

CI 5161

“Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras”

Auxiliar N°3

Arnaldo Santander

Franco Ricchetti

Diego Solé

Resumen

Resumen: Desarenadores

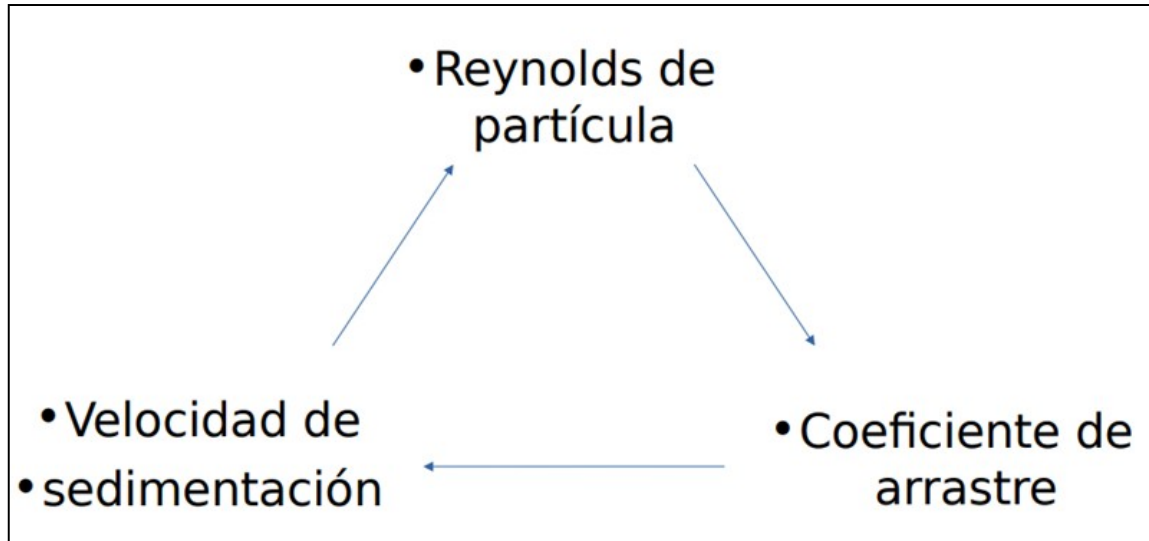
- **Desarenadores:** Diseñados para abatir/remover el sedimento en suspensión para no dañar **bombas, sistemas de regadío, filtros, entre otros**. Reducen costos de mantenimiento, la carga en los filtros, la depositación de sedimentos en canales de aducción. **Los costos de la construcción y operación de estas obras debe ser menor al del mantenimiento de las anteriores.**

Resumen: Desarenadores



- **Sedimento a abatir:** Se define d_0 en base al requerimiento:
 - **Equipos:** Manual del equipo electromecánico.
 - **Riego tecnificado:** 0.3 a 0.5 [mm].
 - **Centrales hidroeléctricas:** Depende de la altura de la caída H .

Resumen: Desarenadores

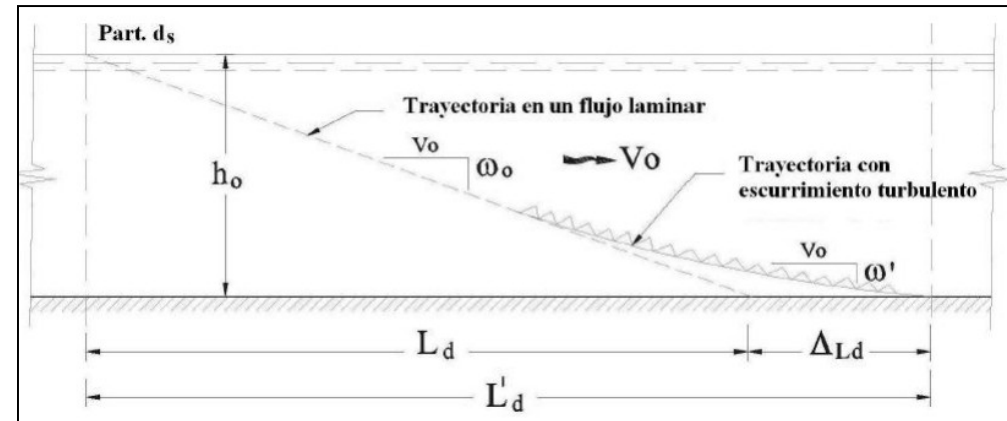
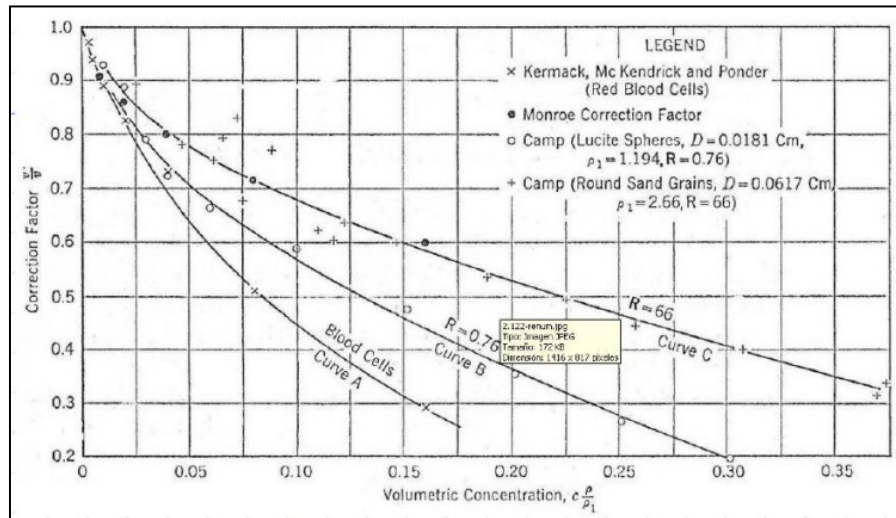


