

# Principales consideraciones en el diseño de depósitos espesados

Ricardo Valdebenito,  
Vicepresidente  
Sustainable Mine Development  
SNC-Lavalin Chile



# Aspectos Relevantes para el Diseño

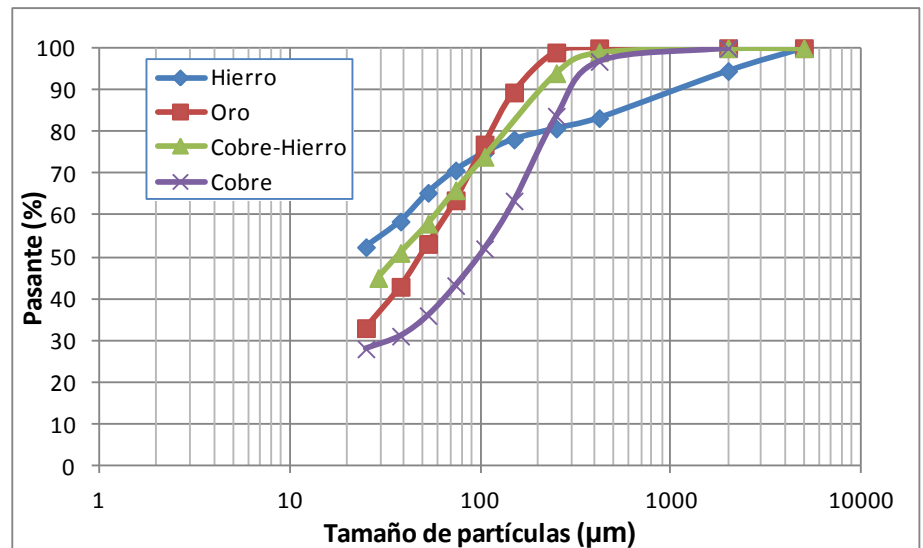
- ◆ Caracterización de relaves y reología
- ◆ Transporte de relaves espesados
- ◆ Equipos de espesamiento
- ◆ Estabilidad de depósitos
- ◆ Rehabilitación de faenas mineras
- ◆ Aspectos medioambientales.

# Caracterización de relaves y reología

## 1.0 Parámetros geotécnicos:

Se requiere conocer los diferentes tipos de Mineral de la Mina,

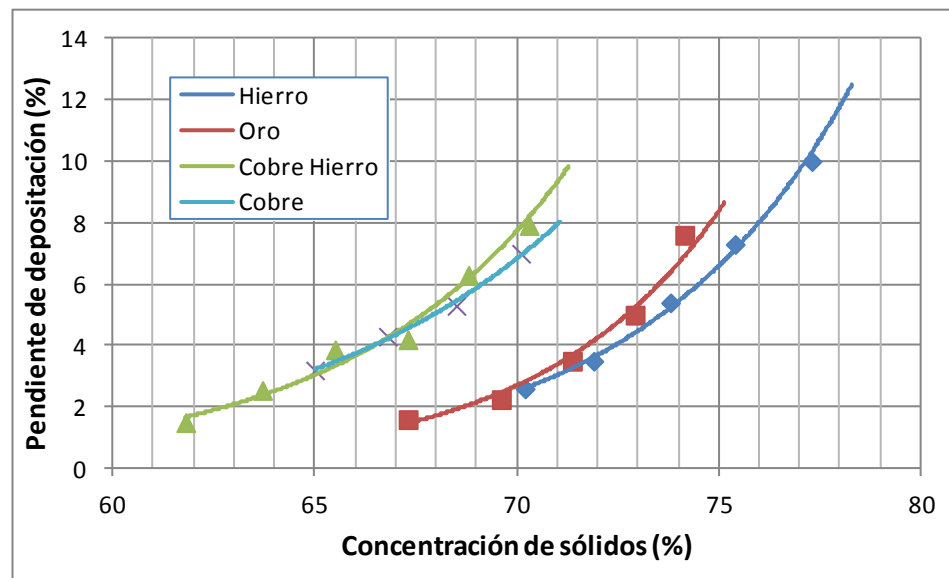
- ◆ Granulometría completa
- ◆ Peso específico
- ◆  $P_{80}$
- ◆ Contenido ultra finos bajo 20 $\mu$ m
- ◆ Límites de Atterberg
- ◆ Limite de contracción al secado natural



