

OBRAS HIDRÁULICAS II

QUINTO SEMESTRE

MA. GABRIELA ZÚÑIGA RODRÍGUEZ

OBRAS HIDRÁULICAS II

Unidad 2

OBRAS ESPECIALES EN CANALES

OBRAS ESPECIALES EN CANALES

1.1 INTRODUCCIÓN A OBRAS ESPECIALES

1.2 ACUEDUCTOS

1.3 SIFONES

1.4 ALCANTARILLAS

1.5 DESARENADORES

1.6 RESERVORIOS

DEFINICIÓN

- Los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para separar mediante decantación el material sólido que lleva el agua de un canal, para posteriormente remover el mismo.
- Evitando que la acumulación de dicho material tenga efectos perjudiciales sobre las obras.



DEFINICIÓN

- **EFFECTOS DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS.**
- La acumulación de material en el fondo de los canales disminuye su sección. Esto aumenta el costo anual de mantenimiento y produce interrupciones en el servicio del canal.
- Si los canales conducen a plantas hidroeléctricas, la arena arrastrada por el agua pasa a las turbinas desgastándolas. Esto significa una disminución del rendimiento y a veces exige reposiciones frecuentes y costosas.



CLASIFICACIÓN

1. EN FUNCIÓN DE SU OPERACIÓN

- **Desarenadores de lavado continuo:** La sedimentación y evacuación son simultáneas.
- **Desarenadores de lavado discontinuo o intermitente:** Primero almacena y luego expulsa los sedimentos en movimientos separados.
- Estos son el tipo más común y la operación de lavado se procura realizar en el menor tiempo posible con el objeto de reducir al mínimo las pérdidas de agua.

2. EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD

- **De baja velocidad:**

$$v < 1 \text{ [m/s]}$$
$$0.20 - 0.60 \text{ [m/s]}$$

- **De alta velocidad:**

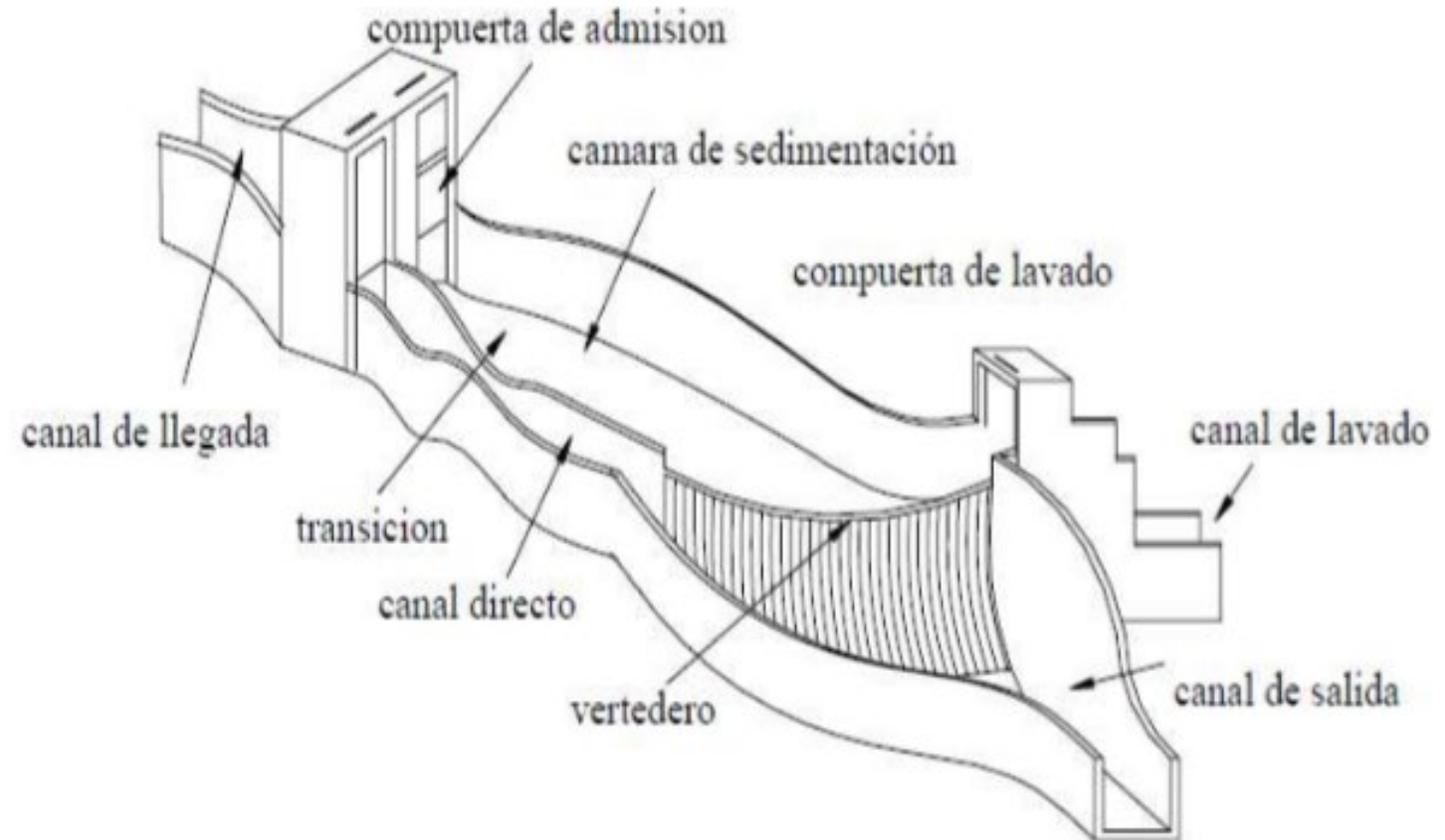
$$v > 1 \text{ [m/s]}$$
$$1 - 1.5 \text{ [m/s]}$$

3. POR LA DISPOSICIÓN DE LOS DESARENADORES

- **En serie:** Formado por dos o más depósitos contruidos uno a continuación del otro.
- **En Paralelo:** Formado por dos o más depósitos distribuidos paralelamente y diseñados para una fracción del caudal derivado.

