

# Alternativas de manejo de relaves para mejorar la recuperación de agua

## Diferentes escenarios



Imagine the result



## Objetivo

1. Presentar diferentes tecnologías de manejo de relaves
2. Compararlas en términos de recuperación de agua desde los relaves y aspectos relacionados

# Alternativas a analizar

Relave Filtrado

Relaves en Pasta

Espesamiento de  
Alta Densidad

Separación  
Arenas Lamas  
(SSS)

Relaves  
Convencionales  
Muro de Arena

Relaves  
Convencionales  
Muro de Empréstito

Relave Filtrado:

# El menor “make up”!!

- Make up: < 0,3
- Porcentaje de sólidos: entre 75% y 85%
- Transporte con correas transportadoras
- Depósitos auto-soportantes, no requieren muro de contención
- Minimiza las filtraciones: no hay agua disponible para infiltrar
- Mayor dificultad operacional y mantención de equipos

# Relave Filtrado: El menor “make up”!!

- Aplicación Actual: La Coipa
- No hay experiencia a grandes producciones (>50 ktpd)
- Nuevos equipos permitirían procesar hasta 100 ktpd (Ej: Rosemont – Tucson - FLS)
- Filtros de banda y tambor
- Cierre simple e inmediato
- Mayores desafíos operacionales
  - Variabilidad del relave
  - Contenido de arcillas



La Coipa

Relaves en pasta:

# Experiencia a escala menor

- Make up: 0,3 a 0,45
- Porcentaje de sólidos: rango >72%
- Transporte: Hidráulico. Bombas PD
- Altas pendientes de playa (2 a 4%) aunque fuertemente variable y difícil de predecir
- Depositación desde la cola \ Muro más pequeño y laguna contra el muro
- Mínima laguna de clarificación
- Mínimo potencial de filtraciones
- Buen control de polvo

# Relaves en pasta: Experiencia a escala menor

- Aplicación Actual en Chile: Delta; Las Cenizas
- No hay experiencia a grandes producciones
- Transporte: Hidráulico
- Cierre simple y casi inmediato
- Desafío de diseño: predicción de la pendiente de playa
- Mayores desafíos operacionales
  - Variabilidad del relave
  - Contenido de arcillas
  - Puesta en marcha
  - Transporte del relave, bombeo, descarga



Delta

Espesamiento Alta Densidad:

# Una buena opción para recuperar agua

- Make up: entre 0,45 y 0,50
- Porcentaje de sólidos: rango >65% (dep rel)
- Transporte: Hidráulico no newtoniano (menos complicado que pasta)
- Depositación desde la cola \ Muro más pequeño y laguna contra el muro
- Baja pendiente de playa de relaves
- Cantidad de filtraciones dependen de la ubicación y tamaño de laguna

# Espesamiento Alta Densidad: Una buena opción para recuperar agua

- Aplicación en mediana a gran minería
- Mayor aplicación actual: “Esperanza”
- Cierre simple pero no inmediato
- Desafío de diseño: predicción de la pendiente de playa
- Mayores desafíos operacionales
  - Variabilidad del relave
  - Contenido de arcillas
  - Puesta en marcha
  - Puntos de descarga



Esperanza

# Espesamiento en Pasta y Alta Densidad: Frente a una época de incertidumbre

- Exageradas expectativas en cuanto a pendiente de depositación
- Dificultad en alcanzar las concentraciones
- Insuficiente información sobre los tipos de mineral. Fuerte sensibilidad de la operación del espesador
- Síndrome “Mina Esperanza”.
- Falta de experiencia con espesadores de gran tamaño

# Espesamiento en Pasta y Alta Densidad: Frente a una época de incertidumbre

## Resultado

- Adopción de criterios extremadamente conservadores
- Cuestionamiento de la tecnología
- Volcamiento hacia tecnologías convencionales

# Separación Arena Lama (SSS): Tecnología conocida aplicada a gran escala

- Make up: 0,30 a 0,43 aprox
- Lamas espesadas entre 60% y 65%
- Concentración arenas entre 67% y 70%
- Acopio de arena con % de finos >20%
- Corte Arena /Lama ~ 50/50 a 55/45
- Transporte arenas y lamas: hidráulico
- Depósito de lamas requiere muro (empréstito o arena)
- Acopio de arenas auto-soportante

Separación Arena Lama (SSS):

# Tecnología conocida aplicada a gran escala

- Aplicación actual: Proyecto Caserones (en const)
- Cicloneo y espesamiento son tecnologías conocidas y aplicadas a grandes producciones
- Posibilidad de manejo en dos depósitos separados. Facilita tener dos sitios más chicos, en vez de uno
- Cierre simple del acopio de arena y cierre de lamas como el caso espesado
- Filtraciones
  - Filtraciones arenas: interceptadas y recirculadas a proceso
  - Filtraciones lamas: espesadas a altos  $C_p$  => minimiza agua disponible para infiltrarse

