



# TEMA 2

## *Crterios para el Diseo de minas a cielo abierto*

# CONTENIDO

- Objetivos de la planificación.
- Elementos que intervienen en la planificación.
- Información básica para el diseño de minas a cielo abierto.
- Factores claves para determinación de límites óptimos de explotación del yacimiento.
- Criterios para el diseño de minería a cielo abierto.
- Criterios en el manejo y diseño de escombreras.

## Referencias recomendadas:

- ✓ Chacón (1991) “Técnicas de operaciones de minería de superficie”
- ✓ SME (1992) “*Mining Engineering Handbook*” Tomos I y II
- ✓ SME (1990) “*Surface Mining*”
- ✓ Hustrulid y Kuchta (2006) “*Open pit mine planning & desing*” 2da edición
- ✓ Castellanos (2004) “Planificación: herramientas para enfrentar la complejidad, la incertidumbre y el conflicto”
- ✓ Portal Minero (2006) “Manual General de Minería y Metalurgia”. Portal Minero Ediciones. [www.portalminero.com](http://www.portalminero.com)
- ✓ Piña (2008) Material de apoyo para el “Curso de Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto”. Escombreras. IT-FI-UCV. Inédito.
- ✓ Ortiz y otros (2001) “Curso de Evaluación y Planificación Minera”. España.

# La Planificación

# DEFINICIONES

(Castellanos, 2004)



<http://www.mining-technology.com/projects/skorpion/skorpion1.html>

# Definición y naturaleza de la planificación

(Castellanos, 2004)

## Denominadores comunes:

- Relación que se establece entre fines a alcanzar y medios para lograrlo eficientemente;
- Sentido de prevención, de anticipación a lo que ocurrirá o debería ocurrir (el intento de “adivinar” el futuro);
- La noción de trabajo ordenado, sistemático; y
- Fases interactuantes.

# Planificación

La planificación es un método bajo la forma de proceso, para la toma de decisiones en torno al mantenimiento de una realidad dada o su transformación en otra más deseable, mediante la distribución de recursos entre fines múltiples, cumpliendo los siguientes requisitos:

- La minimización de costos,
- La maximización de beneficios y
- El mantenimiento de equilibrios dinámicos entre las fuerzas sociales que poseen recursos, desean poseerlos o se ven afectados por el uso que de ellos se haga.

# Precisiones de la definición de planificación

- Se entiende por método un modo ordenado de proceder para llegar a un fin determinado.
- El método adopta la forma de un proceso, porque la planificación consta de fases formalmente sucesivas.
- Se entienden por recursos, no sólo los monetarios, sino también el tiempo, el espacio y los recursos humanos, culturales y naturales.
- Igual ocurre cuando se hace referencia a los recursos y beneficios.
- El requisito de minimizar los costos y maximizar las ganancias corresponde a la concepción tradicional de planificación; el mantener equilibrios dinámicos entre fuerzas sociales está en el centro de la planificación estratégica.

# Precisiones de la definición de planificación

- Se insiste en que dichos equilibrios no se refieren al logro de una cierta uniformidad en el poder de los actores sociales, sino a la minimización de los conflictos entre ellos, permitiendo que la sociedad funcione fluidamente.
- Por otra parte, esos equilibrios son dinámicos, se recomponen constantemente en la medida en que las realidades cambien.
- De ninguna manera la planificación se plantea el logro de “un equilibrio único” permanente.
- La gama de actores o fuerzas sociales puede ir desde los grandes estratos o clases sociales que integran la sociedad en su conjunto, hasta los miembros individuales de un grupo en particular, dependiendo del ámbito cubierto por cada proceso concreto de planificación.

# Fases interactuantes de la Planificación

- Independientemente del nombre que se les dé, las fases interactuantes son:
  - Definición de objetivos.
  - Diagnóstico.
    - Descripción de lo planificado tal y como es: modelo analítico.
    - Descripción de lo planificado tal y como debería ser: modelo normativo.
    - Explicación de por qué lo planificado es como es y no como debería ser: diagnóstico propiamente dicho.
  - Prospectiva.
    - Prognosis: descripción de cómo evolucionaría lo planificado si sus condicionantes actuales continuaran actuando igual que hasta ahora.



# Fases interactuantes de la Planificación

- Prospectiva.
  - Escenarios: situación durante un lapso futuro, del conjunto de variables, que sin ser parte del plan lo condicionan fuertemente.
  - Imagen objetivo: visión referencial elástica de lo que, en conjunto, se desea alcanzar con el plan.
- Selección de instrumentos para alcanzar los objetivos.
  - Selección preliminar.
  - Evaluación multicriterios.
  - Jerarquización.
  - Análisis de suficiencia.
  - Análisis de compatibilidad y complementariedad.
  - Selección final de instrumentos.
- Definición de mecanismos para implementar y revisar lo planificado.

# Utilidad y alcances de la Planificación

- La existencia de la planificación se fundamenta en: escasez de los recursos frente a las necesidades múltiples y crecientes, la complejidad, turbulencia, incertidumbre y conflictividad que caracterizan a las actividades humanas y su entorno.
- Otra forma de apreciar la importancia de la planificación es tomándola como una forma de abordar problemas específicos, descomponerlos en partes manejables y encontrarles solución.
- La otra forma, menos visible, es la traducción de conocimientos en acción.

# Utilidad y alcances de la Planificación

- Con estos dos conceptos, la planificación como solucionadora de problemas y como vehículo para operativizar los conocimientos, es útil en aspectos no sólo técnicos, que van desde los cotidianos, personales o profesionales.
- La ventaja de la planificación es que logra una cierta capacidad investigativa y educativa, debido a que como proceso implica discutir objetivos, ventilar conceptos y generar información; aumentando el conocimiento y la sensibilidad de los problemas que se desean atacar, lo cual puede repercutir positivamente a favor de encontrar soluciones.

# Características deseables de la Planificación

Ser integral	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aborda la totalidad o al menos la mayoría.</li><li>• Variables y relaciones entre ellas.</li></ul>
Seleccionar adecuadamente las variables	<ul style="list-style-type: none"><li>• Las realmente indispensables.</li><li>• La acumulación de información no relevante es enemiga de la buena planificación pues despilfarra recursos y oscurece los resultados.</li></ul>
Abstenerse de abusar de modelos matemáticos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hay que cuidar no caer en el “preciosismo” que pretende que lo planificado debe ceñirse estrictamente a los requerimientos de su modelo y si no responde a estos, es la realidad la que tiene problemas.</li></ul>
Calidad de la información	<ul style="list-style-type: none"><li>• Falta de confianza en la calidad de la información.</li><li>• La experiencia puede aportar importante información que no necesariamente es de orden numérico.</li></ul>
Objetividad en el análisis de las causas de la realidad	<ul style="list-style-type: none"><li>• En el análisis de las causas determinantes de la realidad considerada.</li><li>• El análisis subjetivo de las causas, teñido por la pasión, la ignorancia o los intereses, conduce a conclusiones erradas e incapaces de alcanzar los objetivos.</li><li>• El planificador requiere aceptar que existen tantas “verdades” como actores involucrados.</li></ul>
Realismo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Significa hacer propuestas factibles, no sólo desde el punto de vista técnico y económico, sino también administrativos, social, políticos y ambiental.</li><li>• Tomar en cuenta lo deseable. La planificación debe ser participativa y no el trabajo aislado de un grupo particular de intereses.</li></ul>
Continuidad y flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"><li>• Debe ajustarse permanentemente.</li><li>• Los planes se convierten rápidamente en obsoletos.</li><li>• La capacidad de adaptación continua constituye, una de las características que definen lo estratégico en el proceso de planificación.</li></ul>

# Planificador(a)

- A mayoría de los expertos están de acuerdo en que planificar es un proceso para alcanzar una decisión racional, que implica anticipar el curso de acción que ha de adoptarse con la finalidad de obtener una situación deseada.
- Planificador(a) sería aquel(la) que “sabe” distribuir recursos relativamente escasos, entre fines múltiples y alternativos, minimizando costos y maximizando beneficios; entendiendo que los recursos, los costos y los beneficios no sólo son los financieros, sino también los humanos, los sociales, los culturales, los espaciales y los naturales.

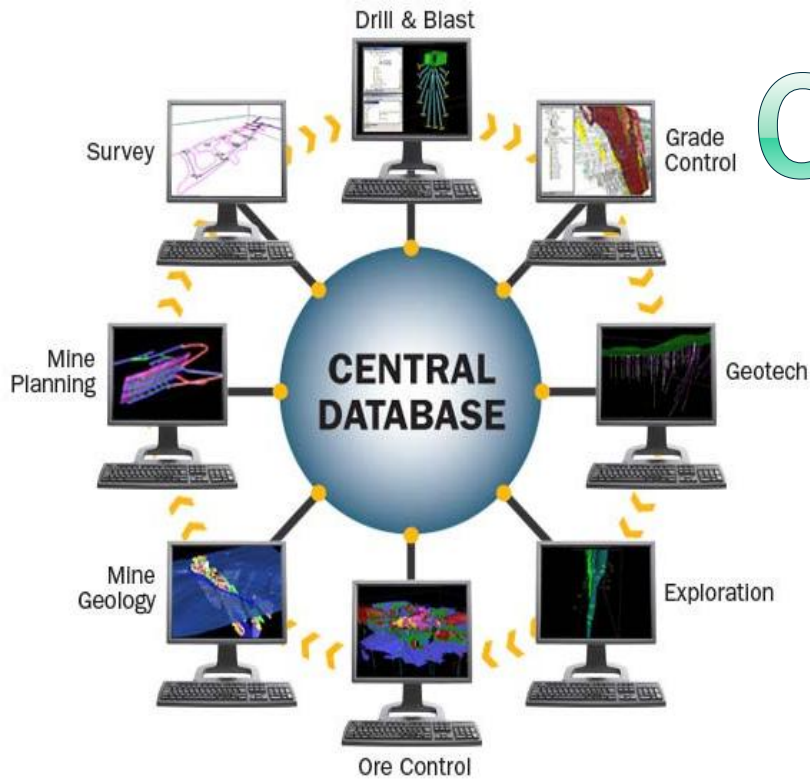
# Retos de la Planificación

- La presión por tomar decisiones complejas participativa y rápidamente, aumenta la necesidad de experticia en materia de dinámica de grupos, presentaciones y discusiones; y sobre todo, eleva a un primer plano lo que se conoce como “pensamiento estratégico” continuo.
- Es vital entender que el plan (solo) no basta. Se requiere el plan para aplicar el plan con éxito.
- Tres grandes disciplinas deben ser manejadas e instrumentalizadas a los fines de la planificación realmente estratégica: la comunicación, el poder y el conflicto-negociación.

