

Desagüe de fondo

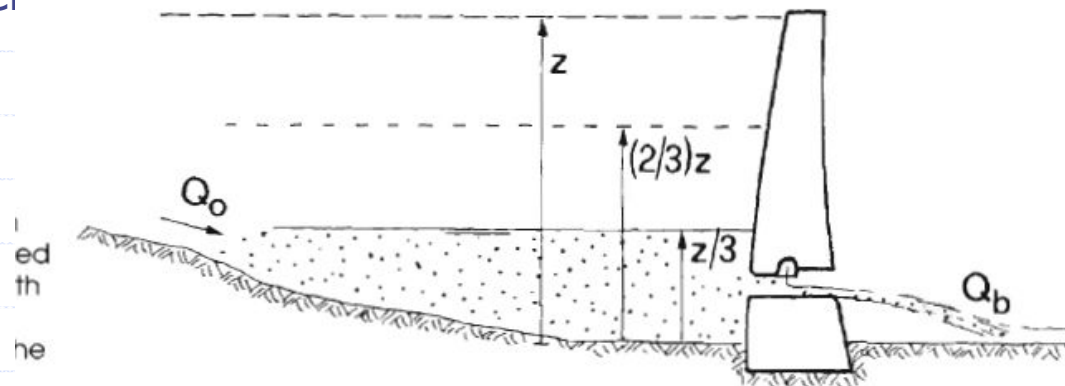
Obra de seguridad y control.



Propósito del Desagüe de Fondo (Bottom Outlet)

Este tipo de obra corresponde eminentemente a una estructura de seguridad y en forma secundaria puede ser usado para el flushing de depósitos de sedimentos o para descargar excesos de agua (apoyo al evacuador de crecidas)

- Durante el llenado del embalse, normalmente se llena a $1/3$ de su altura ($1/3 H$) y se efectúan observaciones durante días o semanas. Luego, el caudal de diseño, Q_b , debe ser mayor que Q_0 (caudal medio afluente durante el período de pruebas u observaciones)



Durante el **vaciado del embalse (acción de emergencia)**, debe cumplirse:

- $Q_b > Q_o$ (valor a entregar para usos prioritarios)
- El vaciado (bajar a 2/3) debe efectuarse lo más rápido posible, $Q_b = \text{máximo}$.
- No se debe afectar los sectores ribereños aguas abajo, luego $Q_b < Q_L$ (caudal límite a descargar)
- No provocar inestabilidades en las laderas del embalse, $Q_b < Q_s + Q_o$, donde Q_s es el caudal límite permisible para proteger la estabilidad de las laderas (velocidad de vaciado)

Desde el punto de vista del flushing de sedimentos Q_b debe ser, tal que, permita respetar de la mejor forma posible los equilibrios sedimentológicos del río.

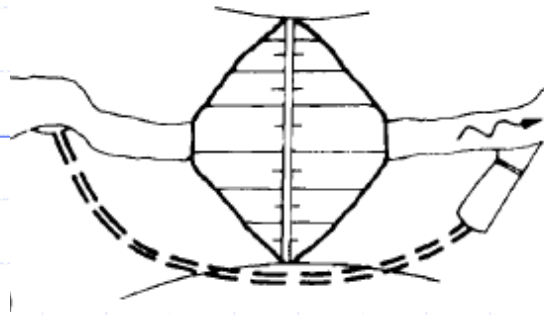
Posibles fallas de un desagüe de fondo: No se puede abrir, se abre descontroladamente, se atasca después de ser abierto y/o no se puede cerrar.

Criterios de Diseño Complementarios (existen varios criterios alternativos)

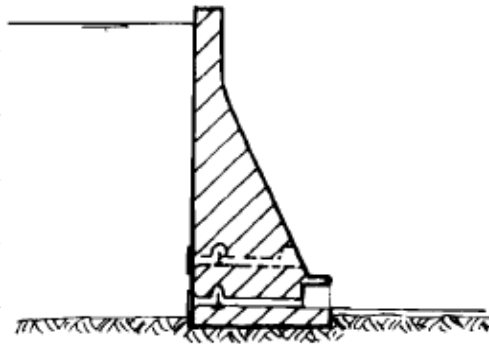
- **Facilitar y controlar el llenado de las presas para permitir una carga gradual y controlada de las cargas.**
- **Permitir el vaciado de emergencia en caso de requerirse. Normalmente se calcula el tiempo mínimo requerido para un vaciado rápido del 50% del volumen del embalse.**
- **Opcional en presas de hormigón, en la actualidad existe consenso de su necesidad en el caso de las presas de tierra.**
- **Temor latente de la obra: su poco uso hace temer de que “una vez abiertos, no se puedan cerrar”; verificar la cavitaciónii, es un flujo concentrado a alta velocidad**

Diseño usual

Combinación de los túneles de desviación y desagüe de fondo (por ejemplo: embalse Colbún)