ELEMENTOS

1. Transición de entrada.
2. Cámara de sedimentación
3. Vertedero.
4. Compuerta de lavado.
5. Canal directo.



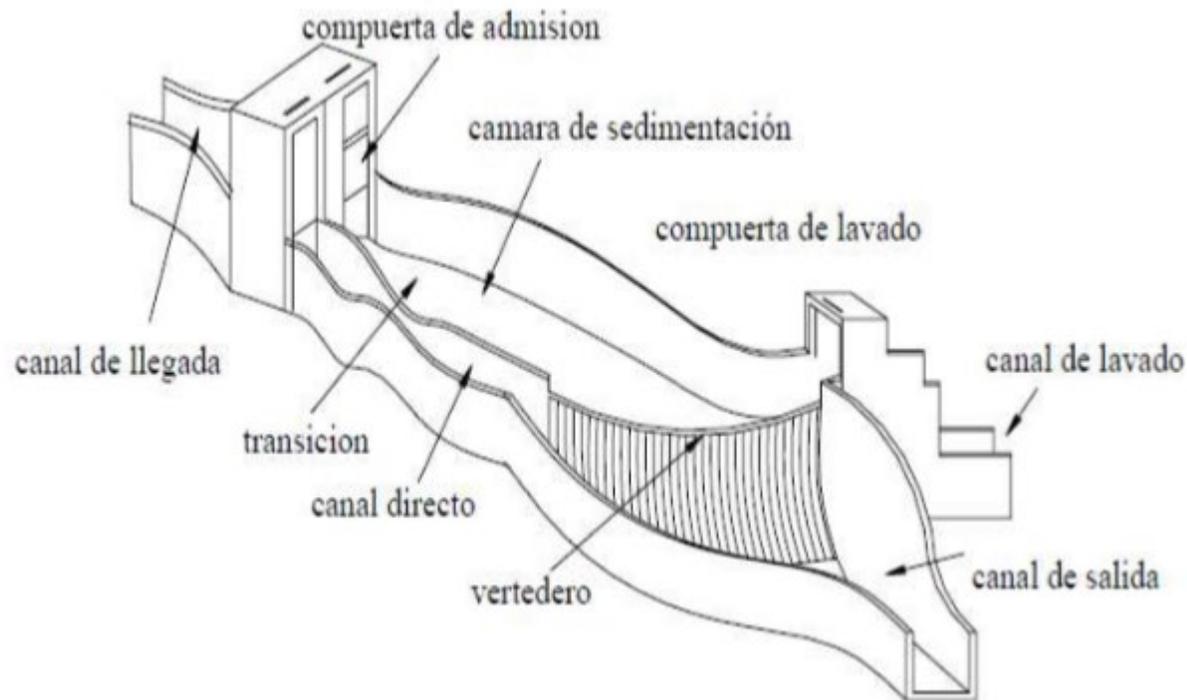
ELEMENTOS

1. Transición de entrada.

Une el canal con el desarenador.

2. Cámara de sedimentación.

En la cual las partículas sólidas caen al fondo, debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de la sección transversal.



2. Cámara de sedimentación.

Las velocidades límites de arrastre de sedimentos son:

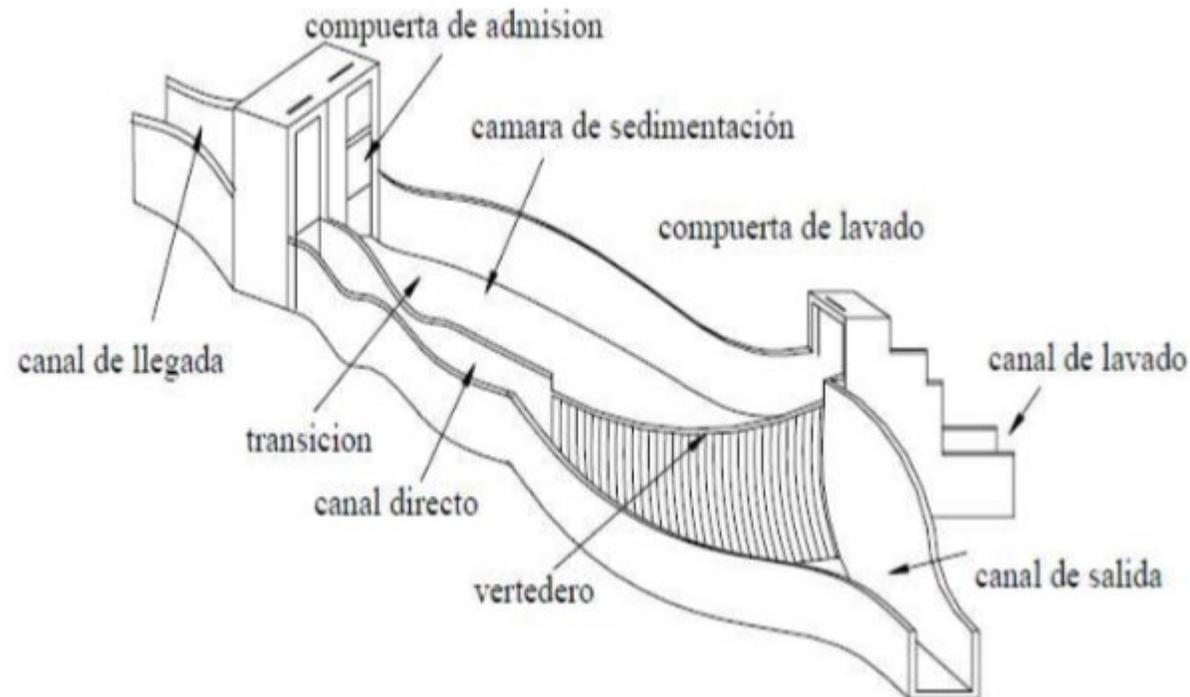
- Para la arcilla 0.081 [m/s]
- Para la arena fina 0.16 [m/s]
- Para la arena gruesa 0.216 [m/s]

- De acuerdo a lo anterior, la sección transversal de un desarenador, se diseña para velocidades que varían entre 0.1 [m/s] y 0.4 [m/s].
- Suelen tener una profundidad media entre 1.5 [m] y 4 [m].
- Para una velocidad elegida y un caudal dado, una mayor profundidad implica un ancho menor y viceversa.
- La forma de la sección transversal puede ser cualquiera, aunque generalmente se escoge una rectangular o una trapezoidal.
- Con el objeto de facilitar el lavado, concentrando las partículas hacia el centro, conviene que el fondo no sea horizontal, sino que tenga una caída hacia el centro.
- La pendiente transversal usualmente escogida es de 1:5 a 1:8.

ELEMENTOS

3. Vertedero

- Al final de la cámara se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal.
- Las capas superiores son las que primero se limpian, es por esto que la salida del agua desde el desarenador se hace por medio de un vertedero, que hasta donde sea posible debe trabajar con descarga libre.