# Relaves convencionales con Muro de Arena: Muy usados en Chile a gran escala

- Depositación a **Alta Tasa**
  - Make up entre 0,35 a 0,50
  - Mayor consolidación de las lamas
  - Make up depende de características hidrogeológicas de sección de control
- Depositación a **Baja Tasa**
  - Make up mayor, entre 0,40 a 0,58
  - Make up depende de características topográfico-hidrogeológicas y del esquema de disposición

# Relaves convencionales con Muro de Arena: Muy usados en Chile a gran escala

- Aplicación en la gran minería
- Tecnología probada a gran escala
- Aplicación Actual:
  - Alta Tasa: Quillayes, Mauro (1ª fase)
  - Baja Tasa: Ovejería, Tórtolas, Torito
- Concentración de relaves totales: 30 hasta 57%
- Transporte de relaves: hidráulico



Quillayes

# Relaves convencionales con Muro de Arena: Muy usados en Chile a gran escala

- Depositación desde el muro → muro más grande
- Estabilidad depósito: muro de contención de arena de relave (% de finos <20%)
- Dos fuentes de infiltración: laguna y arena. Eficiencia del control de filtraciones depende de factores operacionales y sección de control
- Cierre no inmediato

El Torito



# Relaves convencionales con Muro de Empréstito: Alta tasa de crecimiento

- Make up: entre 0,40 a 0,50
- Porcentaje de sólidos relaves: <55%
- Transporte relaves: hidráulico
- Filtraciones: mayor agua disponible para infiltrarse
- Mayor consolidación del relave
- Aplicación Actual: Candelaria
- Muros son uno de los costos más importante. Comúnmente se usa estéril



Candelaria

# Relaves convencionales con Muro de Empréstito: Baja tasa de crecimiento

- Make up: rango entre 0,50 a 0,68 (mayor)
- Menor consolidación del relave
- Pérdida agua por infiltración desde la laguna
- Mayor pérdida por evaporación desde el relave
- Aplicación Actual: Carén, Collahuasi, Talabre



Pampa Pabellón

# Antecedentes

## Depósitos en operación

Tecn	Depósito		Zona	Producción (tpd)	Pérdidas totales (m <sup>3</sup> /t rel)
6b	Pampa Pabellón		N	120.000	0,70
6b	Laguna Seca		N	240.000	0,67 - 0,65
6a	Candelaria		N	68.000	0,35
5a	Quillayes		C	115.000	0,33
5b	Torito		C	20.000	S/I
3	Esperanza		N	95.000	S/I
5b	Las Tórtolas		C	62.000	S/I
5b	Ovejería		C	62.000	0,53
6a	Carén		C	130.000	S/I
1	La Coipa		N	20.000	0,25
2	Las Cenizas	*	C	2.500	0,39
2	Coemin	*	N	8.000	<0,42
3	Delta	*	NC	2.000	<0,48