# La Planificación Minera

## OBJETIVOS

(Chacón, 1991)



<http://www.mining-technology.com/contractors/resource/gemcomsoftware/gemcomsoftwre3.html>

# Diseño de Minería a Cielo Abierto

El primer paso en un proyecto de minería a cielo abierto es el diseño o planificación de la fosa, el cual debe estar correlacionado con todas las fases de la operación minera.

- Elementos que deben ser incluidos en la planificación
  - Deben reflejar las características y condiciones en torno al yacimiento mineral y son:
    - Geología y tipo de muestreo, Análisis físico-químicos
    - Tonelaje y área de extensión de las reservas minerales, Topografía, Tipo de mineral
    - Límite de explotación (*Pit limit*)
    - Tenor límite de la explotación, Relación de remoción o de explotación
    - Angulo de inclinación de la fosa, Altura y ángulo de inclinación de los bancos
    - Pendiente y ancho de las carreteras
    - Características metalúrgicas del mineral
    - Condiciones hidrológicas de la zona
    - Delimitación de propiedades
    - Rata o promedio de producción de la mina
    - Consideraciones de mercado y factores económicos concernientes a los costos de inversión, de operación y de beneficio del proyecto



# Recopilación y utilización de datos básicos

Para llevar a cabo una explotación a cielo abierto de modo eficiente, se requiere:

- De la información final de la exploración y de los datos obtenidos por las perforaciones;
- Se requiere realizar secciones horizontales correspondientes a los niveles del diseño de los bancos y de la forma convencional de colocar los valores del mineral en secciones verticales.
- Fijar los límites de la explotación (*pit limits*).
- Las secciones horizontales permiten optimizar el diseño de la fosa y el trazado de las carreteras.

# Relación de explotación o remoción

Para desarrollar el diseño de la fosa se requiere el establecimiento de la Relación de Explotación o Relación de Equilibrio (REE).

R. E. (Equilibrio) =

$$= \frac{\text{Costo Min Subt./T.M. (Mineral)} - \text{Costo Min Sup./T.M. (Mineral)}}{\text{Costo Min. Sup/T.M. (Estéril)}}$$

# Relación de explotación o remoción

La relación es aplicada solamente a la superficie de la fosa final y no debe ser confundida con la relación de explotación total, el cual es siempre menor.

El costo de producción es el costo de extracción del mineral más el costo por concentración y beneficio, excluyendo el de la explotación del estéril.

- Para determinar la verdadera REE se debe hacer la variación del contenido del mineral y del precio del producto en el mercado.

# Relación de explotación o remoción

- El factor que presenta mayor dificultad es determinar el precio del producto en el mercado, por eso se elige un rango de valores posibles de acuerdo a una proyección futurista.
  - Precios altos tienden a expandir los Límites de Explotación de la fosa, mientras que precios bajos tienden a contraerlos.
- Es aconsejable incluir un beneficio mínimo en el cálculo de la REE, cuando se trate de nuevos proyectos mineros.
- En el caso de minas en explotación se calcula la Relación de Remoción (REE) en base a los costos actuales y el beneficio esperado.

# Relación de explotación o remoción

## CALCULO DE LA RELACION DE EXPLOTACION DE EQUILIBRIO

Factor de recuperación de la planta = 88.13%

%Cu	0,8	0,7	0,6
Cu recuperable/Ton.Min	14.1 Lbs.	12.2 Lbs.	10,3 Lbs.
Costos:			
Minería	0,45 \$/Ton		
Molienda			
Depreciación	1,25 \$/Ton		
Servicio general	----		
	<u>1.70 \$/Ton</u>	<u>1.70 \$/Ton</u>	<u>1.70 \$/Ton</u>
Tratamiento	0.85 \$/Ton	0.76 \$/Ton	0.65 \$/Ton
Costo total	<u>2.55 \$/Ton</u>	<u>2.46 \$/Ton</u>	<u>2.35 \$/Ton</u>
<u>Relación de remoción de equilibrio:</u>			
A 25 ¢/Lb. de Cobre	3.53 \$/Ton	3.05 \$/Ton	2.58 \$/Ton
Neto	0.98 \$/Ton	0.59 \$/Ton	0.23 \$/Ton
Relación	2.50 : 1	1.50 : 1	0.6 : 1
A 30 ¢/Lb. de Cobre			
Valor	4.23 \$/Ton	3.66 \$/Ton	3.09 \$/Ton
Neto	1.68 \$/Ton	1.20 \$/Ton	0.74 \$/Ton
Relación	4.20 : 1	3.00 : 1	1.8 : 1
A 35 ¢/Lb. de Cobre			
Valor	4.94 \$/Ton	4.27 \$/Ton	3.61 \$/Ton
Beneficio Neto	2.39 \$/Ton	1.81 \$/Ton	1.26 \$/Ton
Relación	6.0 : 1	4.5 : 1	3.2 : 1

(1)\* Costo de Explotación del Estéril = 0,40 \$/Ton.Estéril

TABLA 6.1

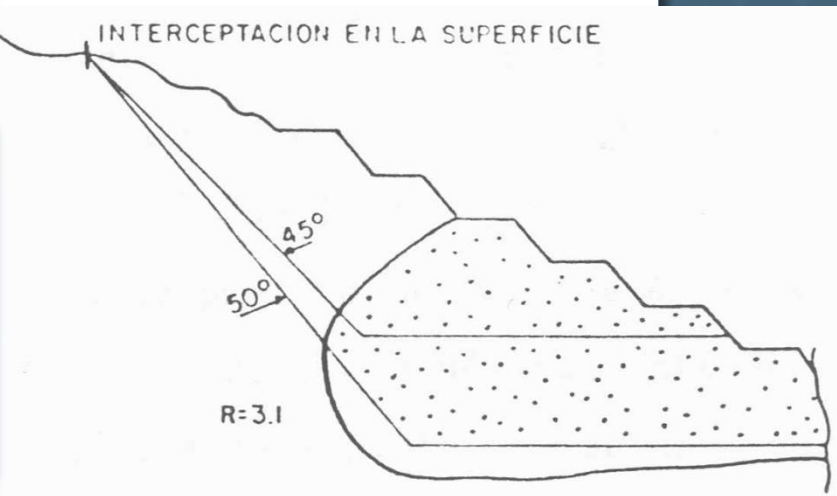
# Ángulo de inclinación de la fosa

- Después de fijar la REE el siguiente paso es determinar el ángulo de inclinación de la fosa y del talud de los bancos.
- El ángulo de inclinación de la fosa es un factor crítico y el más difícil de estimar, particularmente en la etapa inicial del diseño de la mina.
  - Hay cuatro aspectos o elementos importantes que hay que tomar en cuenta, en la selección del ángulo de inclinación de la fosa, ya que de estos depende la estabilidad del talud de la fosa y son:
    - Las estructuras geológicas: fallas, diaclasas, entre otras.
    - La resistencia de la roca.
    - La presencia de agua.
    - El elemento tiempo, ya que los bancos de la fosa deben permanecer por muchos años, hasta que se terminen las labores de explotación.

# Ángulo de inclinación de la fosa

La mecánica de rocas es una herramienta que ayuda al profesional de ingeniería de minas a determinar el ángulo óptimo de inclinación de la fosa y la planificación minera debe estar diseñada para remover el estéril tan pronto como sea posible y así poder recuperar todo el material disponible durante la vida útil de la mina.

La fosa debe ser diseñada a conservativos ángulos de inclinación para el mineral a ser explotado y fijada en base a una REE.



# Tenor límite de explotación

El tenor límite de explotación (TLE) es aquel, donde el beneficio es nulo, es decir, el valor en dinero recuperable del mineral es igual a los costos de producirlo y está en el punto de decisión entre enviarlo al molino como mineral o al botadero como estéril.

En la fase inicial del diseño de una operación a cielo abierto, el análisis se hace para determinar el TLE y estimar las reservas del mineral y la relación de explotación correspondiente.