3. Vertedero

- Mientras más pequeña es la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión se arrastran.
- Como máximo se admite que esta velocidad puede llegar a 1 [m/s].
- La ecuación de Francis para de un vertedero rectangular sin contracciones es:

• Donde

$$Q = C \cdot L \cdot h^{3/2}$$

- Q: Caudal [m³/s]
- L: Longitud de la cresta [m]
- h: Carga hidráulica sobre el vertedero [m]
- C: Constante del vertedero
 - 1.84 para vertederos de cresta aguda
 - 2.00 para vertederos de perfil Creager

ELEMENTOS

3. Vertedero

- El Área Hidráulica se puede calcular como:

$$A = L \cdot h$$

- La Velocidad puede calcularse como:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{C \cdot L \cdot h^{3/2}}{L \cdot h} = C \cdot h^{1/2}$$

- Por tanto, la carga del vertedero será:

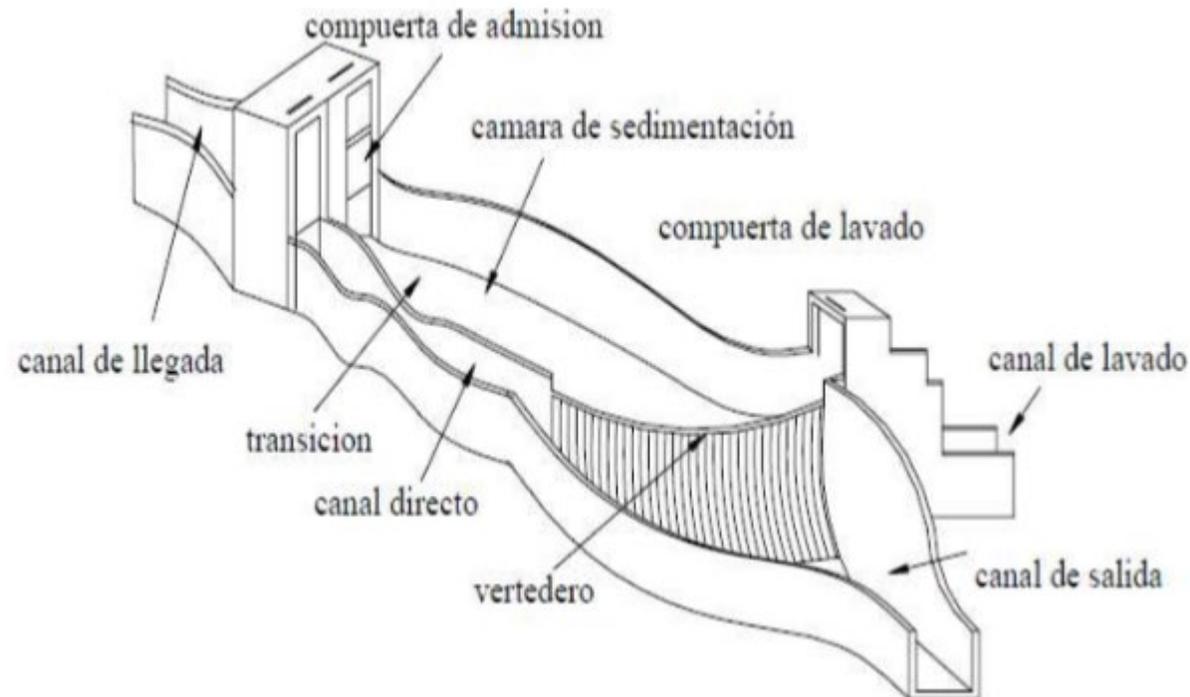
$$h = \left(\frac{v}{C}\right)^2$$

- Para los valores indicados de v y C , se puede concluir que el máximo valor de h no debería pasar de 25 [cm].

ELEMENTOS

3. Vertedero

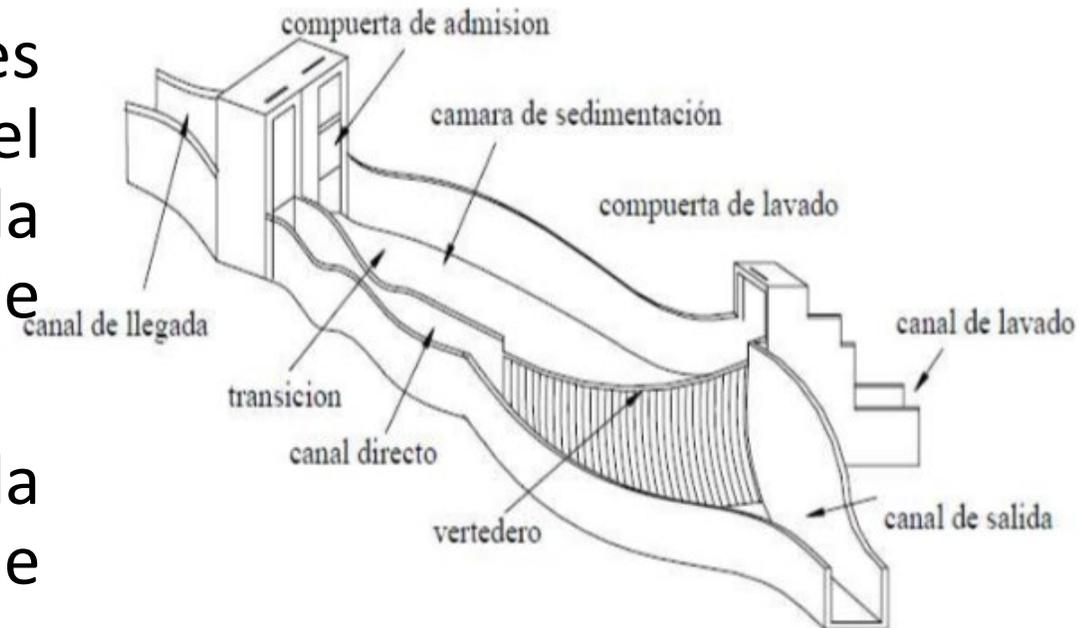
- Casi siempre el ancho de la cámara del desarenador no es suficiente para construir el vertedero recto y perpendicularmente a la dirección del agua.
- Por esto se le ubica en curva que comienza en uno de los muros laterales y continúa hasta cerca de la compuerta de desfogue.
- Esta forma facilita el lavado permitiendo que las arenas sigan trayectorias curvas y al mismo tiempo el flujo espiral que se origina la aleja del vertedero.



ELEMENTOS

4. Compuerta de lavado

- Sirve para desalojar los materiales depositados en el fondo. Para facilitar el movimiento de las arenas hacia la compuerta, al fondo del desarenador se le da una gradiente fuerte del 2 al 6 %.
- Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que trae el agua para asegurar una adecuada capacidad del desarenador y no necesitar lavarlo con demasiada frecuencia.



