



ELEMENTOS DE DISEÑO EN MINAS EXPLOTADAS A CIELO ABIERTO

Raúl Castro R.





FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

CONTENIDOS



Geo-Minero-Metalurgia

- Objetivo del diseño de taludes
- Etapas en el diseño
- Herramientas de análisis
- Análisis equilibrio limite en taludes
- Tipos de falla típico en taludes:
 - Falla plana
 - Falla por cuñas
 - Falla circular
 - Volcamiento



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

OBJETIVO



Geo-Minero-Metalurgia

El objetivo del diseño de taludes es determinar una configuración óptima para una excavación considerando el criterio del dueño en cuanto a la seguridad, la recuperación de reservas, el retorno financiero y el impacto en el medio ambiente.

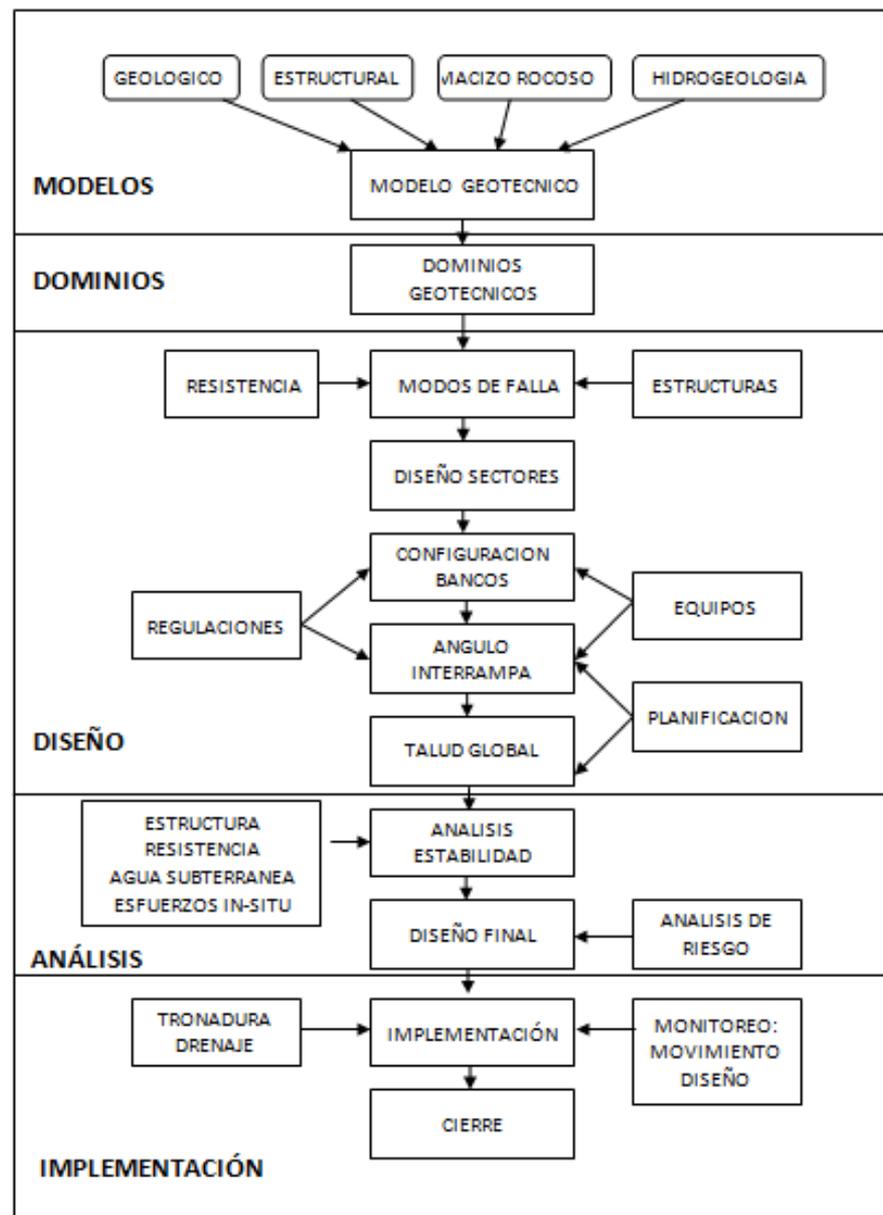
Super Pit –Kalgoorlie, Western Australia(Mina de oro)



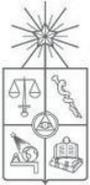


FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

ETAPAS DE DISEÑO DE TALUDES

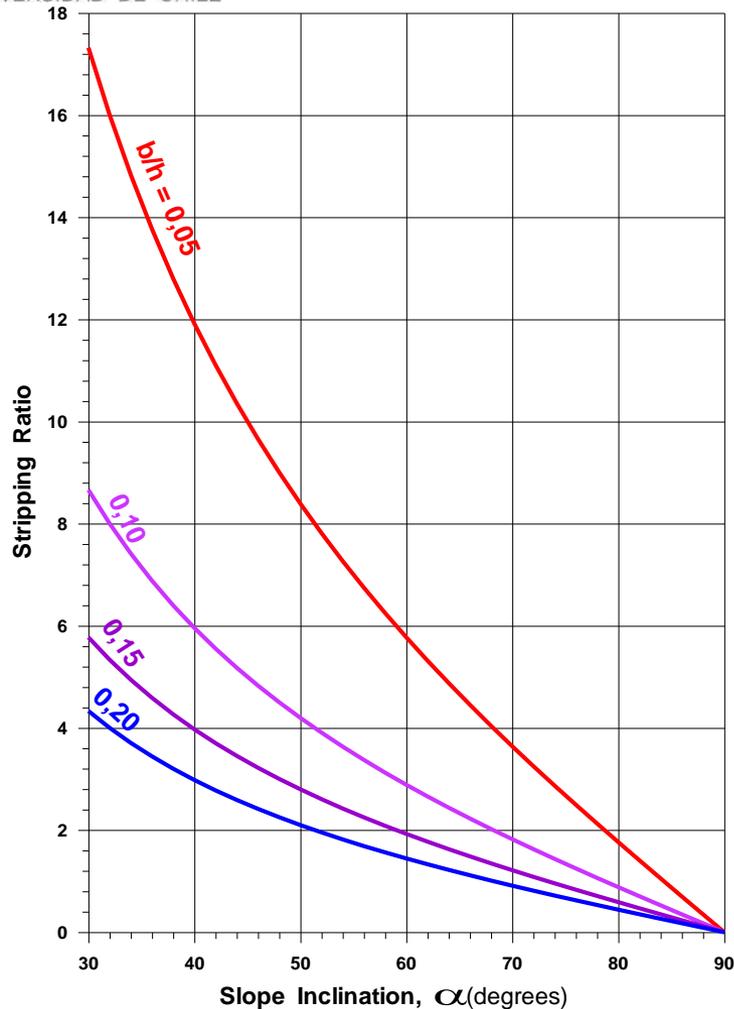


Geo-Minero-Metalurgia

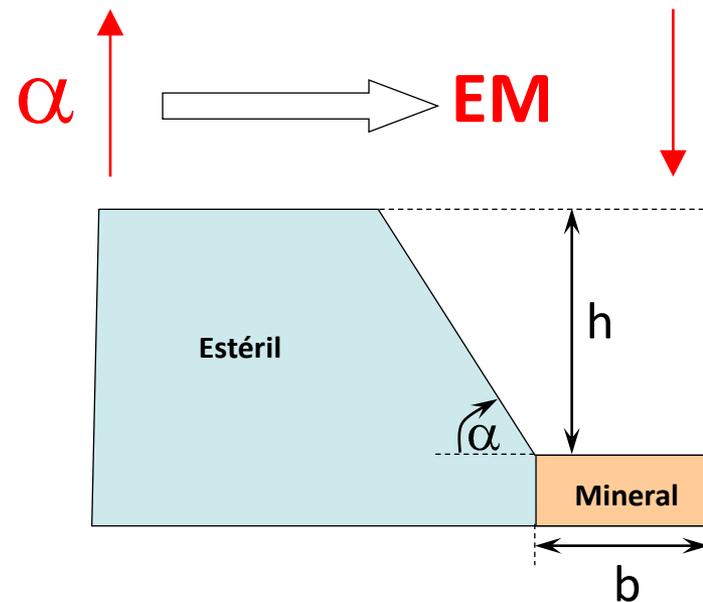


FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

IMPLICANCIAS DEL DISEÑO EN EL NEGOCIO MINERO



IMPACTO DE LA INCLINACIÓN DE LOS TALUDES,
 α , EN LA RAZÓN ESTÉRIL:MINERAL, **EM**



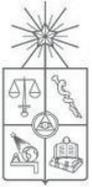


FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

ELEMENTOS DE CONTROL EN TALUDES DE ACUERDO AL MACIZO ROCOSO

Resistencia macizo

1. Elemento	Baja	Media	Alta
Banco	Resistencia (estructuras)	Estructura	Estructura
Air	Resistencia	Estructura (resistencia)	Estructura
Pit final	Resistencia	Estructura (resistencia)	Estructura (resistencia)
2. Aproximación al diseño	General	Por sector	Por sector
3. Orden de análisis	Pit final AIR Banco	Banco AIR Pit final	Banco AIR Pit final
4. General	<ul style="list-style-type: none">•Menos susceptible a orientación de estructuras•Altura de banco controlado por resistencia macizo•No se pueden realizar bancos dobles o triples•La presión de poros puede ser crítico en estabilidad	<ul style="list-style-type: none">•Se requiere sectorizar•Angulo de banco controlado por estructuras•Altura de banco controlado por equipos•Se pueden realizar bancos múltiples•Diseño de contención se basa en cantidad de material luego de falla	