# Diseño de la fosa

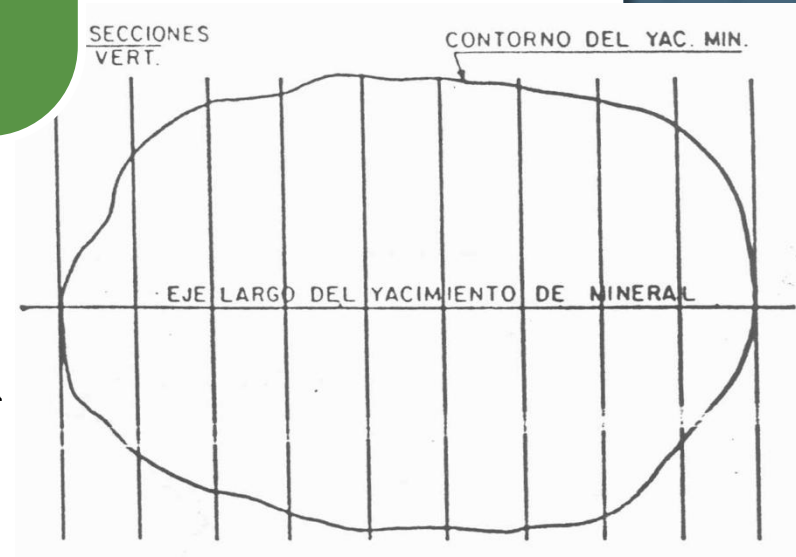
**Dado que el precio del mineral es un factor clave para fijar los límites finales de la fosa, el diseño de ésta a largo plazo deber ser hecha sobre bases conservativas, dado que la fosa puede llegar a ser expandida o comprimida, dependiendo de los precios futuros del mineral y si los costos justifican el cambio.**

**Es inevitablemente razonable estimar cualquier modificación en base a los costos de producción y al precio del producto sobre el conocimiento amplio de la industria minera.**

# Diseño de la fosa

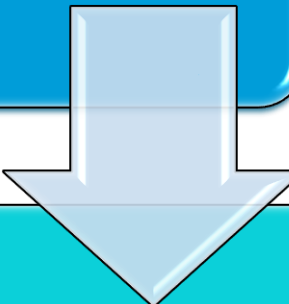
Con el establecimiento del Límite de explotación (LE), de la REE, del grado de inclinación de la fosa y del tenor límite de explotación, se puede desarrollar la geometría del diseño de la fosa del proyecto minero.

- El diseño es desarrollado mediante secciones verticales a lo largo de un eje principal del yacimiento, en las cuales la topografía de superficie, el contorno del mineral y el TLE son indicados en cada una de ellas. El LE (*Pit limit*) y el grado de inclinación de la fosa es colocado sobre cada sección vertical.



# Relación entre el TLE, la REE y la vida de la mina

Una vez que el diseño de la fosa ha sido fijado, la REE o RR llega a ser función directa del TLE y como tal, los dos están relacionados con el costo de producción por unidad más bajo.



El TLE es directamente proporcional a la REE e inversamente proporcional a las reservas del mineral y vida de la mina.

# Área de trabajo

- Un elemento básico en la planificación a largo plazo, es el de proveer un área amplia de trabajo que permita prácticas o actividades de minería más seguras y económicas.
- Los efectos de espacios o áreas de trabajo reducidas en los frentes de arranque pueden transformarse en actividades muy costosa e inseguras para equipos y personas.
  - Esto requiere de estudios detallados para el área de trabajo requerida de acuerdo al tamaño del equipo seleccionado en una determinada fosa.

# Planificación

- En minería es necesario para llevar a cabo las labores de explotación realizar planes a **corto plazo** en períodos menores de un (1) año, a **mediano plazo** en períodos de uno (1) a cinco (5) años y a **largo plazo** en períodos de cinco (5) a diez (10) años, de acuerdo a la demanda actual y potencial del proyecto, cambios de precio, costos y producción del mineral.
  - Hay que considerar también cualquier otro tipo de información que influya en los planes de explotación.

# Planificación Ortiz y otros (2001)

## DIFERENCIAS ENTRE LA PLANIFICACION A LARGO PLAZO Y LA ESTRATEGICA

CARACTERISTICAS	ESTRATEGICA	LARGO PLAZO
Del problema u objetivo	Problemas nuevos, no estructurales	Problemas con alguna estructura
Importancia de la experiencia previa	Poca	Algo a mucho
Naturaleza de la información base	Cualitativa	Más cuantitativa y datos conocidos
Énfasis	En la efectividad (en el qué del negocio)	En la eficiencia (en el cómo del negocio)
Perspectiva en el tiempo	Del futuro hacia hoy	De hoy hacia el futuro
Horizonte	15 a 20 años	3 a 5 años
Enfoque	Proyectar	Organizar
Ejecutores	Alta Dirección (Pocas Personas)	Direcciones operativas (Muchas personas)
Sistema	Falta la sistemática pero dominará el contenido	Forma y con dominio del procedimiento
Técnicas o herramientas.	Pocos números, aunque útiles.	Muchos números y muy útiles.
Usos principales	Identifica los cambios y adapta y expande la Compañía en función de ellos.	Coloca y coordina los recursos. Integra las comunicaciones y crea equipo.

# Pautas del programa de producción

El programa de producción (PP) es una faceta importante de la Planificación Minera.

- Esta sigue las pautas requeridas por la alimentación o entrada en el proceso de beneficio mineral.



El PP está basado en la vida total de la mina, en el flujo de caja (o *cash flow*), requerimientos de capital y en los costos de operación.

# Pautas del programa de producción

Los siguientes parámetros proveen una guía en el PP de la Operación Minera:

Minimizar los costos preliminares de producción

Asegurar una adecuada área de trabajo

Uniformizar la relación de explotación

Seguir una secuencia

Minimizar los costos asociados a aspectos ambientales

Considerar siempre los aspectos financieros

Considerar las restricciones del PP

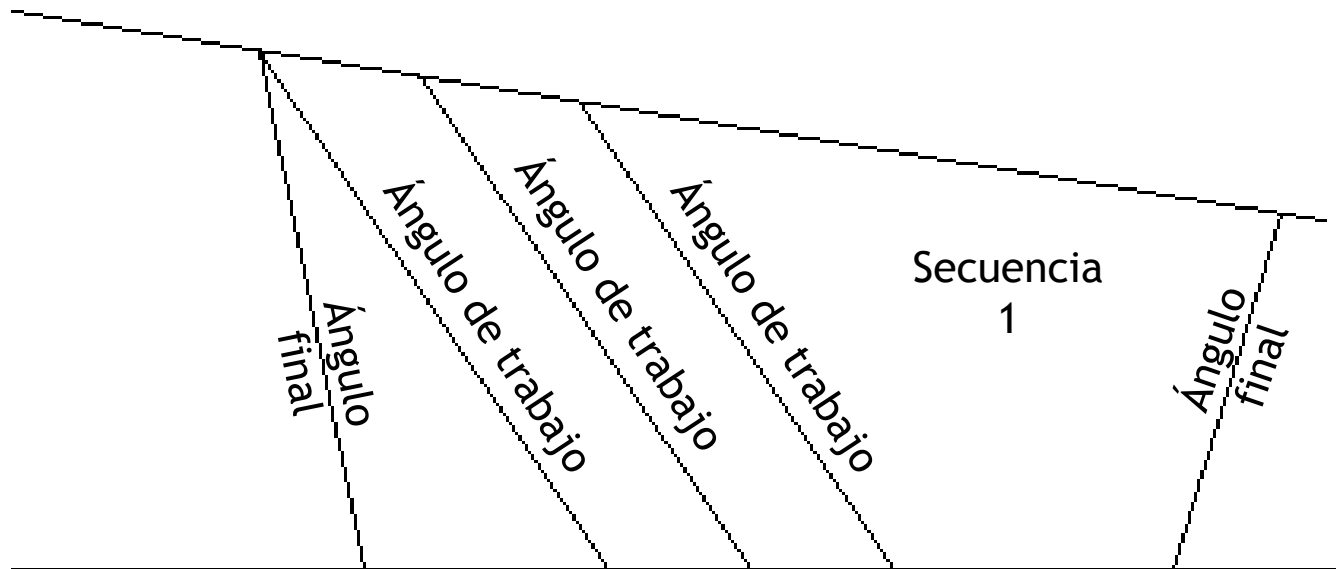


# Minimizar los costos preliminares de producción

- Los costos preliminares de producción son aquellos en los que se incurren antes que arranque la producción de la mina, tales como:
  - Exploración
  - Costos de equipos
  - Entre otros
- Estos costos no son descontados, debido a que fueron inversiones realizadas al inicio del proyecto, pero que tienen un gran efecto en el flujo de caja y sobre el tiempo del período de pago del capital de inversión.

# Asegurar una adecuada área de trabajo

- Especialmente aquellos proyectos donde la relación de explotación varía de un área a otra, los ángulos de trabajo planos deben ser usados en el punto donde la configuración de la fosa final es interceptada.



# Uniformar la relación de explotación

- Cuando programamos las operaciones mineras, la relación de explotación promedio es la que indica los cambios de trabajo y requerimientos de equipos, especialmente una vez que la fase de producción comienza.

# Seguir una secuencia

- Una secuencia propia de la minería es tentativamente establecida y analizada para evaluar el desarrollo más lógico del PP.
- Dicho programa debe asegurar una constante alimentación del mineral a la fase de beneficio y también proveer las bases para seleccionar inicialmente áreas de Alto Tenor-Buena Calidad con Baja Relación de Explotación para maximizar el flujo de caja.

# Minimizar los costos asociados a los temas ambientales

- Un punto verdadero es el conocimiento que se tenga sobre los efectos contaminantes que se presenten en la etapa de planificación y programación de la producción minera, de forma que se pueda minimizar los costos asociados a éstos eventos.
- Los detalles manejados más efectivamente por una planificación eficiente son:

Una vez terminada la explotación, acondicionar el terreno para un nuevo uso

Minimizar depresiones de la superficie en grandes extensiones (Impactos visuales)

Reforestar todas las áreas utilizadas para minería

Realizar el cierre paulatino de mina considerado desde el inicio mismo de la explotación

# Maximizar la efectividad de los programas de operación

- Las siguientes restricciones permiten una mayor eficiencia de los programas de producción y de la utilización del equipo:

Evitar excesivo movimiento de las palas

Minimizar el número de frentes de arranque o áreas de trabajo

Trabajar con un mínimo de niveles posibles al mismo tiempo

Reducir las distancias de transporte y el porcentaje de pendiente en las rampas

Todo esto trae como resultado un aumento de la productividad y una relación directa entre el equipo con los requerimientos de la fuerza laboral

# Optimización financiera

- La vida de una mina está fundamentada en los programas de producción e influenciada directamente por la cantidad de dinero invertido para producir los futuros ingresos necesarios para su subsistencia.
- Los factores que influyen el aspecto financiero de la empresa son:

El Capital de Inversión y los cambios en los Costos de Operación

Las nuevas minas y las innovaciones en equipos y plantas de concentración

El aumento de conocimientos sobre el depósito estudiado

Los cambios en el valor del mineral

# Considerar las restricciones del PP

- El PP está limitado por las restricciones derivadas de datos históricos, información regional y estimaciones basadas en records generados por la industria minera sobre equipos y fuerza laboral.