# Caracterización de relaves y reología

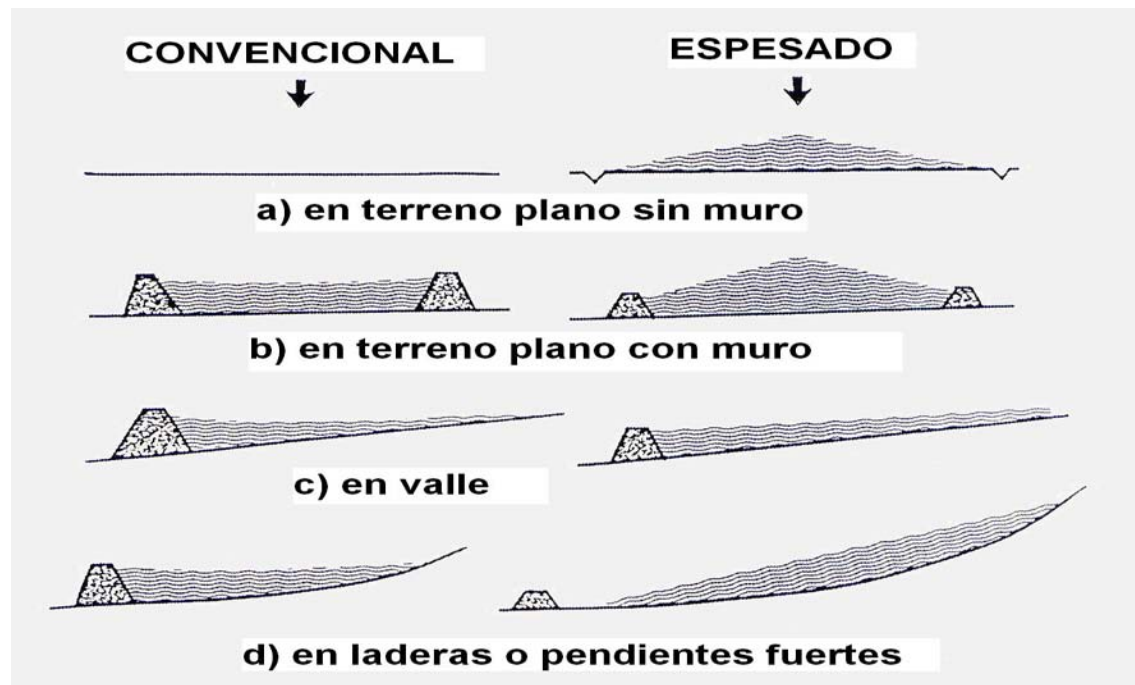
## 2.0 Pendiente de Depositación:

- ◆ Permite evaluar el diseño del depósito en función de la capacidad disponible y la geometría (dependiente de la topografía).
- ◆ Determinar la concentración de sólidos ( $C_p$ ) de procesos, para la pendiente de diseño recomendada.



# Caracterización de relaves y reología

Las principales ventajas de la depositación en pendiente se logran en el rango de 3 a 7%



**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves Espesados y Optimización de Recuperación de Agua**

# Caracterización de relaves y reología

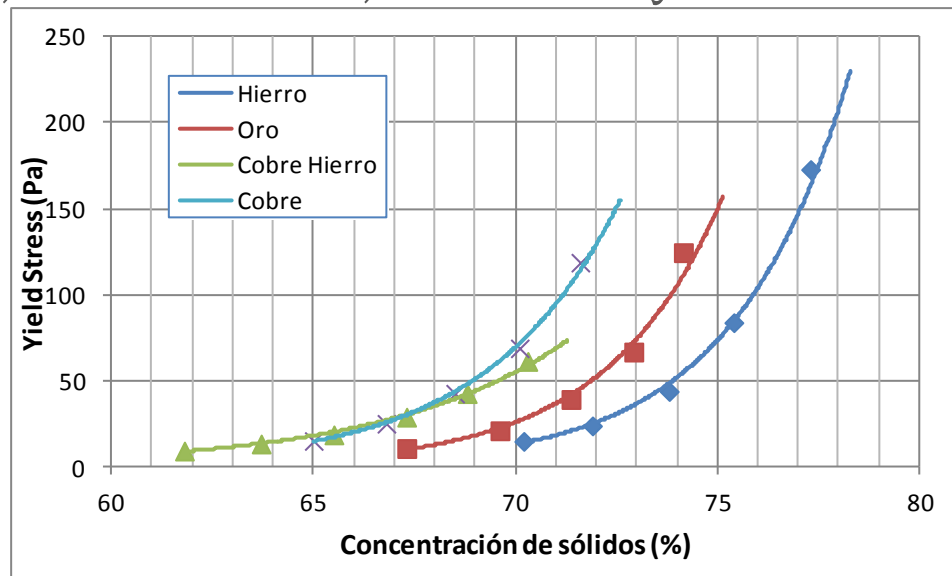
- ◆ La pendiente de depositación se obtiene de una medición reológica estática, de acuerdo a la metodología del Prof. E. Robinsky.



