Módulo 2 – Tema 2 –

Uso de ciclones y pantallas vibratorias para la recuperación de agua.

- **Ing. Danny Flores Cruz**

RelaveNet
A Community of Excellence

INTRODUCCIÓN

Hidrociclones y Pantallas vibratorias

Pulpa	% Sólidos en masa	Tipo de Tecnología	Detalles
Pulpa de Relaves (Convencionales)	20 – ±50 %	Convencional deposición de relaves sin tecnología	• Esfuerzo de cedencia: 5 – 20 Pa • Recuperación de agua al proceso: 65 – 75 % (pérdidas por evaporación/seepage 25 – 35 %) • Transporte mediante bombas centrífugas; gran espejo de agua libre. • Ventajas: menor CAPEX inicial, operación simple. • Limitaciones: gran huella del tranque, altas pérdidas de agua y riesgo de licuefacción.
Pulpa de Relaves (Espesados)	±50 – 60 %	Espesadores de alta tasa "high-rate"	• Esfuerzo de cedencia: 20 – 100 Pa • Recuperación agua previa a depósito: 70–80% (se puede lograr 60–65% de sólidos en underflow) • Transporte posible con bombas centrífugas de alta potencia; menor volumen de agua libre en tranque. • Ventajas: reduce el flujo hidráulico y la superficie de evaporación; menor presa. • Retos: mayor consumo energético en bombeo, control de reología.
Pulpa de Relaves (en pasta)	±60 – 70 %	Espesadores de pasta	• Esfuerzo de cedencia: 100 – 800 Pa • Recuperación agua total (espesado+pérdidas mínimas): 75–85% (libera poca agua libre en el depósito) • Flujo laminar no segregante; requiere tuberías de gran diámetro o bombas de pistón. • Ventajas: drástico descenso del espejo de agua, diques más bajos y estables. • Limitaciones: CAPEX/OPEX elevados en bombas, sensibilidad a variaciones reológicas.
Queque o torta de Relave deshidratado (Apilamiento en Seco)	> 75 %	Filtración al vacío o a presión	• Esfuerzo de cedencia: > 800 Pa • Recuperación de agua: 85 – 95% (casos superan 90%) • Humedad residual ~12–20%; torta transportada por correas, camiones o fajas apiladoras. • Ventajas: mínima huella hídrica, pilas secas compactables, riesgo de falla hidráulica casi nulo. • Desafíos: alto CAPEX, mayor consumo energético, manejo de polvo y logística de apilado.

