

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL  
INGENIERÍA CIVIL**



**“El Desarenador”**

**DOCENTE :**

**ING. EDGAR SPARROW ÁLAMO.**

**Nuevo Chimbote - Perú  
2008**

## DESARENADOR

### DEFINICIÓN

Los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal.

El material sólido que se transporta ocasiona perjuicios a las obras:

1. Una gran parte del material sólido va depositándose en el fondo de los canales disminuyendo su sección. Esto aumenta el costo anual de mantenimiento y produce molestas interrupciones en el servicio de canal.
2. Si los canales sirven a plantas hidroeléctricas, la arena arrastrada por el agua pasa a las turbinas desgastándolas tanto más rápidamente cuanto mayor es la velocidad. Esto significa una disminución del rendimiento y a veces exige reposiciones frecuentes y costosas.

### CLASES DE DESARENADORES

1. En función de su operación:

‣ **Desarenadores de lavado continuo**, es aquel en el que la sedimentación y evacuación son dos operaciones simultáneas.

‣ **Desarenadores de lavado discontinuos** (intermitente), que almacena y luego expulsa los sedimentos en movimiento separados.

2. En función de la velocidad de escurrimiento:

‣ **De baja velocidad**  $v < 1$  m/s (0.20 – 0.60 m/s)

‣ **De alta velocidad**  $v > 1$  m/s (1.00 – 1.50 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.

### DESARENADORES DE LAVADO INTERMITENTE

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 del agua.

## FASES DEL DESARENAMIENTO

ف Fase sedimentación

ف Fase de purga (evacuación)

En la figura 1 se muestra un esquema de un desarenador de lavado intermitente.

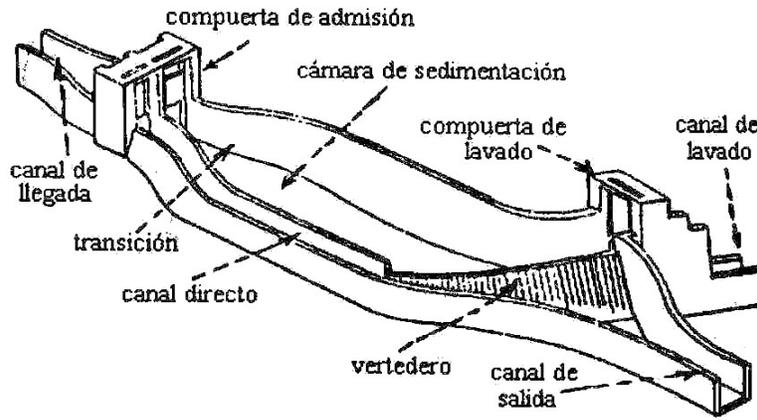
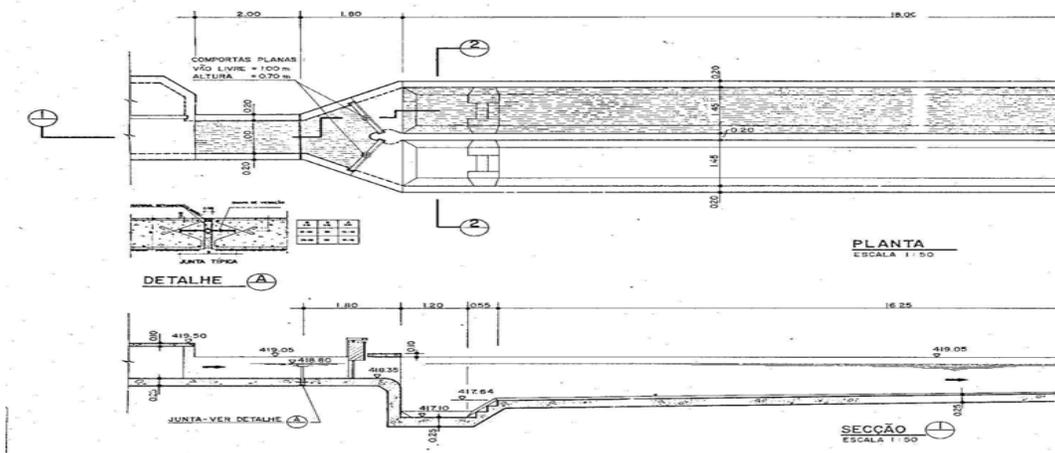