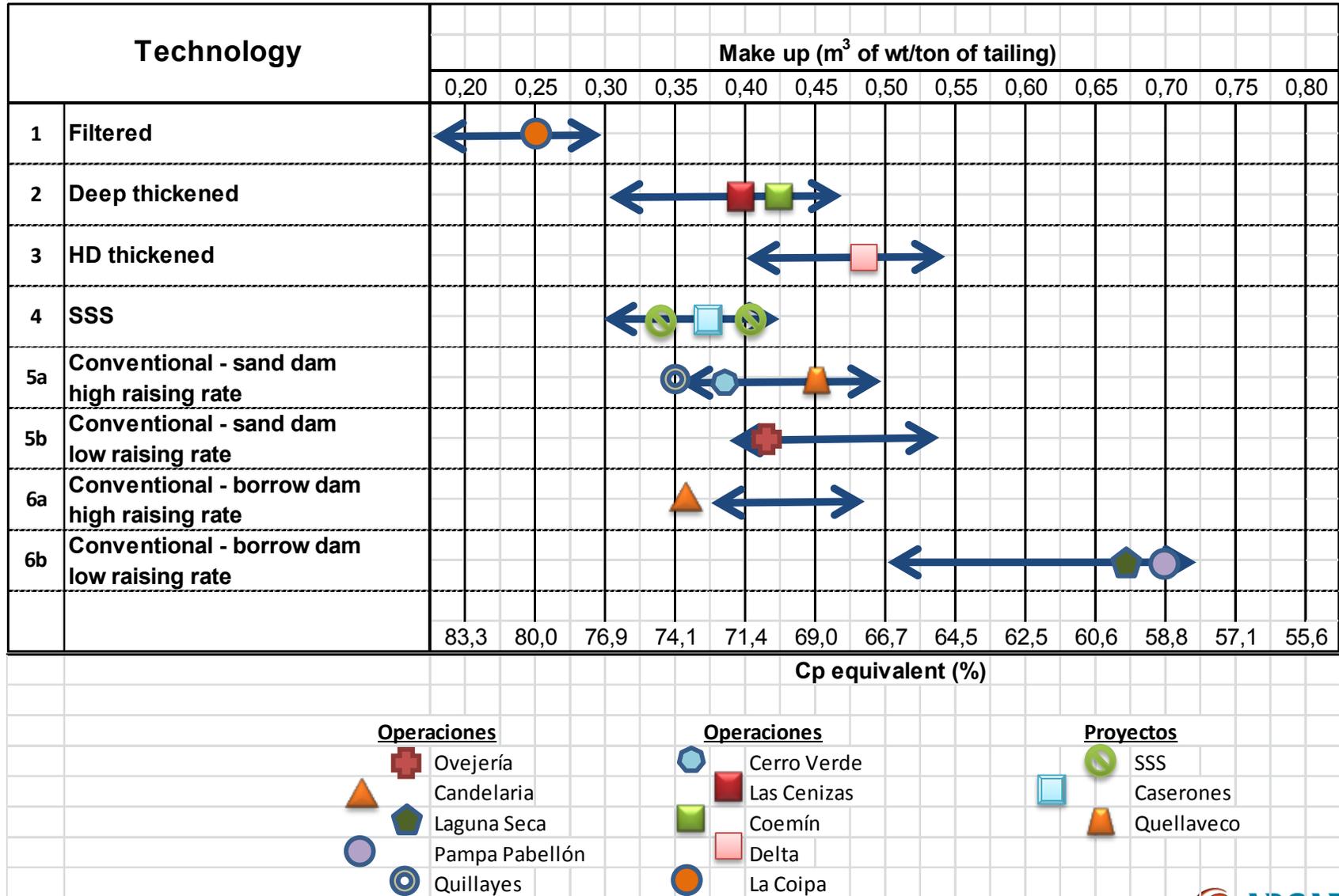
(\* Los valores de pérdidas totales son cotas basadas en Cp de descarga

# Antecedentes

Depósitos en proyecto o en construcción

<b>Tecn</b>	<b>Depósito</b>		<b>Zona</b>	<b>Producción (tpd)</b>	<b>Pérdidas totales (m<sup>3</sup>/t rel)</b>
4	Caserones		N	110.000	0,37
5a	Quellaveco		N	90.000	0,45
4	El Abra - SSS		N	240.000	0,33-0,41
6a	El Abra - Sitio 2		N	240.000	0,43-0,49

# Make up según tecnología



# Comentarios

- No hay una tecnología que sea mejor que las otras
- Salvo casos especiales, la selección se hace mediante un análisis técnico – económico – ambiental – operacional
- Las tecnologías de filtración y espesamiento son fuertemente sensibles a las características del relave: variabilidad, reología, producción
- No ocurre lo mismo con las soluciones convencionales donde además se tiene una gran experiencia acumulada

# Comentarios

- La tecnología del relave altamente espesado está experimentando un período de crisis derivado de las altas expectativas que se habían generado.
- Lo ocurrido en la mina Esperanza ha sido el detonador
- Las principales dudas se centran en:
  - Comportamiento de los equipos ante relaves fuertemente variables en reología
  - Manejo de grandes producciones (>100 ktpd)
  - Predicción de la pendiente de playa de relave

# Comentarios

- Lo anterior hace conveniente
  - Disponer de una apropiada caracterización de los tipos de mineral/relave en reología y producción
  - Realizar pruebas a escala piloto de los principales compósitos/relaves
  - Hacer análisis de sensibilidad/riesgo operacional del comportamiento de las instalaciones y de los principales aspectos de diseño
  - Realizar un particular análisis para el período de puesta en marcha

# Comentarios

- Una advertencia similar es aplicable a la tecnología de filtrado pues ella también es muy sensible a la reología del relave.
- Esta presentación ha abarcado las tecnologías más puras pero sin lugar a dudas hay un campo para el estudio de combinaciones entre ellas. Tal como en cierta forma se da en la separación arena lama

# Conclusión

- En Chile - pero también en el resto del mundo - la necesidad de agua o limitaciones en sus fuentes ha forzado a la industria minera a tecnologías que reduzcan su consumo o, equivalentemente, aumenten la recuperación de ella desde el relave.
- Esta situación ha generado un desarrollo de sistemas de espesamiento y filtrado que permiten grandes economías en el consumo de agua
- Las dificultades encontradas son parte inevitable del desarrollo (exceso de optimismo) y en ningún caso deben considerarse como un óbice mayor sino como un estímulo para avanzar.

