



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

Universidad Politécnica de Madrid

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINA A CIELO ABIERTO

Juan Herrera Herbert

Department of Mining and Geological Engineering.
Madrid School of Mines
Technical University of Madrid

Feb - 2016



ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Copyright © 2016. Todos los derechos reservados

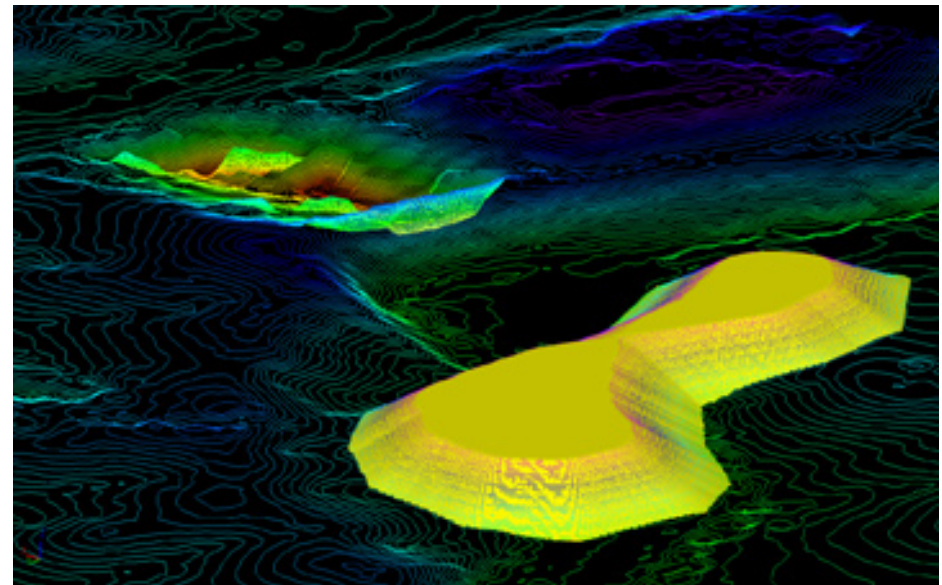
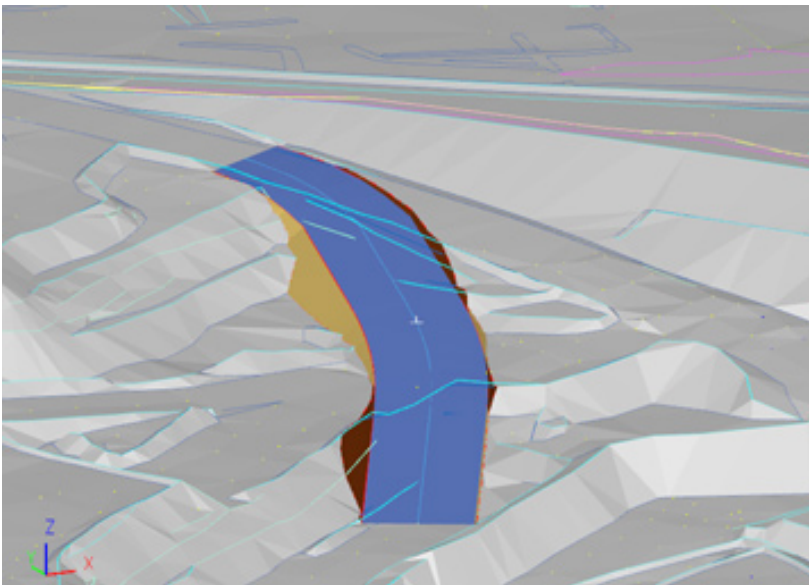
Objetivos específicos

- Comprender la importancia de la creatividad y la utilización de forma integradora de software informático de distinta naturaleza.
- Comprender la importancia de una buena ingeniería.
- Comprender la singularidad de la Ingeniería en el ámbito de la industria de los minerales.

Comentarios preliminares

- El diseño de una explotación minera requiere:
 - Un alto grado de conocimiento y experiencia en el diseño de explotaciones y procesos mineros.
 - Una alta dosis de creatividad.
 - La utilización de software específico.
- Cuando se aborda la utilización de software, conviene recordar que éste constituye una herramienta más a disposición del técnico, pero no es la solución. Por tanto, **no por utilizar un software determinado va a quedar resuelto un problema.**
- La solución la crea, diseña y aporta el técnico. Son los profesionales especializados los que introducen la información necesaria para el correcto funcionamiento del software, los que supervisan su procesamiento y los que interpretan sus resultados.

- Es la capacidad profesional de los técnicos la que da validez a la utilización de un software o, en su defecto, el que quita esa validez.
- Lo anteriormente señalado es un aspecto fundamental porque es la razón oculta de muchos de los errores que se producen en los procesos de ingeniería.



- Necesidad de asegurar la competencia profesional:
 - Es labor del técnico la interpretación de los datos reales y su preparación para que el software los procese correctamente.
 - Es el técnico el que tiene que asegurar el correcto procesamiento de la información e interpretar correctamente los resultados.
 - Debe asegurarse la coherencia de los resultados con lo que se está buscando y que la solución sea razonable con los postulados de partida.
 - No es razonable esperar una solución adecuada a la primera. El proceso de búsqueda de la solución es iterativo.
 - Todas las etapas relacionadas con el diseño se caracterizan por ser fases en las que la interpretación del técnico es clave.
 - Cuanto mejor sea esa interpretación, más se ajustará el diseño a los objetivos que se han establecido y, consecuentemente, más se ajustará la solución final a los objetivos de idoneidad técnica y de sostenibilidad económica, social y ambiental.

- A modo de ejemplo, baste considerar que se puede obtener una gran cantidad de información de una campaña de sondeos, pero el proceso de traspaso de toda ésta información a una base de datos requiere su interpretación y filtrado con un criterio técnico para que pueda ser introducida correctamente.
- Consecuentemente, se observa que, de entrada, hay ya una interpretación de la información por parte de un técnico. El posterior procesamiento de la información contenida en las bases de datos con los algoritmos diseñados al efecto, también significa una interpretación de esa información con un criterio técnico porque la base de datos contiene unas determinadas informaciones escogidas y es posible que deje fuera otra información que también pudiera resultar absolutamente necesaria.