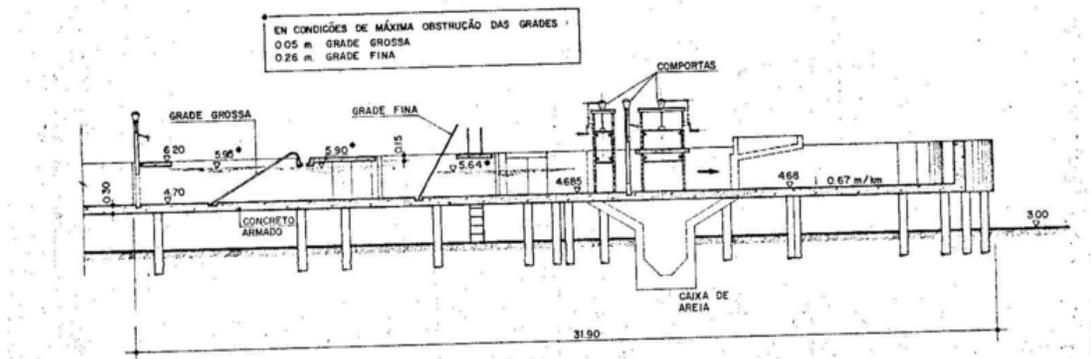
Figura 1. Esquema de un desarenador de lavado intermitente

Existen varios tipos de desarenadores, los principales son:

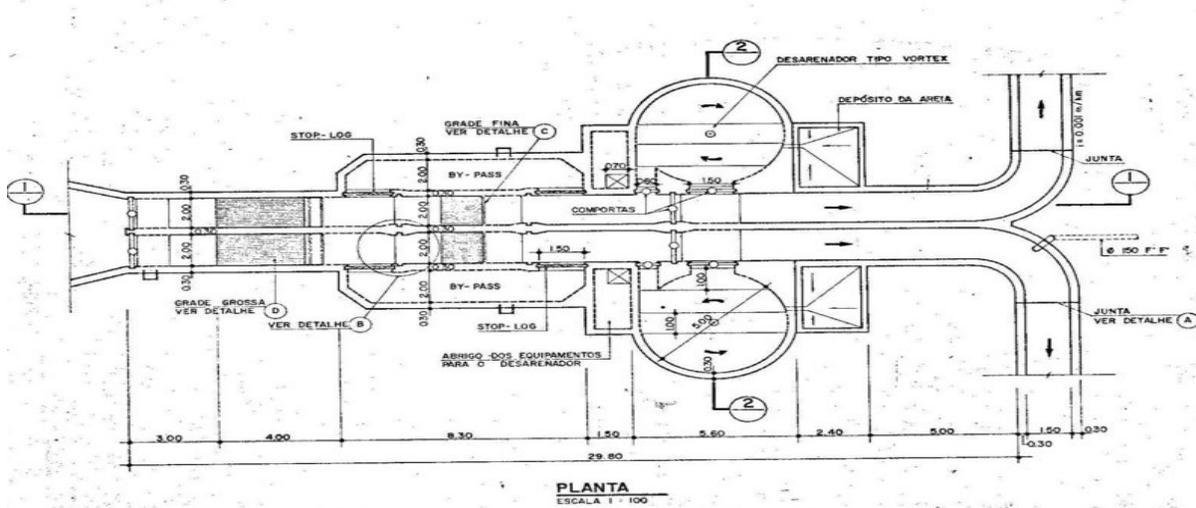
- Desarenador Longitudinal:



- Desarenador de vórtice. (corte longitudinal)



- Desarenador de vórtice. (planta)



## ELEMENTOS DE UN DESARENADOR

Para cumplir su función, el desarenador se compone de los siguientes elementos:

1. **Transición de entrada**, la cual 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.

Según Dubuat, las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversas materias son:

para la arcilla	0.081 m/s
para arena fina	0.160 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, con una profundidad media de 1.5 m y 4 m. Observar que 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 simple o compuesta. La primera simplifica considerablemente la construcción, pero es relativamente cara pues las paredes deben soportar la presión de la tierra exterior y se diseñan por lo tanto como muros de sostenimiento. La segunda es hidráulicamente más eficiente y más económica pues las paredes trabajan como simple revestimientos. 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.