# Gracias

# Mina Esperanza – Pruebas en relaves

Benchmarking e investigación

Ingeniería conceptual y estudios



## PRUEBAS PARA SEDIMENTACIÓN Y REOLOGÍA

- Probetas de 4" Outokumpu.
- Espesadores piloto Westech - FFE, Outokumpo, Delkor.



## PRUEBAS PARA TRANSPORTE

- Pruebas en Loop piloto de Metalquim, diseño PSI-JRI.
- Pruebas en Loop piloto de Paterson and Cooke, Sudáfrica.



## ESTUDIOS DE DEPOSITACIÓN Y GEOTÉCNICOS

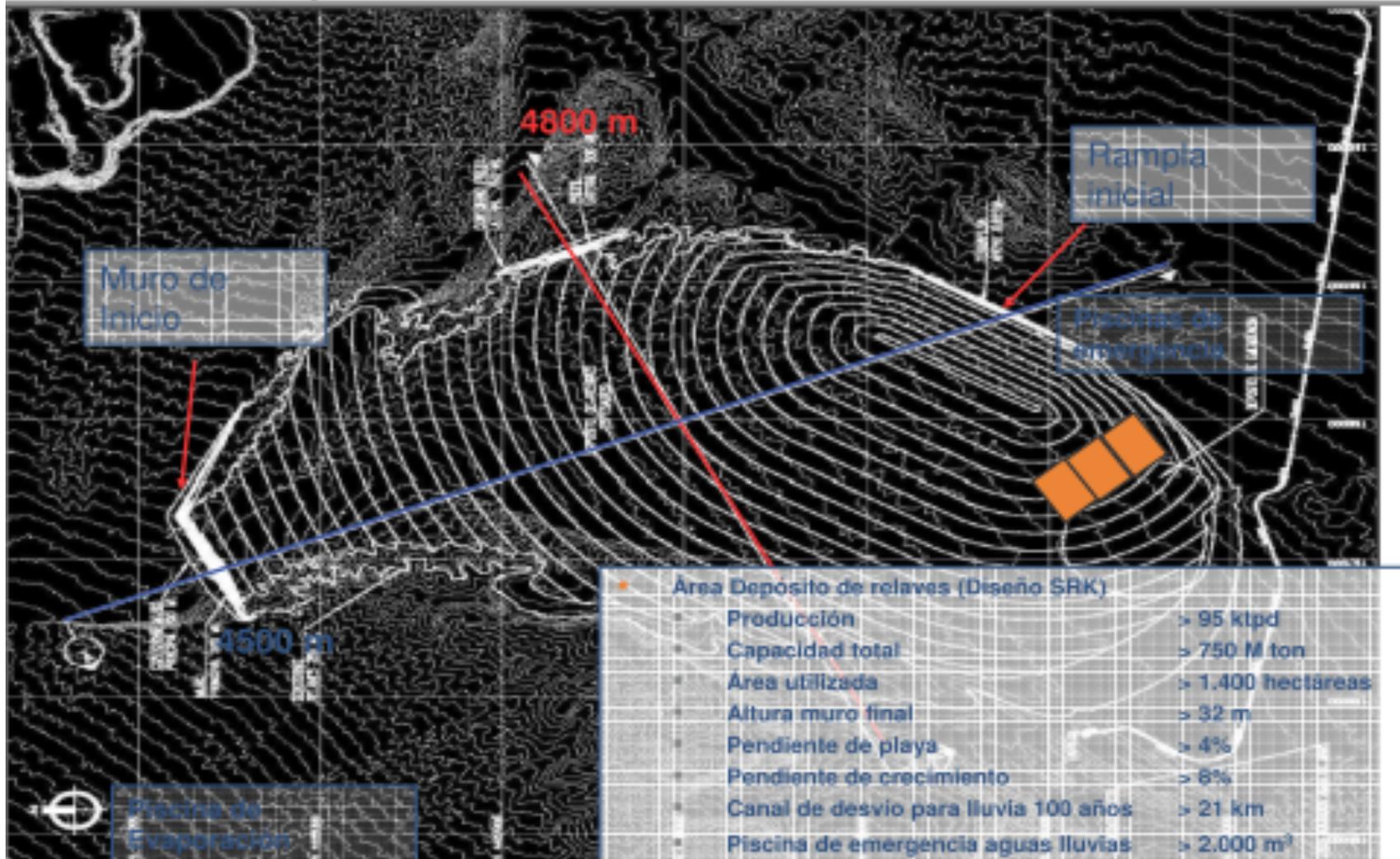
- Depositación en terreno, diseño de SRK.
- Estudio de parámetros geotécnicos VST.