El diseño y planificación en minería

# ASPECTOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE MINAS A CIELO ABIERTO

Portal Minero (2006)  
Manual General de Minería y Metalurgia

# ASPECTOS GENERALES

## Extracción en minas a cielo abierto

- La elección del método de explotación de un yacimiento depende principalmente de una decisión económica y ambiental, considerando las inversiones, costos y beneficios del proyecto a explotar, los cuales están relacionados con los siguientes factores propios del yacimiento (próxima lámina).
- Además, debemos considerar también las políticas, necesidades y recursos (financieros) que disponga la empresa interesada en realizar la explotación.

# ASPECTOS GENERALES

## Extracción en minas a cielo abierto

Tipo de mineral

Ubicación

Tamaño

Forma

Topografía superficial

Profundidad del cuerpo mineral

Complejidad, calidad y distribución de la mineralización

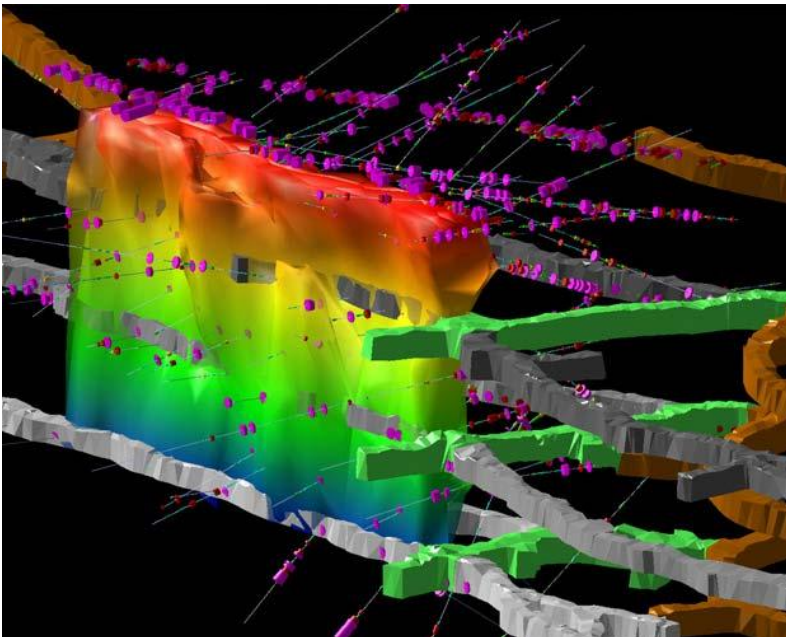
Caracterización del macizo rocoso

Calidad de la información de las reservas

Inversiones asociadas

Construcción de una mina a cielo abierto

# DISEÑO DE MINA



<http://www.mining-technology.com/contractors/resource/gemcomsoftware/gemcomsoftware2.html>

# Aspectos Generales

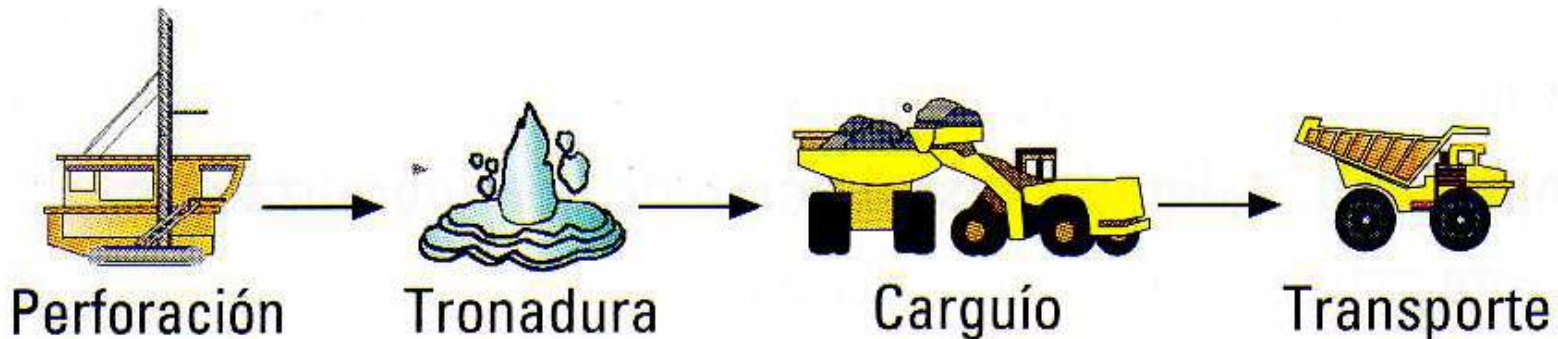
- La mina o fosa se va construyendo en avances sucesivos laterales y en profundidad.
- La profundización requiere ir expandiendo (lateralmente) para mantener la estabilidad de las paredes.
- **La mina crece y cambia constantemente.**
- El crecimiento lo notamos porque se genera una pared inclinada escalonada con bancos y vías especialmente diseñadas para el tránsito y operación de todos los equipos.
- En **muchos casos la altura de los bancos varía entre 13 y 18 metros.**

# Aspectos Generales

- La estabilidad de los taludes es muy importante, ya que de eso depende la seguridad de las operaciones (la cual puede influir de manera significativa en la rentabilidad).
- Se requiere al igual que las operaciones planificar el lugar de depositación de los estériles o escombreras-botaderos, instalaciones eléctricas, los puntos de suministro de combustible y agua, la(s) planta(s) de beneficio, los talleres y las dependencias administrativas, asegurándose que no sean afectadas por los avances de la mina en futuro.

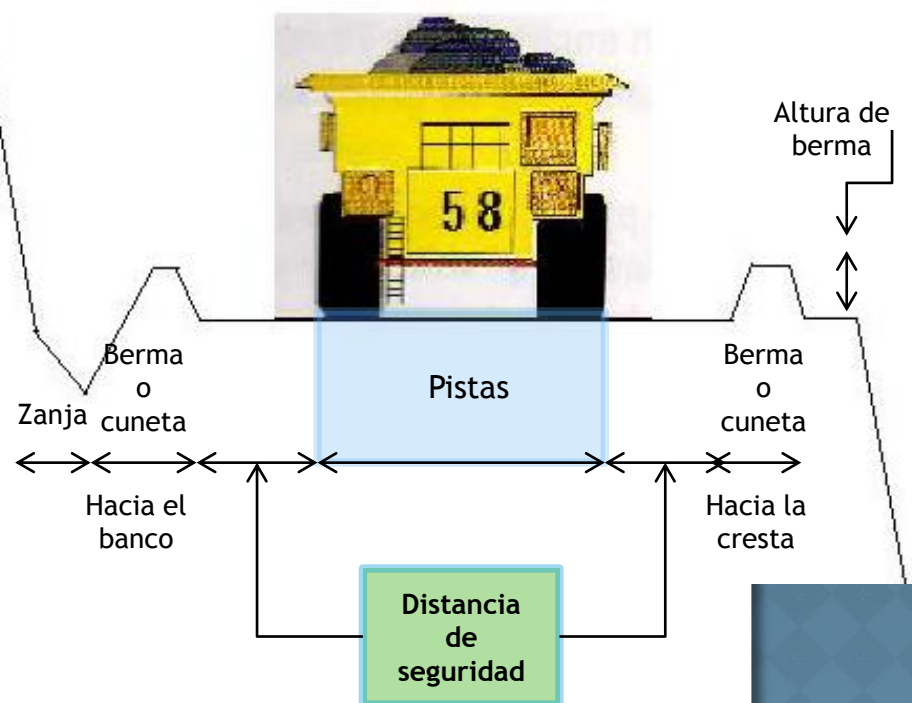
# Operaciones Unitarias

- La extracción del mineral, del estéril y del mineral de baja ley-calidad se realiza siempre siguiendo una secuencia de las siguientes operaciones unitarias:
  - Perforación.
  - Voladura (tronadura).
  - Carga (carguío).
  - Transporte.