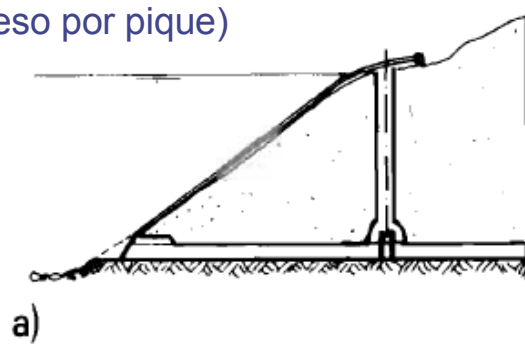
Presa de tierra o enrocado



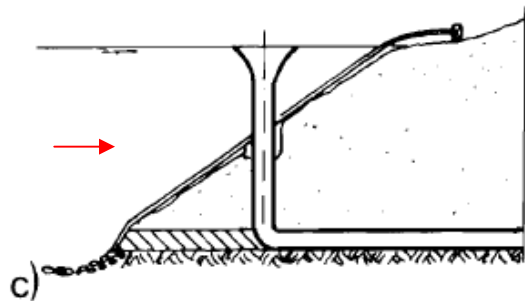
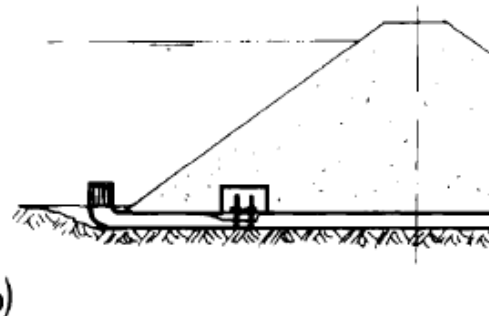
Presa de hormigón o concreto

Algunas configuraciones para la ubicación de un desagüe de fondo

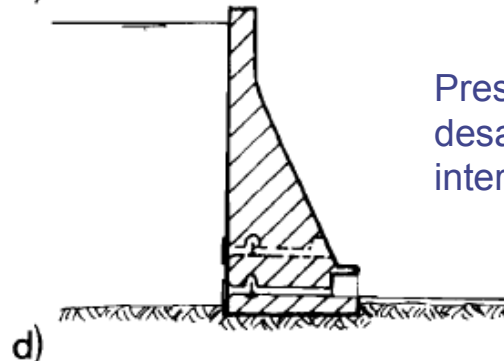
Túnel de desviación utilizado como desagüe de fondo (acceso por pique)



Túnel de desviación utilizado como desagüe de fondo (acceso sólo por aguas abajo con niveles bajos)



Túnel de desviación utilizado como vertedero y desagüe de fondo

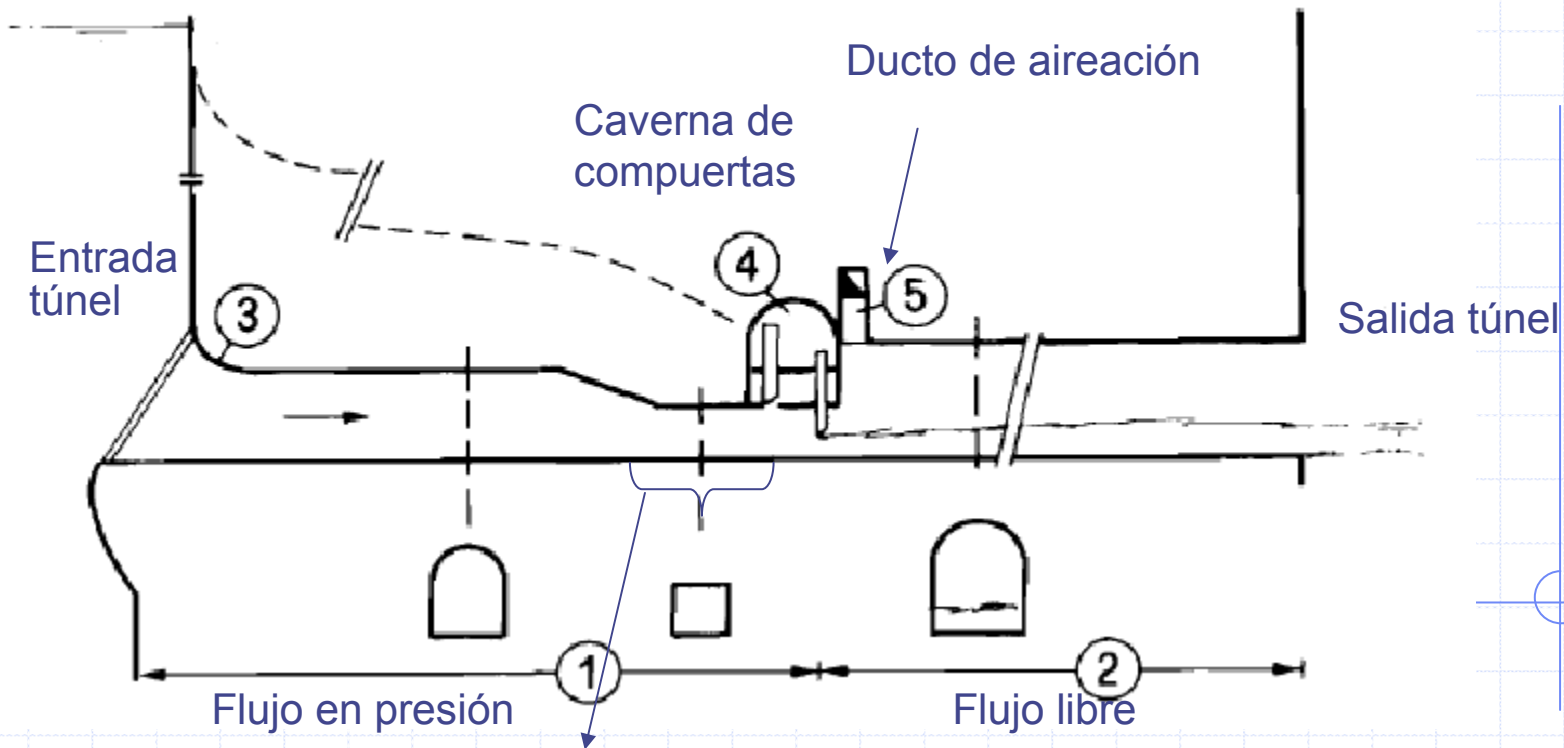


Presa de gravedad con desagüe de fondo en su interior.