■ Se concluye que todas las etapas relacionadas con un diseño, desde la primera en que empieza a plantearse el proyecto hasta la última en que se alcanza la solución final que se da por válida, son todas un conjunto de etapas en las que la interpretación del técnico y el criterio aplicado, son aspectos clave.

■ Se requiere tener un conocimiento de todos y cada uno de los parámetros y condicionantes que se deben tener en cuenta, así como saber como deben ser contemplados e introducidos para que los softwares puedan interpretar correctamente dichos condicionantes.





POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



EXPLORACIÓN, PRE-FACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD

Geología y evaluación de recursos

- Análisis y gestión de bases de datos • Modelamiento geológico en 3D • Estimación de recursos • Geoestadística
- Optimización de control de leyes.

Planificación y diseño de mina

- Exploración y selección de sitio • Selección de método de minado • Disposición y planificación de mina • Planificación de cantera • Diseño y estabilidad de taludes de tajo abierto y de excavaciones subterráneas • Soporte de terreno
- Desagüe de agua de mina • Voladura • Subsistencia/peligros • Instrumentación • Medidas de esfuerzos in situ
- Evaluación de reservas de mineral.

Ingeniería de infraestructuras

- Investigaciones sub superficiales • Mecánica de roca y suelos • Ingeniería de recursos hídricos • Análisis de terreno • Ensayos de laboratorio • Evaluación de recursos de agregados • Evaluación de materiales.

Servicios socioambientales

- Exploración: Declaración Impacto Ambiental (DIA) y Estudios de Impacto Ambiental Semidetallados (EIAsd) / Due diligence
- Comunicación estratégica • Permisos de exploración • Inventario de Pasivos Ambientales • Participación Ciudadana
 - Relacionamiento con Grupos de Interés • Estudios Arqueológicos • Prefactibilidad: Análisis de Alternativas • Scoping
 - Estudios de línea base Física (calidad de agua, sedimentos, suelos, aire, ruido, vibración y radiaciones ionizantes), biológica (acuática, terrestre, marina), socioeconómica y cultural • Plan master de permisos • Preparación de aplicaciones de permisos
 - Revisión de conformidad de la normativa ambiental • Factibilidad: Estudios de Impacto Ambiental y Social
 - Análisis de Riesgo Ambiental • Planes de Contingencia • Análisis de Riesgo a la Salud Humana • Peer Review de EIAS
 - Gestión de información geoespacial • Modelos de calidad de aire, ruido y vibraciones • Comunicación estratégica
 - Participación Ciudadana • Plan de Compensación de pérdida de Hábitat • Ensayos de toxicidad • Mapeo de Stakeholders
 - Planes de Reasentamiento • Planes de cierre social • Valorización económica de impactos.

Gestión de riesgos

- Identificación de riesgos • Análisis de riesgos • Modelización.



DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIONES

Servicios socioambientales

• Desarrollo y Construcción: Permisos ambientales • Operación: Monitoreo de efectos ambientales • Monitoreo ambientales y sociales participativos • Auditorías del Código de Cianuro • Auditorías Ambientales y Sociales • Sistemas de Información Geográfica (SIG) • Estrategias de comunicación corporativa.

Ingeniería geotécnica

• Selección de sitio para las instalaciones de la mina • Caracterización geológica y geotécnica del terreno • Diseño de presas y estructuras hidráulicas • Cimentaciones en tierra y submarinas • Tunelería y diseño de tajo • Análisis de estabilidad estática y dinámica • Análisis de deformación • Estabilización de derrumbes • Modelamiento de filtraciones y diseño de sistemas de impermeabilización • Diseño de pantallas de impermeabilización de lechada de cemento y productos químicos • Instrumentación geotécnica y monitoreos • Evaluación de peligros geológicos y mitigación de riesgos • Estudios de sismicidad y peligro sísmico. Geotecnia aplicada a hidráulica fluvial. Estudios de cantera de suelo, roca y agregados para concreto • Toma de datos con Televiewer, procesamiento e interpretación.

Gestión de agua

• Modelamiento de balance hídrico • Estructuras hidráulicas • Modelamiento hidrogeológico • Suministro de agua • Estructuras de derivación de agua • Gestión de drenajes metalíferos y ácidos • Migración de contaminantes • Sistemas de recolección de aguas • Tratamiento de agua • Conservación de agua • Control de erosión • Monitoreo de calidad de agua superficial • Monitoreo y protección de agua subterránea.

Gestión de relaves y roca de desmonte

• Selección de sitio para la disposición de relaves y desmonte de mina • Disposición de las instalaciones • Diseño de embalses y presas de relaves con material propio y de préstamo • Estructuras de contención • Tecnologías de disposición de relaves • Gestión de efluentes • Control de drenaje ácido • Diseño de botadero • Flujos a través de botaderos • Análisis de estabilidad y deformación • Estrategias de diseño de cobertura de cierre • Manuales de operación/mantenimiento/monitoreo • Planificación de contingencia • Ensayo Flow Loop • Tecnologías de espesamiento de relaves • Desarrollo de diagramas de flujo • Caracterización de relaves • Relleno de pasta en interior de mina • Disposición de relaves en superficie.

Pilas de lixiviación

• Selección de sitio • Estabilidad y diseño del PAD • Construcción y QA de pila • Balance hídrico • Diseño de pozas de contención.

Servicios de gestión de la construcción

• Gerencia de construcción: documentos contractuales • Especificaciones de construcción • Planos de construcción • Materiales de construcción • Estimación de costo • Programación • Aseguramiento de calidad / control de calidad (QA/QC) • Documentación As-Built • Formaciones para personal técnico y operacional • Laboratorio de campo. Gestión de construcción, procura, ingeniería y diseño de planta (EPCM) • QA de inyecciones de lechadas.

Gestión de base de datos y de información

• Teledetección y sistemas de información geográfica (GIS) • Desarrollo de base de datos y estrategias de gestión de datos • Aplicaciones hiperspectrales • Modelización de tierra común (GoCAD) • Tecnologías de láser • Geofísica de terreno de alta resolución • Servicios de diseño y dibujo asistido por computadora (CADD) • Visualización y diseño gráfico • Animación 3D.