# Configuración de una pista de transporte

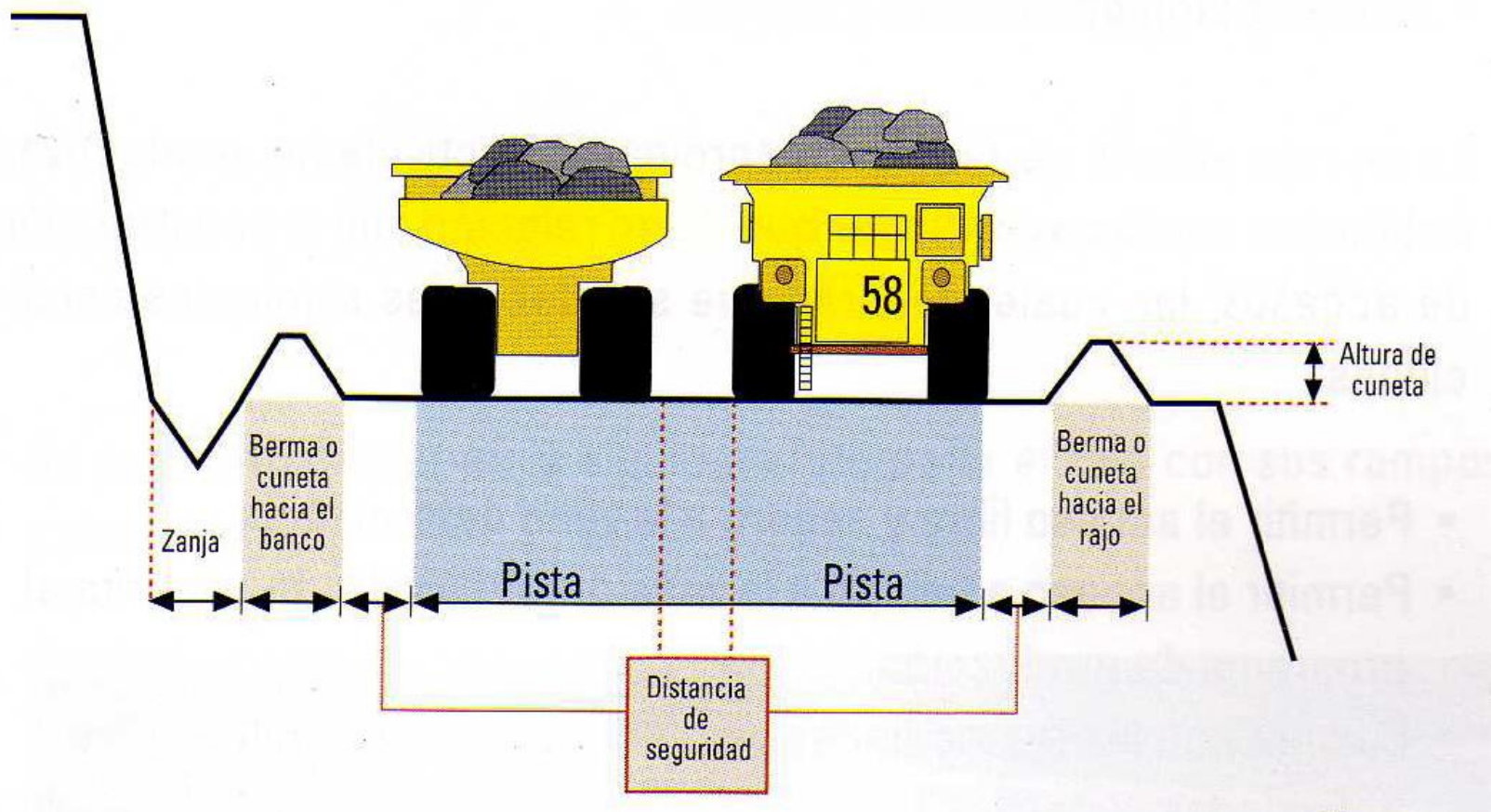
- **La zanja:** se construye con el fin de canalizar las aguas de drenaje. Pueden tener dimensiones: ancho 1 m y profundidad 50 cm.
- **Las cunetas:** se construyen para contener a los vehículos en caso de emergencia; esa es la razón que la cuneta o berma que está en la cresta del talud es más alta. La altura de ésta es generalmente la mitad del diámetro de las ruedas de los camiones que transitan por el camino.
- **La distancia de seguridad:** es la distancia entre la pista y las cunetas o bermas, en el caso de una sola vía, y entre dos camiones, en el caso de doble vía. Considera el efecto visual que se produce al conducir un equipo de gran altura.





# Configuración de una pista de transporte

Pistas de transporte de camiones o doble vía



# Bermas de seguridad o de contención de derrames

- Las bermas de seguridad o de contención de derrames se diseñan en función de la probabilidad que ocurra algún siniestro geomecánico.
- El ángulo de talud final de la zona estudiada, que depende del criterio de beneficio económico, dependerá del ancho de la berma recomendada.
- El ancho variará en las distintas zonas de la explotación según las condiciones y características geomecánicas de cada sector. Puede variar entre 8 y 12 m.



Bermas de seguridad o de contención de derrames

# Construcción de accesos y rampas

- En minería a cielo abierto se requiere coordinar las actividades productivas habituales con las actividades que guardan relación con la construcción de accesos, las cuales tendrán que satisfacer las siguientes condiciones:



Permitir el acceso libre y seguro a la zona determinada



Permitir el acceso a tiempo a la zona determinada, de acuerdo con el programa de producción



Cumplir con las restricciones geométricas de los equipos y las actividades



Cumplir con las restricciones geomecánicas del sector



Permitir la extracción de todo el material relacionado con el sector



Permitir la realización de actividades paralelas en completa seguridad

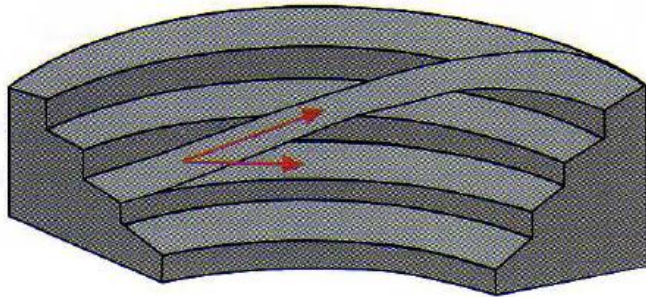
# Construcción de accesos y rampas

- Considerando que se realizan variadas actividades en un mismo sector en forma simultánea y continúa (tránsito de vehículos, equipos cargando, equipos operando, entre otros).
- La construcción de accesos deberá programarse de tal modo que se genere el menor impacto negativo en el resto de la operación (considerando que ésta es una actividad clave en la operación misma).
- Se deben construir los accesos donde no exista peligro de inestabilidad (impidiendo que por algún siniestro geomecánico quede la mina aislada comprometiendo pérdidas de equipos, producción y vidas humanas).

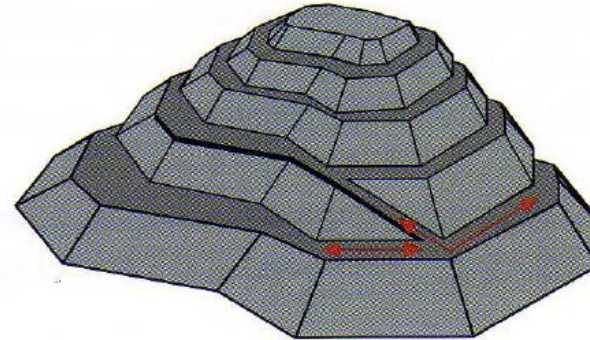
# Construcción de accesos y rampas

- En esta actividad participan los equipos de servicio de mina y en algunos casos se pueden utilizar los equipos de perforación, voladura, carga y transporte, esto donde se requiera hacer movimientos específicos de materiales.
- Las rampas son los caminos en pendiente que permiten el tránsito de equipos desde la superficie a los diferentes bancos en extracción.
- En algunas explotaciones pueden llegar a tener un ancho útil de 25 metros, de forma que permita el tránsito segura de camiones de gran tonelaje en ambos sentidos.

# Construcción de accesos y rampas



En esta figura podemos ver como se construyen los accesos y rampas en un sistema de fosa abierta (*open pit*)













En cambio en una explotación tipo cantera o de contorno (*open cut*), los accesos van tomando otras formas

En ambos casos la construcción de la vía va a estar determinada a la topografía que va dejando el avance de la mina

# Construcción de accesos y rampas

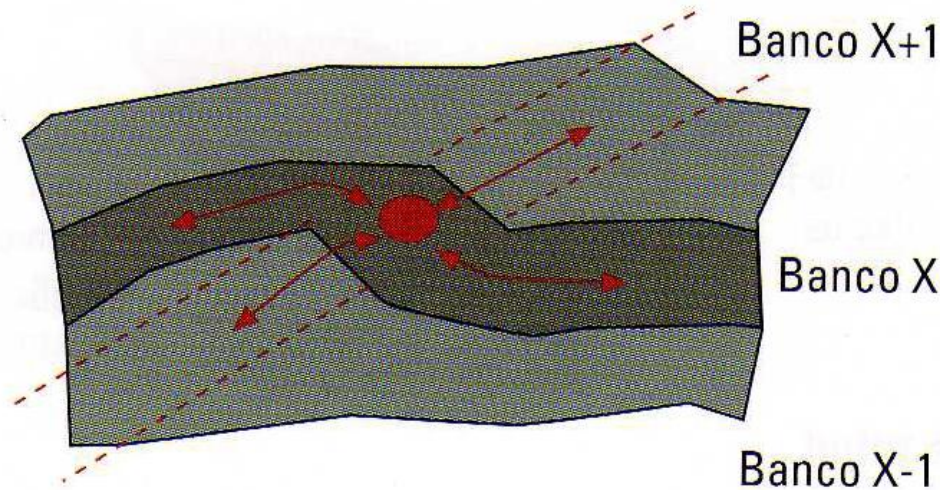
Dentro de la geometría de los accesos y de los parámetros geométricos a considerar en el diseño de una mina podemos destacar:

-  Ancho de las bermas
-  Ancho de las cunetas
-  Pendiente
-  Ángulo de la pared del camino, corte o relleno
-  Ancho máximo de expansión
-  Desfase entre palas
-  Ancho mínimo de operación, perforación, carga y transporte
-  Cruce de camiones o doble vía
-  Ángulo inter-rampas
-  Ángulo de la pared del banco

# Construcción de accesos y rampas

Otras consideraciones en el diseño de vías

- En los cruces, donde se requiere acceder a más de un banco, el acceso deberá cumplir con la siguiente configuración:





# Construcción de accesos y rampas

Para el diseño de una rampa debemos considerar las siguientes variables, tomando en cuenta que una rampa se compone de distintos tramos que no necesariamente tendrán las mismas características

$P_i$

=pendiente del tramo  
i (%)

$C_{i+1}-C_i$

=diferencia de cota  
del tramo i (metros)

$A_i$

=ancho del tramo i  
(metros)

$R_i$

=radios de curvatura  
en el tramo i  
(metros)

$Lr_i$

=longitud real del  
tramo i (metros); es  
la que deben recorrer  
los equipos

$La_i$

=longitud aparente  
del tramo i (metros);  
es la que se ve en el  
plano

# Construcción de accesos y rampas

- La pendiente, el ancho y los radios de curvatura de cada tramo deben permitir que los equipos circulen por la rampa puedan alcanzar sus rendimientos productivos sin sufrir deterioros en su funcionamiento o estructura, ni tampoco producir riesgos en la operación.
- La diferencia de cota de cada tramo por lo general resulta de la diferencia de cota de un banco y el siguiente, es decir, la altura de bancos, a menos que se trate de un banco sin pendiente en el cual la diferencia de cota es cero.