d_s (mm)	ω_0 (cm/s)	d_s (mm)	ω_0 (cm/s)
0,05	0,178	0,50	5,400
0,10	0,692	0,55	5,940
0,15	1,560	0,60	6,480
0,20	2,160	0,70	7,320
0,25	2,700	0,80	8,070
0,30	3,240	1,00	9,44
0,35	3,780	2,00	15,29
0,40	4,320	3,00	19,25
0,45	4,860	5,00	24,90

Fuente: Arkhangelski, 1935, tomado desde Mery, H.

Resumen: Desarenadores

- **Correcciones:** Se debe corregir por **Concentración** y **Turbulencia**: A mayor concentración de la mezcla, más lento decantarán las partículas. La turbulencia puede aumentar o disminuir la velocidad de sedimentación.



Expresión de Sokolov

$$u = 0.152 w_0$$

Expresión de Egiazarov

$$u = \frac{v_0}{5.7 + 2.3 \cdot h_0}$$

Sedimentador Rectangular

De una simple “regla de tres” se obtiene que:

$$\frac{w_0}{v_0} = \frac{h}{L}$$

$$L = \frac{h \cdot v_0}{w_0}$$

Donde:

- h_0 [m]: Altura de sedimentación
- w_0 [m/seg]: Velocidad de sedimentación no corregida
- v_0 [m/seg]: Velocidad del flujo en el sedimentador
- L [m]: Largo del sedimentador

- **Sedimentador Rectangular:** Se supone un flujo uniforme, suponiendo que la partícula a abatir se encuentra en la parte más alta del sedimentador.

Velocidad del flujo

Considerar velocidad transversal igual a:

$$v_0 = K \cdot \sqrt{d_0}$$

Donde:

- $K [-]$: ~~Adimensional, función del diámetro~~
- $d_0 [m]$: Diámetro de partícula a abatir

$d_0 (mm)$	K
> 1	11,4
$1 > d_s > 0,1$	13,9
$< 0,1$	16,1

- **Unidades:** Se debe considerar **n+1** unidades para la sedimentación de un caudal **Q/n**.
- **Corrección:** K no es adimensional, entrega la velocidad en [m/s]