Figure 6.2
Basic arrangements
of bottom outlet

Configuración hidráulica

Un desagüe de fondo no es una estructura de uso permanente debido a que esta afecta a cavitación, fuerzas hidrodinámicas, desgaste, vibraciones. Sin embargo, debe asegurar el vaciado del embalse.



Es usual que en esta zona se disponga un tramo con palastro (revestimiento) de acero

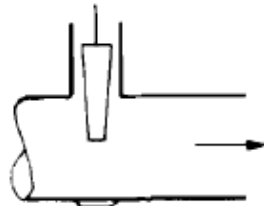
Tipos de compuerta

Tipo Cuña

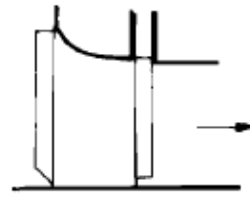


De sector circular

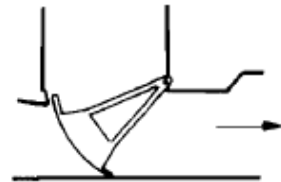
Compuerta de anillo



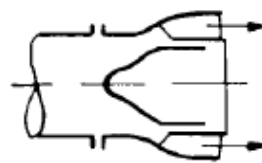
a)



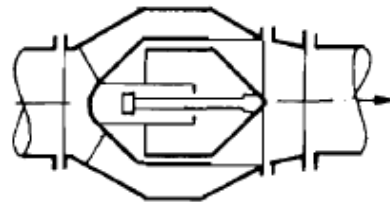
b)



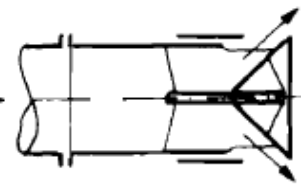
c)



d)



e)



f)

Planas
(ej: fixed wheel gates, $H < 100$ m)

Chorro hueco

Chorro hueco
cónico

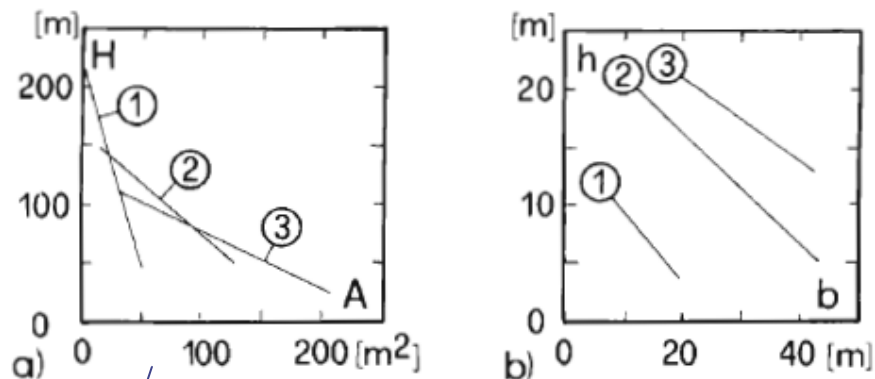
Recomendaciones generales:

- Debe asegurarse una adecuada aireación para disminuir cavitación y vibraciones
- Ductos de entrada no deben operar sumergidos
- Sellos superiores y laterales deben funcionar correctamente en todas las posiciones de operación de la compuerta

Basado en la revisión de más de 4000 casos de referencia, Erbiste (1991) entrega los siguientes gráficos, que sirven como guía general para la elección del tipo de compuertas y sus dimensiones.

Figure 6.8

(a) Area (m^2) of high-head pressure gates as a function of head (m) for
 ① slide,
 ② caterpillar, and
 ③ tainter/fixed-wheel gates, (b) height of underflow gates in (m) as a function of width (m) for ① slide, ② fixed-wheel, and ③ tainter gates (Erbiste, 1981)



Compuertas planas, con un adecuado diseño mecánico, son utilizadas en todo el rango de cargas. Para cargas superiores a 150 m, son de uso exclusivo y se considera al menos un área restringida a 20 m^2 aprox.

Compuertas tipo caterpillar son utilizadas para cargas entre 150 m y 50 m de carga.

Las compuertas de rodillo fijo y de sector (tainter) son utilizadas para cargas comprendidas entre unos 30 m y 100 m.