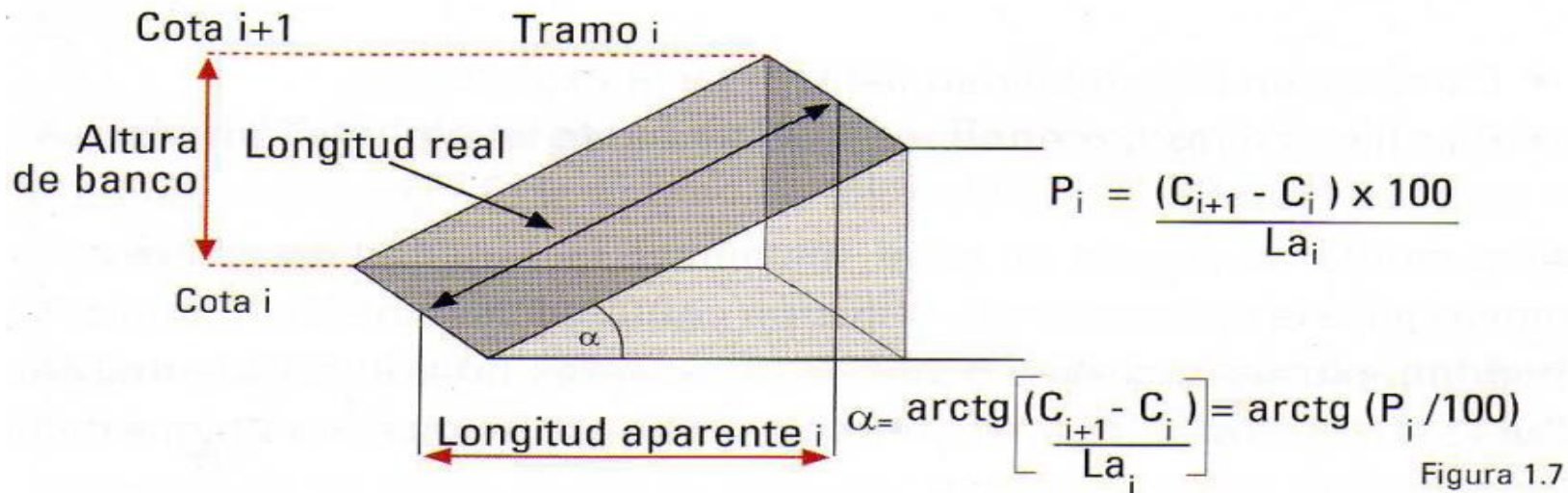
# Construcción de accesos y rampas

- Longitud real = longitud aparente \* tan( $\alpha$ )

$$Lr_i = La_i * \tan(\alpha_i)$$

- La longitud final de la rampa resultará de la suma de las longitudes reales de todos los tramos.

$$Lr_{TOTAL} = \sum Lr_i$$



# Construcción de accesos y rampas

- Radios de curvatura en pendiente y su componente plana

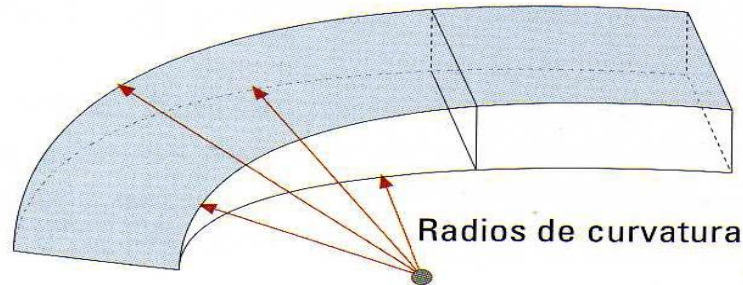
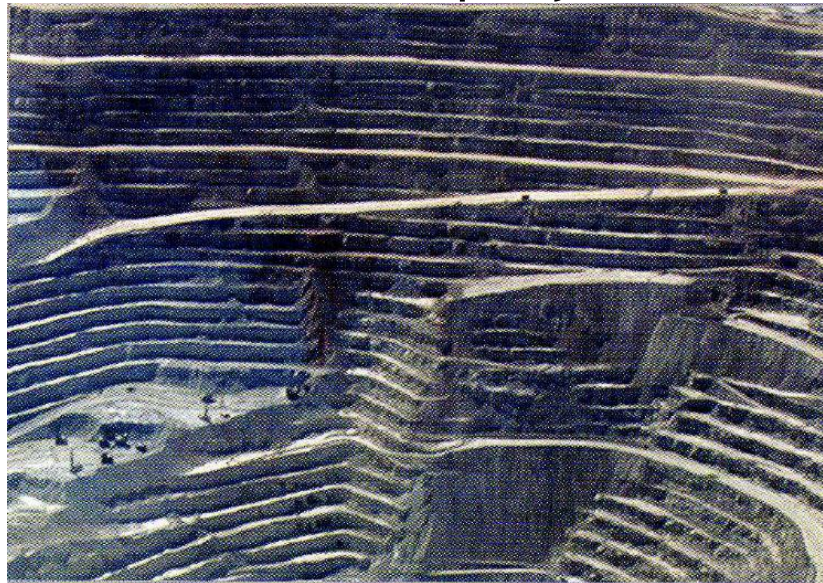


Figura 1.8

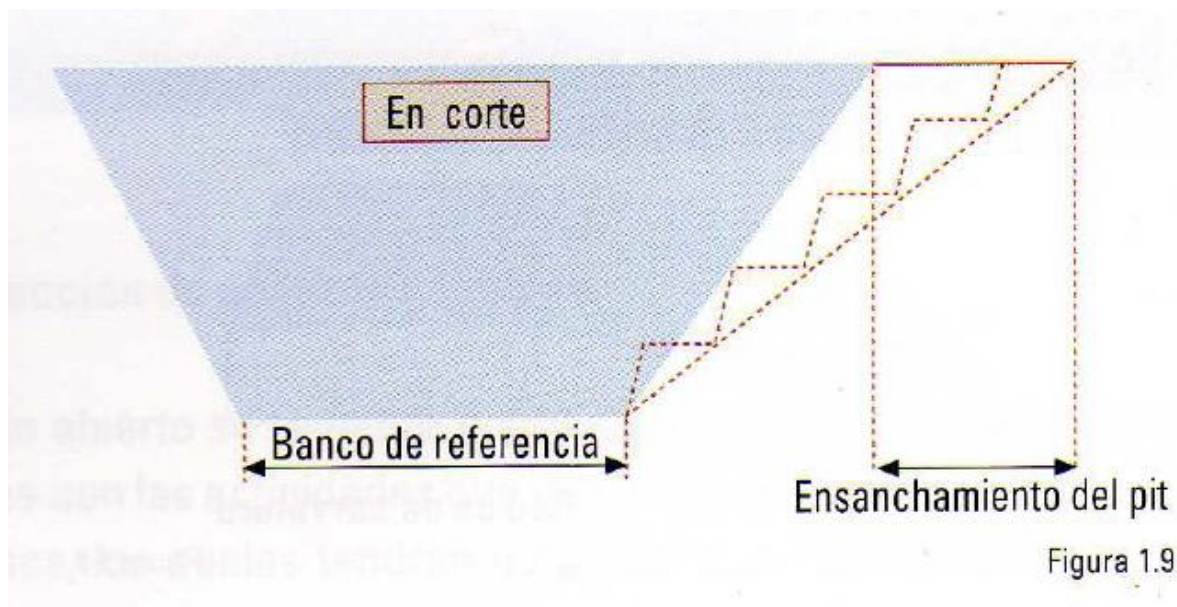
- En la foto se visualizan las rampas y accesos



# Materialización de un sistema de rampas y accesos

- Sistema de corte:

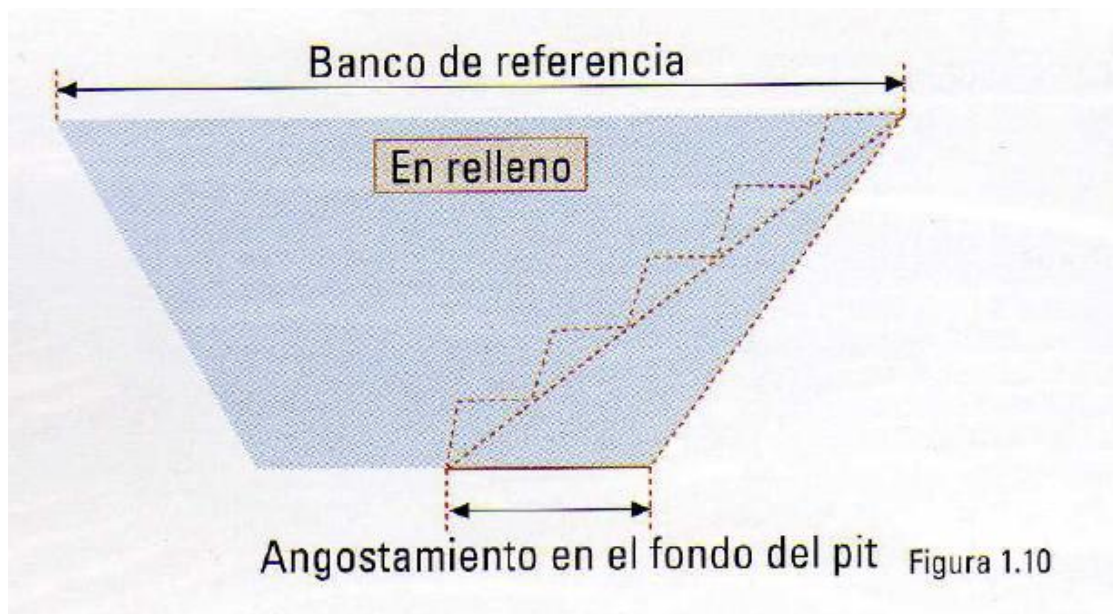
Desde abajo hacia arriba, partiendo desde el pie del banco más profundo, lo que genera una extracción extra de mineral al ampliarse el rajo o ensancharse más los bancos superiores.