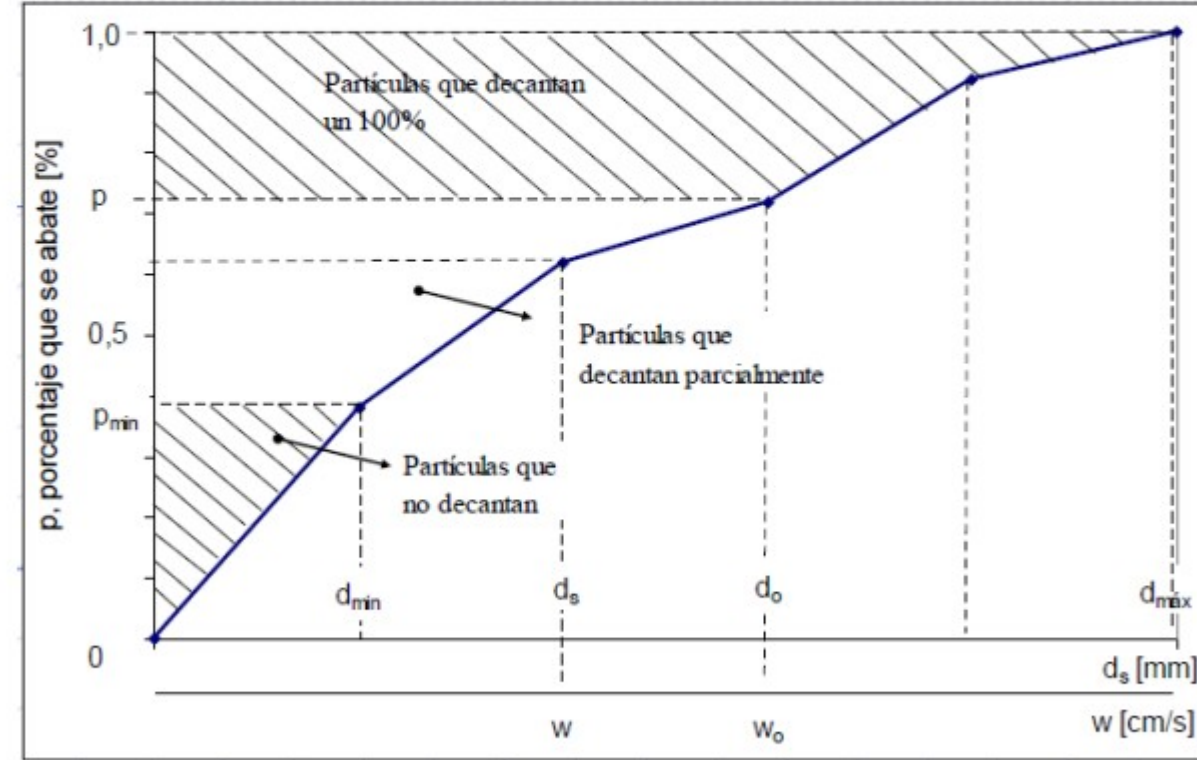
Porcentaje de Remoción

Luego, se define el porcentaje de remoción R como:

$$R = (1 - p_0) + \sum \Delta p \cdot \frac{w_p}{w_0}$$

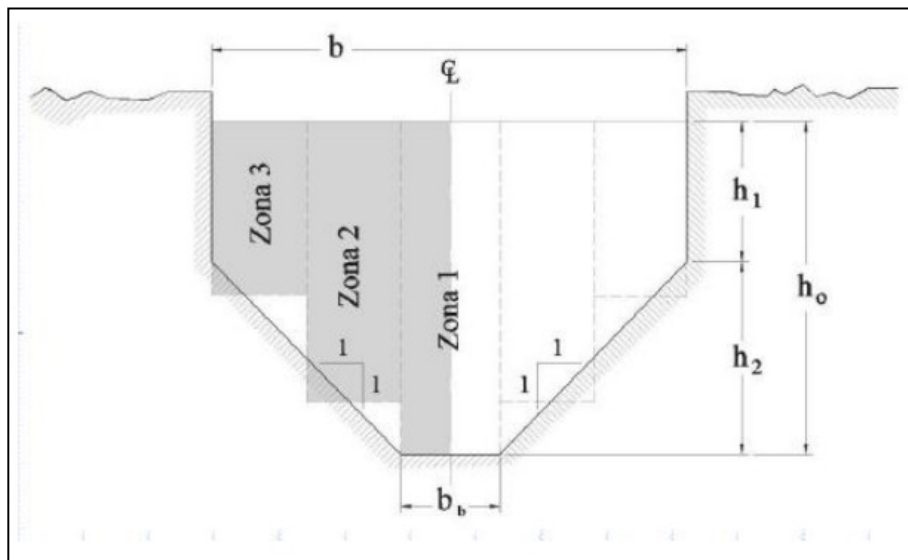
Donde:

- $R[-]$: Remoción del Desarenador
- $p_o [-]$: Porcentaje de sedimento mayor a d_0
- $w_0 [m/seg]$: Velocidad de sedimentación de la partícula d_0
- $w_p [m/seg]$: Velocidad de sedimentación de la partícula representativa del Δp
- $\Delta p [-]$: Porcentaje representativo de partícula en granulometría