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



CIERRE DE MINA Y PLANIFICACIÓN DE RECUPERACIÓN

Planificación de cierre y de post-cierre

- Planes de cierre y restauración. Rehabilitación • Presupuestos de cierre y garantías financieras • Planes de monitoreo y mantenimiento post-cierre • Estudios de coberturas • Evaluación y diseño de canteras de préstamo • Estudios de revegetación
- Monitoreo ambiental post-cierre • Diseño de coberturas para el Cierre.

QA de cierre de minas

- Supervisión y QA de las obras de cierre de minas.



- Entre los parámetros a considerar a la hora de afrontar un diseño se encuentran:
 - Localización de los yacimientos.
 - Modelización del yacimiento.
 - Convenio terminológico empleado en el diseño de las explotaciones.
 - Selección del método.
 - Selección del sistema.
 - Definición de la vida y ritmo de la operación.
 - Estabilidad de taludes.
 - Dimensiones y orientaciones de los bancos.
 - Anchura de bancos y plataformas.
 - Bermas.
 - Diseño de pistas y accesos.
 - Diseño minero – ambiental.
 - Emplazamiento de la planta.

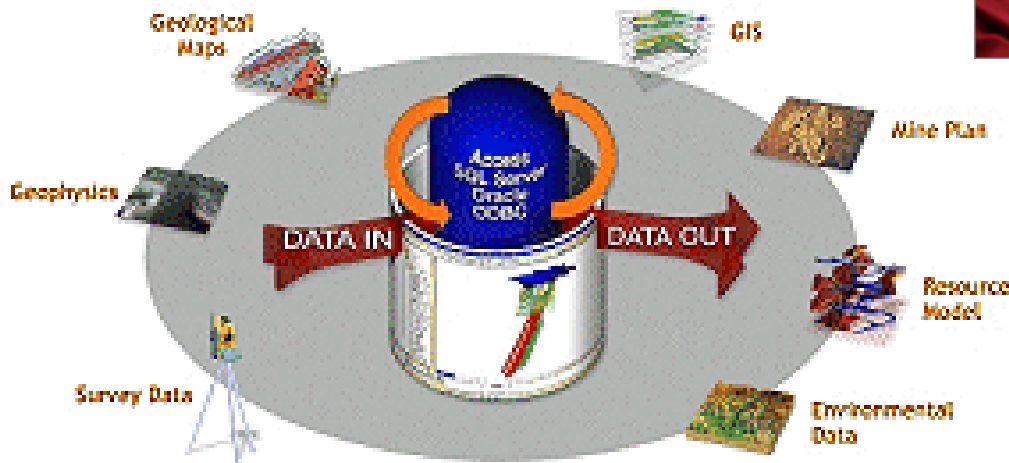
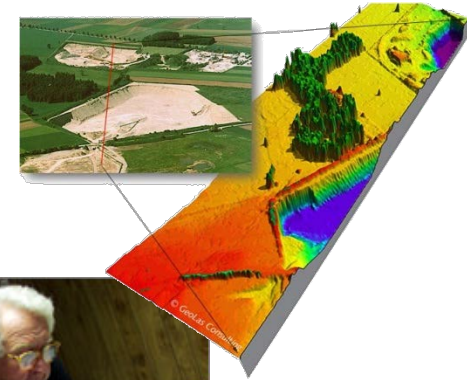
- El diseño del hueco final será aquel que constituye la mejor solución de compromiso posible para dar respuesta a todos los condicionantes externos.
- Por ello, los diseños tentativos siempre serán resultados preliminares que sirven para centrar las ideas generales, determinar los volúmenes de desmonte que se afrontarán, etc., pero ninguno constituye la solución definitiva al diseño porque los diseños preliminares tienen necesariamente que ser reinterpretados con todos los condicionantes.

Localización de yacimientos

- Necesidad de recopilación de datos de múltiples fuentes:
 - Localización geográfica.
 - Datos Geológicos
 - Datos Ambientales
 - Mercados
 - Competencia
 - Infraestructura
 - Accesibilidad a los mercados
 - Restricciones.
- Concepto de "inventario de áridos".
- Importancia de la estrategia de actuación.
- Medios técnicos y humanos.
 - Equipos multidisciplinares.
 - Estudios documentales de bases bibliográficas y cartográficas.
 - Equipos de campo.

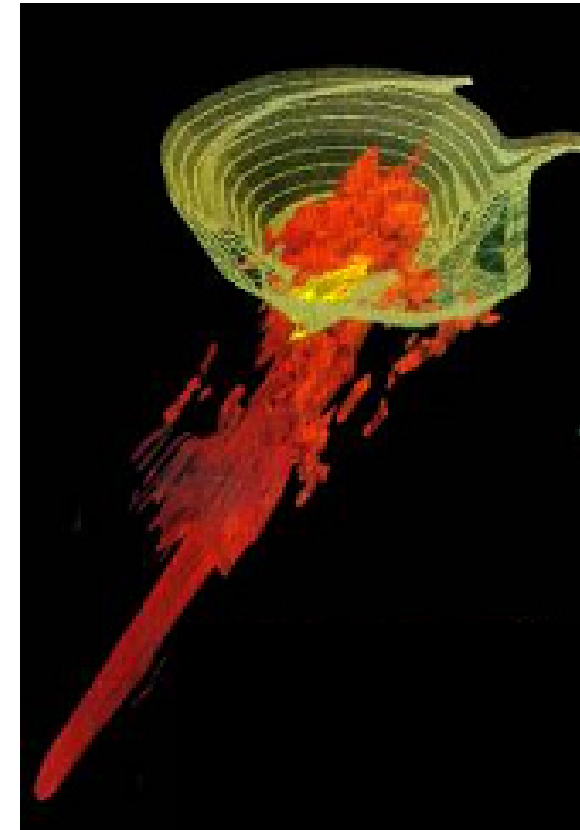
- Sistemas de Información Geográfica.
- Fondos documentales corporativos.
- Ensayos de laboratorio.

■ Aplicación de los Estudios Medioambientales de Base.



Modelización del yacimiento

- Obtención del modelo del yacimiento con representación espacial y georreferenciada de:
 - Calidades.
 - Cantidades.
 - Localización.
 - Estructura geológica.
 - Geotecnia
 - Sondeos.
 - Características.
 - Información geotécnica.
 - Hidrogeología.
 - Hidrología.
 - Diseños tentativos.
 - Etc.