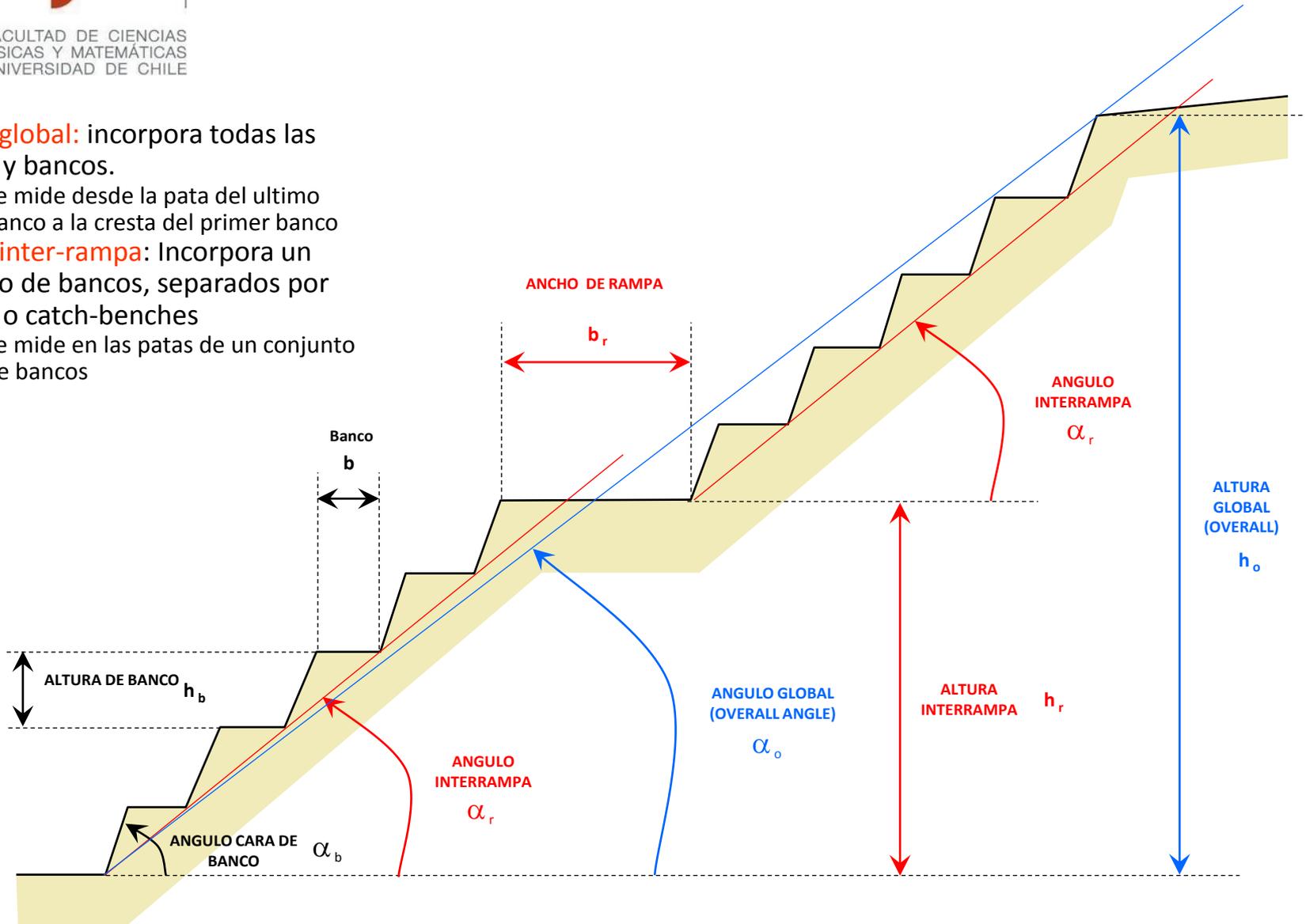
GEOMETRÍA DE UN TALUD

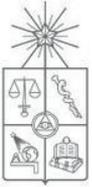
Angulo global: incorpora todas las rampas y bancos.

Se mide desde la pata del ultimo banco a la cresta del primer banco

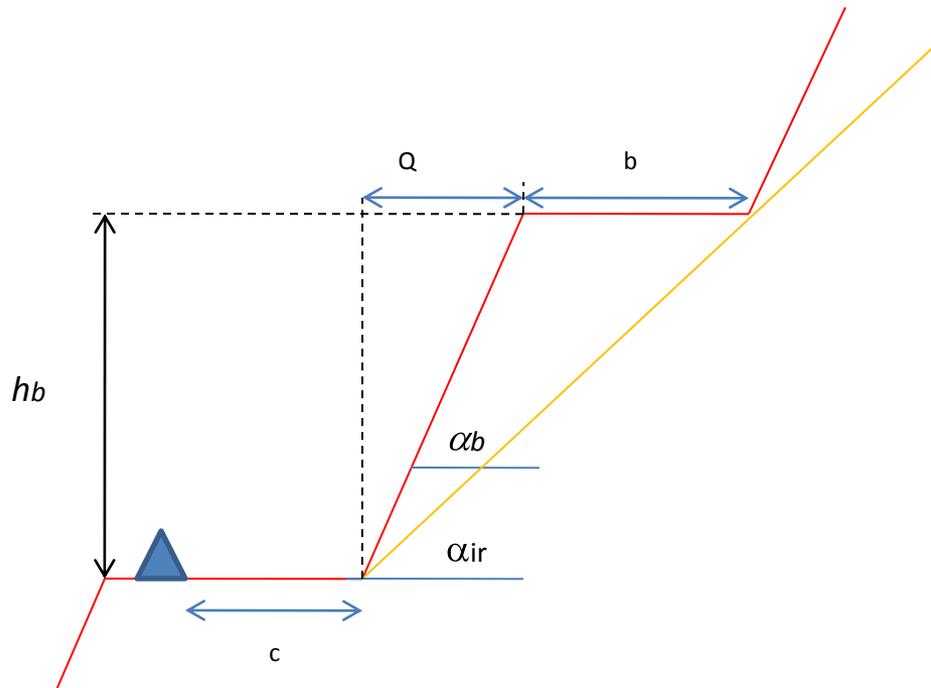
Angulo inter-rampa: Incorpora un conjunto de bancos, separados por rampas o catch-benches

Se mide en las patas de un conjunto de bancos





GEOMETRÍA DE UN TALUD A ESCALA DE BANCO



Parámetros

α_b =Angulo cara de banco

α_{ir} =Angulo interrampa

h_b =altura de banco, m

Q =quebradura, m

b = ancho de berma, m

c = ancho de contención, m

h_{bc} = altura berma contención ,m

h_{bc} =ancho berma contención ,m

$$\tan \alpha_{ir} = \frac{h_b}{Q + b}$$

$$Q = \frac{h_b}{\tan \alpha_b}$$





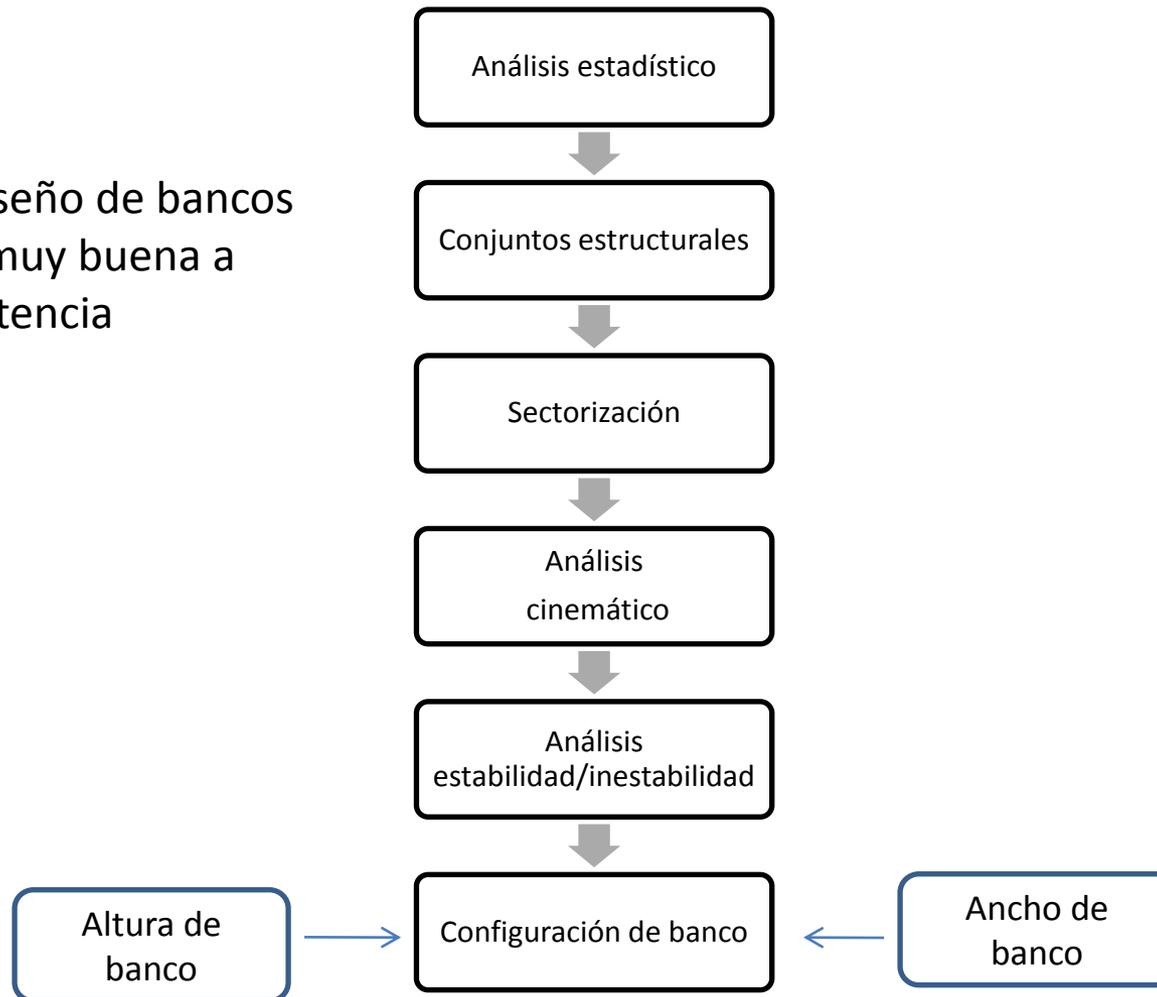
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