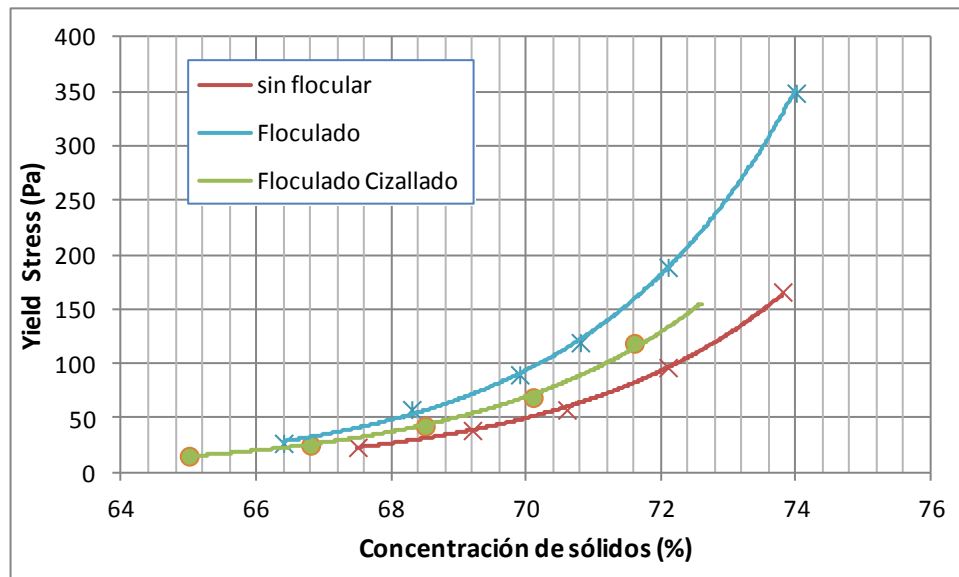
# Caracterización de relaves y reología

## 3.0 Yield Stress (YS) v/s $C_p$ .

Se requiere conocer el YS para diferentes  $C_p$  de muestras floculadas, no floculadas, cizalladas y no cizalladas.



# Caracterización de relaves y reología

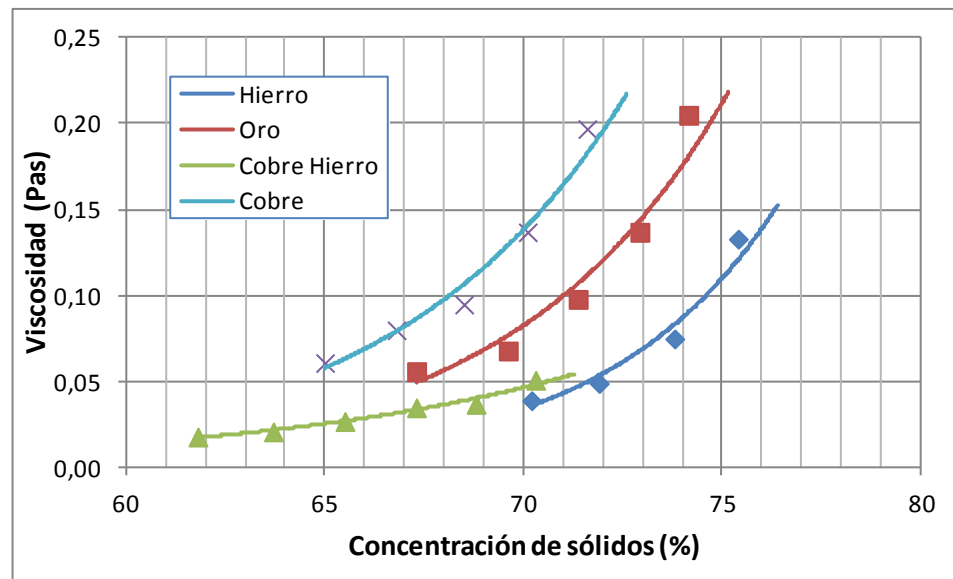




# Caracterización de relaves y reología

## 4.0 Viscosidad vs Cp.

Se debe evaluar las pérdidas de carga a través de la viscosidad de los materiales que permita diseñar la tubería de descarga de relave.



# Caracterización de relaves y reología

- ◆ Valores de Yield Stress inferiores a 150 Pa son aceptables para flujos por tubería, bombeo y consumo de energía.
- ◆ Valores de Yield Stress Inferiores a 30 Pa, ponen en riesgo la no segregabilidad de la pulpa. Esto se incrementa con granulometrías gruesas o gravedades específicas altas.
- ◆ La viscosidad caracteriza el transporte hidráulico de una pasta, pero no indicará como se deposita.
- ◆ Altas viscosidades aumentan las pérdidas de carga, estas están principalmente asociadas a materiales con bajo contenido de ultrafinos (transportes comandados por la viscosidad).

# Transporte de pulpas

## Transporte Laminar

1. No existe segregación ni embancamientos
2. Menor consumo de energía
3. Menores presiones de trabajo
4. Ahorro en inversión
5. Menor desgaste en tuberías
6. Menor energía de depositación

# Transporte de pulpas

El transporte laminar se ha probado exitosamente en las siguientes faenas

- ◆ Planta Delta
- ◆ DEP Cabildo

Además se han realizado los siguientes estudios a nivel de banco de pruebas, con exitosos resultados.