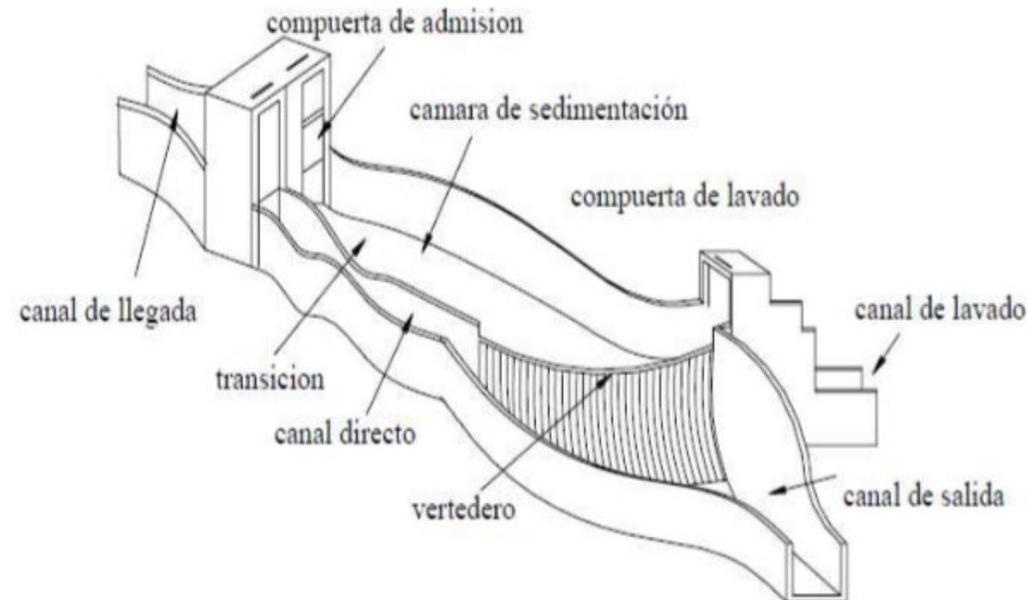
4. Compuerta de lavado

- Generalmente, al lavar un desarenador se cierran las compuertas de admisión. Sin embargo, para casos de emergencia el desarenador debe poder vaciarse inclusive con estas compuertas abiertas.
- Por este motivo las compuertas de lavado deben diseñarse para un caudal igual al traído por el canal más el lavado que se obtiene dividiendo el volumen del desarenador para el tiempo de lavado.
- Se considera que para que el lavado pueda efectuarse en forma rápida y eficaz esta velocidad debe ser de 3 a 5 [m/s].

ELEMENTOS

5. Canal Directo

- Sirve para dar servicio mientras se está lavando el desarenador. El lavado se efectúa generalmente en un tiempo corto, pero por si cualquier motivo, reparación o inspección, es necesario secar la cámara del desarenador, el canal directo que va por su contorno, permite que el servicio no se suspenda.
- Con este fin a la entrada se colocan dos compuertas, una de entrada al desarenador y otra al canal directo.



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

DESARENADOR



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

1. DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS A SEDIMENTAR.

- Los desarenadores son diseñados para un determinado diámetro de partícula (d).
- Por tanto, se supone que todas las partículas de diámetro superior al escogido deben depositarse.
- Por ejemplo para:
 - Sistemas de riego: $d = 0.5$ [mm].
 - Plantas hidroeléctricas: $d = 0.25$ [mm], también puede seleccionarse en función de la altura de caída o el tipo de turbina.

Diámetro de partículas que son retenidas en el desarenador (d) [mm]	Altura de caída [m]
0,60	100 - 200
0,50	200 - 300
0,30	300 - 500
0,10	500 - 1000

Diámetro de partículas que son retenidas en el desarenador (d) [mm]	Tipo de turbina
1,00 - 3,00	Kaplan
0,40 - 1,00	Francis
0,20 - 0,40	Pelton

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

2. VELOCIDAD DEL FLUJO EN LA CÁMARA.

- La velocidad en un desarenador se considera lenta, está comprendida entre:

0.20 A 0.60 [m/s]

- La elección puede ser arbitraria o realizarse utilizando la fórmula de Camp:

$$v = a \cdot \sqrt{d} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

a	d [mm]
0.51	< 0,10
0.44	0,10 - 1
0.36	> 1,00

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.

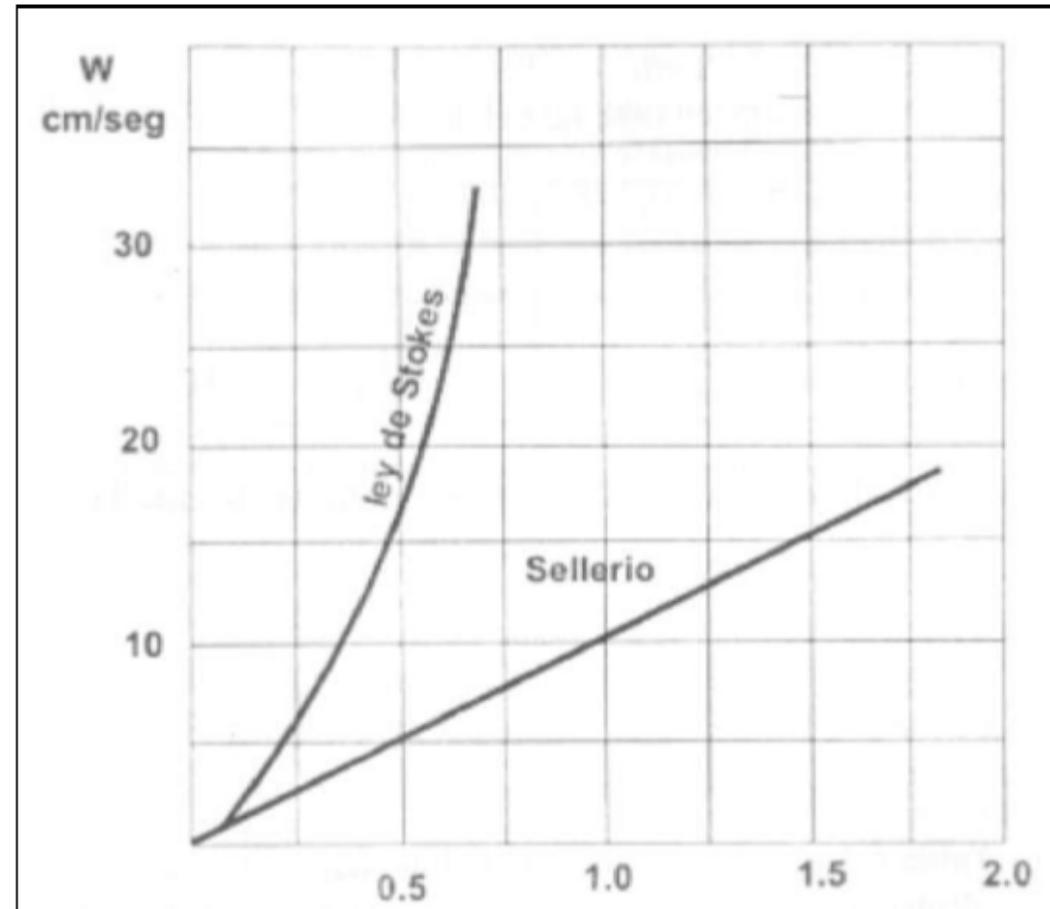
3.1. CRITERIO DE ARKHANGELSKI.