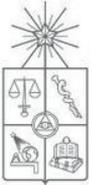
DISEÑO DE BANCO



Geo-Minero-Metalurgia

Pasos en el diseño de bancos
para roca de muy buena a
buena competencia

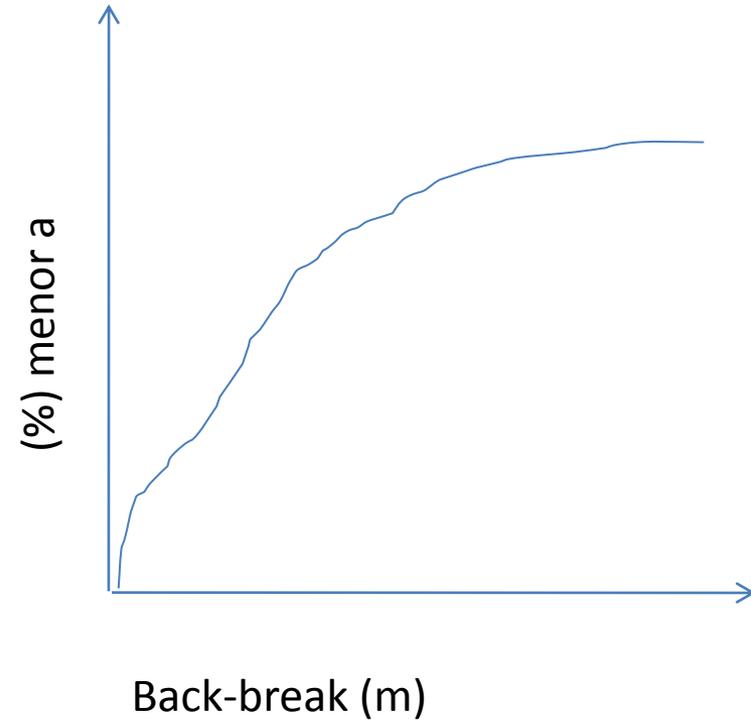
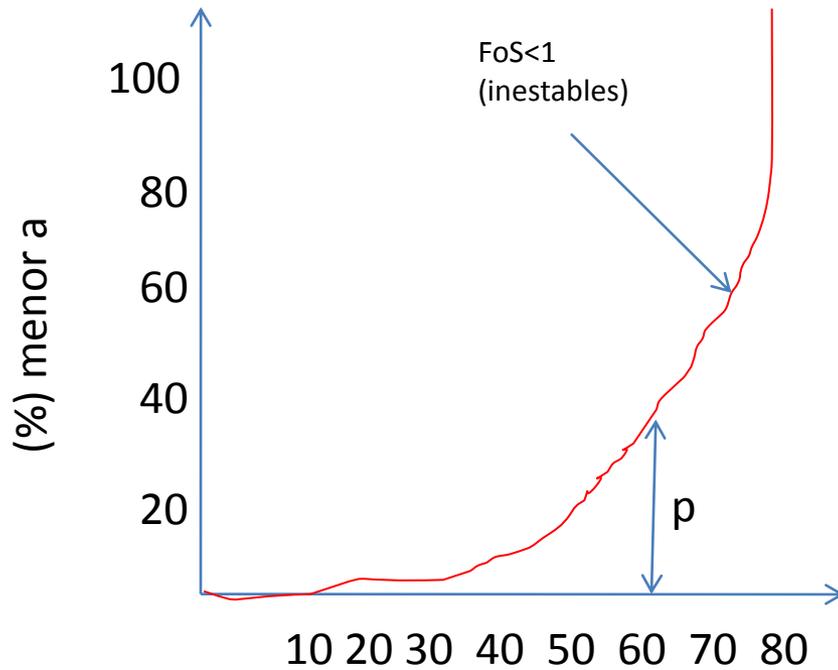




FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

ANÁLISIS TEÓRICO DE BACK BREAK ESTRUCTURAL

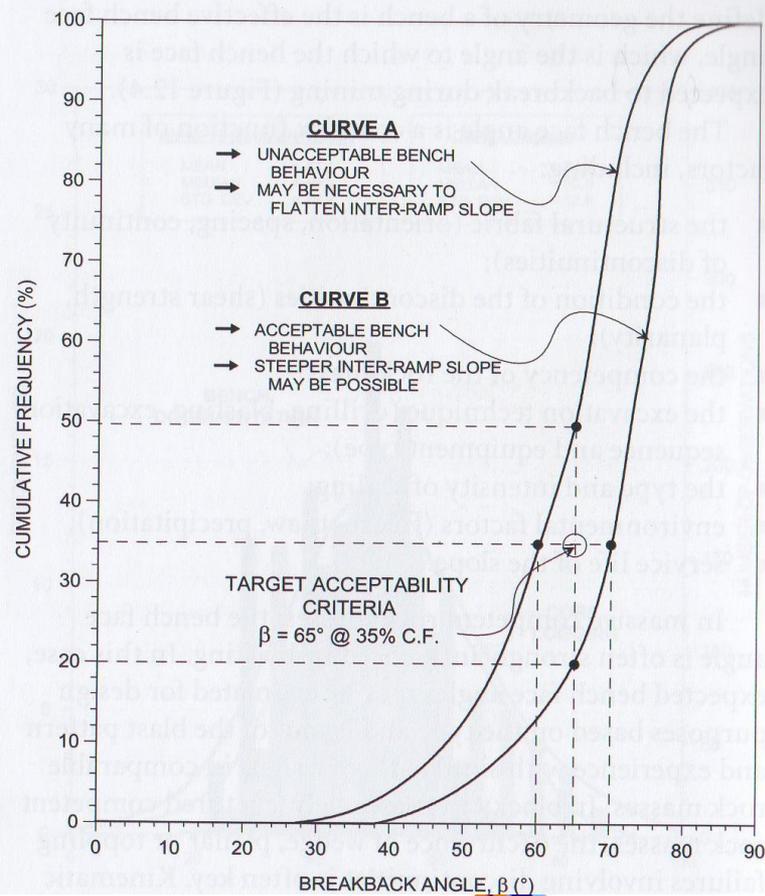
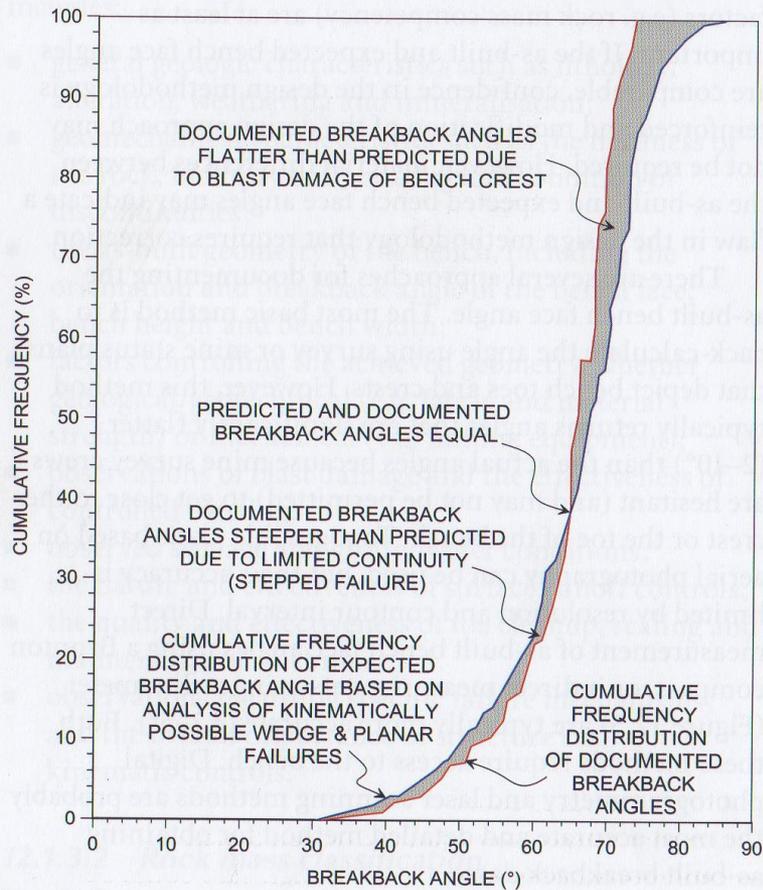
Diseño en base a confiabilidad