Vibraciones en Compuertas

Este fenómeno ocurre principalmente en la zona del sello (a), en las ranuras (b) y la zona inmediatamente aguas abajo de las compuertas para aperturas parciales

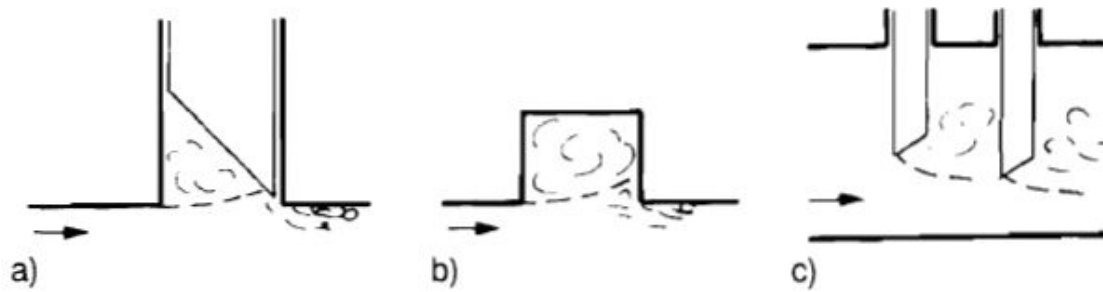
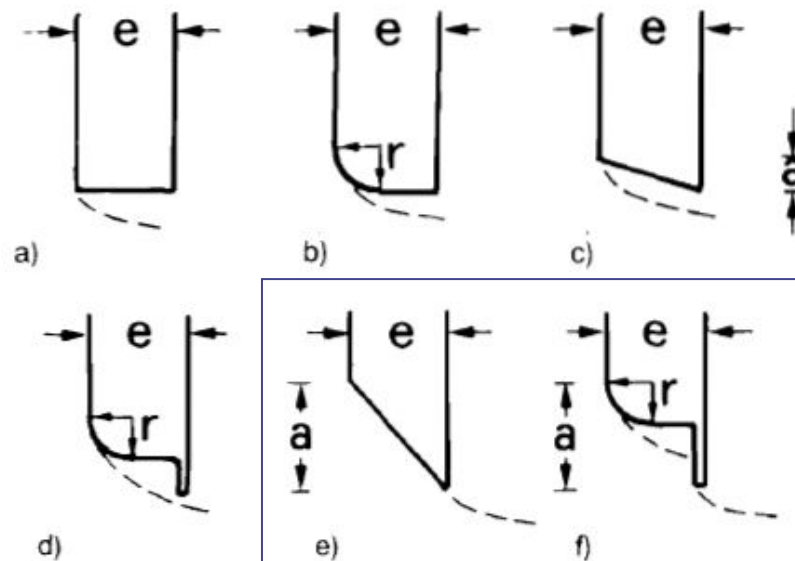


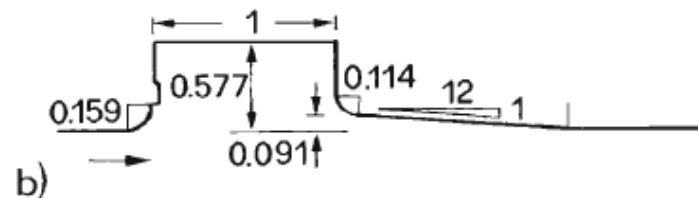
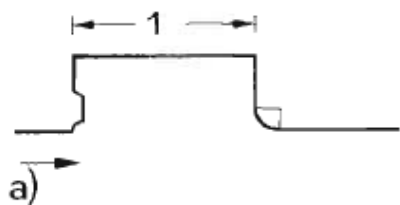
Figure 6.9
Possible sources of gate vibration with impinging shear-layer instability (Naudascher and Rockwell, 1994)



Diseño recomendado
para minimizar
vibraciones

Figure 6.10
Crest shapes (a) to (d) unstable, and (e), (f) stable for vertical gate vibrations in bottom outlet.

Ranuras de compuertas

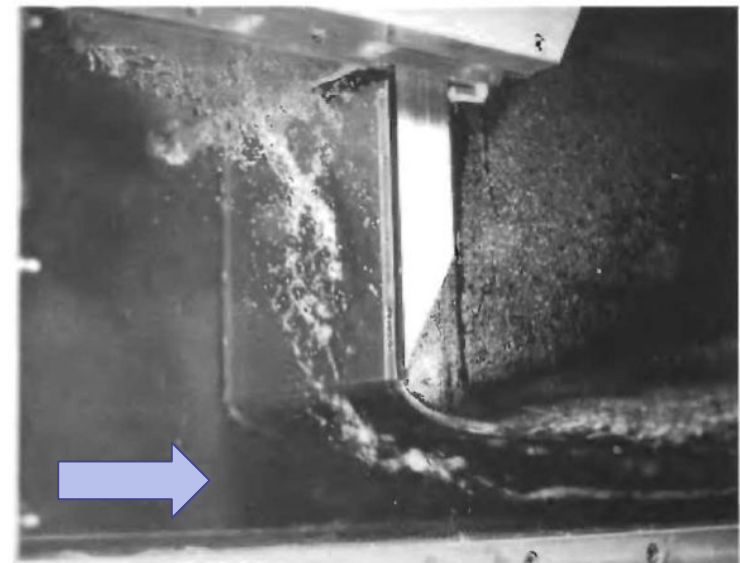
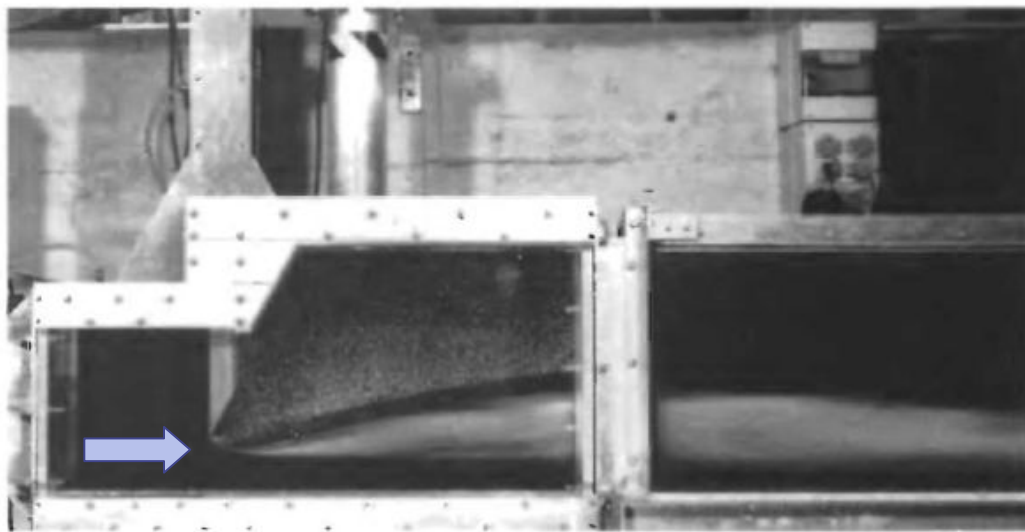