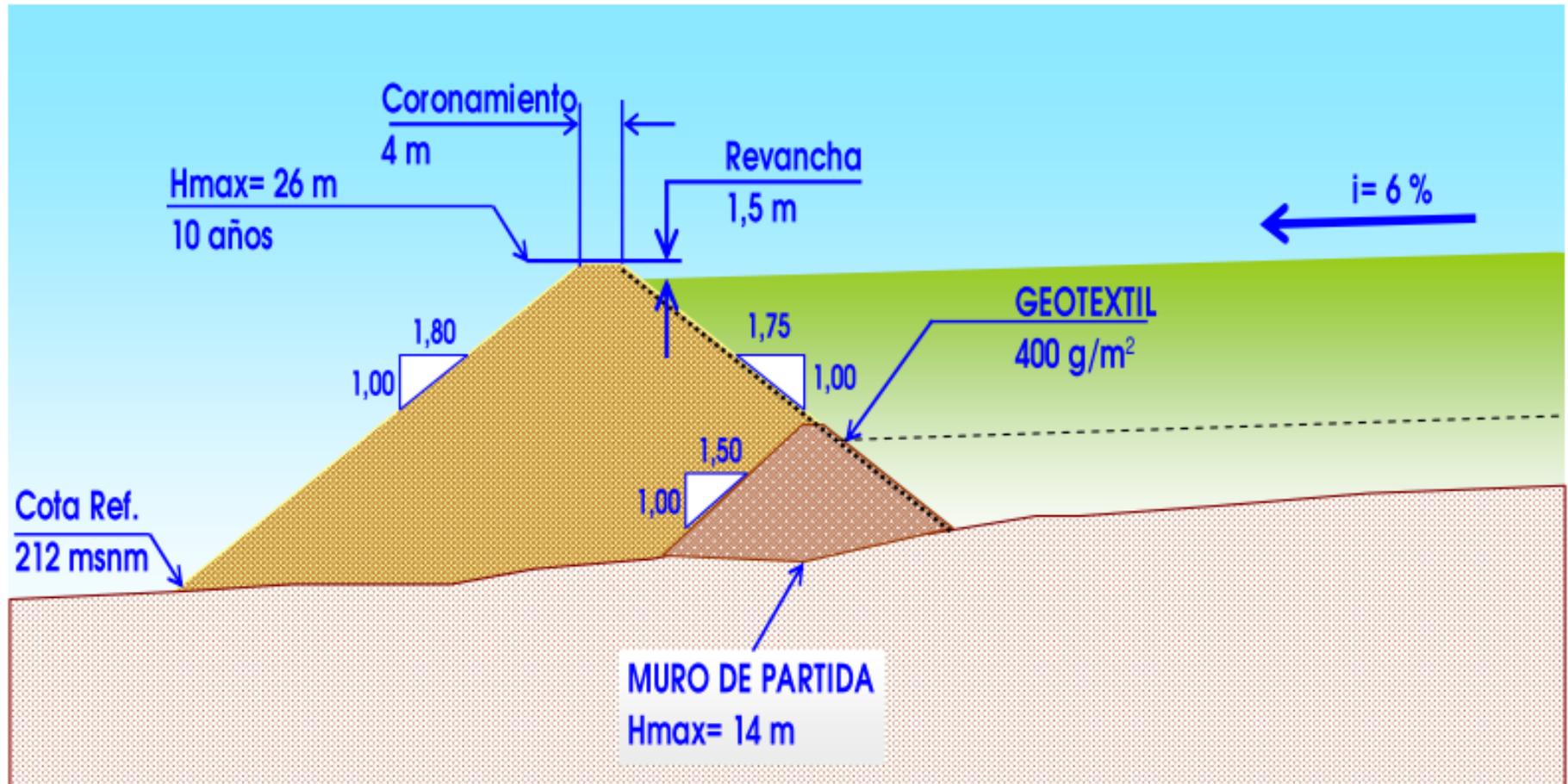
# Mina Esperanza

Criterios de diseño

## Diseño depósito de relaves



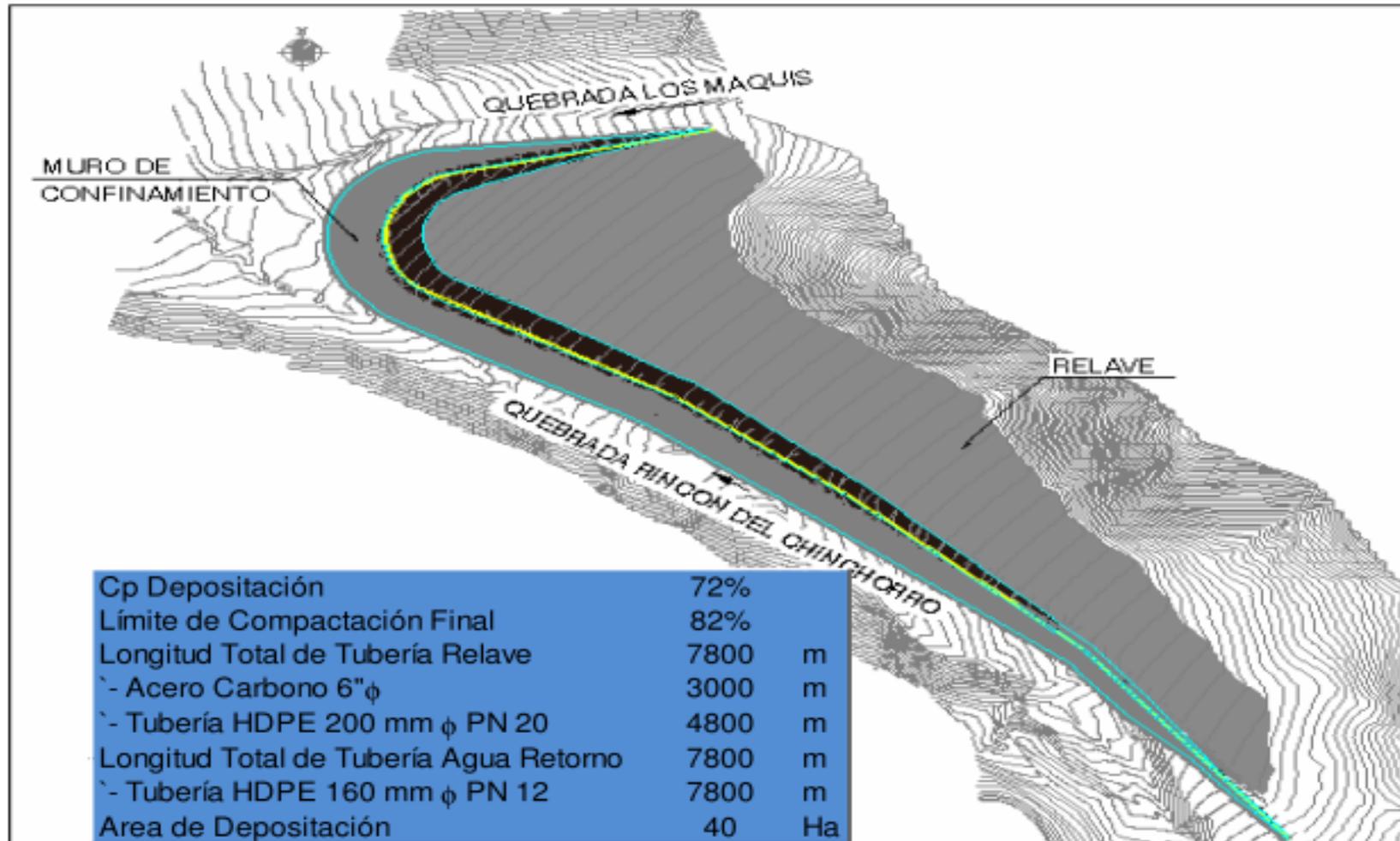
# Chinchorro – Las Cenizas



02 Ivar Flores 2011 Construcción y Puesta en Marcha