Sedimentador Trapecial



- Velocidad de sedimentación:

$$w_{01} = h_0 \cdot \frac{v_0}{L_d}$$

$$w_{02} = w_{01} \cdot \left(\frac{h_0 - 0.25 \cdot (h_0 - h_1)}{h_0} \right)$$

$$w_{03} = w_{01} \cdot \left(\frac{h_0 - 0.75 \cdot (h_0 - h_1)}{h_0} \right)$$

- Área transversal:

$$A_1 = b_b \cdot h_0$$

$$A_2 = (b - b_b) \cdot \frac{h_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{(b - b_b)}{8 h_0} \right)$$

$$A_3 = (b - b_b) \cdot \frac{h_0}{2} \cdot \left(1 - 3 \frac{(b - b_b)}{8 h_0} \right)$$

- Remoción:

$$R = R_1 \cdot \frac{Q_{01}}{Q_0} + R_2 \cdot \frac{Q_{02}}{Q_0} + R_3 \cdot \frac{Q_{03}}{Q_0}$$

Transiciones

La pérdida de carga se evalúa en base a la diferencia en el término de la energía asociado a la velocidad del escurrimiento. Esto es:

$$\lambda_t = C \cdot \Delta_{vel} = C \cdot \frac{1}{2g} \cdot (v_1^2 - v_2^2)$$

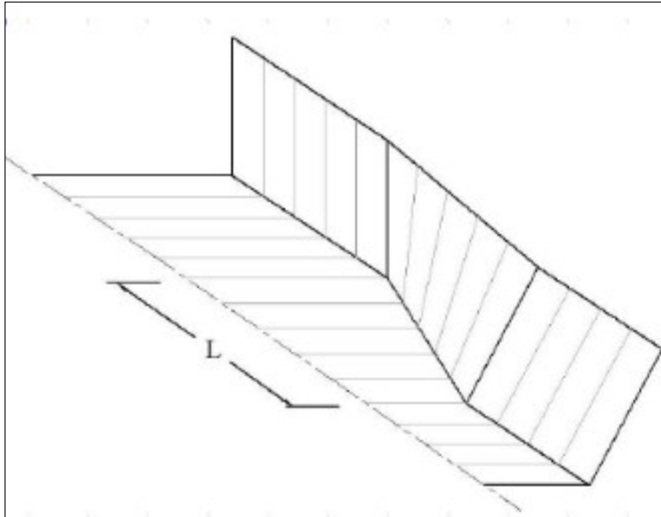
Donde:

- λ_t [m]: Pérdida de carga en transición
- C [—]: Coeficiente asociado al tipo de transición
- v_1 [m/seg]: Velocidad de Entrada/Salida
- v_2 [m/seg]: Velocidad de Salida/Entrada
- C1: Corresponde a aceleración del flujo
- C2: Corresponde a desaceleración del flujo

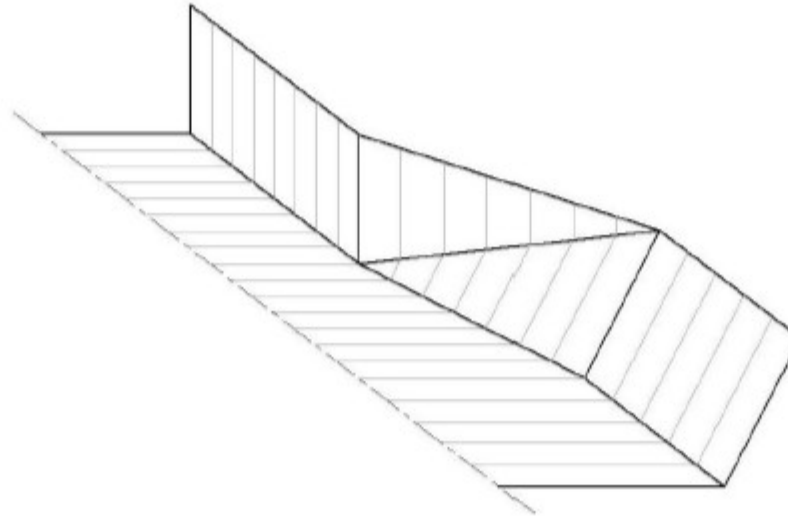
Tipo de transición.	C ₁	C ₂
Alabeada seg. Líneas de corriente.	0,10	0,20
Alabeada recta	0,20	0,30
Cuña. Trapecial a rectangular	0,30	0,50
Muros cilíndricos	0,15	0,25
Sec. circular a rectangular	0,20	0,30
Trapecial a circular.	0,40	0,70