RelaveNet
A Community of Excellence

INTRODUCCIÓN

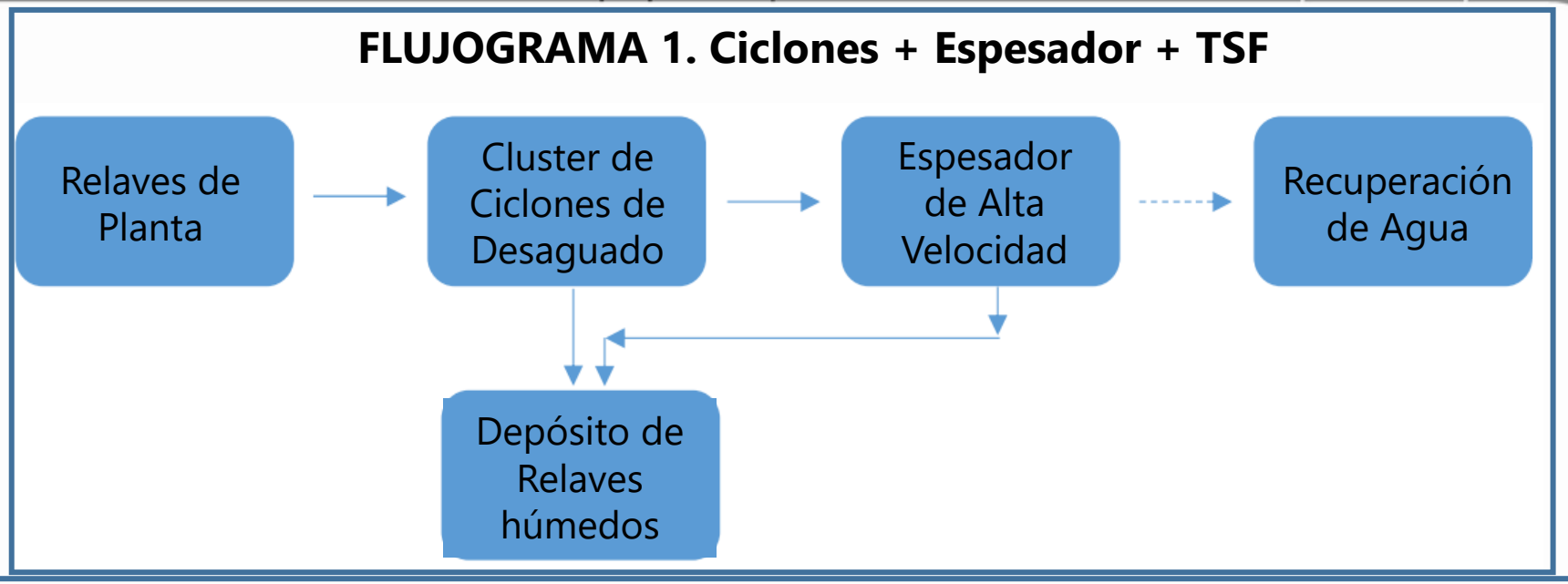
Flujograma / Estrategia	Dique convencional	Pantallas y ciclones	Espesador “high-rate”	Espesador de pasta	Filtración a presión (filtro prensa)	Filtración al vacío (faja horizontal)
1. Depósito tradicional	✔	—	—	—	—	—
2. Circuito con espesamiento	—	✔	✔	✔	✔	✔
3. Circuito de filtración	—	—	—	—	✔	✔

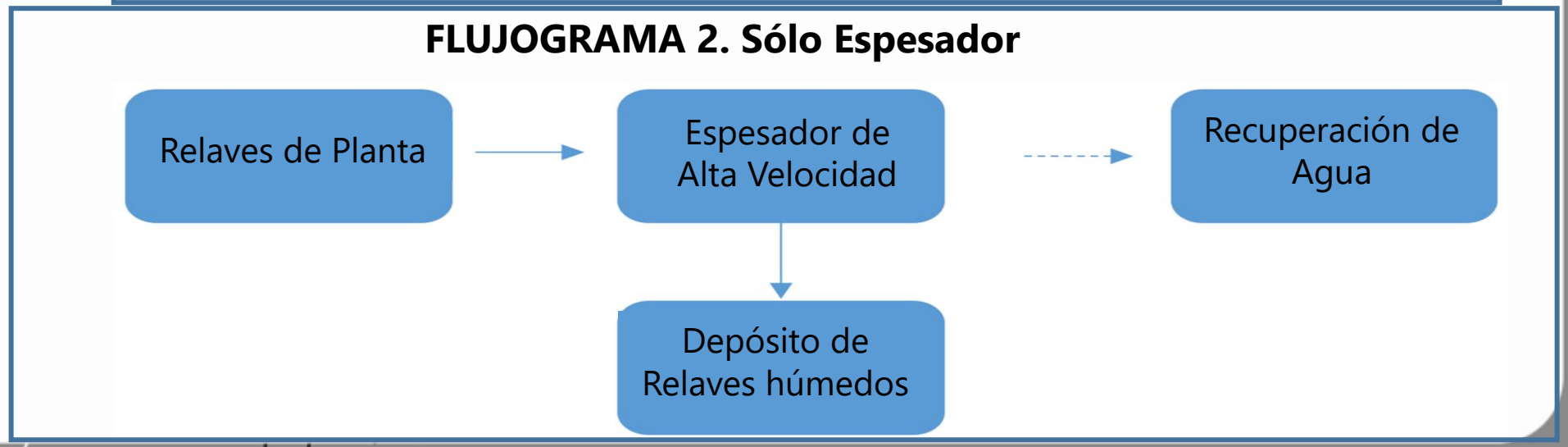
Los hidrociclones y las pantallas vibratorias conectan la pulpa diluida (20-50 % de sólidos) de un depósito convencional con las etapas de espesamiento y, finalmente, de filtrado:
con convencional ↔ espesado, la dupla ciclón + pantalla concentra el underflow a ~60-65 % de sólidos y drena el exceso de agua superficial, transformando un flujo muy líquido en una corriente densa y manejable para un espesador “high-rate”
con espesado ↔ filtrado, ese pre-cake parcialmente deshidratado reduce 20-30 % el caudal que ingresa a los filtros prensa o de vacío, de modo que se necesita menos área filtrante y se bajan CAPEX y OPEX en 15-25 %.