de Depósito de Relaves en Pasta de Faena Cabildo

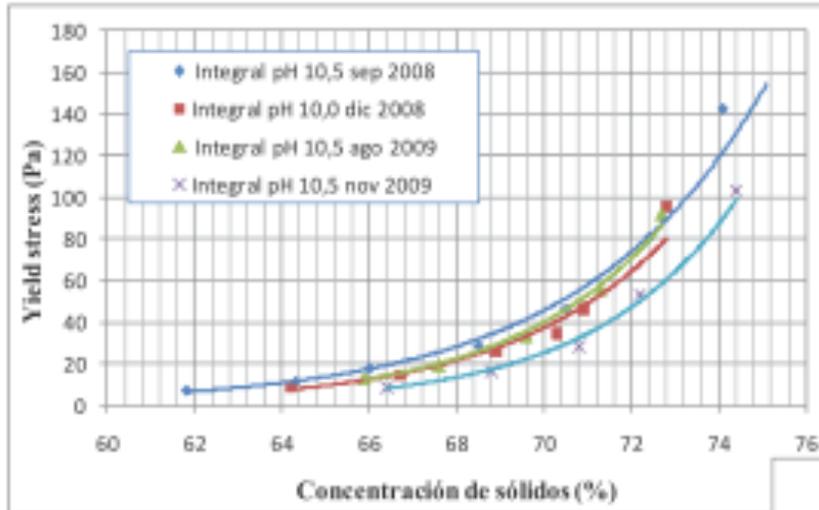
# Chinchorro – Las Cenizas

Deposición – año 10: cierre

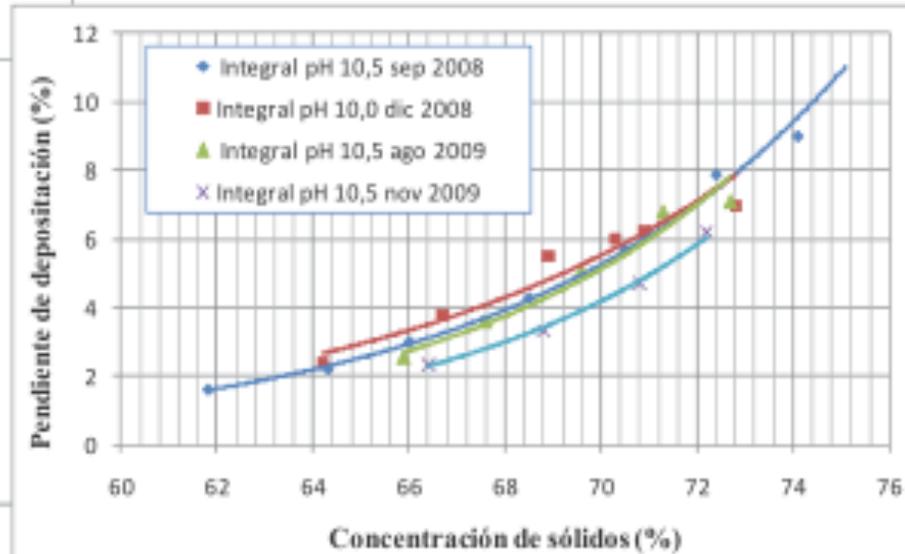


## 2.1 Estudio del relave y área del depósito.

*Yield Stress*