Resumen: Sifón Invertido

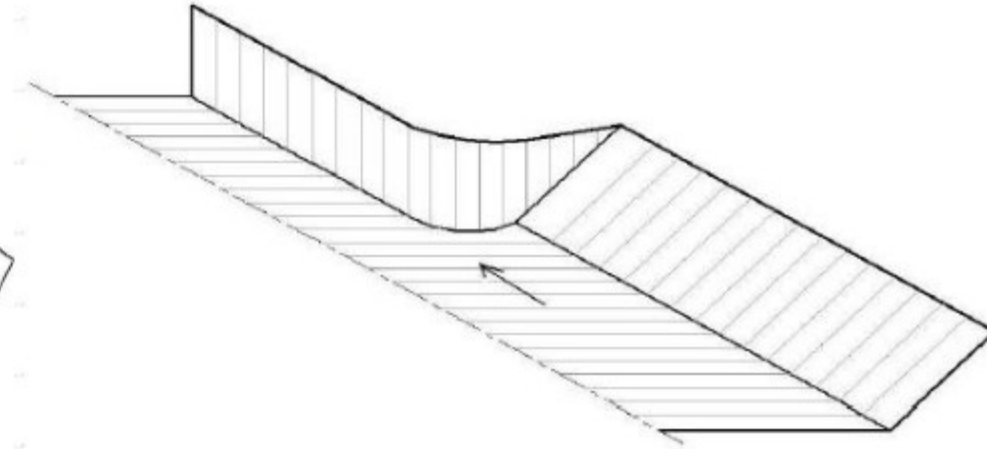
Ejemplos de transiciones:



Albeada Recta



Transición tipo cuña

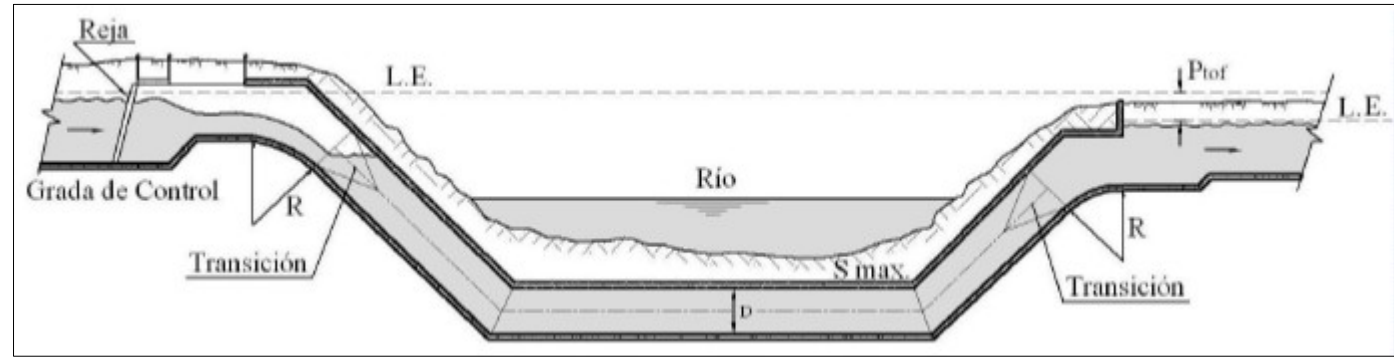


Muros Cilíndricos

Resumen: Sifón Invertido

Pérdidas de carga en:

- Estructura de control de entrada.
- Transición en la entrada y en la salida.
- Friccionales a lo largo de la tubería.
- Curvas y codos en la tubería.



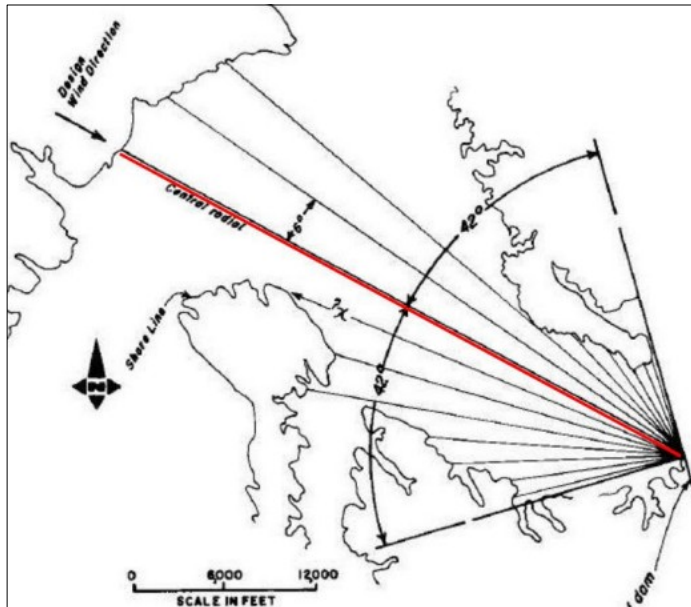
Cota de salida: Resta entre la línea de energía en la entrada y las pérdidas de carga.