Investigación de yacimientos de áridos naturales

- Parámetros intrínsecos:
 - Referidos al material: granulometría, mineralogía, redondez y esfericidad de los granos, minerales oxidables, cloruros, etc.
 - Referidos al yacimiento: extensión, reservas, porcentaje de finos, nivel freático, acuñamientos laterales, compacidad, etc.

- Parámetros extrínsecos:
 - Legislación, espacios protegidos, derechos de uso del terreno, red de comunicaciones, situación, estado y capacidad de la red de carreteras, áreas de consumo, restricciones ambientales, explotaciones vecinas, posible competencia, etc.

- Con todos los datos anteriores se hace una planificación de la explotación

Herramientas de la investigación

- Fotografías aéreas recientes
- Estudio de la gradación de gravas y arenas
- Geofísica superficial: SEV y calicatas eléctricas
- Sondeos mecánicos
- Toma de muestras sistemática (geometría, cantidad y calidad de reservas)
- Pozos y calicatas (retroexcavadoras y tubos de gran diámetro con válvula de cierre)
- Cálculo de la geometría del yacimiento y evaluación de las reservas
- Ensayos de identificación y caracterización de los materiales



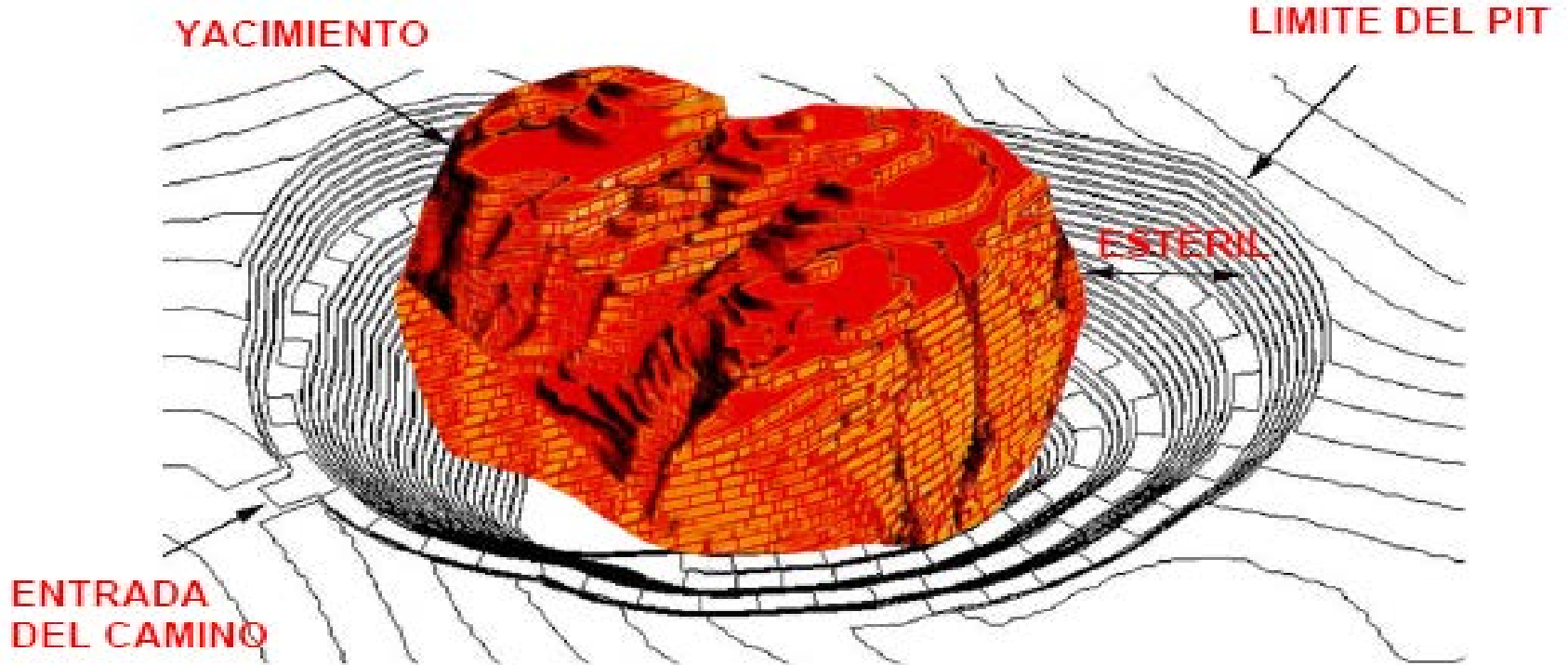
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