Diseño recomendado

(USACE, $b_{\text{ranura}} = 60\% * L_{\text{ranura}}$)

Ejemplo de Instalación Experimental

Desagüe de Fondo



Ecuación de descarga Desagüe de Fondo

$$Q = C_c \cdot a \cdot b \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - H_e - C_c \cdot a - h_a)}$$

Donde:

Q: Caudal descargado

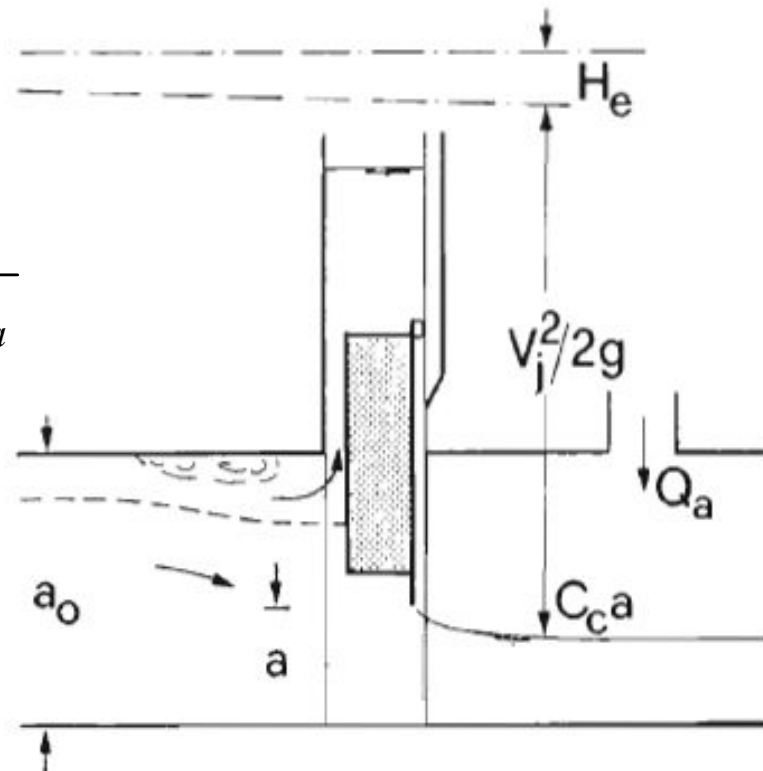
Cc: Coeficiente de contracción

a : abertura de la compuerta

b : ancho de la compuerta

H - H_e: Carga sobre la compuerta con H_e las perdidas de energía desde la entrada a la sección de la compuerta

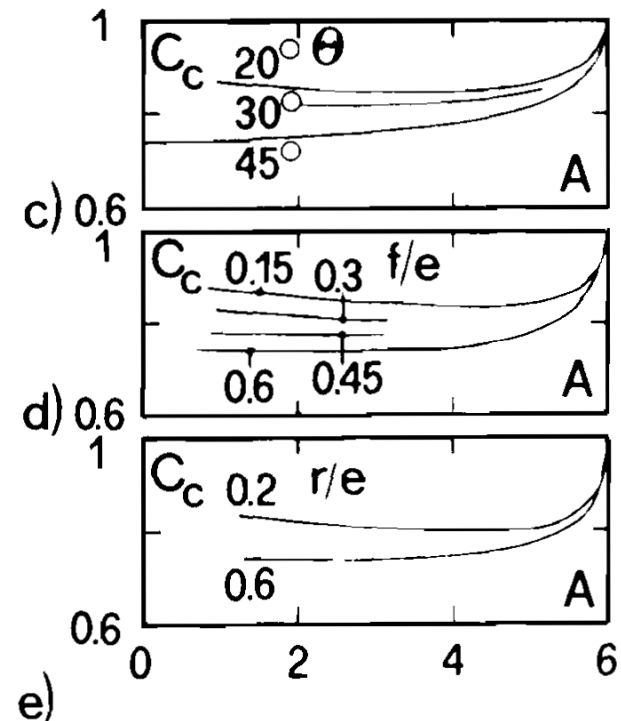
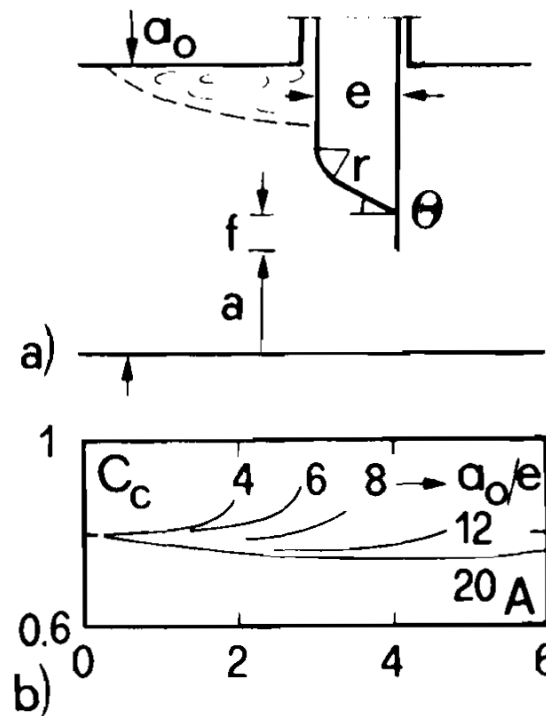
h_a : altura de presión del aire. Si la descarga es a presión atmosférica, h_a = 0