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.

También mientras más pequeña es la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión arrastra. Como máximo se admite que esta velocidad puede llegar a  $v = 1$  m/s.

De la ecuación de un vertedero rectangular sin contracciones:

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

Donde:  $Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$C$  = 1.84 (cresta aguda)

$C$  = 2.0 (perfil Creager)

$L$  = longitud de la cresta (m)

$h$  = carga sobre el vertedero (m)

Si el área hidráulica sobre vertedor es:

$$A = L h$$

La velocidad será:

$$v = C h^{\frac{1}{2}}$$

De donde para los valores indicados de  $v$  y  $C$ , se puede concluir que el máximo valor de  $h$  no debería pasar de 25 cm.

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 las aleja del vertedero.

**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%. El incremento de la profundidad obtenido por efecto de esta gradiente no se incluye en el tirante de cálculo, sino que el volumen adicional obtenido se lo toma como depósitos para las arenas sedimentadas entre dos lavados sucesivos.

Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que trae el agua para asegura una adecuada capacidad del desarenador y no necesitar lavarlo con demasiada frecuencias.

Para lavar una cámara del desarenador se cierran las compuertas gran velocidad arrastrando la mayor parte de sedimentos.

Entre tanto el caudal normal sigue pasando al canal sea a través del canal directo o a través de otra cámara del desarenador.

Una vez que esta vacía la cámara, se abre parcialmente las compuertas de admisión y el agua que entra circula con gran velocidad sobre los sedimentos que han quedado, erosionándolos y completando el 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.

Hay que asegurarse que el fondo de la o las compuertas este más alto que el punto del río al cual se conducen las aguas del lavado y que la gradiente sea suficiente para obtener una velocidad capaz de arrastrar las arenas.

Se consideran que para que el lavado pueda efectuarse en forma rápida y eficaz esta velocidad debe ser de 3 - 5 m/s.

Muchas veces esta condición además de otras posibles de índole topográfica, impide colocar el desarenador inmediatamente después de la toma, que es la ubicación ideal, obligando desplazarlo aguas abajo en el canal.

5. **Canal directo**, por el cual se da servicio mientras se esta 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.

En el caso de ser el desarenador de dos o más cámaras, el canal directo ya no es necesario pues una de las cámaras trabaja con el caudal total mientras la otra se lava.

## CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO

### 1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar

Los desarenadores se diseñan para un determinado diámetro de partícula es decir, que se supone que todas las partículas de diámetro superior al escogido deben depositarse. Por ejemplo, el valor del diámetro máximo de partícula normalmente admitido para plantas hidroeléctricas es de 0.25 mm. En los sistemas de riego generalmente se acepta hasta  $d = 0.5$  mm.

En sistemas hidroeléctricos el diámetro puede calcularse en función de la altura de caída como se muestra en la tabla 1, o en función del tipo de turbina como se muestra en la tabla 2.

### 2. Calculo de la velocidad del flujo $v$ en el tanque

La velocidad en un desarenador se considera lenta, cuando esta comprendida entre 0.20 m/s a 0.60 m/s. La elección puede ser arbitraria o puede realizarse utilizando la formula de Camp:

Tabla 1. Diámetro de partículas en función de la altura de caída

Diámetros de partículas (d) que son retenidas en el desarenador (mm)	Altura de caída(H) (m)
0.6	100 – 200
0.5	200 – 300
0.3	300 – 500
0.1	500 - 1000

Tabla 2. Diámetro de partículas en función con el tipo de turbina

Diámetro de partículas (d) a eliminar en el desarenador (mm)	Tipo de turbina
1 – 3	Kaplan
0.4 – 1	Francis
0.2 – 0.4	Pelton

$$V = a \sqrt{d} \quad (\text{cm/s})$$

Donde:

D = diámetro (mm)

a = constante en función del diámetro

a	d (mm)
51	0.1
44	0.1 – 1
36	1

### 3. Calculo de la velocidad de caída $w$ (en aguas tranquilas)

Para este aspecto, existen varias formulas empíricas, tablas y nomogramas, algunas de las cuales consideran:

Peso específico del material a sedimentarse:  $\rho_s$  gr/cm<sup>3</sup> (medible)

Peso específico del agua turbia:  $\rho_w$  gr/cm<sup>3</sup> (medible)

Así se tiene:

**3.1 Tabla 3 preparada por Arkhangelski**, la misma que permite calcular  $w$  (cm/s) en función del diámetro de partículas  $d$  (en mm)

**3.2 La experiencia generado por Sellerio**, la cual se muestra en el nomograma de la figura 2, la misma que permite calcular  $w$  (en cm/s) en función del diámetro  $d$  (en mm).