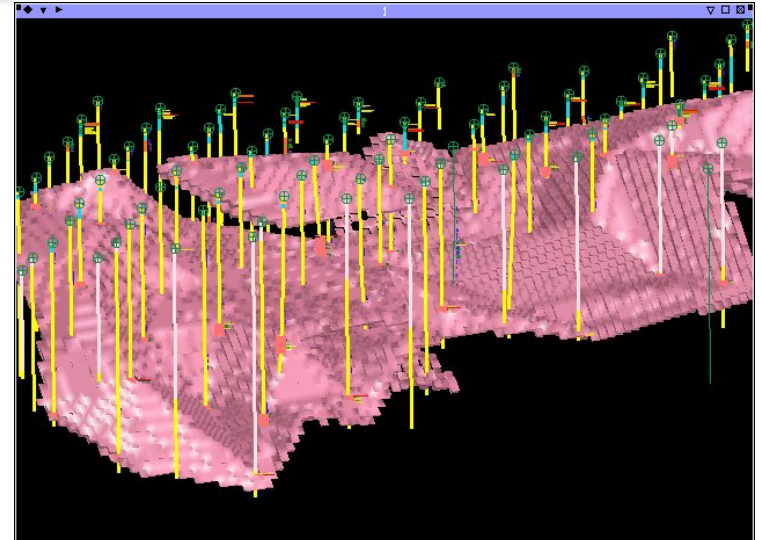
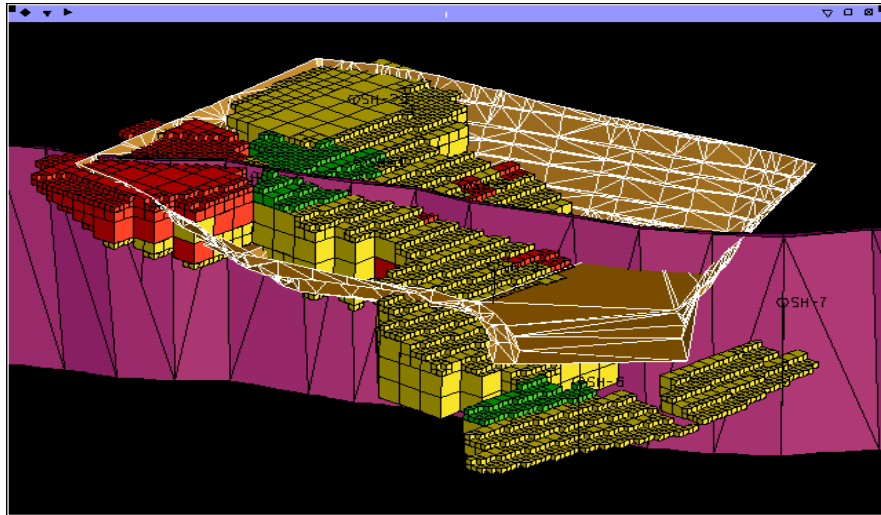
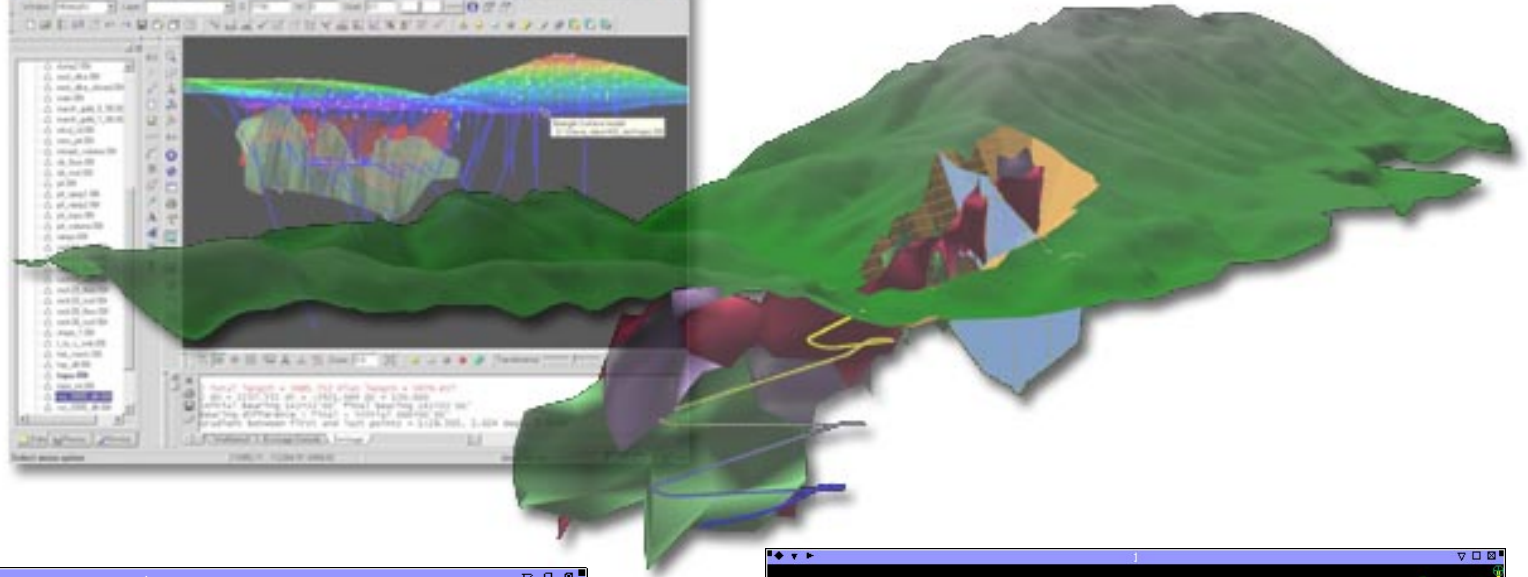
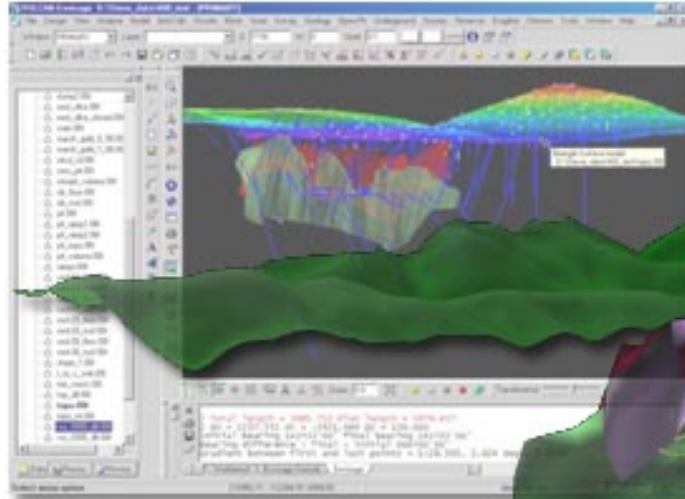


Universidad Politécnica de Madrid





- Se requiere definir:
 - Consideraciones:
 - Modelo de bloques a utilizar (calidad de los recursos minerales).
 - Modelo de costes (mejor estimación de los costes de largo plazo).
 - Precio de largo plazo de los minerales que serán explotados.
 - Parámetros de diseño (ángulo de talud, recuperación metalúrgica, etc.).
 - Restricciones medioambientales.