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

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.

3.2. CRITERIO DE SELLERIO Y STOKES



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.

3.3 FÓRMULA DE OWENS

$$w = k \cdot \sqrt{d \cdot (\rho_s - 1)}$$

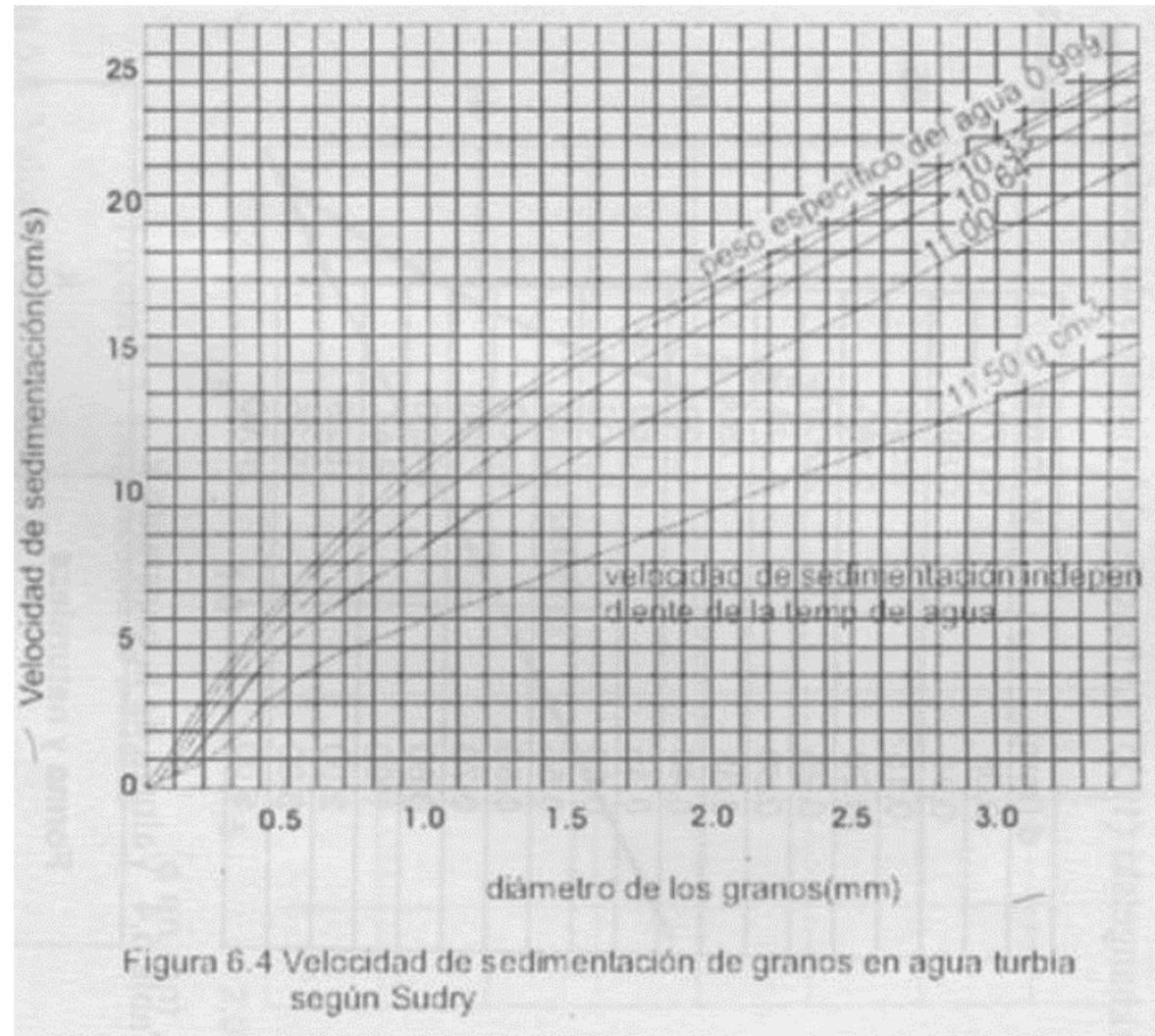
- ρ_s : Peso específico del material [g/cm³]
- d: diámetro de las partículas [m]
- k: constante en función de los granos

Forma y naturaleza	k
Arena esférica	9,35
Granos redondeados	8,25
Granos cuarzo d > 3,00 [mm]	6,12
Granos cuarzo d < 0,70 [mm]	1,28

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.

3.5 CRITERIO DE SUDRY



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.

3.6 CRITERIO DE SCOTTI - FOLGLIENI

$$w = 3,8 * \sqrt{d} + 8,3d$$

Donde:

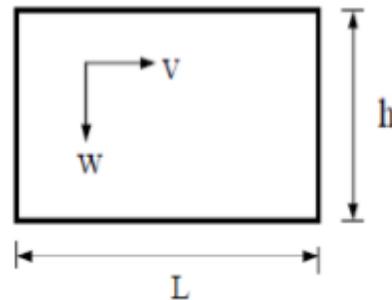
w: velocidad de sedimentación en $\frac{m}{s}$

d = diámetro de la partícula en m

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

4. DISEÑO DE LA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN.

- Para el dimensionamiento de la Cámara de Sedimentación se pueden tomar dos criterios:
- Despreciando el efecto del flujo turbulento sobre la velocidad de sedimentación.
- Considerando los efectos retardatorios.