- ◆ Proyecto Cerro Negro Norte
- ◆ Coemin

# Transporte de pulpas

Banco de pruebas Proyecto CNN

Escala un relaveducto de 8,5 Km

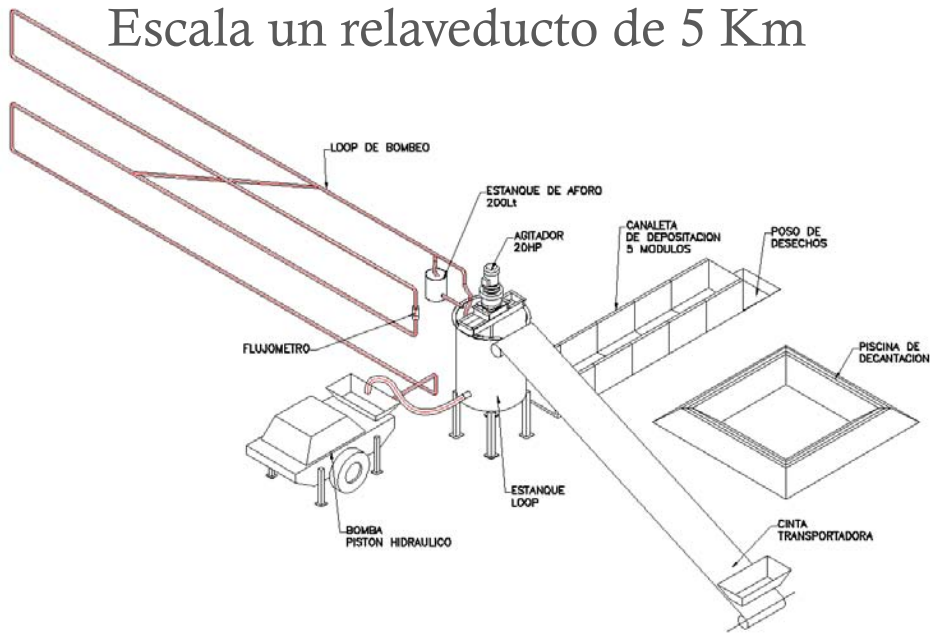




# Transporte de pulpas

Banco de pruebas Proyecto Coemin

Escala un relaveducto de 5 Km





# Transporte de pulpas

Tipos de bombas sugeridas.

1. Bombas Centrifugas
2. Desplazamiento Positivo tipo Pistón Hidráulico
3. Desplazamiento Positivo tipo Pistón Diafragma



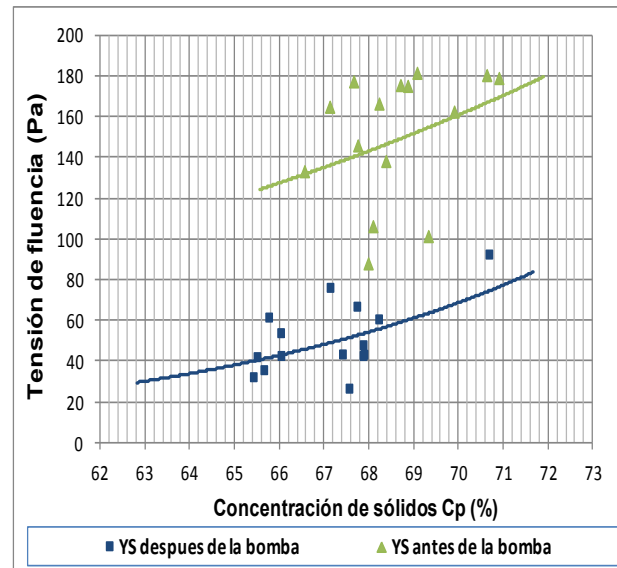
# Transporte de pulpas

## Sellos de bombas

El sello hidráulico funciona muy bien en las bombas de pulpas altamente espesadas, sin embargo el agua incorporada produce diluciones de hasta 3% en Concentración de sólidos, lo que es altamente perjudicial, debido a los grandes esfuerzos que se realizan para concentrar la pulpa.

Es necesario regular muy bien el agua incorporada.

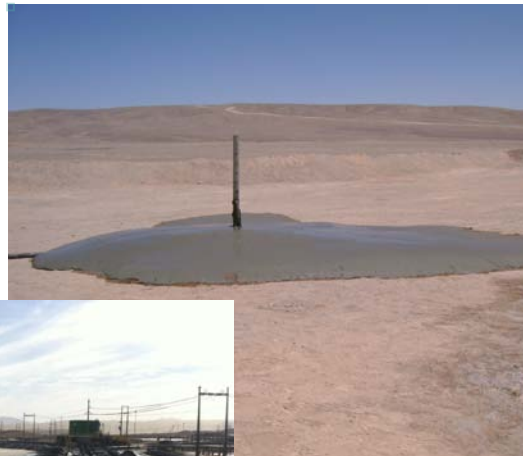
Actualmente en varias faenas se está habilitando el uso de bombas con sello seco o sello mixto.



# Transporte de pulpas

Redes de descarga

1. Unitarias
2. Red de Spigots
3. Spigots Verticales



**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves Espesados y Optimización de Recuperación de Agua**



# Transporte de pulpas

Consideraciones del transporte:

- ◆ Evitar exceso de energía en depositación.
- ◆ Si se opta por un sistema de transporte turbulento, se debe disipar la energía antes de depositar.
- ◆ Disposición de descarga que maximice el área
- ◆ Limitar la descarga de cada spigots

# Transporte de pulpas



Alta energía de depositación



Baja energía de depositación

# Equipos de espesamiento

Equipos de espesamiento:

1. High rate
2. High density
3. Deep Cone

Parámetro	High Rate	HCT o HDT	Paste o Deep Cone
Tasa	Alta	Alta	Baja
Altura	3-4,5 m	4-7m	> 7m
Angulo de cono	5°	5-15°	15-30°
Concentración esperada	45-60%	60-67%	65-75%
Sistema de cizalle	no	si/no	si