Resumen: Revanchas en embalses

- **Revanchas:** Elevación adicional al muro, que previene del efecto del viento en el oleaje, sismos y asentamiento de la obra.
 - **R1:** Revancha por Run-Up: Amplitud de la ola cercana al muro.
 - **R2:** Revancha por Oleaje: Relacionada con la oscilación de la ola.
 - **R3:** Revancha por Sismo: Acomodamiento del suelo bajo el muro.
 - **R4:** Revancha por Asentamiento: Asentamiento del muro por el peso.

Resumen: Revanchas en embalses

- Fetch y Velocidad del viento: Datos básicos para el cálculo de las revanchas.



$$F_e = \frac{\sum_i X_i \cdot \cos \alpha_i^2}{\sum_i \cos \alpha_i}$$

- **Fetch:** Distancia entre la ribera opuesta al embalse, se calcula un **Fetch efectivo** como una ponderación que considera todas las posibles distancias en un ángulo de 84°.
- **Velocidad del viento:** Diferenciar entre la velocidad del viento en tierra y en agua, si no se conoce, se adopta 50 [mi/hr].

Resumen: Revanchas en embalses

- **Altura de la ola:**

$$H_s = 1.5 \cdot F_e^{0.5} + 2.5 - F_e^{0.25} \quad \text{Stevenson}$$

$$H_s = 0.17 \cdot \sqrt{F_e \cdot U_d} - 2.5 \cdot F_e^{0.25} \text{ Molitor}$$

$$H_s = \frac{(F_e^{0.37} \cdot U_d^{0.48})}{3.14} \quad \text{Creager}$$

$$H_s = 0.075 \cdot (V - 0.85) \text{ Bureau of Reclamation}$$

Donde:

- H_s [ft]: Altura de la ola
- U_d [mi/hr]: Velocidad de diseño
- F_e [mi]: Fetch efectivo

Resumen: Revanchas en embalses

- **Revancha por Run-Up y Oleaje ($R1 + R2$):** Autores consideran que multiplicar la altura de la ola por 1.5, representa ambas revanchas.
- **Revancha por sismo ($R3$):** Varía entre un 1% y 5% de la altura del muro, aunque el valor estándar es de 2%. Este valor lo propone el ingeniero a cargo.
- **Revancha asentamiento ($R4$):** En embalses de tierra, considera un asentamiento diferenciado por años.
- **Revancha de cierre (R):** La revancha total se aproxima a un valor de cierre conveniente por necesidades constructivas.

Ancho del Coronamiento

Para presas de relleno, se debe considerar un ancho en el coronamiento, lo que corresponde a una distancia nivelada horizontal entre los taludes aguas arriba y aguas abajo de la presa. El ancho de coronamiento se estima como:

$$W = \frac{H}{5} + 10 \text{ Criterio USBR}$$
$$W = 3.6 \cdot H^{\frac{1}{2}} - 3 \text{ Código Japonés}$$

Donde:

- W [ft]: Ancho del coronamiento
- H [ft]: Altura máxima de la presa

$$W = (1 + F) \cdot [(-36 \cdot H^{-\frac{1}{5}}) + 25] \text{ Criterio DOH/MOP}$$

Donde:

- W [m]: Ancho del coronamiento
- H [m]: Altura máxima de la presa

En general, se debe aceptar que el ancho del coronamiento va entre el 8% y 12% de la altura de la presa.

Resumen: Revanchas en embalses

- **Altura de coronamiento:** Corresponde a la suma entre el NAME y la revancha hidráulica total (R) .
- **Ancho de coronamiento:** Se calcula en base a la altura de coronamiento del muro.

Donde:

- W [ft]: Ancho del coronamiento
- H [ft]: Altura máxima de la presa

$$W = \frac{H}{5} + 10 \text{ Criterio USBR}$$

$$W = 3.6 \cdot H^{\frac{1}{2}} - 3 \text{ Código Japonés}$$

Donde:

- W [m]: Ancho del coronamiento
- H [m]: Altura máxima de la presa

$$W = (1 + F) \cdot [(-36 \cdot H^{-\frac{1}{5}}) + 25] \text{ Criterio DOH/MOP}$$

Problemas

Ejercicio 1

Se le ha encargado diseñar una unidad desarenadora para disminuir el requerimiento actual del mantenimiento de las tuberías de riego tecnificado de un predio agrícola.