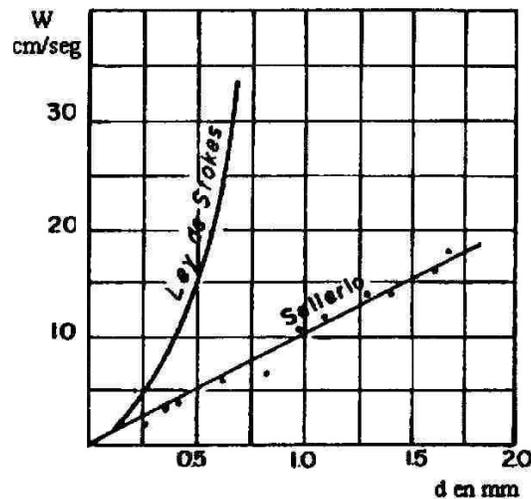


Figura 2. Experiencia de Sellerio

Tabla 3. Velocidades de sedimentación  $w$  calculado por Arkhangelski (1935) en función del diámetro de partículas

<b>d (mm)</b>	<b>w (cm/s)</b>
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

### 3.3 La formula de Owens:

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

Donde:

$w$  = velocidad de sedimentación (m/s)

$d$  = diámetro de partículas (m)

$\rho_s$  = peso específico del material ( $\text{g/cm}^3$ )

$k$  = constante que varia de acuerdo con la forma y naturaleza de los granos, sus valores se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de la constante  $k$

Forma y naturaleza	$k$
arena esférica	9.35
granos redondeados	8.25
granos cuarzo $d > 3$ mm	6.12
granos cuarzo $d < 0.7$ mm	1.28

**3.4. La experiencia generada por Sudry**, la cual se muestra en el nomograma en la figura 3, en la misma que permite calcular la velocidad de sedimentación  $w$  (en m/s) en función del diámetro (en mm) y del peso específico del agua ( $\rho_w$  en  $\text{gr/cm}^3$ ).

**3.5 La fórmula de Scotti – Folglieni**

$$w = 3.8\sqrt{d} + 8.3d$$

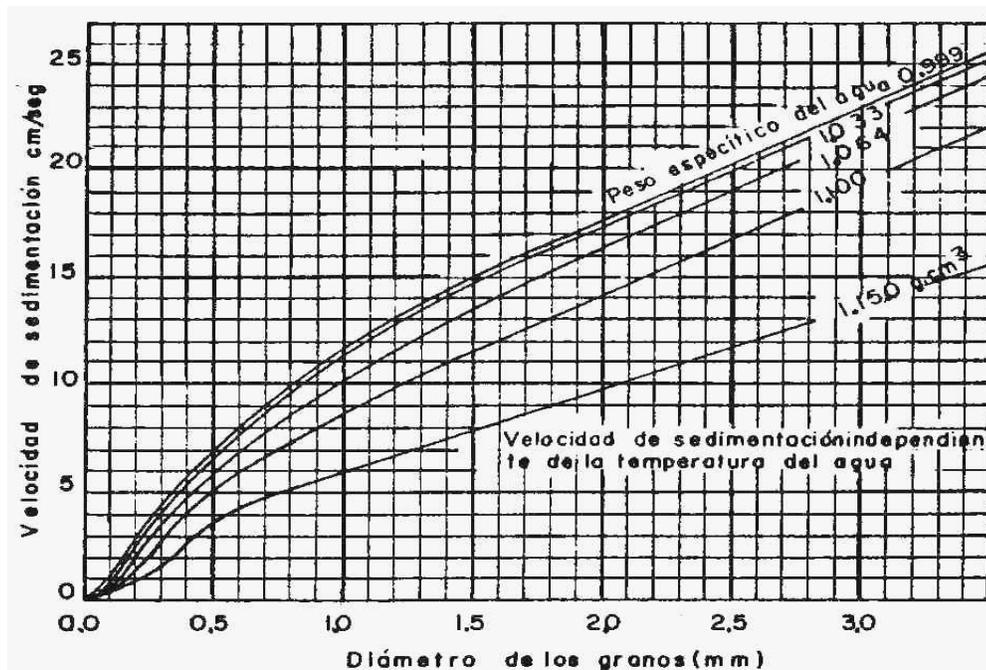
donde :

$w$  = velocidad de sedimentación (m/s)

$d$  = diámetro de la partícula

Para el cálculo de  $w$  de diseño se puede obtener el promedio de los  $w_s$  con los métodos enunciados anteriormente.