# Equipos de espesamiento

## Instrumentación recomendada:

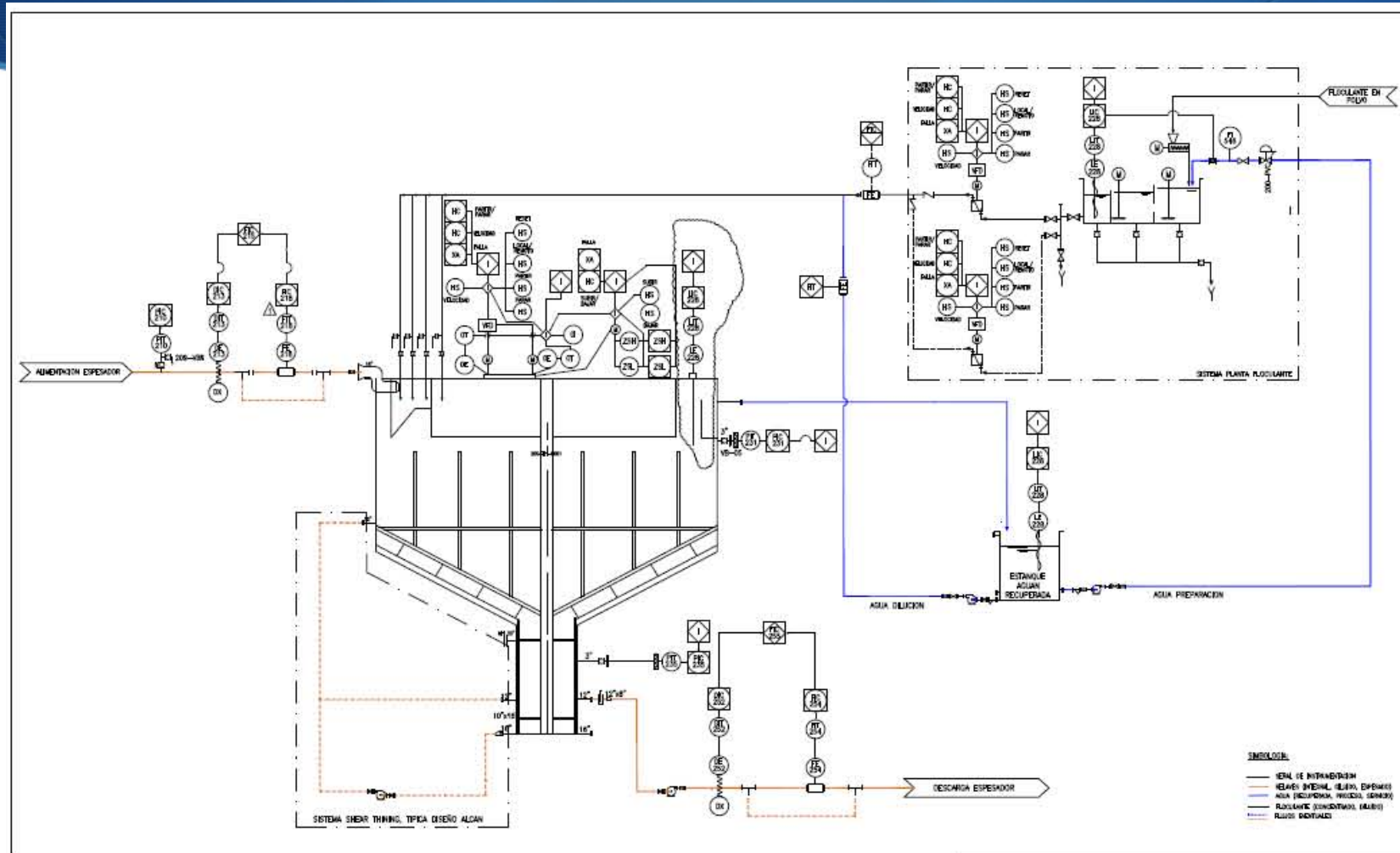
### Instrumentación Básica requerida

1. Flujómetros alimentación
2. Flujómetro de descarga
3. Sensor de torque
4. Sensor de nivel
5. Flujómetro de solución madre

### Instrumentación Ótima requerida

1. Flujómetros alimentación
2. Densímetro alimentación
3. Flujómetro de descarga
4. Densímetro de descarga
5. Sensor de torque
6. Sensor de nivel
7. Sensor de presión de Cama
8. Sensor de presión alternativo al sensor de nivel
9. Flujómetro solución madre
10. Flujómetro agua de dilución

# Equipos de espesamiento



# Equipos de espesamiento

El sensor de cama mas comúnmente instalado en equipos de espesamiento es el Sensor Ultrasónico, sin embargo no han respondido a las expectativas.

Se está comenzando utilizar y con excelentes resultados el sensor Smart Diver, el cual sumerge una sonda hasta hacer contacto con la cama.



Sensor de Nivel Ultrasónico



Sensor de Nivel de contacto

# Estabilidad de depósitos

## Alcances generales

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), a través del Decreto Supremo D.S.N°248, regula dentro de otros aspectos, la estabilidad física de los depósitos a nivel de proyecto. Para esto, es necesaria la presentación de un estudio de estabilidad estático y pseudo-estático del depósito.

Adicionalmente, para depósitos con muros de confinamiento de más de 15 m de altura, la normativa exige el estudio de deformaciones por eventos sísmicos a través de un análisis dinámico.

# Estabilidad de depósitos

Metodología análisis de estabilidad de depósitos

Caracterización geotécnica de los materiales

Estudio de riesgo sísmico

Determinación de las deformaciones asociadas a un evento sísmico severo, por medio de la modelación numérica para el análisis dinámico.

# Estabilidad de depósitos

## Caracterización geotécnica de los materiales

Ensayos de clasificación, tales como: Granulometría e hidrometría; Límites de consistencia y límite de contracción; Gravedad específica.