# Materialización de un sistema de rampas y accesos

- Sistema en rellenos:

Desde arriba hacia abajo, tomando como punto de partida el pie del banco, más alto, lo que produce una disminución del último banco, es decir, puede que queden hasta uno o más bancos sin explotar.



# Materialización de un sistema de rampas y accesos

- Sistema mixto:

Es la unión de los sistemas anteriores, donde se toma como referencia un banco intermedio, lo que produce una disminución menor en los últimos bancos y un ensanchamiento menor en los bancos superiores.

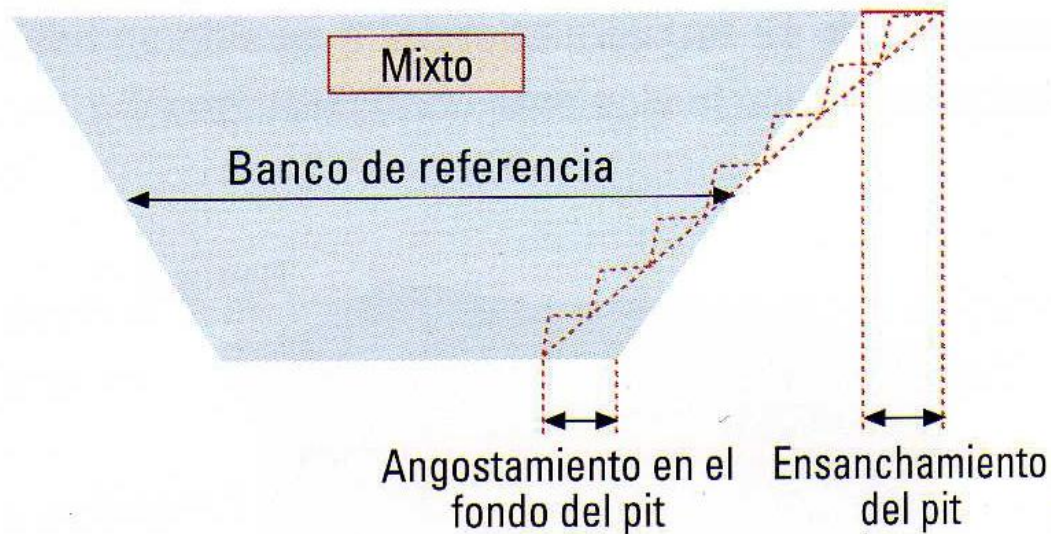
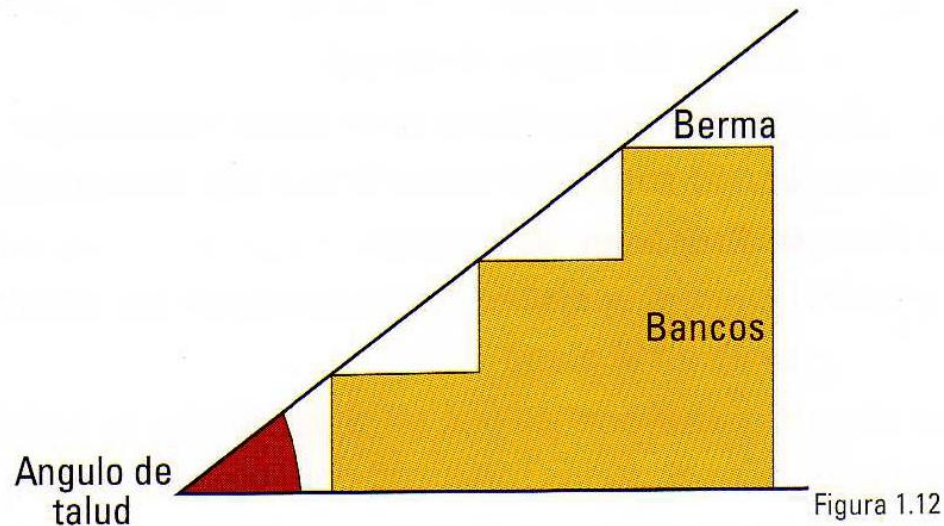


Figura 1.11

# Ángulos de talud

- El talud o pared de la mina es el plano inclinado que se forma por la sucesión de las caras verticales de los bancos y las bermas respectivamente.
- Este plano representa una inclinación de  $45^\circ$  a  $58^\circ$  con respecto a la horizontal, dependiendo de la calidad geotécnica de las rocas que conforman la mina.



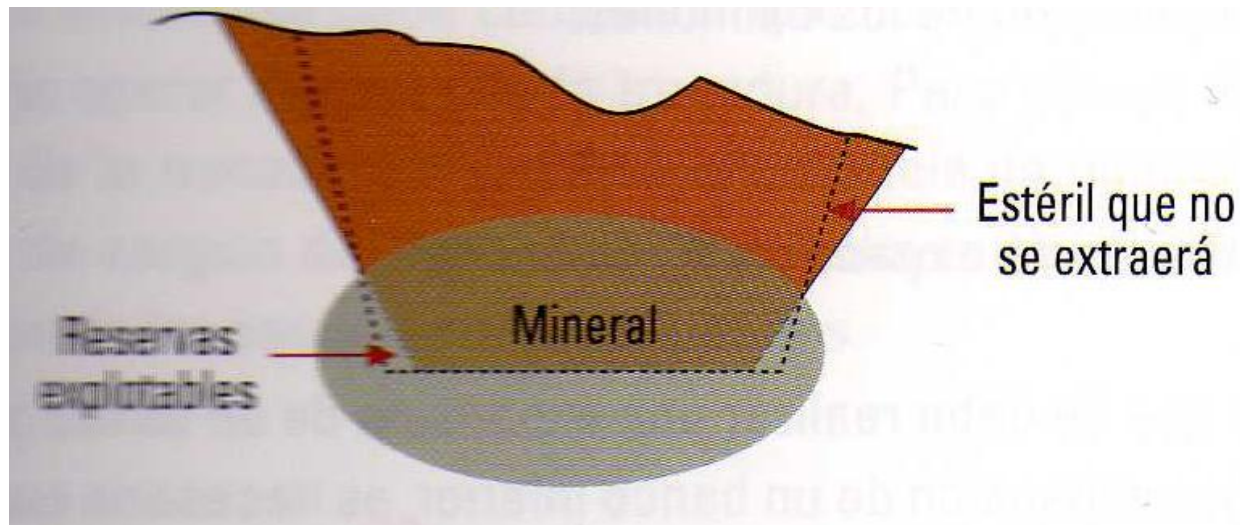


# Ángulos de talud

- El ángulo de talud es uno de los parámetros geomecánicos más significativos y una de las restricciones operacionales más relevantes, para garantizar la estabilidad de cada uno de los sectores involucrados.
- Se requiere que la geometría del diseño permita el máximo beneficio económico y un mínimo factor de riesgo geomecánico.
- Cualquier variación de los ángulos de talud genera dos efectos directos:
  - Cambios en la estabilidad del talud y la explotación.
  - Cambios en los beneficios económicos de la explotación.

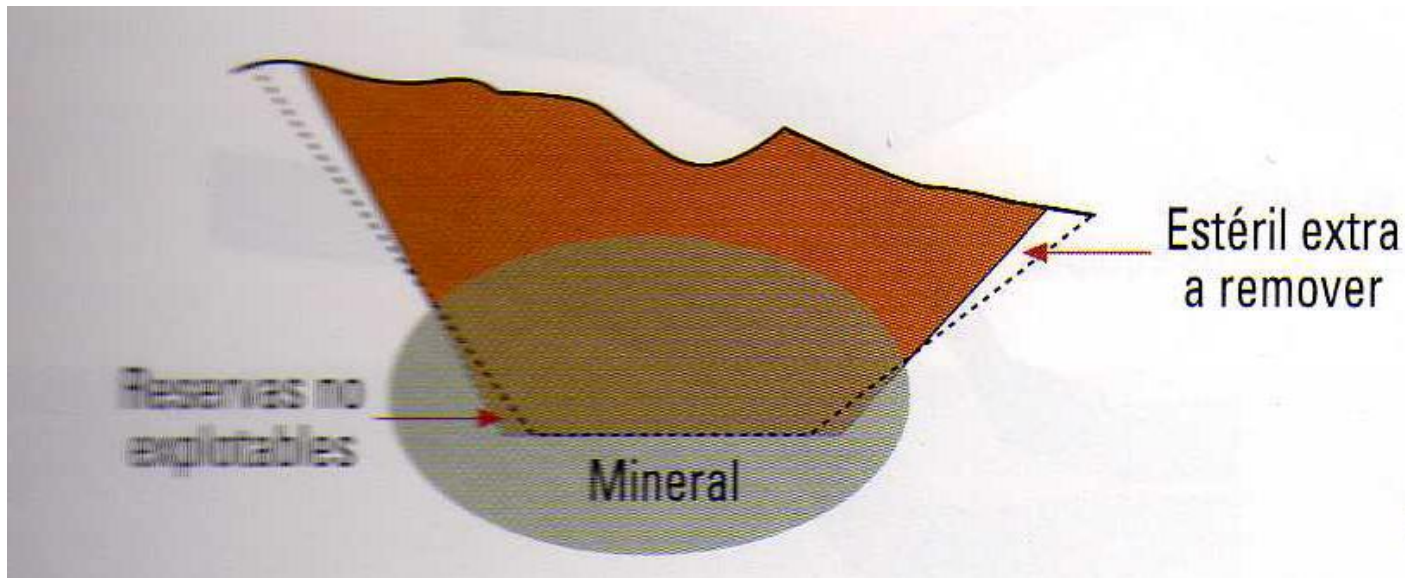
# Ángulos de talud

- Al aumentar el ángulo del talud, disminuye la cantidad de estéril a remover para la extracción de la misma cantidad de mineral.
- El incremento del ángulo de talud sólo será viable en el caso que las condiciones geomecánicas lo permitan.