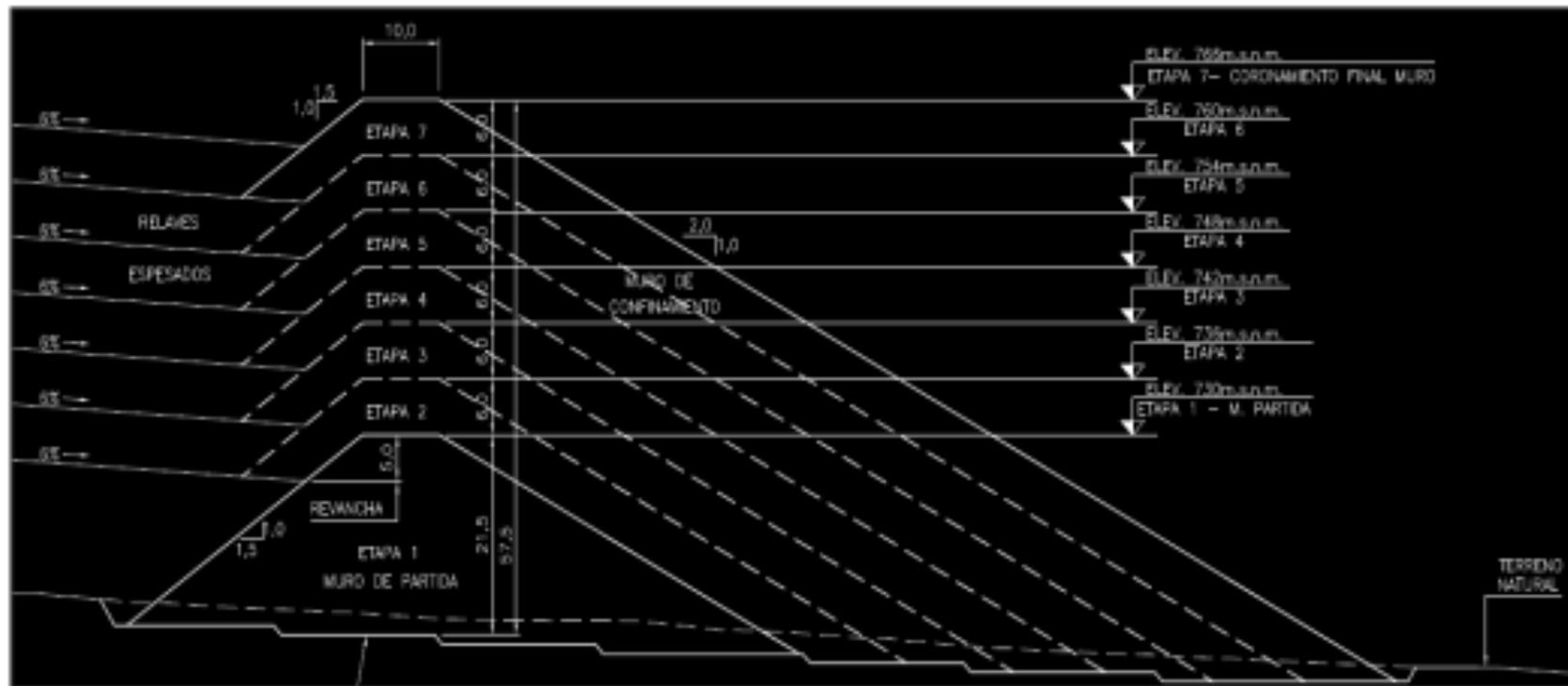
*Pendiente Depositación*



# Coemín

## 2.6 Depósito y muro de confinamiento (crecimiento).

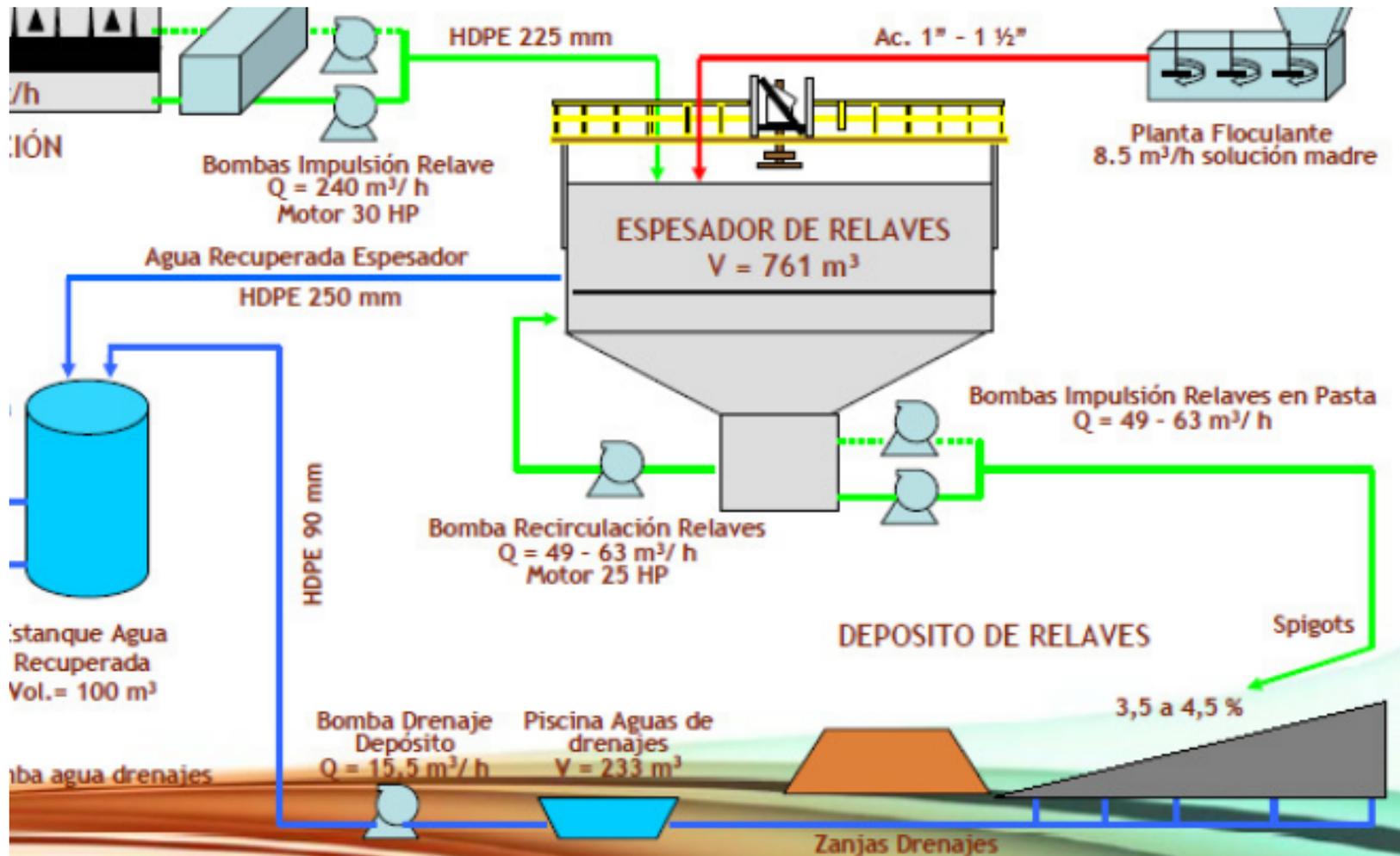
*Peraltado muro confinamiento por eje central*



Muro de partida en material granular compactado en capas.

Peraltado del muro en material granular, mediante el proceso constructivo de eje central.

# Delta



Alejandro Diez 2011 Experiencia de los Relaves en Pasta de Delta