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

4. DISEÑO DE LA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN.

4.1. Despreciando el efecto del flujo turbulento sobre la velocidad de sedimentación.

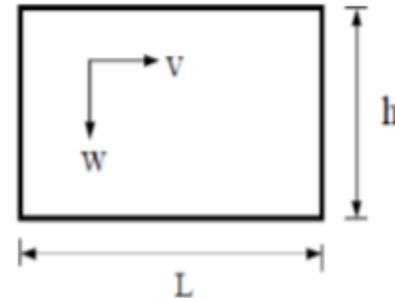
- Se plantean las siguientes relaciones:

- **Ancho de la Cámara**

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = b \cdot H \cdot v$$

$$b = \frac{Q}{H \cdot v}$$



- **Longitud de la Cámara.**

$$\begin{aligned} v &= \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{v} \\ w &= \frac{H}{t} \rightarrow t = \frac{H}{w} \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad L = \frac{H \cdot v}{w}$$

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

4. DISEÑO DE LA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN.

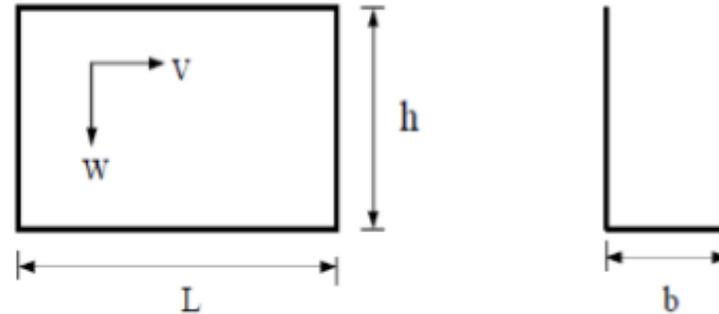
4.2. Considerando los efectos retardatorios.

- Con el agua está en movimiento la velocidad real de sedimentación es menor, considerándose igual a:

$$w_r = w - w'$$

- La Longitud de la Cámara será entonces:

$$L = \frac{H \cdot v}{w - w'}$$



- Siendo la longitud resultante mayor.
- Para calcular la reducción de la velocidad por efectos de la turbulencia, tenemos las siguientes expresiones

- Levin:

$$w' = \frac{v}{5.7 + 2.3 \cdot H}$$

- Bestelli y col.

$$w' = \sigma \cdot v$$

$$\sigma = \frac{0.132}{\sqrt{H}}$$

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

4. DISEÑO DE LA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN.

4.2. Considerando los efectos retardatorios.

- En desarenadores de bajas velocidades se puede realizar una corrección mediante el coeficiente [K], que varía de acuerdo a las velocidades de flujo en la Cámara.

$$L = K \cdot \frac{H \cdot v}{w}$$

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0,20	1,25
0,30	1,50
0,50	2,00

- En desarenadores altas velocidades (entre 1 [m/s] a 1.5 [m/s]), Montagre, precisa que la caída de los granos de 1 [mm] están poco influenciados por la turbulencia, el valor de K en términos del diámetro, se muestra en la tabla.

Dimensiones de las partículas a eliminar d (mm)	K
1,00	1,00
0,50	1,30
0,25 – 0,30	2,00

- La pendiente en la Cámara de Sedimentación es del 2% para facilitar el lavado.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

5. LONGITUD DE LA TRANSACCIÓN.

La transición debe ser hecha lo mejor posible pues la eficiencia de la sedimentación depende de la uniformidad de la velocidad en la sección transversal, para el diseño se utiliza la fórmula de Hinds.

$$L = \frac{T_D - T_c}{2 \cdot \text{tg}(12.5)}$$

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

6. LONGITUD DEL VERTEDERO.

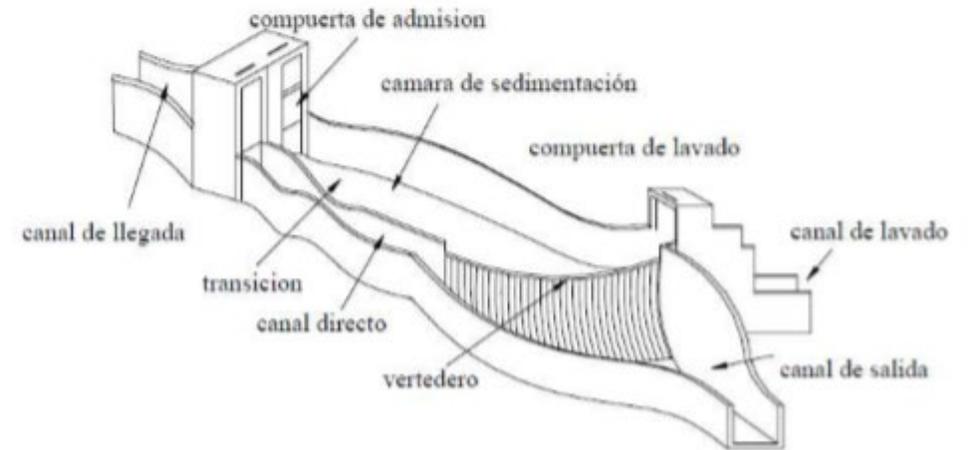
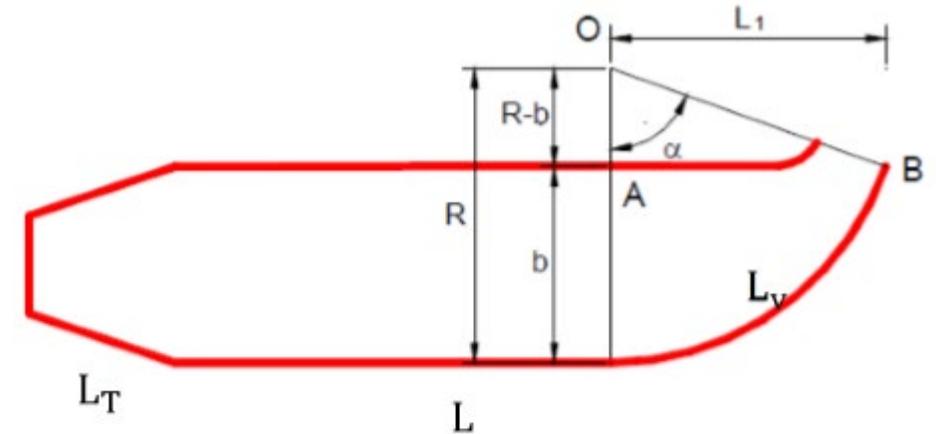
En un vertedero, para evitar la turbulencia:

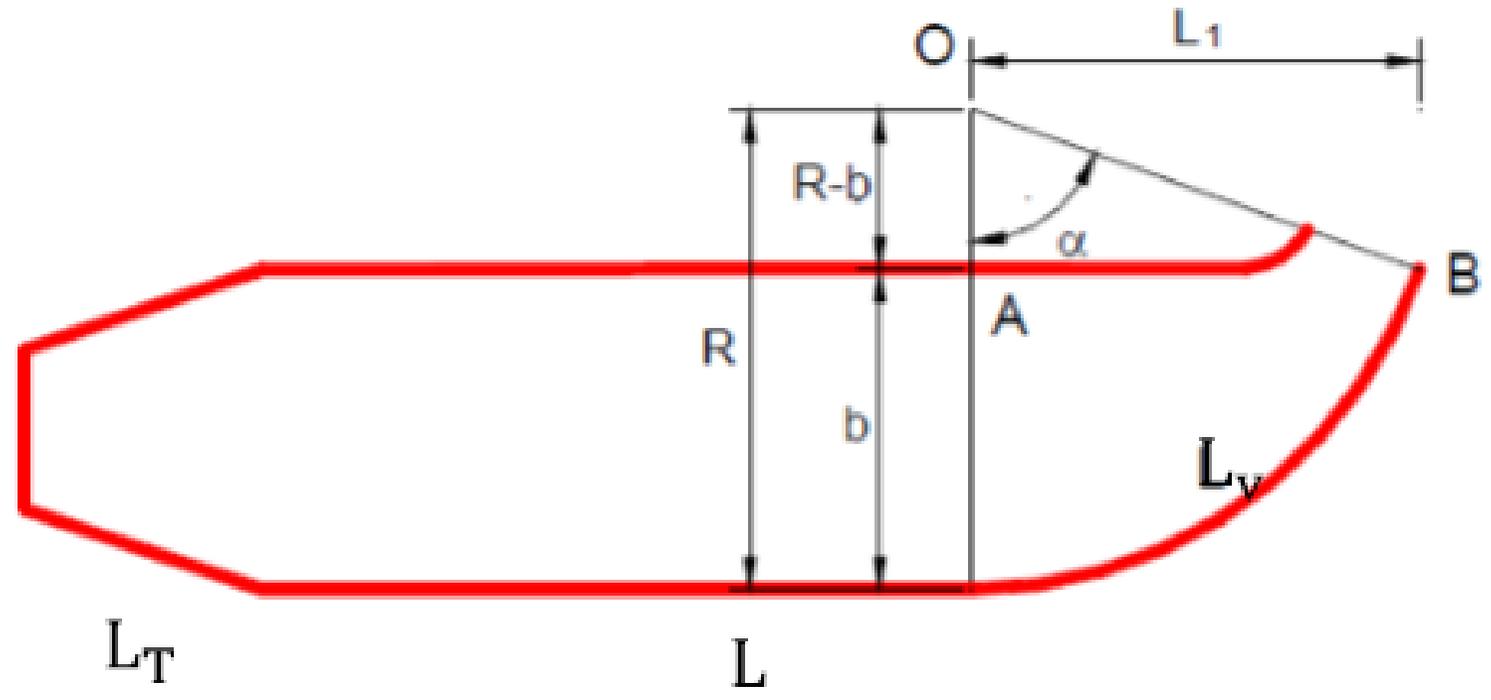
$$v_{\max} = 1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad h_{\max} = 0.25[\text{m}]$$

Para un $h = 0.25$ [m], para un perfil Creager ($C = 2$) o Cresta Aguda ($C = 1.84$), y un caudal conocido, se despeja L de la fórmula.

$$L_V = \frac{Q}{C \cdot H^{3/2}}$$

Por lo general la longitud del vertedero L_V , es mayor que el ancho del desarenador b , por lo que se debe ubicar a lo largo de una curva circular, que comienza en uno de los muros laterales y continúa hasta la compuerta de lavado.





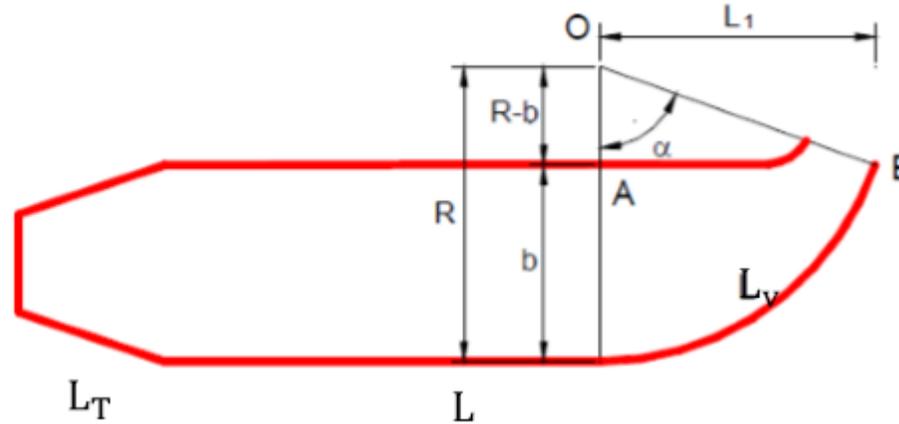
CONSIDERACIONES DE DISEÑO

7. ÁNGULO CENTRAL.

- Se tiene la relación:

$$L_v = \frac{2\pi \cdot \alpha \cdot R}{360}$$

$$R = \frac{360 \cdot L_v}{2\pi \cdot \alpha} = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot \alpha}$$



- Considerando el triángulo OAB

$$\cos(\alpha) = \frac{R - b}{R}$$

$$R = \frac{b}{1 - \cos(\alpha)}$$

- Igualando y despejando

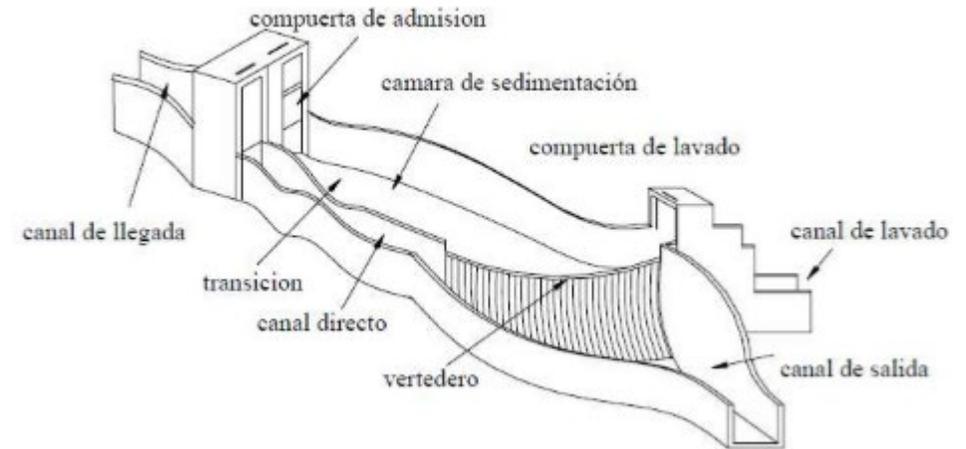
$$\frac{b}{1 - \cos(\alpha)} = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot \alpha}$$



$$\frac{\alpha}{1 - \cos(\alpha)} = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot b}$$