Para este objetivo, se le ha entregado la granulometría donde se tiene que el diámetro objetivo es Diseñe un desarenador rectangular y calcule la remoción, suponiendo que las partículas bajo los $d = 0.125$ [mm] no decantan. El afluente es de 20 [m^3/s] y se deben diseñar sedimentadores con capacidad máxima de 10 [m^3/s].

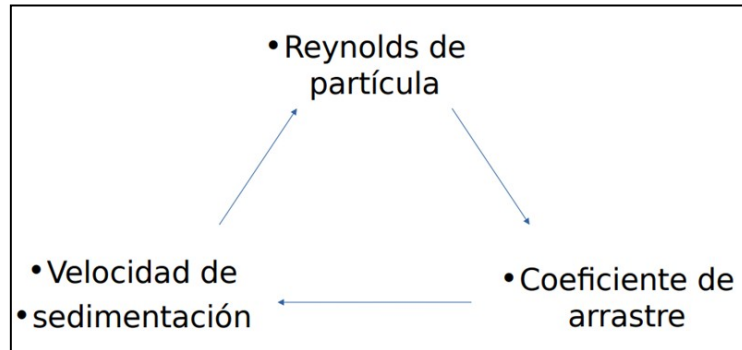
Para simplificar el problema, no considere correcciones y puede decidir un valor para el coeficiente de arrastre.

Datos:	Valor
Caudal [m^3/s]	20
Geometría V:H [-]	1:2
d_0 [m/m]	0.3

Diámetro [mm]	P [%]
0.5	100
0.3	90.2
0.2	87.4
0.15	80.5
0.125	77.1
0.074	72.5

Ejercicio 1

Realizamos iteraciones para obtener la velocidad de sedimentación conservadora y calculamos la velocidad del flujo.



Iteraciones	C_D [-]	ω_0 [m/s]	Re [-]	Límite
Schiller et al.	3.474	0.043	12.917	<800
Dalawalle	1.750	0.061	18.076	-
Olson et al.	3.792	0.041	12.394	<100
Stokes	1.081	0.077	22.577	<<1

d_0 (mm)	K
> 1	11,4
$1 > d_s > 0,1$	13,9
$< 0,1$	16,1

$$v_0 = K \cdot \sqrt{d_0}$$

$$v_0 \text{ [m/s]} = 0.241$$

Ejercicio 1

Calculamos dimensiones del sedimentador y la remoción, considerando el mismo valor de C_d obtenido previamente.

Area [m2]	41.536
h [m]	4.557
b [m]	9.114
L [m]	26.552

$$R = (1 - p_0) + \sum \Delta p \cdot \frac{w_p}{w_0}$$

R [%]	16.97
-------	-------

P [%]	d [mm]	ω [m/s]	ω/ω_0 [-]	Δp [%]	$\Delta P^*(\omega/\omega_0)$ [%]
100	0.5	0.079	1.291	0	Decanta todo
90.2	0.3	0.061	1.000	9.8	Decanta todo
87.4	0.2	0.050	0.816	2.8	2.286
80.5	0.15	0.043	0.707	6.9	4.879
77.1	0.125	0.039	0.645	3.4	No decantan
72.5	0.074	0.030	0.497	4.6	No decantan

Ejercicio 2

La DGA, está trabajando en un proyecto de diseño de sifón invertido que busca sortear un cauce natural. El canal es rectangular de ancho $b = 3.15$ [m].

El proyecto consta de:

- Una tubería sifón de 2.3 [m] de diámetro y 500 [m] de largo.
- La altura de escurrimiento en el canal de entrada es 2.3
- El coeficiente de pérdida singular de los codos es 0.4 [-].
- El factor de fricción es conocido e igual a 0.007 [-].
- El proyecto no considera reja de protección.

Se le solicita calcular la diferencia de cotas de entrada y salida si se requiere una altura de escurrimiento $h_2 = 2.5$ [m] en el canal de salida.

Datos:	Valor
Caudal [m ³ /s]	8
D [m]	2.3
L [m]	500
h_1 [m]	2.3
b [m]	3.15
k_s codos [-]	0.4
f [-]	0.007
h_2 [m]	2.5

Ejercicio 2

Se identifican las pérdidas del problema y se calcula la velocidad en la tubería sifón:

Pérdidas:

- 2 Codos.
- Transición en la entrada.
- Transición en la salida.
- Friccionales en la tubería.