# Ángulos de talud

- Puede darse el caso contrario al aparecer una nueva información geomecánica que obligue a bajar el ángulo del talud, lo que generará una mayor cantidad de estéril a remover y una mejor cantidad de mineral a extraer.

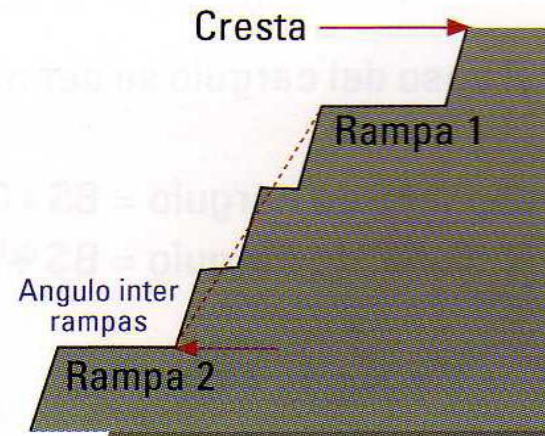
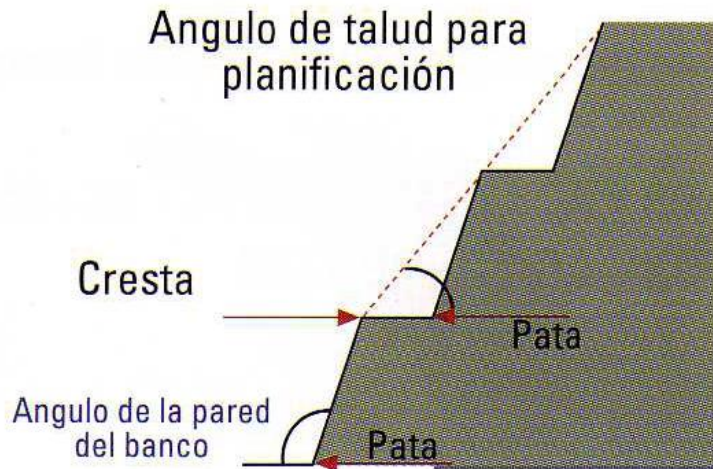


# Ángulos de talud

- En las figuras anteriores queda en evidencia los efectos en el cambio en el ángulo de talud, manifestados en la relación estéril/mena de la explotación.
- La no viabilidad de la explotación está íntimamente relacionada la información del ángulo de talud que debe ser la más confiable posible.
- Dependiendo de las rocas presentes, estructuras geológicas (fallas, pliegues), orientaciones, diaclasas, entre otras, podrá existir más de un ángulo de talud óptimo en distintos sectores de la mina.

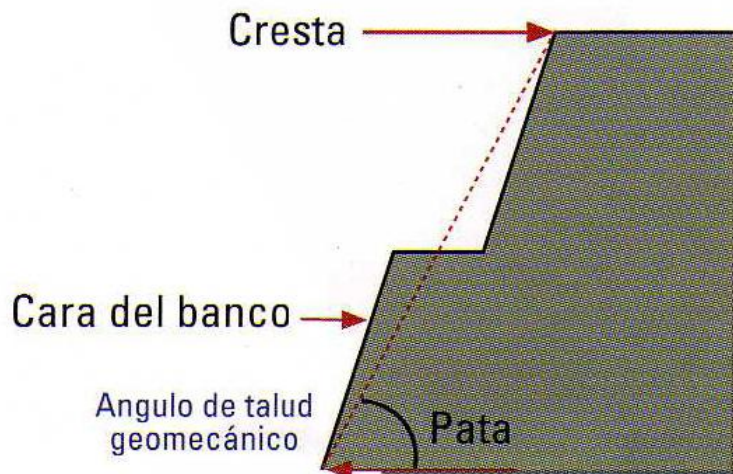
# Los ángulos de talud considerados en la explotación de un yacimiento son:

- Ángulo de talud de la pared del banco: representa la inclinación de la pared del banco. Éste ángulo se mide desde el pie del banco al su propia cresta.
- Ángulo de talud inter-rampas: representa la inclinación del conjunto de bancos que se sitúan entre una rampa y la rampa consecutiva. Éste ángulo se mide desde el pie del banco superior donde se encuentra la rampa hasta la cresta del banco donde se encuentra la otra rampa.



# Los ángulos de talud considerados en la explotación de un yacimiento son:

- Ángulo de talud de un conjunto de bancos: representa la inclinación de un grupo de bancos sin existir entre ellos alguna diferencia geométrica importante. Este ángulo se mide desde el pie del banco más profundo hasta la cresta del banco de cota mayor.
- Ángulo de talud *overall*: representa el ángulo de inclinación de la pared final del rajo, incluyendo todas las singularidades geométricas existentes. Este ángulo se mide desde el pie del banco más profundo hasta la cresta del banco más alto de la explotación.



# Ancho mínimo de explotación

- En el caso de la perforación, el ancho mínimo es la suma del área sometida a la perforación y un ancho necesario para el tránsito de los equipos de perforación y voladura.
- En el caso de la carga se define el ancho mínimo de la siguiente manera:

$$\text{Ancho mín. de carguío} = BS + DS + 0.5 \times AC + 2 \times RG + 0.5 \times AC + DS + DM$$

$$\text{Ancho mín. de carguío} = BS + 2 \times DS + AC + 2 \times RG + DM$$

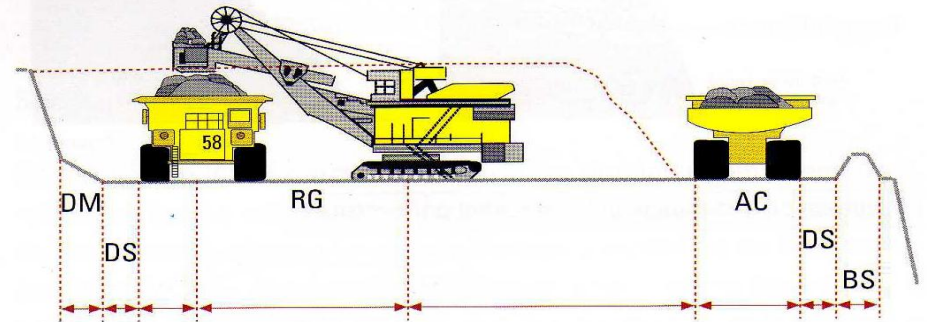
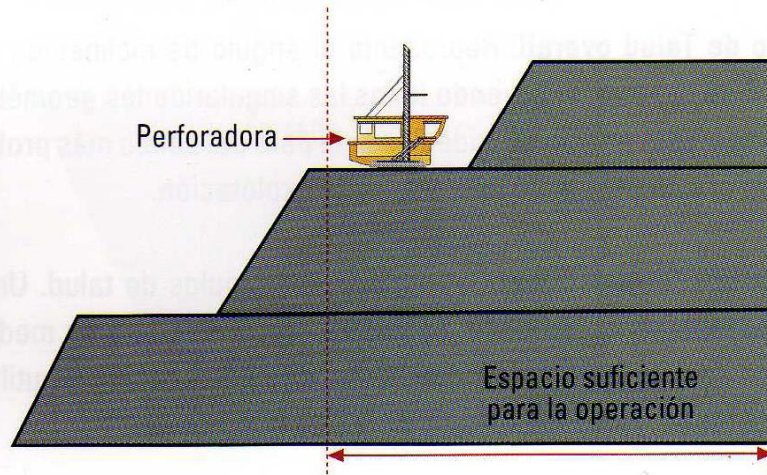
BS = Berma de seguridad.

AC = Ancho del camión.

DS = Distancia de seguridad.

RG = Radio de giro del equipo de carguío .

DM = Derrame de material.



En el caso del transporte, este corresponde al área en el que el camión puede realizar sus maniobras sin problemas y en forma segura.

Parámetros para la configuración, manejo y

# DISEÑO DE ESCOMBRERAS



Usar el material  
complementario de Manejo y  
Diseño de Escombreras

<http://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/Escombreras-de-Puertollano-img1684.html>



Para el logro de los objetivos propuestos se requiere  
la realización de las siguientes

# ACTIVIDADES



# ASIGNACIÓN 2

1. Encontrar ejemplos mineros de por lo menos tres (3) formas de explotación que requieran la construcción de escombreras. Utilizar información de minas reales y fotos de revistas. También use la internet.



<http://www.directindustry.com/prod/taiyuan-heavy-industry-co-ltd/electric-mining-shovels-58546-380514.html>