Constante



- Se resuelve utilizando Solver

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

8. CÁLCULO DEL RADIO

- Se obtiene de la ecuación

$$R = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot \alpha}$$

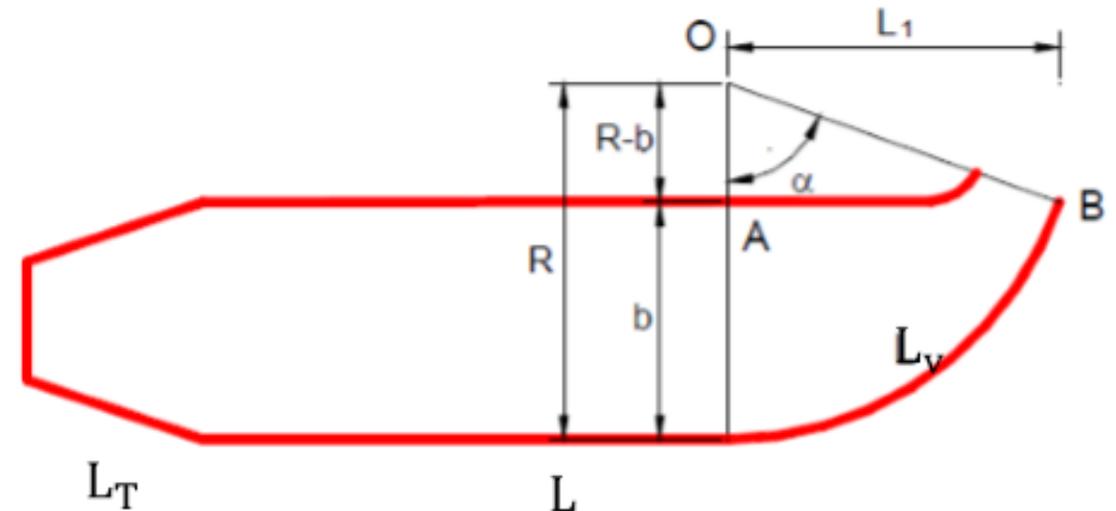
- **9. CÁLCULO DE LA LONGITUD PROYECTADA**

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{L_p}{R}$$

$$L_p = R \cdot \text{sen}(\alpha)$$

- **10. LONGITUD LONGITUD DEL DESARENADOR**

$$L_D = L_T + L + L_p$$



CONSIDERACIONES DE DISEÑO

11. ALTURA DEL VERTEDERO CON RESPECTO AL FONDO.

$$\Delta Z = L \cdot s$$

- Al fondo del desarenador se le da una gradiente fuerte del 2 al 6 %. Lo que nos permite obtener la altura al final del desarenador.

$$H_{\text{com}} = H + \Delta Z$$

- La altura del vertedero será la diferencia entre la altura al final del desarenador y la carga máxima sobre el vertedero.

$$H_{\text{vert}} = H_{\text{com}} - h_{\text{max}}$$

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

12. DIMENSIONES DE LA COMPUERTA DE LAVADO

- Suponiendo una compuerta cuadrada de lado l , el área será

$$A_{\text{com}} = l^2$$

- La compuerta funcionará como un Orificio, siendo su ecuación.

$$Q = C_d \cdot A_{\text{com}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{com}}}$$

- Donde su carga será

$$h_{\text{com}} = H_{\text{com}} - \frac{l}{2}$$

- El coeficiente de descarga, igual 0.60 para un orificio de pared delgada
- La velocidad de salida por la compuerta debe ser de 3 a 5 [m/s]

$$v_c = \frac{Q}{A_c}$$

EJEMPLO DISEÑO DESARENADOR

a) Diseñar un desarenador para sedimentar las partículas que conduce un canal de riego, con un caudal de riego de 1.00 [m³/s] y un canal de base 1 [m]. El desarenador debe ser de velocidad lenta aplicando:

- a) La teoría de simple sedimentación.
- b) El efecto retardador de la turbulencia.

- Datos adicionales

- ✓ Peso específico del material a sedimentar $\rho_s=2.50$ [gr/cm³]

- ✓ Peso específico del agua $\rho_w=1$ [gr/cm³]

Datos:

Desarenador para Q de RIEGO.

Q Riego = 1.0 m³/s

Sección rectangular

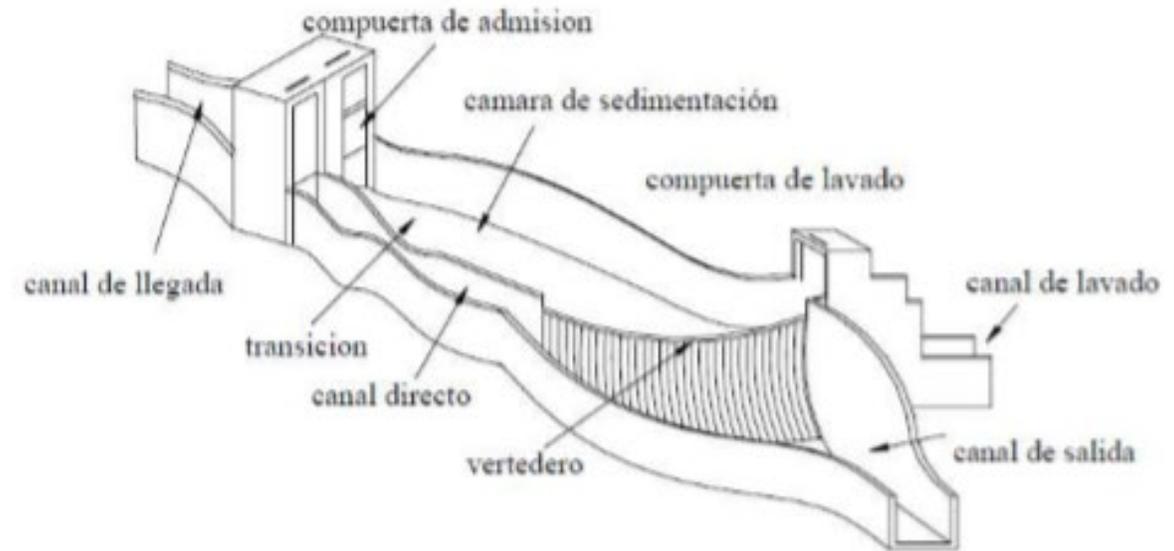
b= 1.00 m

Peso específico material a sedimentar $\rho_s = 2.50$ gr/cm³.

Peso específico del agua $\rho_w = 1$ gr/cm³.

Diseñar aplicando:

- La teoría de simple sedimentación.
- El efecto retardado de la turbulencia.



TAREA No.5

- Realizar la programación de cálculo del ejercicio del desarenador realizado en clase.