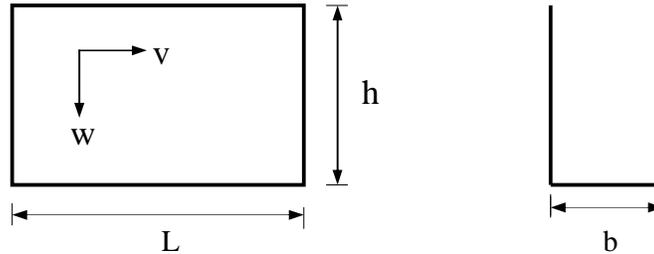
En algunos casos puede ser recomendable estudiar en el laboratorio la fórmula que rija las velocidades de caída de los granos de un proyecto específico.



*Figura 3. Velocidad de sedimentación de granos de arena en agua.*

#### 4. Cálculo de las dimensiones del tanque

Despreciando el efecto del flujo turbulento sobre la velocidad de sedimentación, se puede plantear las siguientes relaciones:



Caudal:  $Q = b h v \rightarrow$  ancho del desarenador:  $b = \frac{Q}{hv}$  ..... (1)

Tiempo de caída:

$$w = \frac{h}{t} \rightarrow t = \frac{h}{w} \text{ ..... (2)}$$

Tiempo de sedimentación:

$$v = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{v} \text{ ..... (3)}$$

Igualando (2) = (3):

$$\frac{h}{w} = \frac{L}{v}$$

De donde la longitud, aplicando la teoría de simple sedimentación es:

$$L = \frac{hv}{w} \text{ ..... (4)}$$

#### Considerando los efectos retardatorios de la turbulencia

Con el agua en movimiento la velocidad de sedimentación es menor, e igual a  $w - w'$ , donde  $w'$  es la reducción de velocidad por efectos de la turbulencia.

Luego, la ecuación (4) se expresa:

$$L = \frac{hv}{w - w'} \text{ ..... (5)}$$

en la cual se observa que manteniendo las otras condiciones constantes la ecuación (5) proporciona mayores valores de la longitud del tanque que la ecuación (4).

Eghiazaroff, expresó la reducción de velocidad de flujo como:

$$w' = \frac{v}{5.7 + 2.3h} \text{ m/s ..... (6)}$$

Levin, relacionó esta reducción con la velocidad de flujo con un coeficiente:

$$w' = \alpha v \quad \text{m/s} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Bestelli et al considera:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

donde  $h$  se expresa en m.

En el cálculo de los desarenadores de bajas velocidades se puede realizar una corrección, mediante el coeficiente  $K$ , que varía de acuerdo a las velocidades de escurrimiento en el tanque, es decir:

$$L = K \frac{hv}{w} \quad \dots\dots\dots (9)$$

donde  $K$  se obtiene de la tabla 5.

Tabla 5. Coeficiente para el cálculo de desarenadores de baja velocidad

<b>Velocidad de escurrimiento (m/s)</b>	<b>K</b>
0.20	1.25
0.30	1.50
0.50	2

En los desarenadores de altas velocidades, entre 1 m/s a 1.50 m/s, Montagne, 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 muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Coeficiente para el cálculo de desarenadores de alta velocidad

<b>Dimensiones de las partículas a eliminar d (mm)</b>	<b>K</b>
1	1
0.50	1.30
0.25 - 0.30	2

El largo y el ancho de los tanques pueden en general, construirse a más bajo costo que las profundidades, en el diseño se deberá adoptar la mínima profundidad práctica, la cual para velocidades entre 0.20 y 0.60 m/s, puede asumirse entre 1.50 y 4.00 m.