Coeficiente de contracción (C_c)

$R=r/e = 0,4$ y $a_0/e = 6$

Contraction coefficient C_c (a) Definition sketch, effect of (b) gate thickness $A = a/e$ ($\theta = 30^\circ, R = 0.4, f/e = 0$), (c) crest angle θ , (d) relative offset length $F = f/e$ and (e) relative gate radius $R = r/e$ as a function of gate opening $A = a/e$ for $r/e = 0.4, a_0/e = 6$ (Naudascher, 1991)



ENTRANCE CONDITIONS	SERIES 1	SERIES 2	SERIES 3	SERIES 4	SERIES 5	SERIES 6	SERIES 7
	 $K_e = 1.60$ $C = 0.62$	 $K_e = 1.44$ $C = 0.64$	 $K_e = 1.37$ $C = 0.65$	 $K_e = 0.93$ $C = 0.72$	 $K_e = 0.69$ $C = 0.77$	 $K_e = 0.56$ $C = 0.80$	 $K_e = 0.52$ $C = 0.81$
	 $K_e = 1.44$ $C = 0.64$	---Elliptical entrance--- NOTES All tubes 4'-0" x 4'-0". Where elliptical entrance is not indicated corners are square cut in wood. Values of C given are averages for the formula $V = C\sqrt{2gh}$ Loss coefficient $K_e = (1/C^2 - 1)$		 $K_e = 1.04$ $C = 0.70$	 $K_e = 0.64$ $C = 0.78$		 $K_e = 0.49$ $C = 0.82$
	 $K_e = 1.16$ $C = 0.68$			 $K_e = 0.93$ $C = 0.72$	 $K_e = 0.52$ $C = 0.81$		 $K_e = 0.45$ $C = 0.83$
	 $K_e = 0.64$ $C = 0.78$			 $K_e = 0.88$ $C = 0.73$	 $K_e = 0.38$ $C = 0.85$		 $K_e = 0.38$ $C = 0.85$
							 $K_e = 0.35$ $C = 0.86$ Wall
	 $K_e = 0.08$ $C = 0.96$			 $K_e = 0.18$ $C = 0.92$	 $K_e = 0.16$ $C = 0.93$	 $K_e = 0.23$ $C = 0.90$	 $K_e = 0.29$ $C = 0.88$

CONDENSED FROM
UNIVERSITY OF WISCONSIN
BULLETIN NO. 216

Small Dams United States Bureau of Reclamation (USBR) 1987.

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (2)$$

where:

A = area of the opening,
 H = difference between the upstream and
downstream water levels, and,
 C = discharge coefficient for the submerged
orifice or the tube flow.

Nociones básicas de Aireación en un desagüe de fondo (obras hidráulicas)

Esquema General

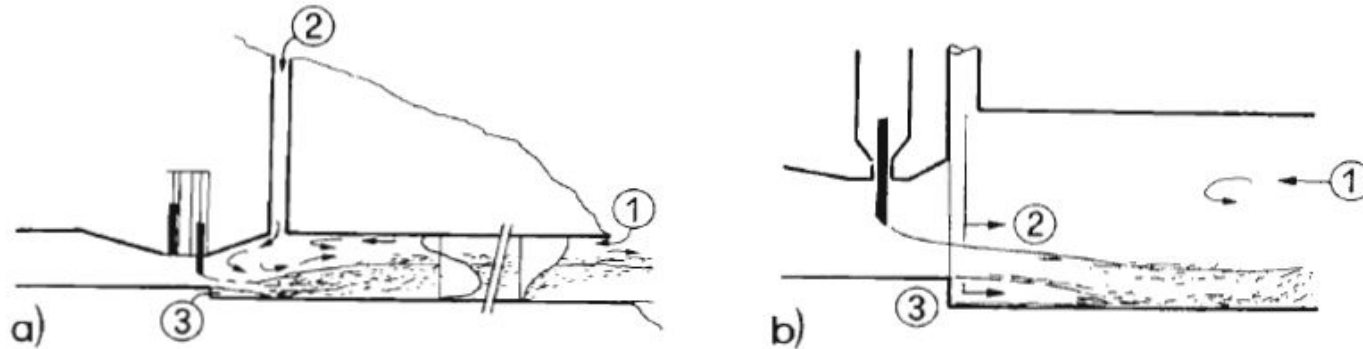


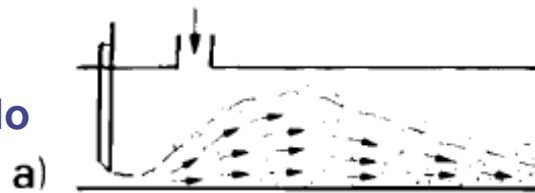
Figure 6.16 Air entrainment by gated outflow in bottom outlet tunnel (a) overall view, (b) gate chamber with ① counter-current air from tunnel, ② air supply conduit for surface aeration, ③ bottom aerator