Ensayos de resistencia al corte y otros, tales como: Ensayos triaxiales CIU, Ensayos triaxiales CID material Saturado y parcialmente saturado, Ensayos triaxiales cíclicos del relave a humedad límite de contracción y bender elements.



# Estabilidad de depósitos

## Estudio de riesgo sísmico

Estudio de riesgo sísmico de la zona de estudio, con el objeto de definir criterios sísmicos para la evaluación de la estabilidad física del depósito.

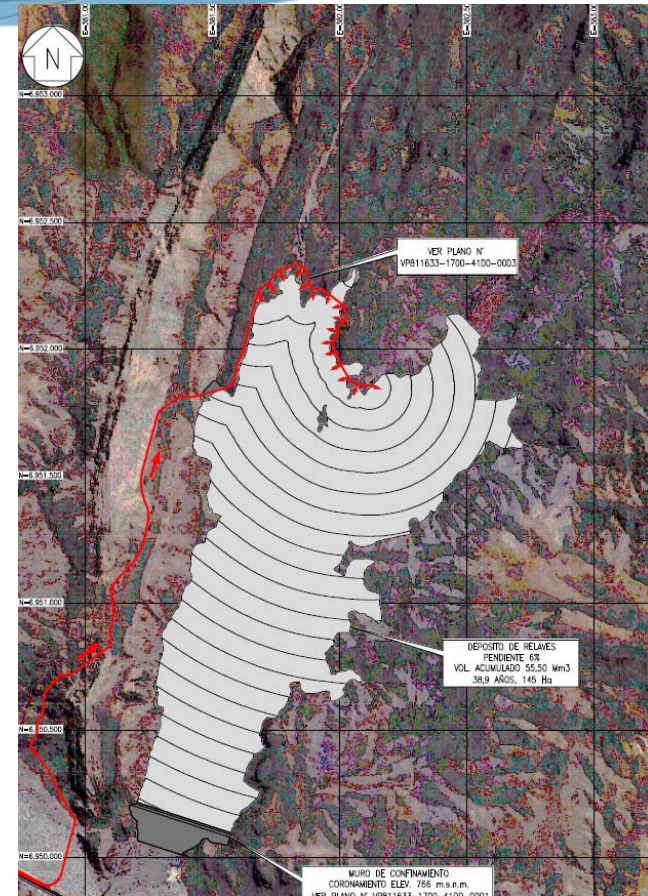
## Análisis dinámico

Para evaluar las deformaciones asociadas a eventos sísmicos severos (diseño), se elabora un modelo de elementos finitos mediante software, caracterizando los elementos con las propiedades estimadas de los materiales, potencialidad de licuación y consecuencias asociadas.

# Estabilidad de depósitos

Estudios realizados – COEMIN S.A.

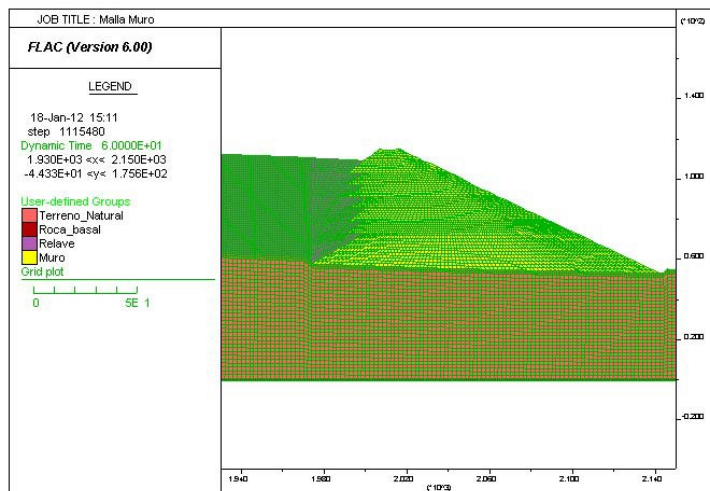
Depósito TTD Sector N°5



**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves Espesados y Optimización de Recuperación de Agua**

# Estabilidad de depósitos

## Depósito TTD Coemin Sector N°5



Muro de confinamiento (granular) etapa final H = 45m.

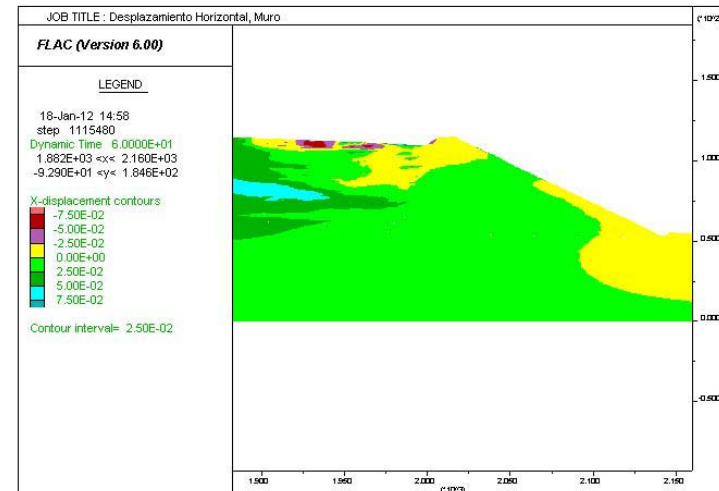
Taludes 2H: 1V.