## Proceso de cálculo de las dimensiones del tanque

El proceso de cálculo se puede realizar de la siguiente manera:

1. Asumiendo una profundidad (por ejemplo  $h = 1.50$  m)

### *Aplicando la teoría de simple sedimentación:*

- Calcular la longitud con la ecuación:

$$L = \frac{hv}{w}$$

- Calcular el ancho de desarenador con la ecuación:

$$b = \frac{Q}{hv}$$

- Calcular el tiempo de sedimentación con la ecuación:

$$t = \frac{h}{w}$$

- Calcular el volumen de agua conducido en ese tiempo con la ecuación:

$$V = Qt$$

- Verificar la capacidad del tanque con la ecuación:

$$V = bhL$$

### *Considerando los efectos recordatorios de la turbulencia:*

- Calcular  $\alpha$ , según Bastelli et al:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}}$$

- Calcular  $w'$ , según Levin:

$$w' = \alpha v$$

- Calcular  $w'$ , según Eghiazaroff:

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

- Calcular la longitud  $L$  utilizando la ecuación (5):

$$L = \frac{hv}{w - w'}$$

para valores de  $w'$  obtenidos de las ecuaciones de Bestelli y Eghiazaroff

- Calcular  $L$ , corregida según la ecuación (9):

$$L = K \frac{hv}{w}$$

- De los valores de  $L$  obtenidos, elegir uno de ellos
- Definido  $h$ ,  $b$ ,  $L$  se tienen las dimensiones del tanque desarenador.
- Para facilidad del lavado, al fondo del desarenador se le dará una pendiente del 2%. Esta inclinación comienza al finalizar la transición.

### 5. Cálculo de la longitud de transición

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 puede utilizar la fórmula de Hind:

$$L = \frac{T_2 - T_1}{2 \operatorname{tg} 12.5^\circ}$$

donde:  $T_1$  = espejo de agua en el canal

$T_2$  = espejo de agua en el desarenador

### 6. Cálculo de la longitud del vertedero

Al final de la cámara se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal. Mientras más pequeña es la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión arrastra.

Como máximo se admite que esta velocidad pueda llegar a  $v = 1$  m/s y como se indicó anteriormente, esta velocidad pone un límite al valor máximo de la carga sobre el vertedero  $h$ , el cual es de 0.25 m.

#### Cálculo de $L$

Para un  $h = 0.25$  m,  $C = 2$  (para un perfil Creager) o  $C = 1.84$  (cresta aguda), y el caudal conocido, se despeja  $L$ , la cual es:

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

Por lo general la longitud del vertedero  $L$ , es mayor que el ancho del desarenador  $b$ , por lo que debe ubicar a lo largo de una curva circular, que comienza en un de los muros laterales y continúa hasta la compuerta de lavado, como se muestra en la figura 1.



Como en la ecuación (12)  $L$  y  $b$  son conocidos, el segundo miembro es una constante:

$$C = \frac{180 L}{\pi b}$$

por lo que la ecuación (12) se puede escribir:

$$f(\alpha) = \frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} = C \quad \dots\dots\dots (13)$$

El valor de  $\alpha$  se encuentra resolviendo por tanteos la ecuación (13).

## 2. Cálculo de R:

R se calcula utilizando la ecuación (10):

$$R = \frac{180 L}{\pi \alpha}$$

### Cálculo de la longitud de la proyección longitudinal del vertedero ( $L_1$ ):

De la figura 4, tomando el triángulo  $OAB$ , se tiene:

$$\text{sen } \alpha = \frac{L_1}{R} \rightarrow L_1 = R \text{ sen } \alpha$$

### Cálculo de la longitud promedio ( $\bar{L}$ ):

$$\bar{L} = \frac{L + L_1}{2}$$

### Cálculo de la longitud total del tanque desarenador:

$$L_T = L_t + L + \bar{L}$$

donde:

$L_T$  = longitud total

$L_t$  = longitud de la transición de entrada

$L$  = longitud del tanque

$\bar{L}$  = longitud promedio por efecto de la curvatura del vertedero

## 7. Cálculos complementarios

### Cálculo de la caída del fondo:

$$\Delta Z = L x S$$

donde:

$\Delta Z$  = diferencia de cotas del fondo del desarenador

$L = L_T - L_t$

$S$  = pendiente del fondo del desarenador (2%)