Fuente: Aliviaderos y Desagües. Comité Nacional Español de Grandes Presas (CNEGP).1987.

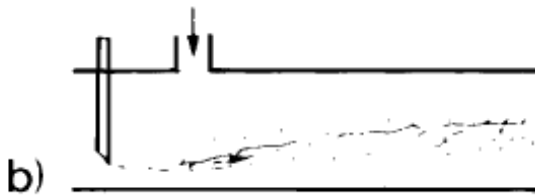
Anexo 2. Aireación

Tipos de flujos en un desagüe de fondo sin aireador de fondo (grada)

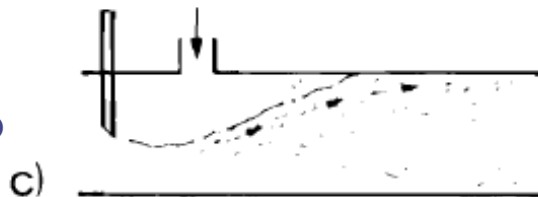
Flujo pulverizado



Flujo libre



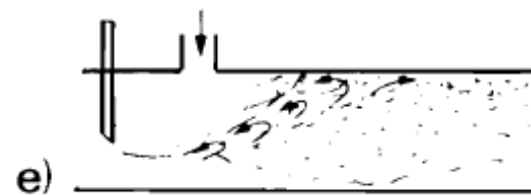
Flujo Emulsionado



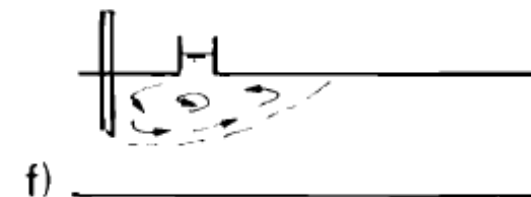
Resalto hidráulico



Resalto hidráulico con flujo en presión aguas abajo

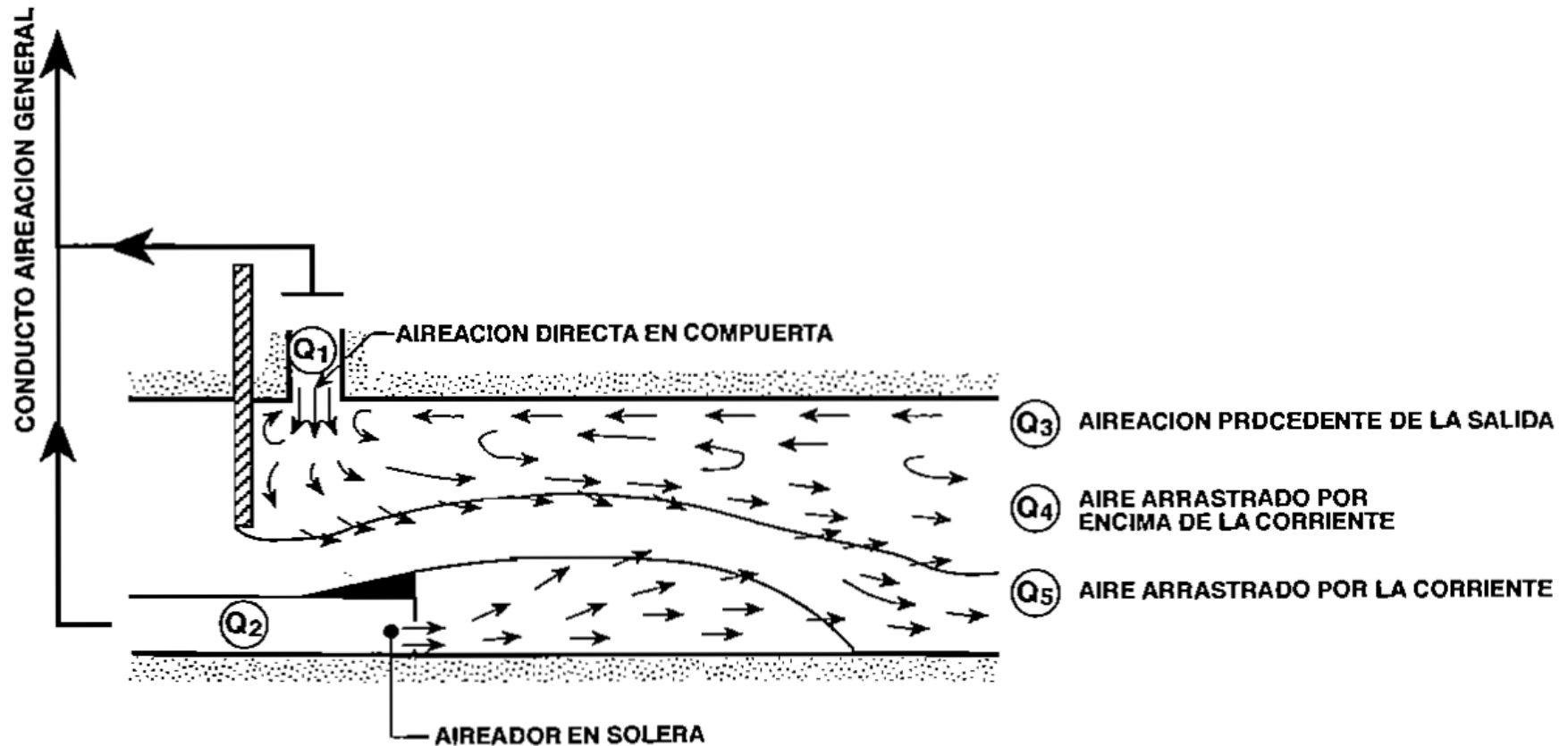


Flujo en presión



Desagües de fondo

Esquemas de aireación general



Demanda y suministro de aire. Conductos de aireación

Estimación de Q1

a) Flujo sin resalto**

a₁) Flujo pulverizado:

$$\beta = 0,2 F_c$$

a₂) Flujo en lámina libre:

$$\beta = 0,09 F_c$$

b) Flujo con resalto:

$$\beta = 0,0066(F_c - 1)^{1,4}$$

Nota: Los resultados que se obtienen al usar éstas, y otras, formulas presentan un amplio rango de variación. Por lo anterior, las fórmulas deben ser utilizadas con suma cautela.

$\beta = Q_a/Q =$ Razón de aireación

$F_c =$ número de Froude en la zona contraída de la lamina aguas abajo de la compuerta

Estimación de Q2

Rabben et al. (1983) proponen estimar Q2 con la siguiente expresión:

$$\beta = 0,0066 + 0,32 L_c / d_c ; \beta = Q_2 / Q_w$$

$$L_c/d_c \leq 20 \text{ y } 4 \leq F_c \leq 18.$$

L_c = Longitud del chorro

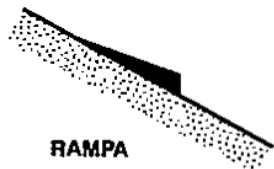
d_c = altura aguas abajo de la compuerta en la zona contraída de la lamina