Relaves depositados 6%.

Revancha 5m.

Tamaño característico de elementos 2m

Sismo con aceleración horizontal máxima de 0,978g



Desplazamiento horizontal en el muro menor a 10 cm y asentamiento vertical máximo cercano a los 30 cm.

Para el relave depositado se registran desplazamientos horizontales menores a 40 cm y asentamientos máximos de 18 cm.

Las deformaciones producidas no afectan la estabilidad del sistema, manteniendo siempre el relave confinado y contenido al interior del depósito.

# Casos en Chile

Aplicaciones en Chile Método TTD.

◆ COLLAHUASI PLANTA DEMOSTRATIVA (2008)

◆ DELTA (2010)

◆ CABILDO (2011)



# Collahuasi

## Collahuasi



-'

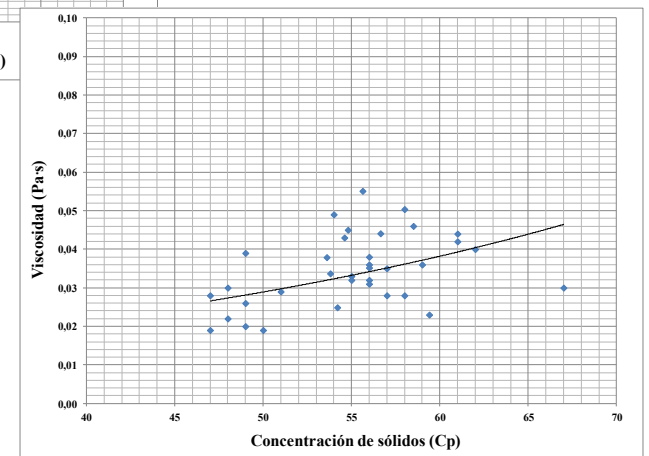
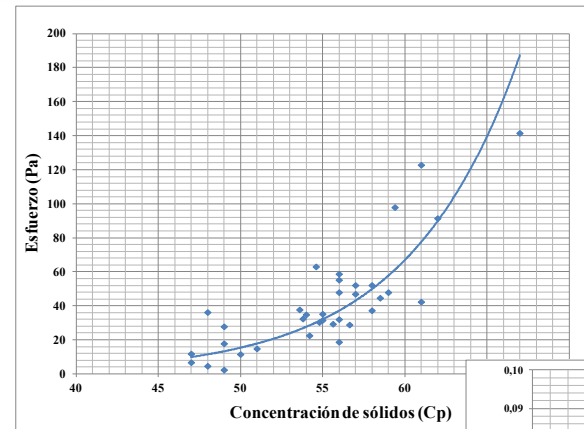
**Cp (%)**  
**Pendiente (%)**  
**P<sub>80</sub> (μm)**  
**d<sub>50</sub> (μm)**  
**pH**  
**Capacidad planta DEMO TPD**

	<b>Pre factibilidad 2008</b>	<b>Promedios planta demo (2010)</b>
Cp (%)	69	65
Pendiente (%)	6	5,8
P <sub>80</sub> (μm)	250	210
d <sub>50</sub> (μm)	100	65
pH	8	10
Capacidad planta DEMO TPD	6000	5266



# Collahuasi

## Collahuasi



# Casos en Chile

## Planta Delta



Espesador Deep Cone, FLSmidth  
Diámetro 12 m  
Altura 10,2 m  
K factor 310 Ft-Lb/Ft<sup>2</sup>  
Torque 480.000 Ft-Lb  
Concentración de descarga de diseño  
70-74%

# Planta Delta

## Planta Delta

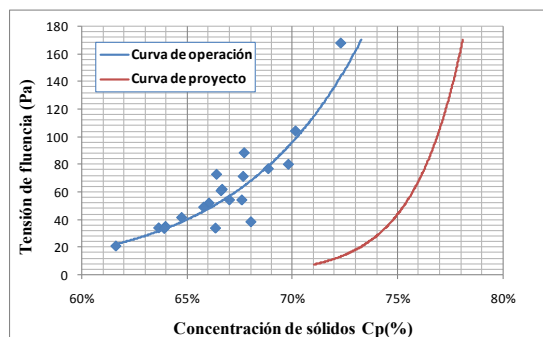
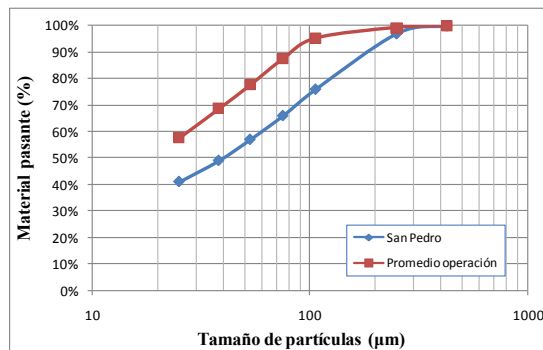
Parámetro	Unidades	Proyecto		Operación
		San Pedro	San Pablo	Puesta en marcha
Gs	-	2,96	2,85	2,91
P <sub>80</sub>	μm	125	95	75-95
D <sub>50</sub>	μm	60	26	<25
Cp	%	71-74	69-72	66-70
Yield stress	Pa	20-40	30-100	40-104
Pendiente de depositación	%	3 a 5	4 a 5	4 a 6
pH	-	10,0	10,0	11,1