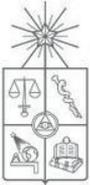


Geo-Minero-Metalurgia



CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD DE DISEÑO





DISEÑO DE ANCHO DE BERMA

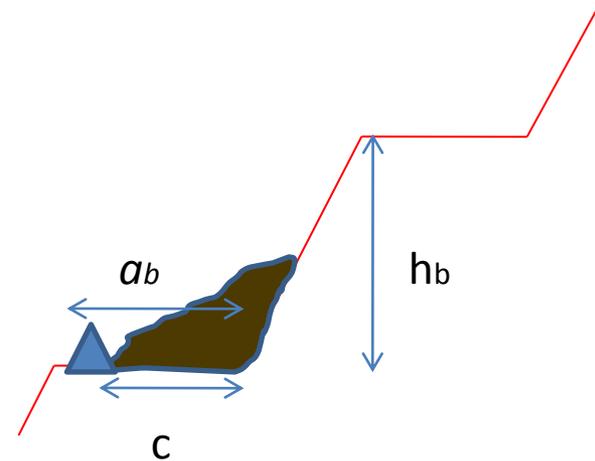
1. Criterio modificado de Ritchie (1963)

$$b(m) = 0.2 * h_b + 4.5$$

h_b = altura del banco (m)

2. Empírico (Call, 1986)

Altura banco	contención	Altura berma Contención	Ancho Berma Contención	Ancho mínimo berma
h_b	c	h_{bc}	a_{bc}	b
15	3.5	1.5	4	7.5
30	4.5	2	5.5	10
45	5	3	8	13



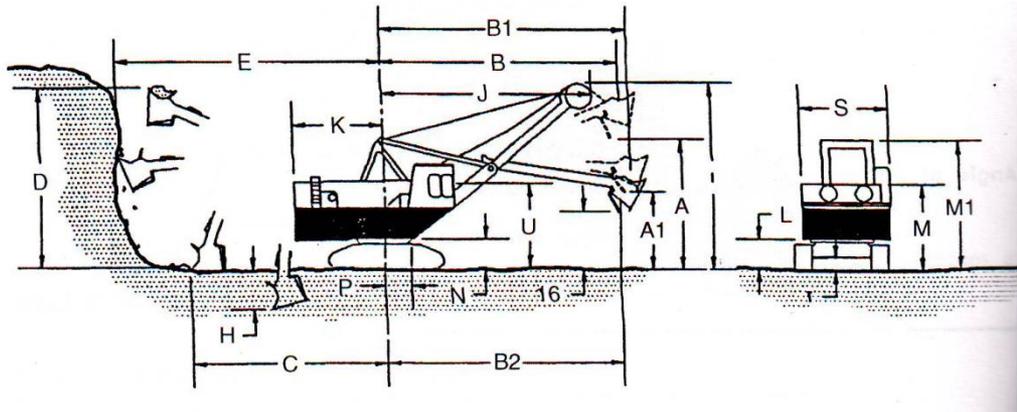
3. Basado en volumen de falla (Stacey, 2009)

80% de contención

4. Basado en modelamiento de caída de rocas (RockFall)



DISEÑO DE ALTURA DE BANCO



A: altura máxima descarga

B: Radio descarga

D: altura carga máxima

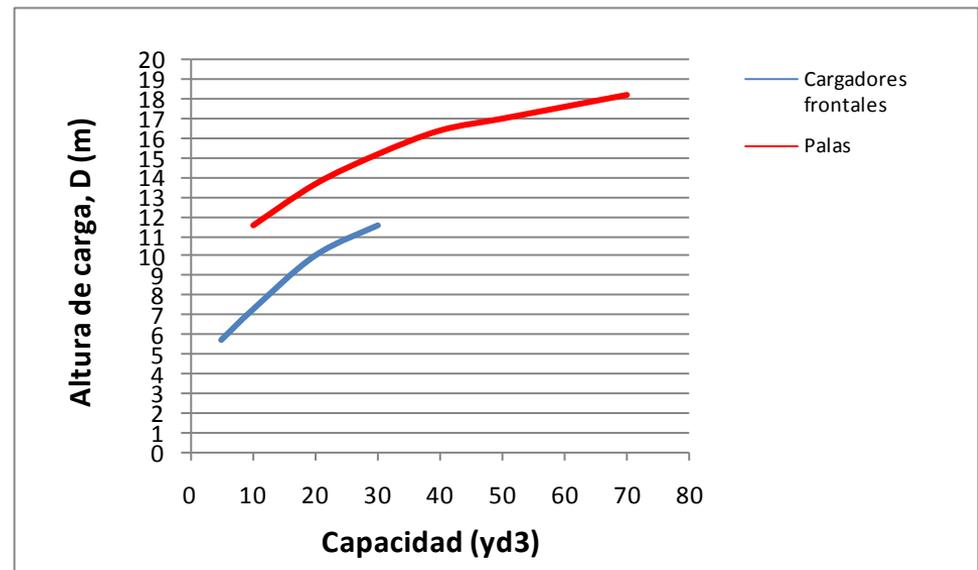
H: profundidad de carga bajo superficie

E: radio carga

S: ancho de equipo

La altura de banco es función del equipo de carguío el que a su vez depende de la selectividad:

- Altura banco minería masiva: 15 m
- Altura banco minería mediana: 12 m
- Depósitos de oro: 7.5 m





DISEÑO RAMPA

Las rampas son los caminos en pendiente que permiten el tránsito de equipos desde la superficie a diferentes bancos en extracción.

Deben como mínimo permitir la circulación segura de camiones de gran tonelaje en ambos sentidos, o bien en un solo sentido.

El ancho de rampa debe considerar:

- Zanja, para canalizar aguas de drenaje. Por lo general tienen un ancho de 1 metro y una profundidad de 50 cm
- Cuneta, contienen a los vehículos en caso de emergencia
- Distancia de seguridad, es la distancia entre dos camiones, considera el efecto visual de conducir un equipo de gran altura.
- Ancho del equipo de transporte.

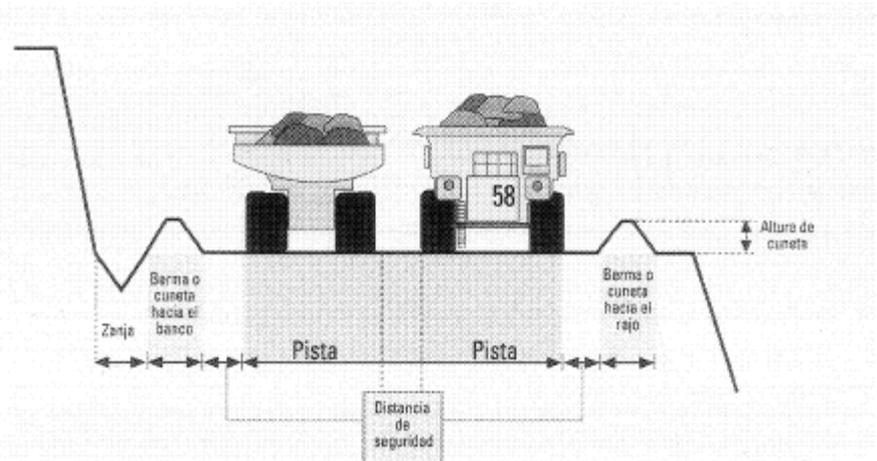
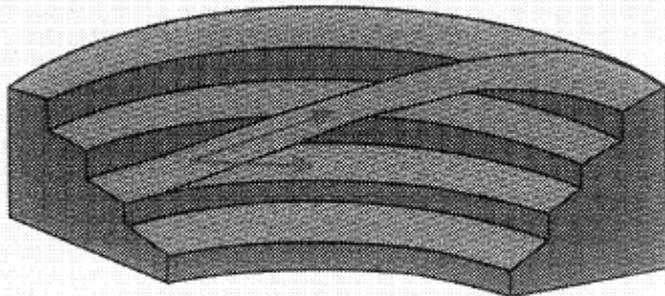


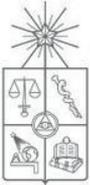
Figura 1.3



DISEÑO DE BOTADEROS

Raúl Castro R.



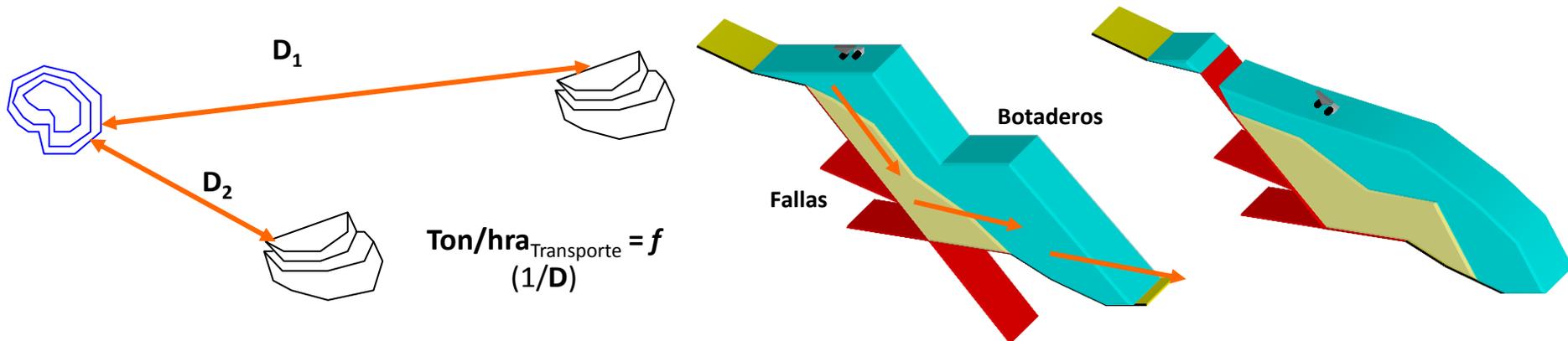


BOTADEROS

El material estéril extraído de la mina, debe ser dispuesto en lugares específicos y adecuados para este fin, por lo que tendremos que definir las características de estos lugares.

