Knauss	$S_m = D * (2 * F_r + 0,5)$ $F \geq 0,5$ $S_m = 1,5 * D$ $F < 0,5$ $S_m$ : medida hasta el eje de la tubería
Gordon	$S_m = 0.54 * V * D^{1/2}$ (1) $S_m = 0.72 * V * D^{1/2}$ (2) $S_m$ : medida hasta la clave de la tubería (1): flujo simétrico, (2): flujo asimétrico

Donde:

D: Diámetro del Túnel en Presión (m)

$F_r$ : Froude del conducto en presión  $(V / \sqrt{g \cdot D})$  (-)

$S_m$ : Sumergencia (m)

V: Velocidad del Esguerrimiento en presión (m/s)

### Solución:

a) Q diseño = 600 m<sup>3</sup>/s

Nº unidades: 2 => Q unidad = 300 m<sup>3</sup>/s

$$A = Q / V$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V_{\max}}$$

Despejando  $D_{\text{Túnel}}$ , se tiene  $D_{\text{Túnel}} = 7,97$  m

Redondeando, se adopta  $D_{\text{Túnel}} = 8$  m.

b) Utilizando las fórmulas de Knauss y Gordon, se obtiene:

Fórmula	Sm	Sm Clave	Cota Clave	Cota Radier
Knauss (1987)	14,8	10,8	86,2	78,2
Gordon (1970)	9,1	9,1	87,9	79,9
Promedio	12,0	10,0	87,0	

Para fines de diseño, se adopta:

$$S_m \text{ Clave} = 11 \text{ m}$$

Luego, la cota de la clave se calcula como:

Cota Clave: Nivel Mínimo de Operación –  $S_m$  Clave

Cota Clave: 97 m – 11 m  
Cota Clave: 86 m.

La cota del radier es igual a,

Cota radier: Cota Clave -  $D_{\text{Túnel}}$   
Cota radier: 86 m – 8 m  
Cota radier: 78 m.

Al nivel 78 m, corresponde un volumen embalsado de 22,6 millones de  $m^3$ .

Tasa Gst (ton/año/ $km^2$ )	350
A [ $km^2$ ]	2100
Gst [ton/año]	735000
rst [ $ton/m^3$ ]	2,2
Gst vol [ $m^3/año$ ]	334090,9
N° años	50
Volumen Total (mill $m^3/50$ años)	16,70

Para el nivel 78 m, el volumen total acumulado de sedimentos es igual a 16,7 millones de  $m^3$ , valor que es superior al volumen disponible. Luego, el diseño adoptado operaría sin problemas durante la vida útil del embalse.

#### **PREGUNTA N° 4**

En la bocatoma superficial que se muestra en la Figura N° 4.1, compuesta de una barrera móvil y una obra de toma lateral que capta 2  $m^3/s$ , se pide determinar lo siguiente:

a) Determine la altura normal y la altura crítica en el canal de aducción

Canal de aducción:  $b = 1$  m, talud lateral H / V: 1 / 1,  $i = 0,0008$ ,  $n = 0,015$ .

b) Determine el ancho de la obra de toma. Imponga simultáneamente, sobre la grada de entrada, la condición de crisis y la zona de rejas ( $v < 1,2$  m/s)

c) Determine el nivel de operación normal de la barrera. Si lo requiere utilice las expresiones que se presentan en el Cuadro N° 4.1 para estimar las pérdidas singulares

Cuadro N° 4.1: Pérdidas de Carga.

Pérdida	Expresión	Comentarios
Transición	$P_T = C \times \Delta \left( \frac{v^2}{2g} \right)$	$C = 0,3$ y $\Delta \left( \frac{v^2}{2g} \right)$ :
Grada	$P_T = C \times \Delta \left( \frac{v^2}{2g} \right)$	$C = 0,5$ y $\Delta \left( \frac{v^2}{2g} \right)$ :
Reja	$P_{Reja} = K_d \times K_f \times p^{1,6} \times f \left( \frac{L}{b} \right) \times \text{sen} \theta \times \frac{v^2}{2g}$	$K_d = 1,1$ , $K_f = 0,35$ , $p = 30\%$ , $\theta = 70^\circ$