Diseño de huecos

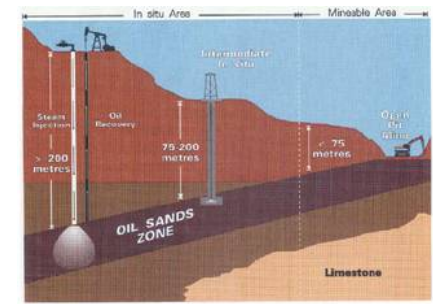
- Grupos de criterios para el diseño:
 - Criterios estructurales (disposición espacial de los recursos)
 - Criterios geotécnicos (estabilidad y geometría de los taludes)
 - Criterios operativos (espacio necesario para el trabajo de los equipos)
 - Criterios ambientales (minimización del impacto)

Factores determinantes del tipo de minería más adecuado

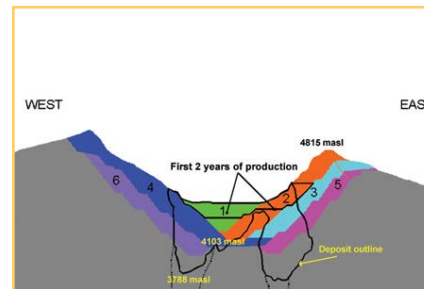
- Económicos
- Desmonte
- Degradación de la superficie
- Entorno ambiental



Economicos



Desmonte



Degradación de superficies

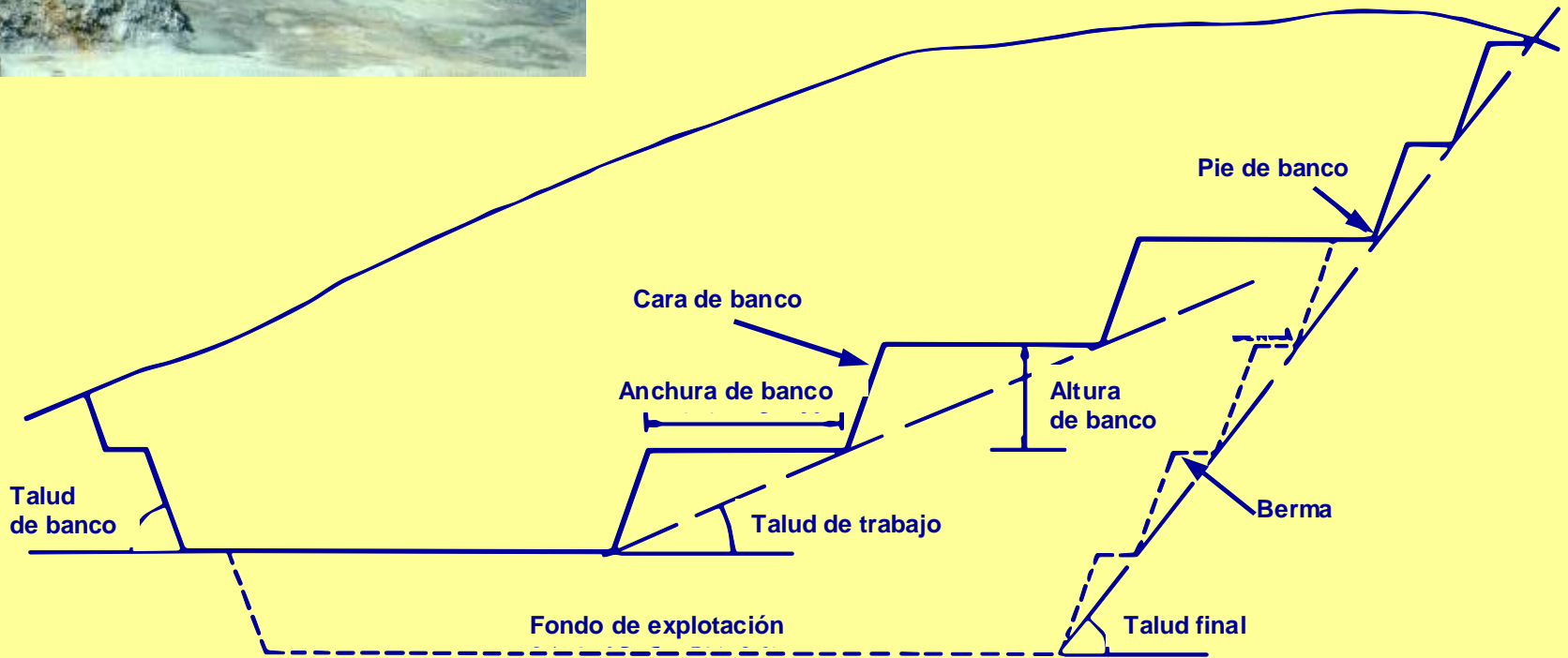


Entorno

CONVENIO TERMINOLÓGICO

■ Establecimiento del convenio terminológico:

- Hueco de cantera.
- Plaza de cantera.
- Fondo de explotación.
- Banco.
- Talud general.
- Talud de banco.
- Anchura de banco.
- Plataforma.
- Cara de banco.
- Pie de banco.
- Borde de banco.
- Berma.
- Talud de Trabajo.
- Talud final.
- Pista.
- Acceso.
- Etc.