- La distancia entre el punto de carga de los camiones en la mina y el lugar de descarga del material estéril (o botadero) debe ser la mínima posible, por una razón económica, ya que el rendimiento de los equipos de transporte es afectado por esta distancia.

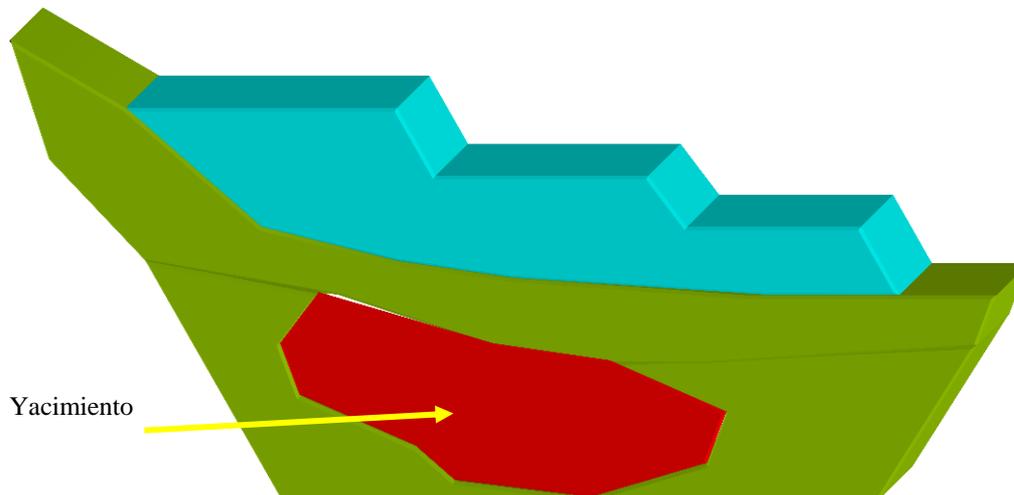
- El lugar donde se depositarán los escombros o estéril debe ser geológica y geomecánicamente apto para ello, ya que la gran cantidad de material a depositar puede generar siniestros geomecánicos en el sector mismo (hundimiento) o en sectores aledaños (distribución de esfuerzos).

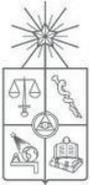




BOTADEROS

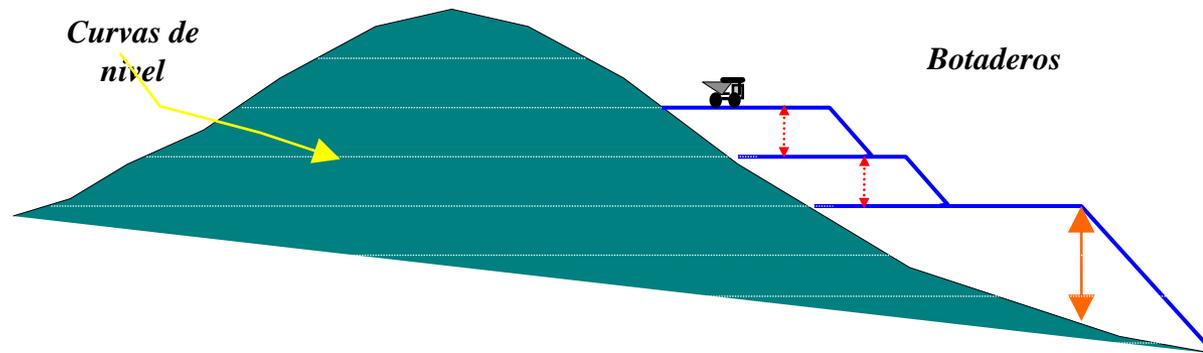
- El sector elegido debe carecer de importancia económica en el presente y en un futuro, es decir hay que comprobar la inexistencia de recursos utilizables en el sector (por ejemplo un yacimiento con bajo interés económico hoy, pero que puede ser interesante en el futuro, o una reserva importante de agua, etc.).
- La utilización del sector elegido no debe significar un daño ambiental real o potencial, lo cual se garantizaría con un adecuado estudio al respecto.

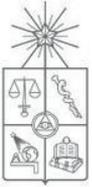




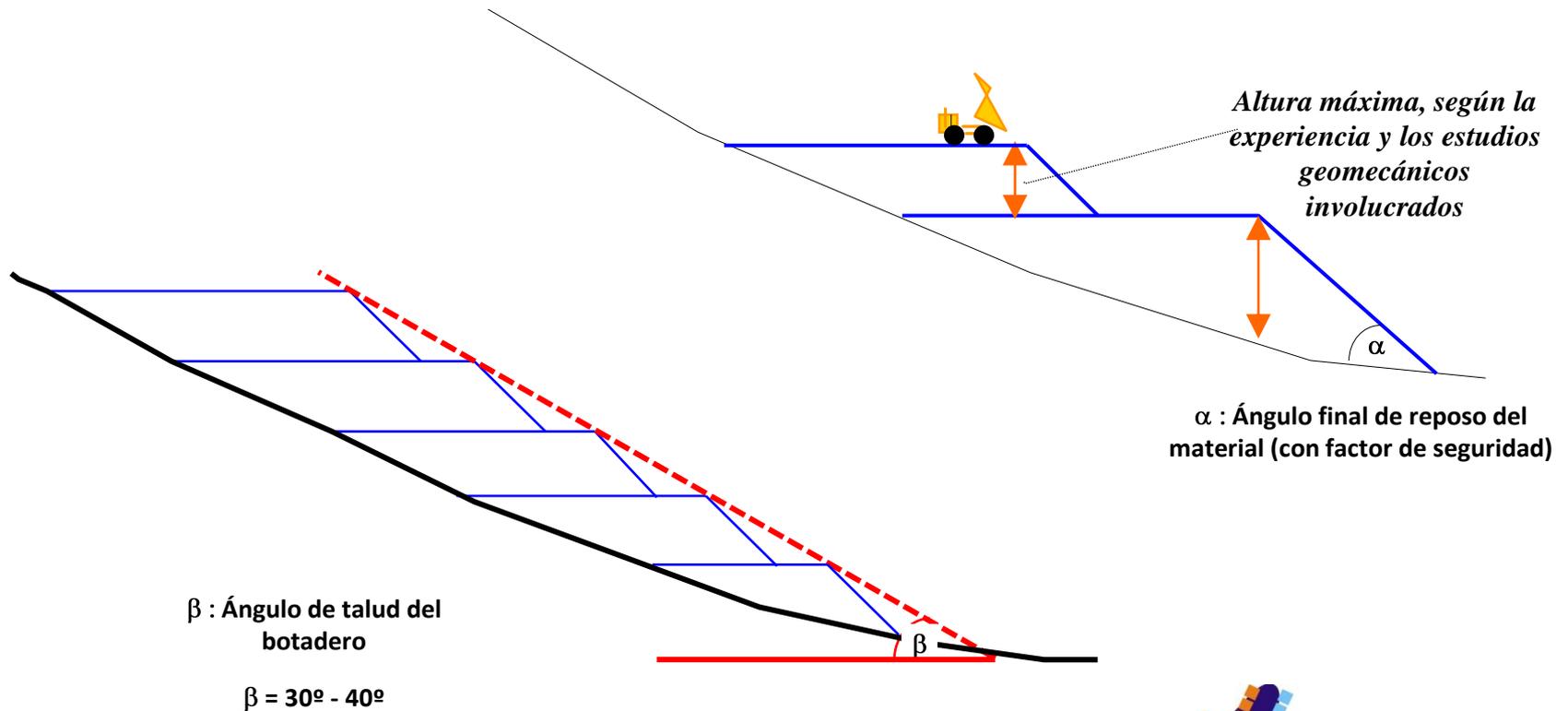
DISPOSICIÓN DE BOTADEROS EN LADERAS

Comúnmente se disponen los residuos minerales en las laderas de los cerros circundantes a la explotación, más que nada por razones de simplicidad en la descarga, mantención y estabilidad, además que se encuentra disponible un mayor espacio para la actividad y ésta se puede realizar de una manera más uniforme.





DISPOSICIÓN DE BOTADEROS EN LADERAS

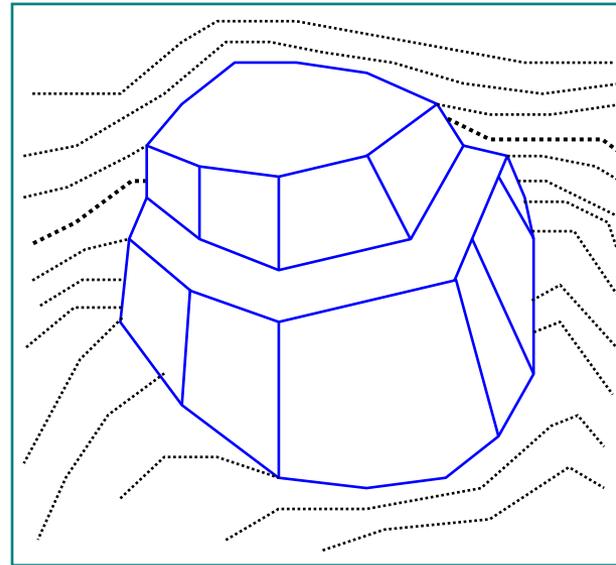
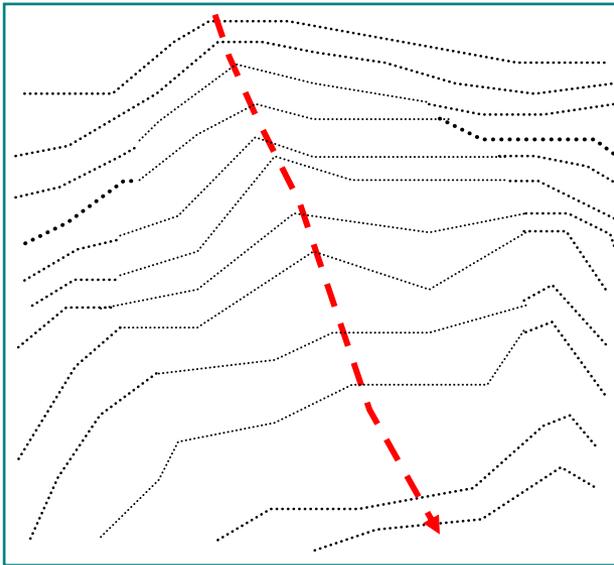


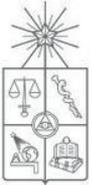


FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

DISPOSICIÓN DE BOTADEROS EN QUEBRADAS

La disposición de material estéril en quebradas solo podrá realizarse en casos que esta actividad no revista un riesgo real o potencial, lo cual se lograría con un adecuado estudio del sector, teniendo precaución con los cauces de aguas que pudiesen ser afectados.