Los casos industriales muestran incrementos de 10-15 puntos de sólidos, humedades residuales de 18-22 % tras la pantalla vibratoria y recuperaciones hídricas totales de 75-80 %, mientras que el espejo de agua del tranque puede caer hasta 40 %. Así, esta combinación actúa como acelerador de densificación: maximiza la recuperación de agua, minimiza la huella del depósito y optimiza la economía global del circuito de relaves sin depender desde el inicio de tecnologías mecánicas costosas.

RelaveNet
A Community of Excellence

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CICLONES

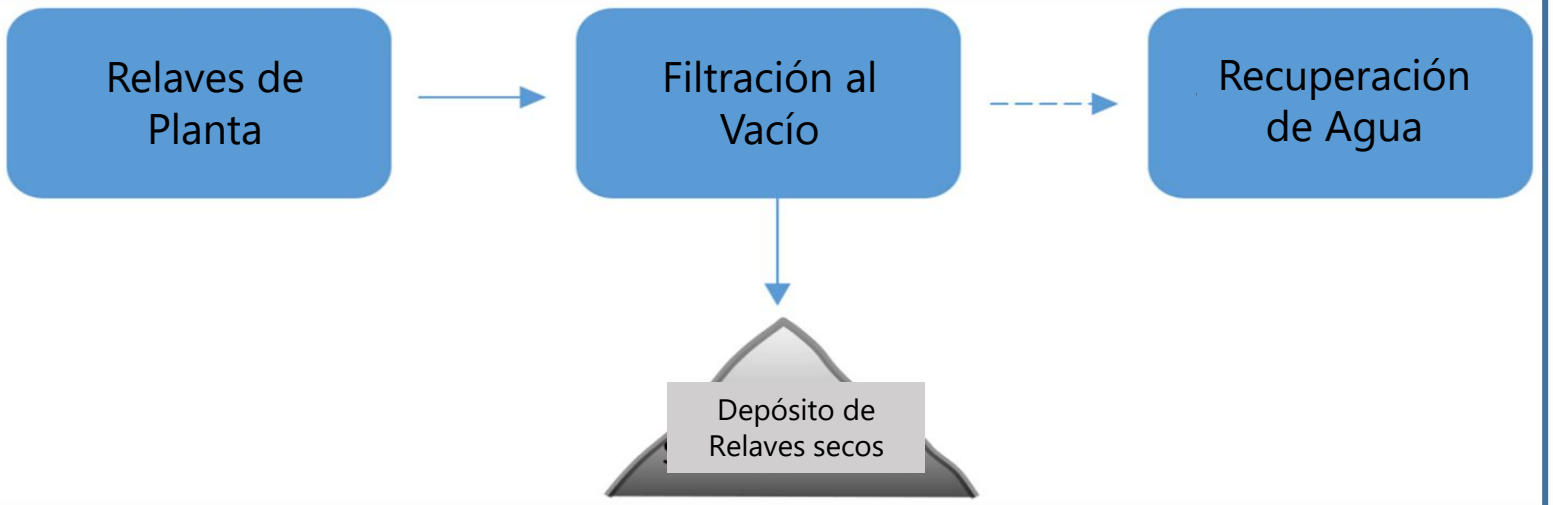




RelaveNet
A Community of Excellence

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CICLONES

FLUJOGRAMA 3. Filtración al Vacío



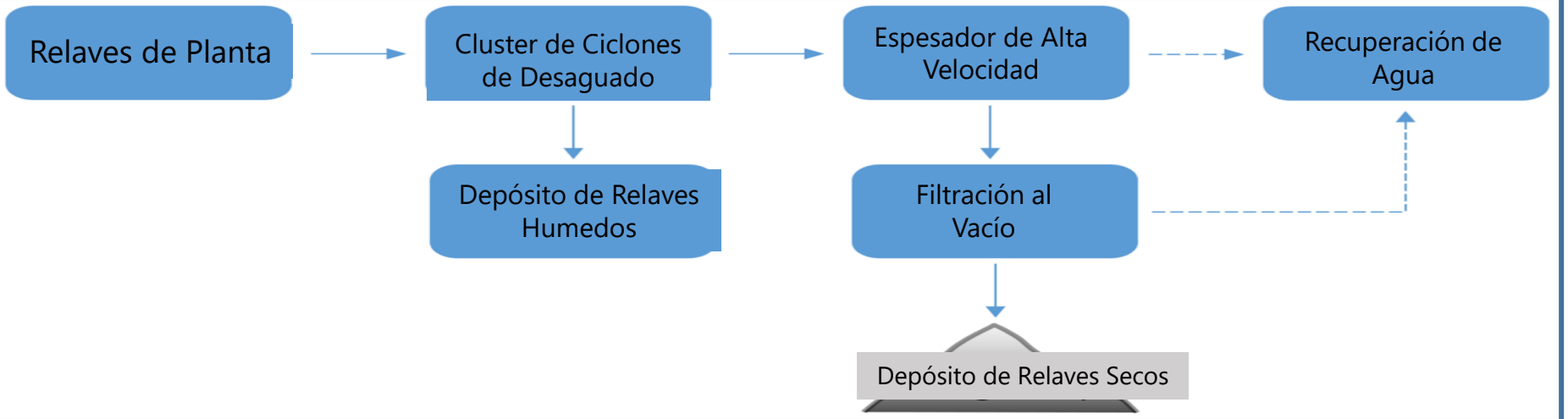
FLUJOGRAMA 4. Espesador + Filtración al Vacío