Estimación de Q3

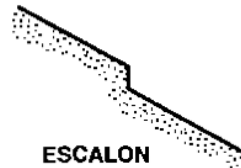
Normalmente se considera, para permitir así que el conducto de aducción suministre por si sólo la totalidad de la demanda de aire.

Tipo de aireadores

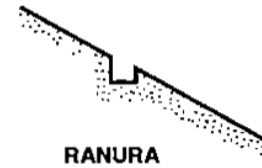
Rampas, escalones y ranuras



RAMPA

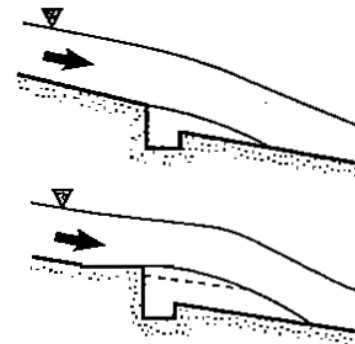
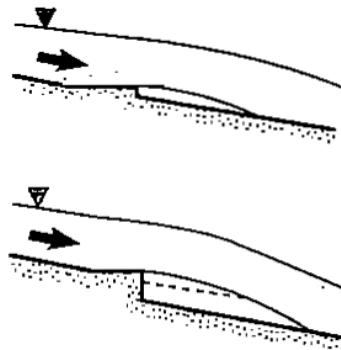
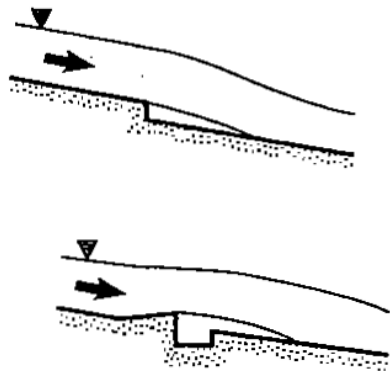


ESCALON



RANURA

A) ELEMENTOS BASICOS



B) DISPOSICIONES COMBINADAS

Recomendaciones generales de diseño

Debe evaluarse previamente si el desagüe de fondo se dispondrá en el (o los) túnel (es) de desviación o en el cuerpo de la presa.

Elegir cuidadosamente el tipo de compuertas a disponer ya que tienen especial importancia en los fenómenos de vibración y cavitación.

La condición de diseño recomendada es que la zona de aguas abajo de las compuertas tenga flujo a superficie libre.

El número de vanos del desagüe de fondo debe ser mínimo igual a dos.

Este tipo de obras, fundamentalmente en la zona de compuertas, están afectas a altas velocidades máximas (20 a 40 m/s) y por tanto riesgos importantes de cavitación, luego la aireación de sistema es relevante para reducir dichos riesgos.

Es totalmente recomendable estudiar el diseño definitivo del desagüe de fondo mediante el estudio en modelos hidráulicos a escala adecuada (1:20 a 1:30 son normalmente utilizados para modelar los fenómenos de aireación)