#### **Cálculo de la profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado:**

$$H = h + \Delta Z$$

donde:

$H$  = profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado

$h$  = profundidad de diseño del desarenador

$\Delta Z$  = diferencia de cotas del fondo del desarenador

#### **Cálculo de la altura de cresta del vertedero con respecto al fondo:**

$$h_c = H - 0.25$$

donde:

$h_c$  = altura de la cresta del vertedero con respecto al fondo

$H$  = profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado

#### **Cálculo de las dimensiones de compuerta de lavado:**

Suponiendo una compuerta cuadrada de lado  $l$ , el área será  $A = l^2$ . La compuerta funciona como un orificio, siendo su ecuación:

$$Q = C_d A_0 \sqrt{2gh}$$

donde:

$Q$  = caudal a descargar por el orificio

$C_d$  = coeficiente de descarga = 0.60 para un orificio de pared delgada

$A_0$  = área del orificio, en este caso igual al área  $A$  de la compuerta

$h$  = carga sobre el orificio (desde la superficie del agua hasta el centro del orificio)

$g$  = aceleración de la gravedad,  $9.81 \text{ m/s}^2$

#### **Cálculo de la velocidad de salida:**

$$v = \frac{Q}{A_0}$$

donde:

$v$  = velocidad de salida por la compuerta, debe ser de 3 a 5 m/s, para el concreto, el límite erosivo es de 6 m/s

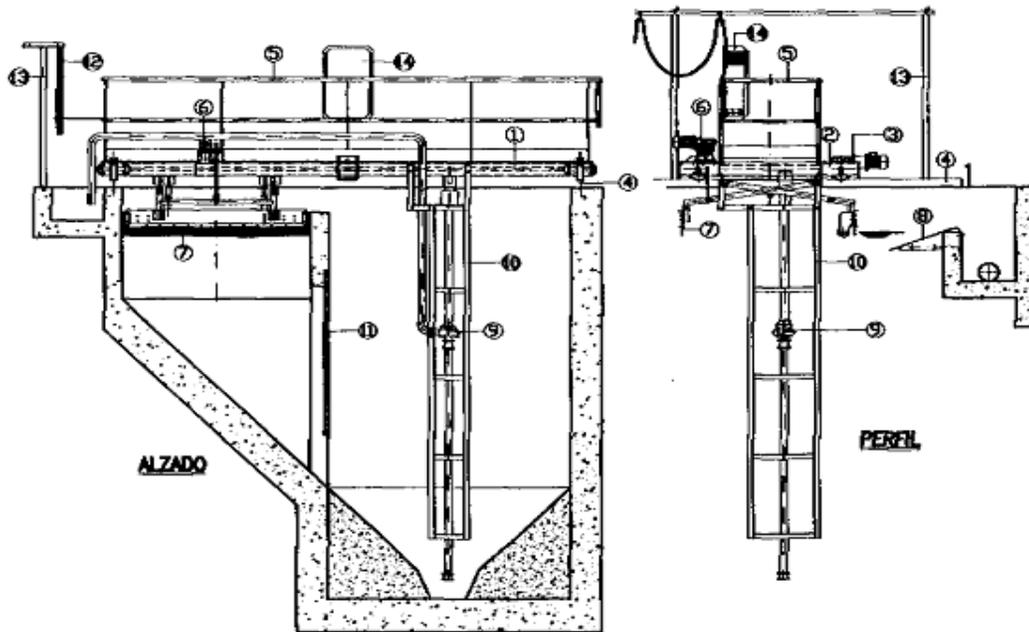
$Q$  = caudal descargado por la compuerta

$A_0$  = área del orificio, en este caso igual al área  $A$  de la compuerta

## MODELO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR



## DESARENADOR



- |                            |                                 |                                  |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1.- Puente.                | 6.- Sistema izado de rasquetas. | 11.- Pantalla de separación.     |
| 2.- Carro de traslación.   | 7.- Rasquetas de grasas         | 12.- Manguera eléctrica.         |
| 3.- Sistema de traslación. | 8.- Rampa de grasas.            | 13.- Soporte manguera eléctrica. |
| 4.- Carril guía            | 9.- Bomba de arenas.            | 14.- Cuadro eléctrico            |
| 5.- Barandilla.            | 10.- Jaula bomba de arenas      |                                  |