Datos:	Valor
A_1 [m ²]	7.245
v_1 [m/s]	1.104
A_s [m ²]	4.155
v_s [m]	1.926

Ejercicio 2

Se calcula individualmente cada pérdida de carga:

Codos:

Pérdidas singulares

"locales", "menores"
(accesorios)

$$h_s = K_s \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Friccionales:

Pérdidas lineales

Fórmula de Darcy-Weisbach
(disipación viscosa en fluido y paredes)

$$h_l = f \frac{L}{D} \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Datos:	Valor
k_s [-]	0.4
v_s [m]	1.926
h_{codos} [m]	0.151
L [m]	500
D [m]	2.3
F [-]	0.007
h_{long} [m]	0.288

Ejercicio 2

Se calcula individualmente cada pérdida de carga:

Transiciones en la entrada y salida:

$$\lambda_t = C \cdot \Delta_{vel} = C \cdot \frac{1}{2g} \cdot (v_1^2 - v_2^2)$$

Tipo de transición.	C ₁	C ₂
Alabeada seg. Líneas de corriente.	0,10	0,20
Alabeada recta	0,20	0,30
Cuña. Trapecial a rectangular	0,30	0,50
Muros cilíndricos	0,15	0,25
Sec. circular a rectangular	0,20	0,30
Trapecial a circular.	0,40	0,70

Datos:	Valor
C ₁ Rect-Circ [-]	0.2
C ₂ Rect-Circ [-]	0.3
h _{entrada} [m]	0.025
h _{salida} [m]	0.003

Ejercicio 2

Se calcula la pérdida total, se aplica el factor de seguridad y se plantea la ecuación de conservación de energía

Datos:	Valor
h_{codo} [m]	0.151
h_{long} [m]	0.288
h_{entrada} [m]	0.025
h_{salida} [m]	0.003
h_{total} [m]	0.514

$$B1 = B2 + h_{\text{total}}$$

$Z_1 - Z_2$	0.504
-------------	-------

Ejercicio 3

Se le ha solicitado calcular la altura y el ancho del coronamiento en un muro de una presa de tierra cuya cota del NAME está en 80 [m].

Usted no cuenta con la topografía del lugar, pero sabe que la distancia máxima desde la obra a otra ribera es de 6 [km] y tiene que considerar una vida útil del embalse de 50 años.

Datos:	Valor
Fe [km]	6
U _d [mi/hr]	50
Vida útil [años]	50
H [m]	80

Ejercicio 3

Se procede a calcular la altura de la ola de las fórmulas empíricas:

Datos:	Valor
Fe [km]	6
U _d [mi/hr]	50
Vida útil [años]	50
H [m]	80

$$H_s = 1.5 \cdot F_e^{0.5} + 2.5 - F_e^{0.25} \quad \text{Stevenson}$$

$$H_s = 0.17 \cdot \sqrt{F_e \cdot U_d} - 2.5 \cdot F_e^{0.25} \quad \text{Molitor}$$

$$H_s = \frac{(F_e^{0.37} \cdot U_d^{0.48})}{3.14} \quad \text{Creager}$$

$$H_s = 0.075 \cdot (V - 0.85) \quad \text{Bureau of Reclamation}$$

Altura de la ola	[ft]	[m]
Stevenson	6.43	1.96
Molitor	-0.67	-0.20
Creager	4.82	1.47
BOR	3.69	1.12

Ejercicio 3

Cálculo de las revanchas y la altura de coronamiento:

$$R1 + R2 = 1.5 * H_s$$

$$R3 = 2\% * H$$

$$R4 = 13.3 + 4.6 * 5 + 2.0 * 20 + 0.8 * 20$$

$$R = R1 + R2 + R3 + R4$$

$$R_{\text{cierre}} = \text{Cerrar el valor de } R.$$

$$Z_{\text{coronamiento}} = H + R_{\text{cierre}}$$

Revanchas	[m]
R1 + R2	2.94
R3	1.60
R4	0.09
Revancha	4.63
R cierre	5
z coronamiento	85

Ejercicio 3

En base a la altura de coronamiento se calcula el ancho del coronamiento:

Donde:

- W [ft]: Ancho del coronamiento
- H [ft]: Altura máxima de la presa

$$W = \frac{H}{5} + 10 \text{ Criterio USBR}$$

$$W = 3.6 \cdot H^{\frac{1}{2}} - 3 \text{ Código Japonés}$$

Donde:

- W [m]: Ancho del coronamiento
- H [m]: Altura máxima de la presa

$$W = (1 + F) \cdot [(-36 \cdot H^{-\frac{1}{5}}) + 25] \text{ Criterio DOH/MOP}$$

Ancho del coronamiento (W)	[ft]	[m]
USBR	65.8	20.0
Japonés	57.1	17.4
DOH/MOP [m]	-	15.3

CI 5161

“Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras”

Auxiliar N°3

Arnaldo Santander

Franco Ricchetti

Diego Solé