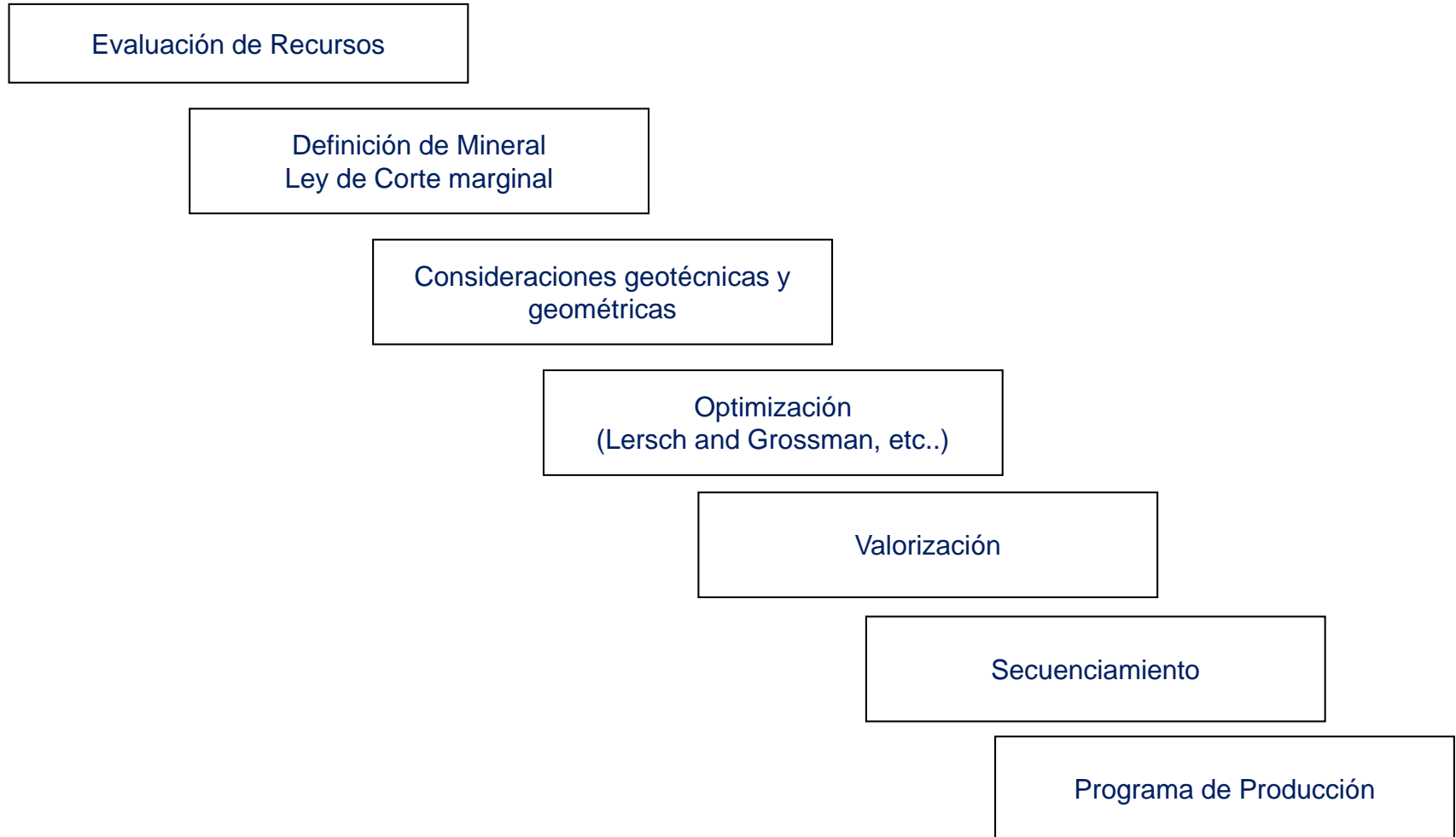


Algunos criterios operativos

- **Altura de banco:**
 - Limitada en graveras por normativa al alcance del cucharón de la pala, si es arranque directo. Si se utiliza tractor de orugas para arranque y empuje, no se limita la altura pero sí la pendiente máxima de trabajo (25%).
 - Limitada en canteras a 20 m.
- **Plataformas de trabajo:** Deben permitir el movimiento sin riesgo de máquinas y personal. Suficientes para giro de volquetes
- **Bermas:** Si la altura del paquete es superior al talud máximo permitido. En operación su altura será al menos la de la plataforma de trabajo. En situación final debe permitir la estabilidad del talud. Normalmente $V=1/H=4$
- **Pistas y rampas:** 3 ó 4 veces más anchas que la anchura del mayor volquete. Pendiente recomendable del 8%.
- El **espacio de trabajo** o módulo va evolucionando a medida que avanza la gravera. La restauración debe ser simultánea con la explotación.



Esquema general de la planificación minera en cielo abierto



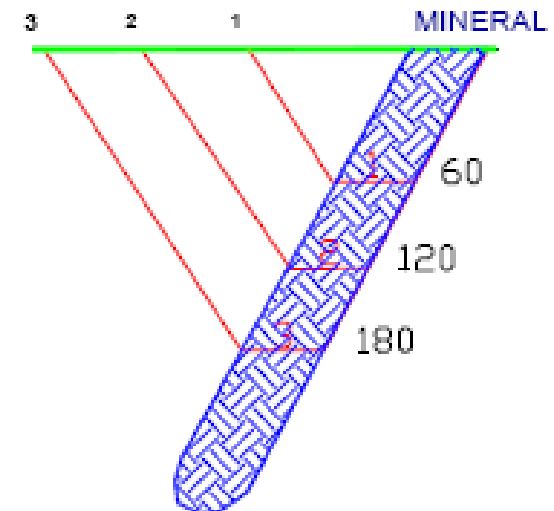
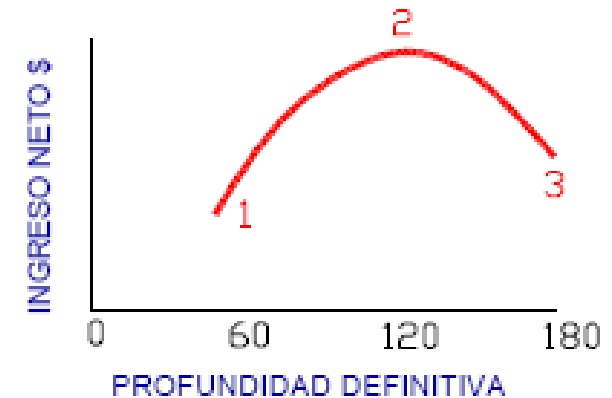
Planificación de la explotación

- Generalmente se hacen dos planificaciones: a corto plazo (< 1 año) y a medio y largo plazo (5-10 años)
- Planificación dinámica, que depende de la previsión de la demanda. Se debe actualizar periódicamente.
- Se deben representar en planos las variaciones del hueco de la gravera, tajos, profundidades, avances anuales, zonas de desbroce y retirada de suelo, acopios, transferencia de materiales, etc.
- Hay que definir con anticipación los medios para carga y transporte.
- Localización previa de la situación de las instalaciones de preparación, para reducir el impacto visual, ruido, polvo, previsión de accesos, etc.
- También hay que hacer previamente la planificación de restauración de áreas degradadas. Se reducen costes.