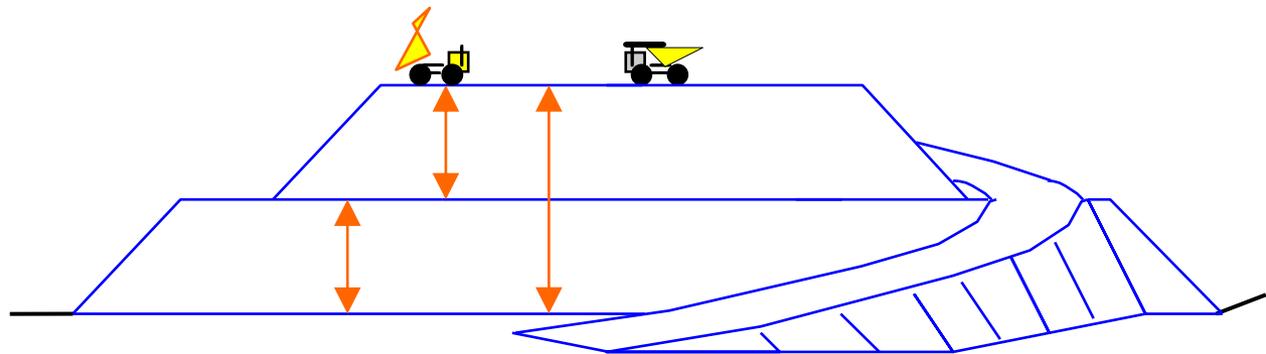
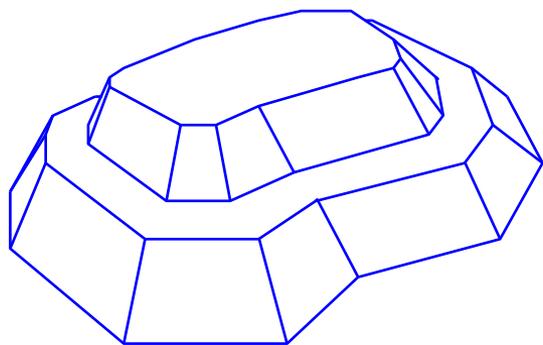




DISPOSICIÓN DE BOTADEROS EN PILAS O TORTAS

Existen casos en que no se dispone de laderas cercanas en que se puedan depositar los materiales estériles, por lo que se debe recurrir a la construcción de pilas o tortas de acopio.

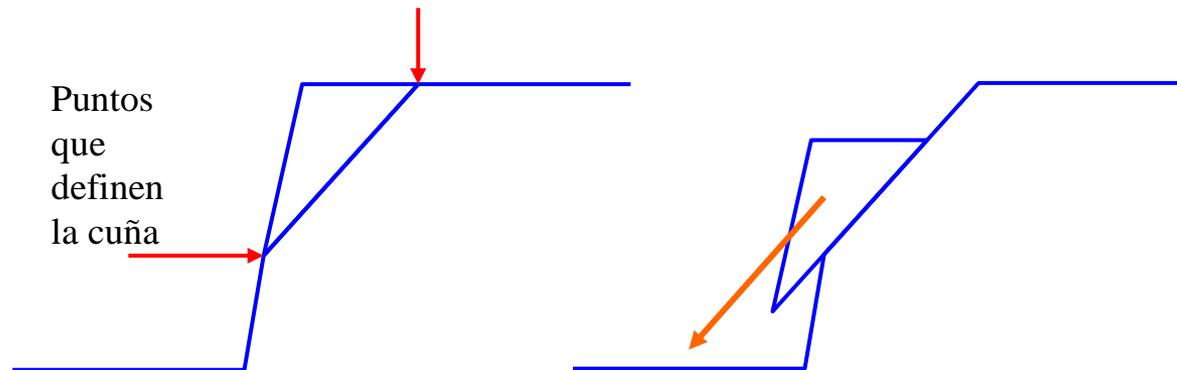
En este caso debe considerarse la construcción o habilitación permanente de accesos sobre la pila misma, a diferencia de la disposición en laderas en que parte de los accesos se habilitan en los mismos cerros.

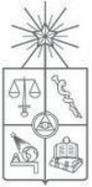




COLAPSOS EN BORDES DE BOTADEROS

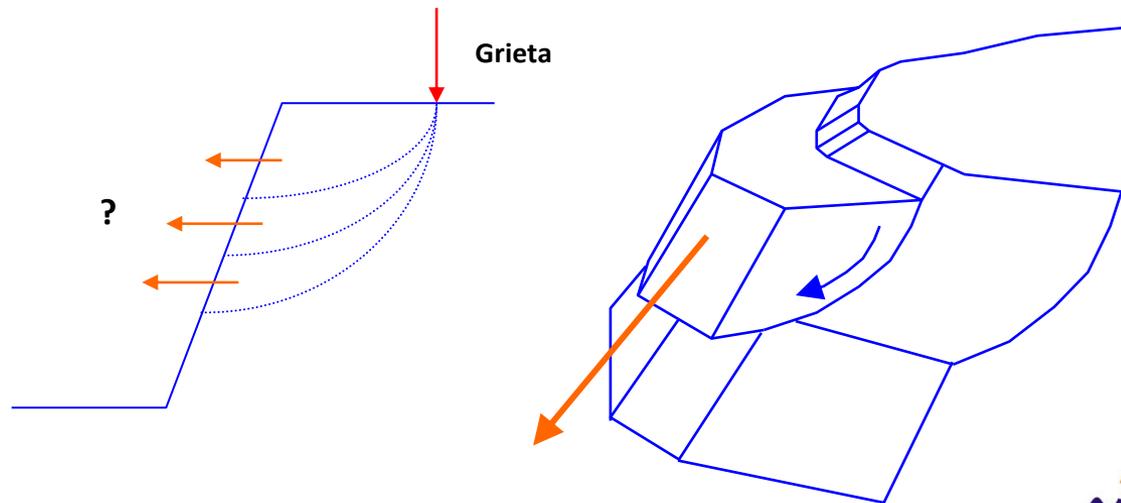
Los colapsos en las caras de material compacto, como en el caso de los bancos construidos en roca, se producen en función de las estructuras presentes y por lo general son predecibles, ya que la mayor parte de las veces dichas estructuras son debidamente mapeadas y tienen algún grado de presencia en la superficie, por lo que se puede estimar, prevenir y controlar la ocurrencia de un evento de inestabilidad.





COLAPSOS EN BORDES DE BOTADEROS

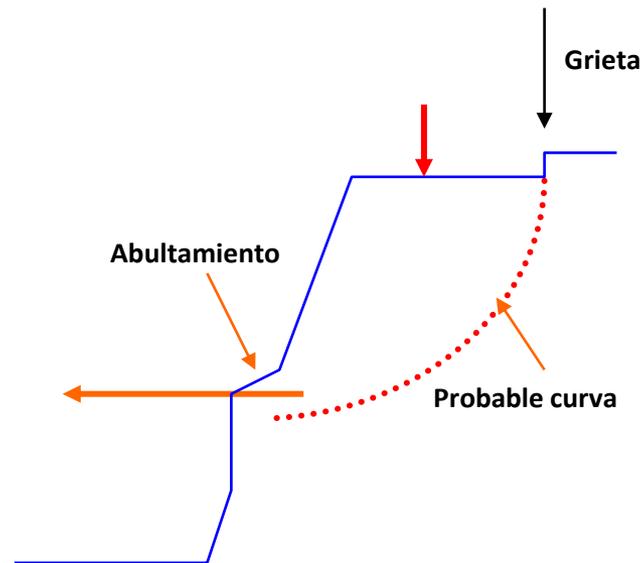
Para el caso de los depósitos de material no compacto o suelto, se pueden apreciar ciertos indicios de inestabilidad en superficie, pero lamentablemente no siempre se puede determinar el volumen afectado por dicha inestabilidad, debido a que la cara por la cual se deslizaría el material inestable no es recta sino curva.