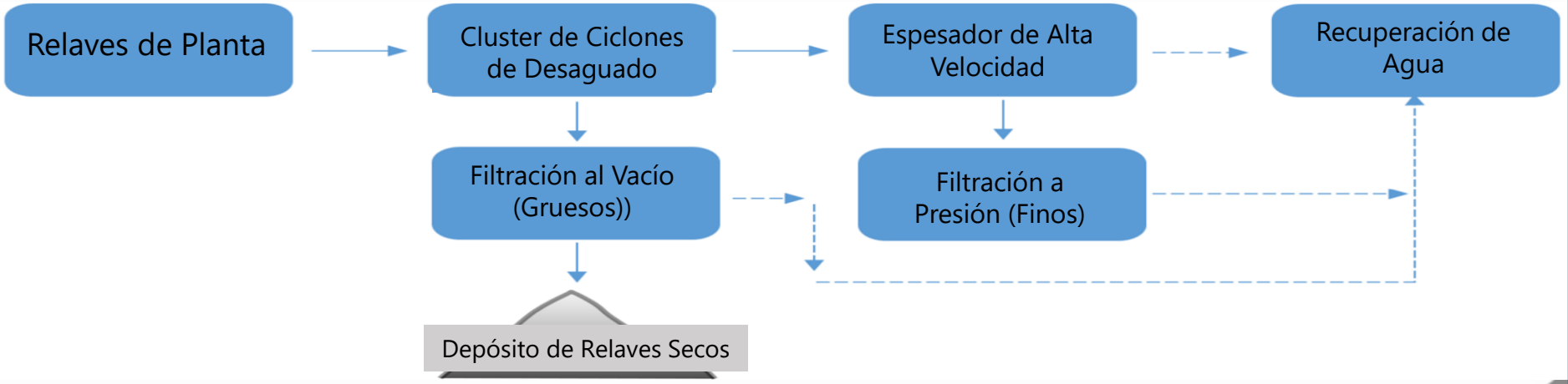
RelaveNet
A Community of Excellence

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CICLONES

FLUJOGRAMA 5. Ciclones → Espesador → Filtración Vacío



FLUJOGRAMA 4. Ciclones → Espesador → Filtración Vacío/Presión



RelaveNet
A Community of Excellence

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CICLONES

Flujo	Circuitos incluidos (orden)	Recuperación de agua†	Extensión de desaguado†	Flexibilidad de proceso†	CAPEX relativo	Observaciones relevantes
1	Ciclones → Espesador → TSF	6 / 10	7 / 10	5 / 10	**Bajo**	La alternativa más económica; usa ciclones para separar gruesos pero la torta fina no supera 75 % sólidos, de modo que no cumple meta de apilado en seco.
2	Espesador (solo) → TSF	5 / 10	6 / 10	4 / 10	**Muy bajo**	Esquema base; simplicidad operativa pero baja eficiencia hídrica y mayor huella de agua en el dique.
3	Filtración al vacío → Dump	8–9 / 10	**10 / 10**	6 / 10	**Medio-alto**	La filtración coarse-vacuum logra torta > 80 % sólidos y alta recuperación; OPEX mayor por mantenimiento de filtros.
4	Espesador → Filtración al vacío → Dump	8–9 / 10	**10 / 10**	7 / 10	**Medio**	El espesador pre-densa la pulpa, lo que reduce área filtrante; equilibrio costo-rendimiento aceptable.
5	Ciclones → Espesador → Filtración al vacío → Dump	9 / 10	**10 / 10**	8 / 10	**Medio-alto**	Añadir ciclones descarga parte de los gruesos al TSF y alivia la filtración; buena sinergia pero CAPEX mayor.
6	Ciclones → Espesador → Vacío (gruesos) + Presión (finos) → Dump	**9 / 10**	**10 / 10**	**10 / 10**	**Alto** (compensado)	Mejor puntuación global (8,2/10). La clasificación previa con ciclones y la doble filtración optimizan área filtrante y flexibilidad; produce torta transportable y reduce > 75 % del agua.

† Puntuaciones tomadas del estudio comparativo (0 = muy bajo, 10 = óptimo).

RelaveNet
A Community of Excellence

Tabla 1. Parámetros tamaño de corte del ciclón

Dirección de cambio del parámetro de entrada	Parámetro de entrada	Influencia en el tamaño de corte del ciclón
↑	Densidad relativa de alimentación (RD)	↑ Aumenta
↑	Densidad de partícula	↓ Disminuye
↑	Presión de alimentación	↓ Disminuye
↑	Diámetro del vortex finder	↑ Aumenta
↑	Relación spigot / vortex finder	↓ Disminuye
↑	Diámetro del ciclón	↑ Aumenta