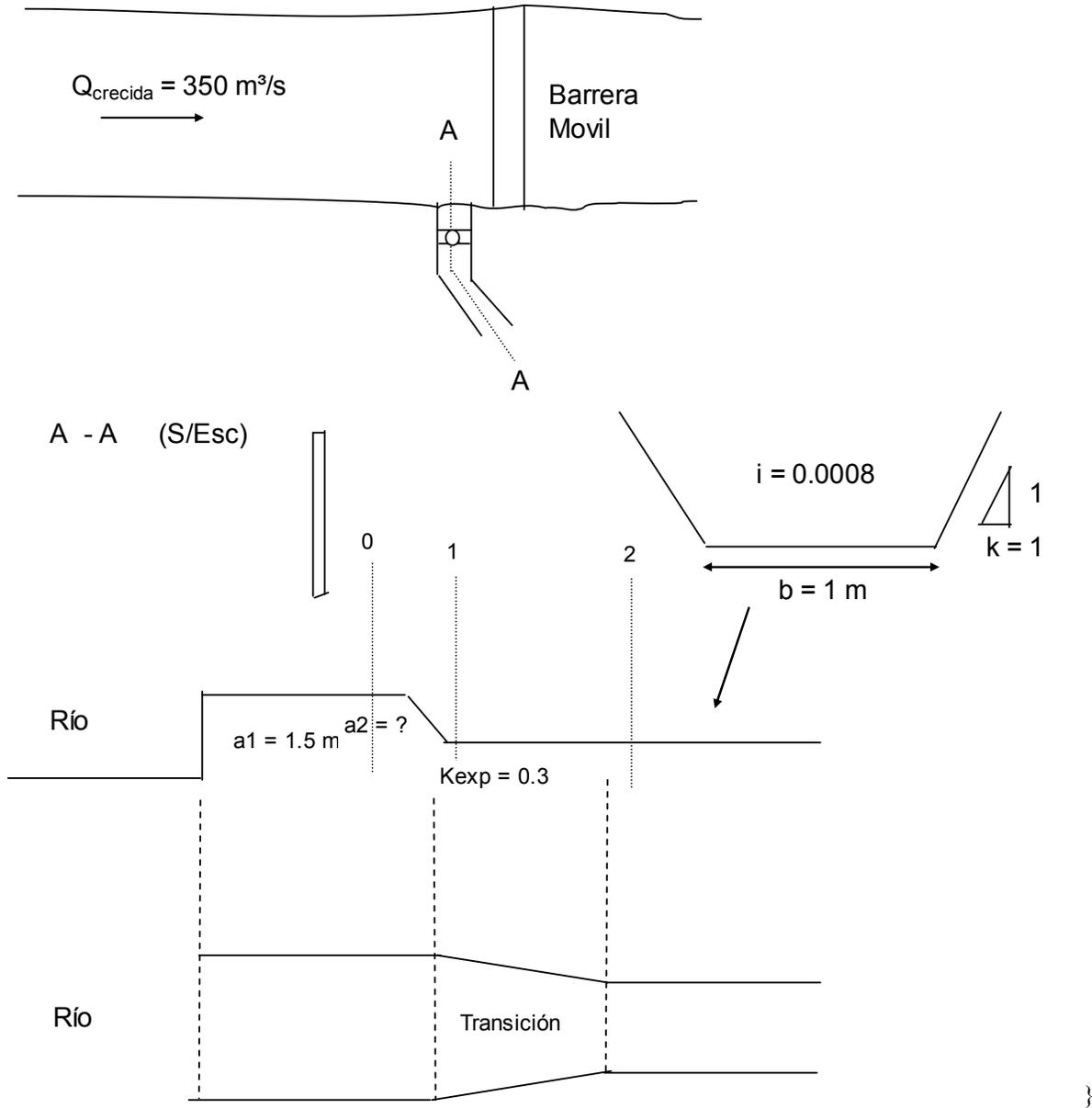
- d) Como condición de diseño se requiere que el nivel de operación de la bocatoma se mantenga inalterado durante la crecida de período de retorno igual a 250 años (350 m<sup>3</sup>/s). Determine el nivel del umbral del vertedero para que se cumpla dicha condición.

Para estimar el caudal evacuado por los vanos de la barrera móvil (perfil Creager) considere la siguiente ecuación de gasto:  $Q = C * L' * H^{3/2}$ .  $C = 2,18$  y  $L' = L - 2 * 0,1 * b$  ( $L$  = ancho vano [m],  $b$ : ancho machón barrera móvil = 2 m).

Considere un caudal unitario,  $q$ , en el rango comprendido entre 20 m<sup>3</sup>/s/m y < 30 m<sup>3</sup>/s/m.

- e) Indique el número de vanos de la barrera móvil. Considere una relación de (alto / ancho) Compuertas entre 0,8 y 1,2.

Figura 4.1: Esquema en Planta Bocatoma.  
Corte Longitudinal y Planta Obra de toma.



**Nota:** Nivel de referencia Sección 0 = 100 m

**Solución:**

**a) Calculando la altura normal y crítica**

hn [m]	0,90
vn [m/s]	1,16
En [m]	0,97
Ec [m]	0,82

**b) Imponiendo crisis y  $v = 1,2$  m/s**

Q [m <sup>3</sup> /s]	2
<b>b [m]</b>	<b>11,35</b>
q [m <sup>3</sup> /s/m]	0,18
hc [m]	0,15
Vc	1,20
Zradier [m]	100
Bc [m]	100,22

**c) Estimación de pérdidas**

**Cálculo Transición**

<b>C</b>	<b>0,30</b>
Perd. Trans [m]	0,02
b	11,35
<b>h [m]</b>	<b>0,99</b>
v [m/s]	0,18
E1 [m]	0,99
<b>FO</b>	<b>0,00</b>

$$E1 = E2 + P1-2$$

$$E2 == E_{n \text{ canal}}$$

**Cálculo pérdida grada y altura grada**

<b>C</b>	<b>0,50</b>
Pérd. grada [m]	0,04
a2 [m]	0,81

$$a2 + E0 = E1 + P0-1$$

**Pérdida reja**

Kd	1,1
Kf	0,35
P [%]	30%
f (L/b)	20,8
sen 70	0,940
Perd. reja [m]	0,081

Nivel Operación [m]	100,30
---------------------	--------

$$\text{Nivel operación} = Bc + P. \text{ reja}$$

**d) Caudal evacuado por barrera fija**

Zbarrera fija [m]	100,30
Z umbral	95
C	0,5
H [m]	5,30
<b>L [m]</b>	<b>13,6</b>
ancho machón [m]	2
L' [m]	13,2
Q [m <sup>3</sup> /s]	350,00
v [m/s]	4,87

q (m <sup>3</sup> /s/m)
25,8

**e) Estimación número de compuertas**

N°	H/b	Ancho total [m]
2	0,78	15,6
3	1,17	17,6
4	1,56	19,6
5	1,95	21,6