COLAPSOS EN BORDES DE BOTADEROS

En algunas ocasiones puede apreciarse en el talud algún indicio de la inestabilidad y de ese modo estimar la curva de deslizamiento, e incluso evitarlo con algún tipo de acción. Este indicio por lo general luce como un levantamiento de la superficie del talud

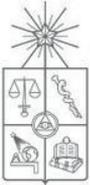




MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DISEÑO DE TALUDES

Raúl Castro R





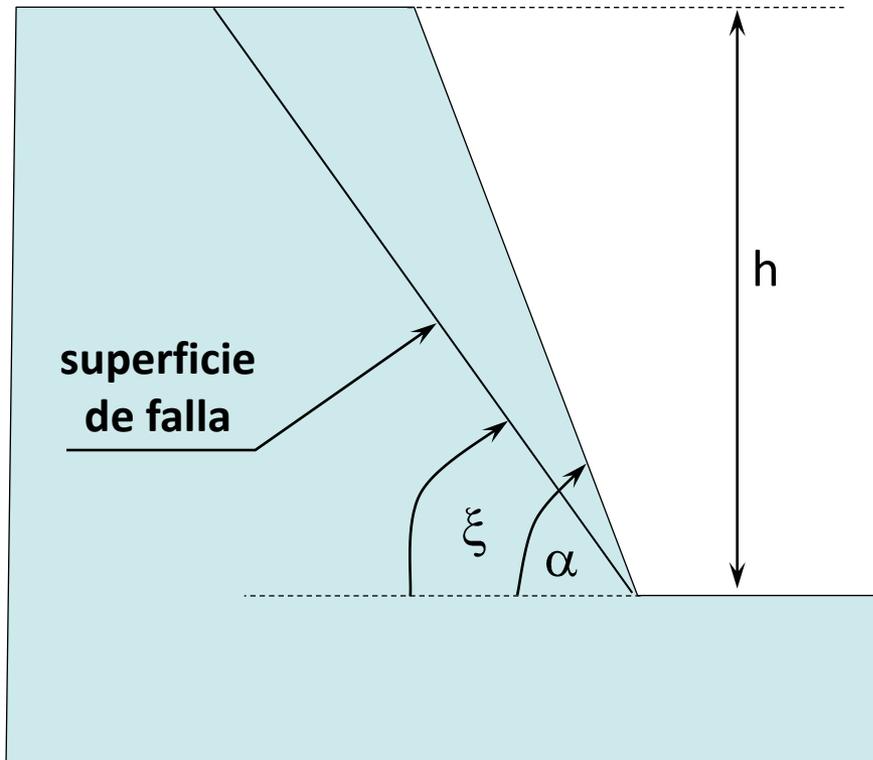
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y USO EN LAS DISTINTAS ETAPAS DEL PROYECTO

Método de análisis	Principal característica	Nivel 1 Conceptual	Nivel 2 Pre-factibilidad	Nivel 3: Factibilidad	Nivel 4: Diseño y construcción	Nivel 5 Operaciones
Empírico	Basado en calidad de macizo rocoso (grafico altura/ángulo)	X	x			
Equilibrio Limite	Basado en análisis estático de fuerzas y momentum (eg. Swedge, RockPlane, Método Dovelas)		x	x	x	X
Modelos numéricos continuos y discontinuos	Basada en elementos finitos y discretos (eg. PHASES, SLIDE, FLAC-UDEC)			x	x	X
Modelos numéricos avanzados	Mejorar el modelamiento del quiebre frágil del macizo (eg. PFC-ELFEN)			?	?	?

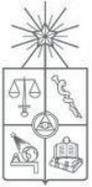


RESTRICCIONES GEOMECANICAS



Si el talud es demasiado alto fallará, por lo que para un α dado hay un valor máximo permisible para h

Si el talud es demasiado empinado fallará, por lo que para un h dado hay un valor máximo permisible para α



fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

RESTRICCIONES GEOMECÁNICAS

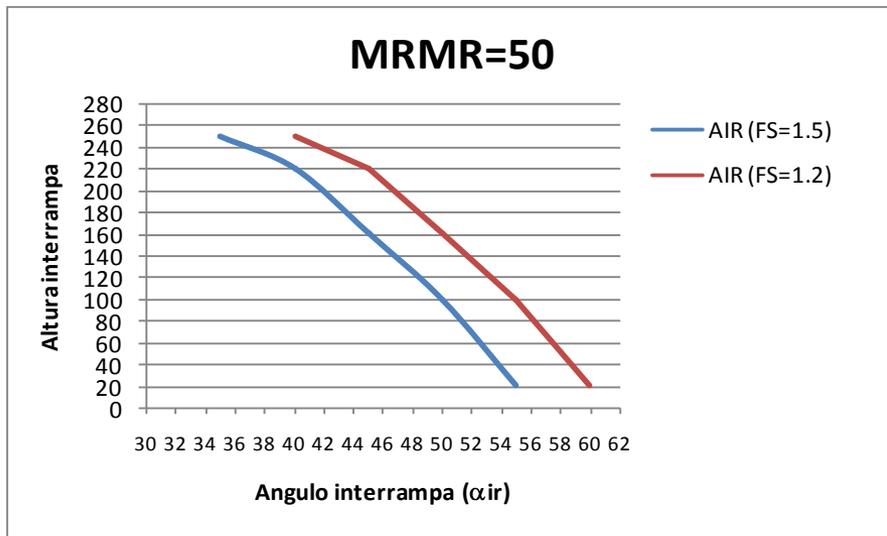
DESlizAMIENTO POR FALLA PLANA



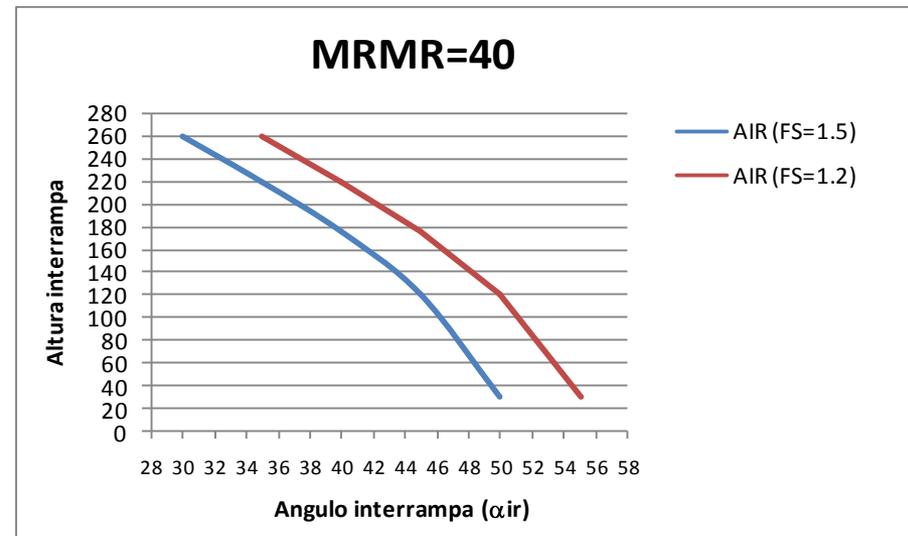


MÉTODO GRAFICO

MRMR=40



MRMR=40

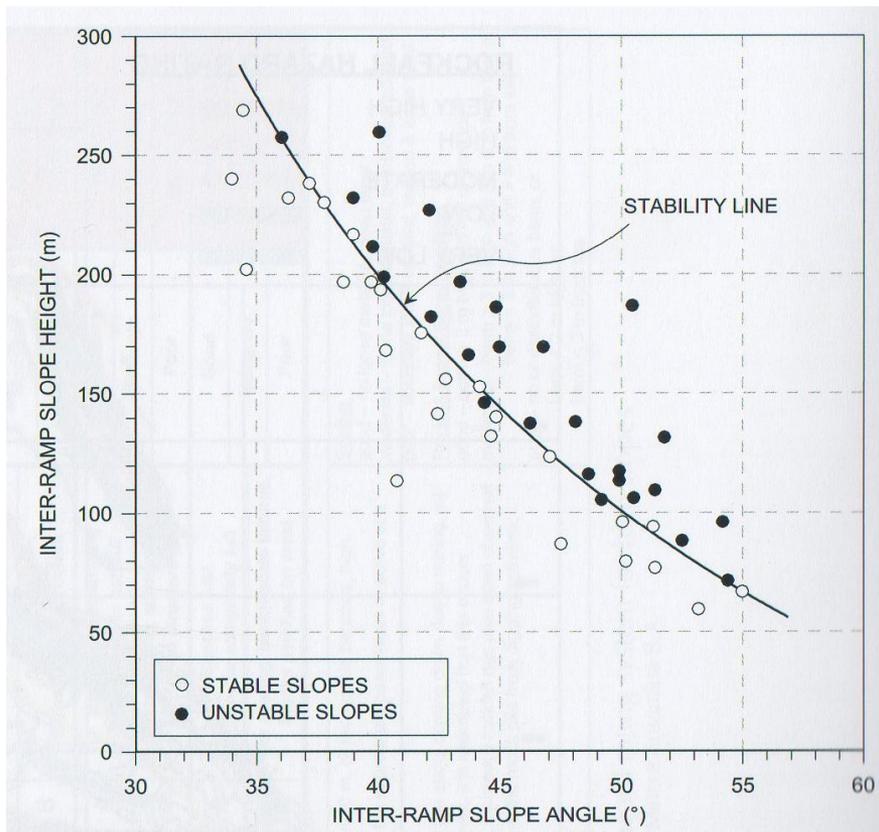


La definición dependerá del criterio de aceptabilidad y planificación

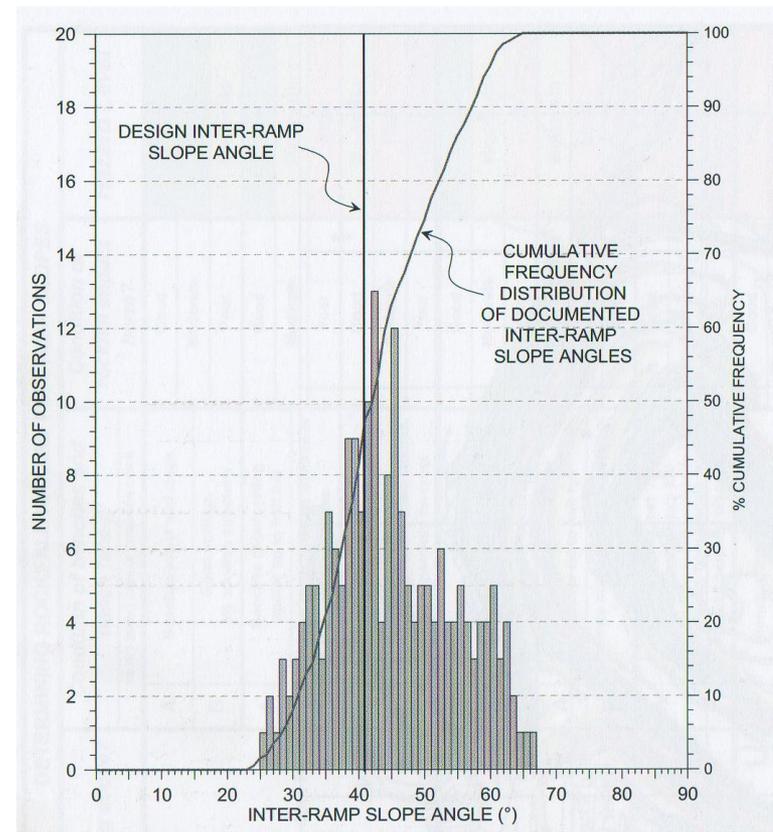


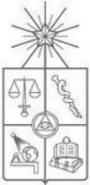
MÉTODO GRAFICO

Grafico diseño inter-rampa
Altura inter-rampa versus ángulo



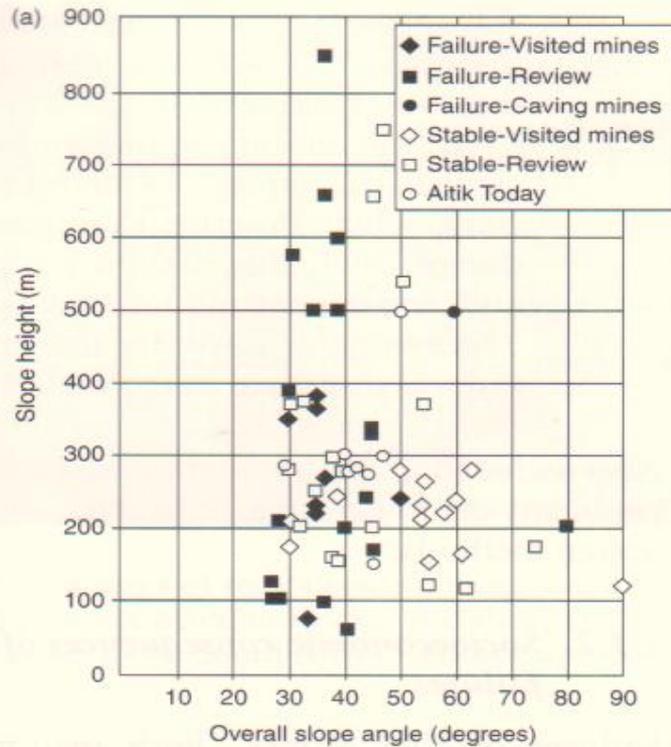
Angulo efectivo inter-rampa



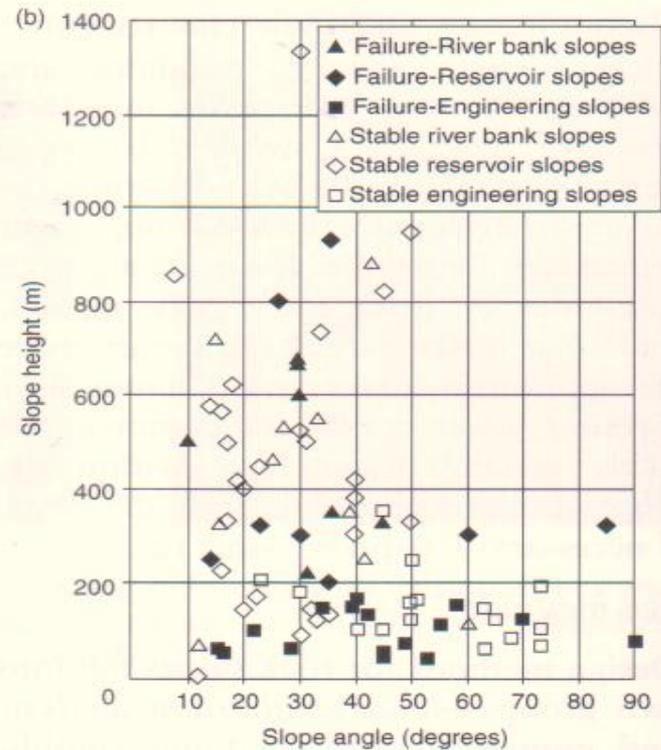


RELACIÓN ENTRE ALTURA Y ÁNGULO GLOBAL

GLOBAL



MINAS

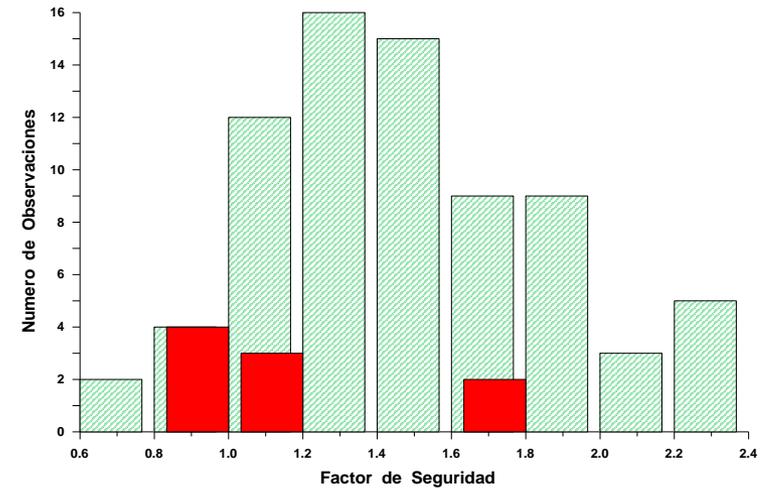
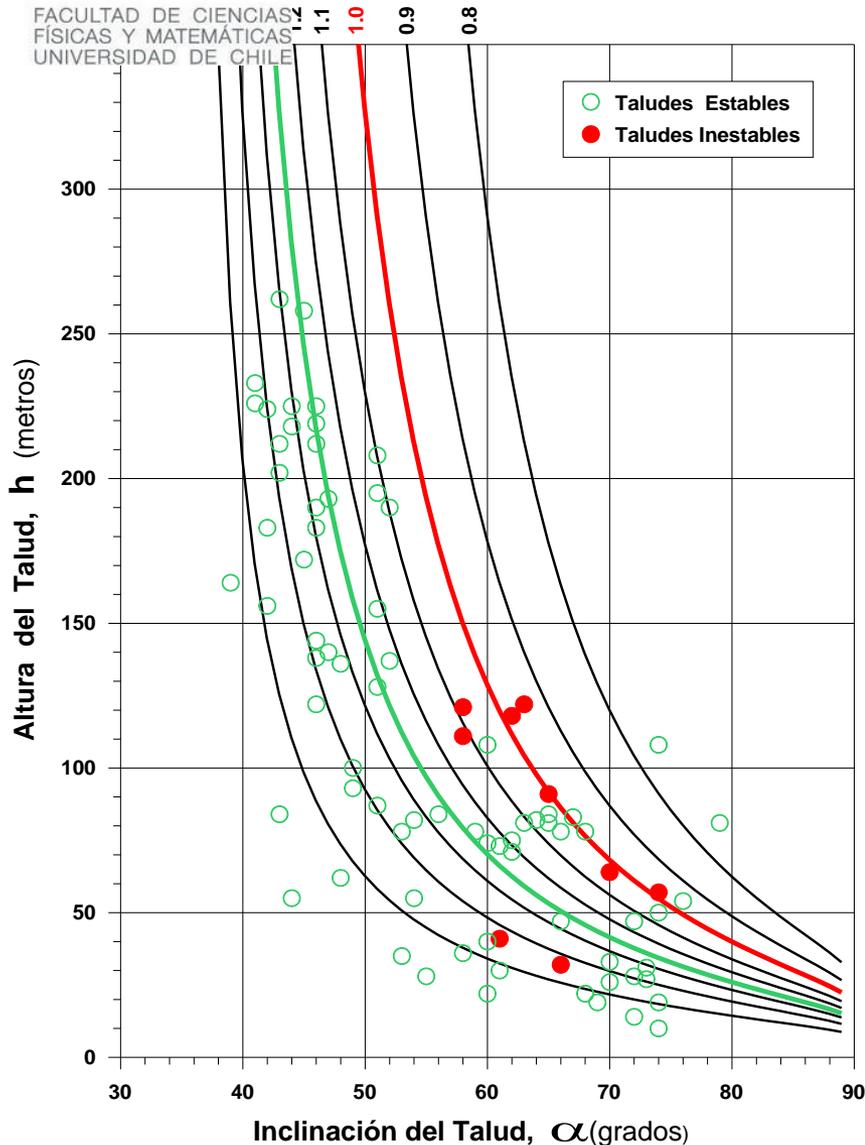


CIVIL



ESTABILIDAD DE TALUDES (ÁNGULO Y ALTURA DE TALUD)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Resultados del análisis retrospectivo de taludes estables e inestables en pórfido cuprífero, Rajo Atalaya, Rio Tinto, España, sugieren que $FS \geq 1,30$ parece razonable.

Hoek (1969)