**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves Espesados y Optimización de Recuperación de Agua**

# Planta Delta

## Parámetros operacionales.



Fecha	Cp seco	Ys	pH
dd-mm-aa	%	Pa	-
08-05-2010	64.0%	35	11.2
08-05-2010	66.0%	52	11.1
09-05-2010	66.7%	62	11.2
11-05-2010	63.7%	34	11.4
12-05-2010	66.6%	61	11.8
25-05-2010	63.9%	34	11.7
26-05-2010	70.1%	104	11.4
27-05-2010	72.3%	168	11.4
31-05-2010	67.6%	54	10.6
01-06-2010	69.8%	80	10.7
02-06-2010	68.0%	38	10.8
02-06-2010	68.9%	77	10.9
03-06-2010	65.8%	49	11.0
08-06-2010	61.6%	21	11.3
08-06-2010	67.0%	54	11.0
08-06-2010	64.7%	42	11.3
09-06-2010	66.4%	73	11.4
15-06-2010	66.3%	34	10.4
16-06-2010	67.7%	89	10.9
17-06-2010	67.7%	71	11.4



# Cabildo



Espesador Deep Cone, FLSmidth

Diámetro 17 m

Altura 16 m

Toque 960.000 Ft-Lb

Concentración descarga de diseño: 70-73%

Concentración puesta en marcha: 68%-70%

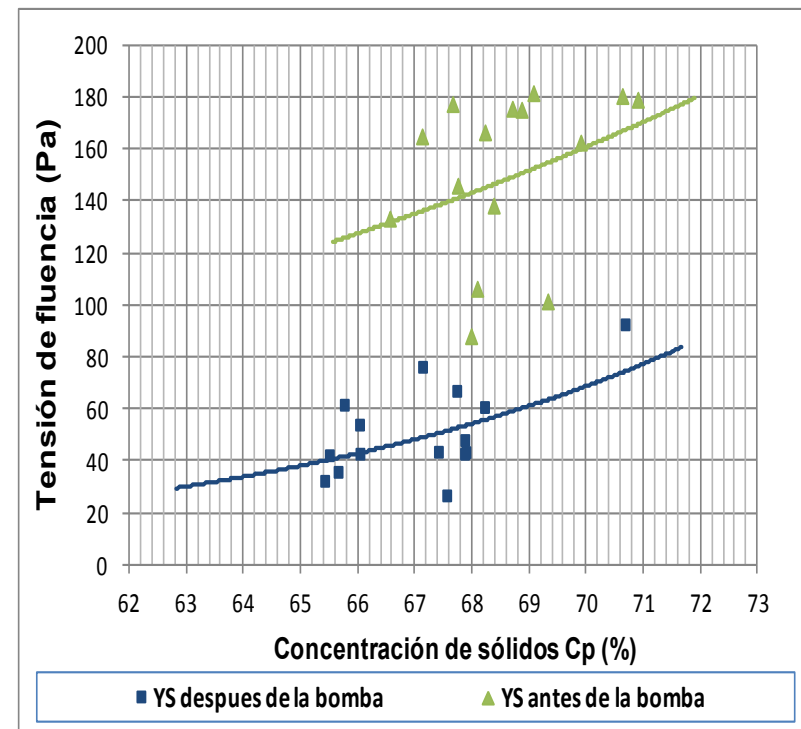
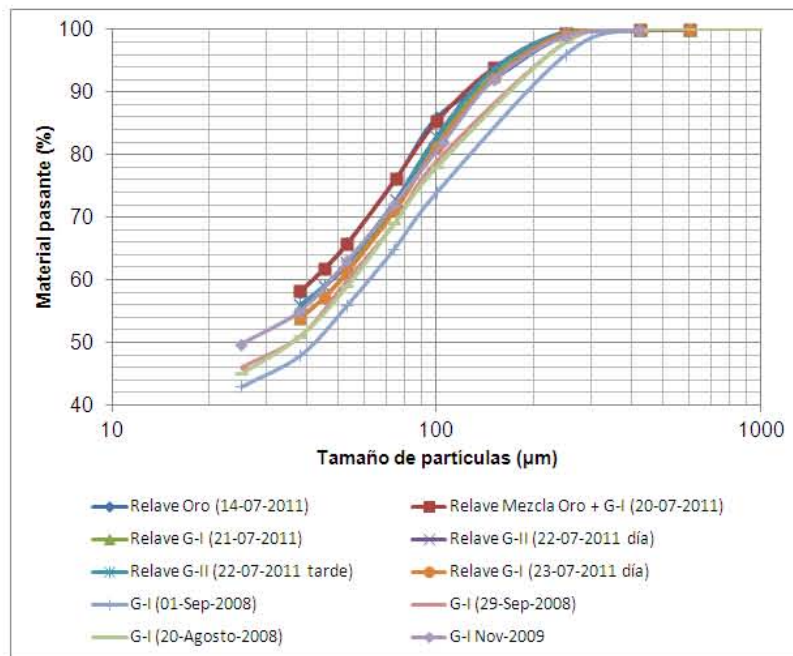
Concentración Actual : 70%-71%

**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves Espesados y Optimización de Recuperación de Agua**



# Cabildo

Cabildo



# FIN



**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves Espesados y Optimización de Recuperación de Agua**