Figura 2. Ciclón sobre base móvil



Figura 3. Unidad de ciclonado sobre orugas



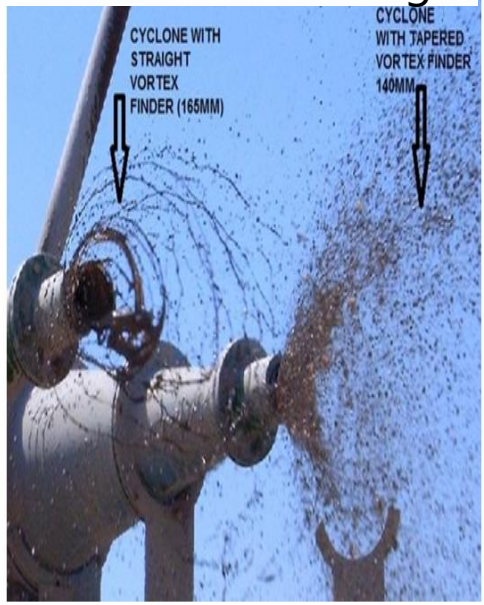


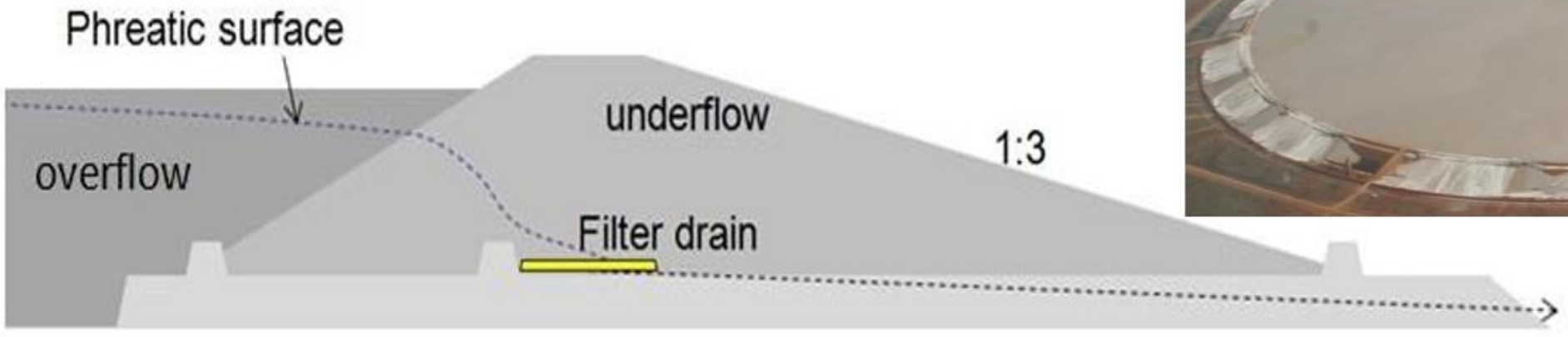
Figura 1. Descarga del underflow sobre el muro



Figura 5. Figura Vista aérea del depósito



Figura 4. Sección típica de un TSF cicloneado



RelaveNet
A Community of Excellence

PRINCIPIO DE LA PANTALLA VIBRATORIA







Tamaño de la alimentación (mm)	Capacidad (t/h)	Panel de pantalla (mm)	Hidrociclón (mm)	Potencia (kw)	Peso (kg)	Tamaño total (mm)
≤10	60-100	1500*3000	300*2	5.5*2	3500	3250*5560*3000
≤10	80-120	1800*3600	350*2	7.5*2	5600	4000*5560*3520
≤10	80-120	1800*4200	250*4	7.5*2	6120	4600*5560*3520
≤10	120-180	2400*4200	250*4	11*2	7960	4600*6050*3600
≤10	120-180	2400*4800	300*4	11*2	8830	5220*6050*3600
≤10	180-240	3000*4800	350*4	15*2	9640	5010*7860*3720

RelaveNet
A Community of Excellence

TASA DE APERTURA DE LA PANTALLA

Cuanto mayor sea la tasa de apertura en la superficie del tamiz, mejor será el rendimiento de pasada. En el caso de garantizar la resistencia de la superficie de la pantalla, la pantalla de poliuretano importada puede obtener una relación de apertura más alta que la pantalla común y, por lo tanto, el rendimiento de paso de la primera es superior a la segunda. La malla y su diámetro de alambre tienen ciertas influencias, generalmente con una diferencia de alrededor del 5%.







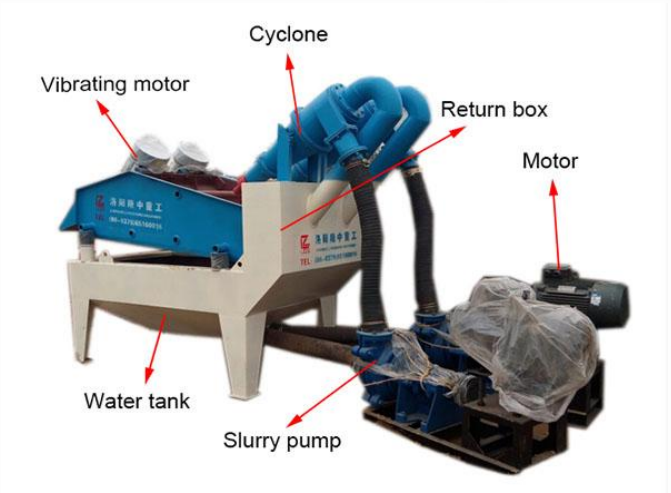


RelaveNet
A Community of Excellence

COMBINACIÓN CICLON-CRIBAS/PANTALLAS









RelaveNet
A Community of Excellence



FUNCIONES:

1. Reciclaje **de arena fina de 0,074-3 mm**.
2. La tasa de reciclaje supera **el 95%.**
3. El contenido de agua de la arena final está entre **el 12% y el 15%.**
4. Reducir eficazmente la pérdida de arena fina, resolver el problema de la sedimentación que se acumula en el tanque.

RelaveNet
A Community of Excellence