Estrategias

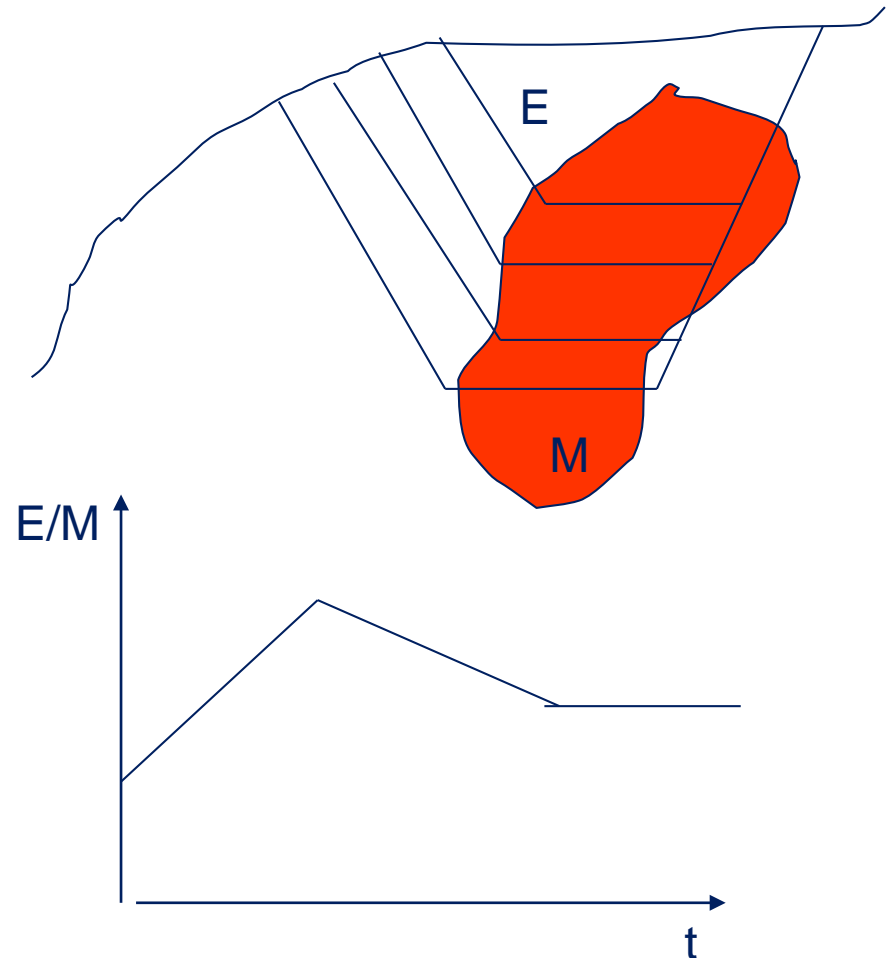
- Estrategias:
 - Análisis de la tasa de retorno (especialmente para leyes altas)
 - Recuperación, extracción de materiales no económicos subsidiados por otros.
 - Maximizar beneficio.

	60m	120m	180m
Beneficio Neto	↓	↑	↓
Tasa de retorno	↑	↓	↓
Recuperación	↓	↓	↑



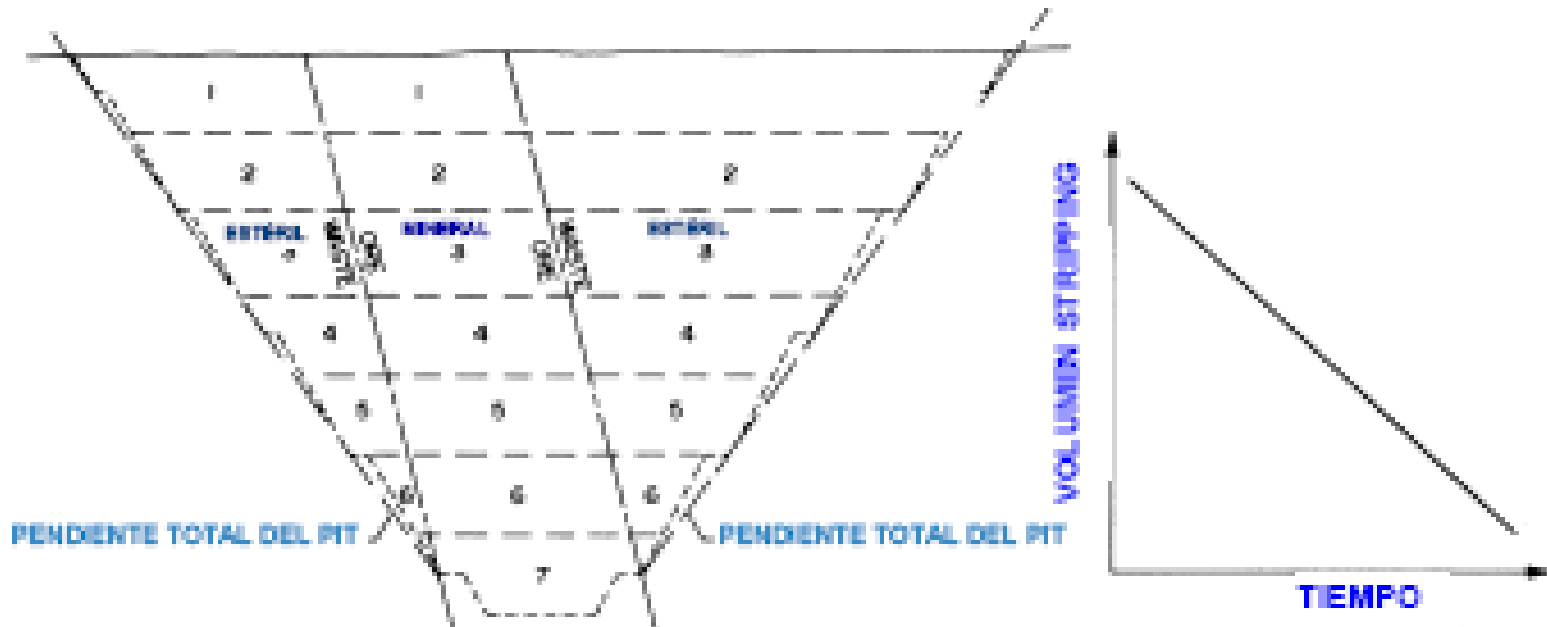
Estrategia Productiva

- Como conseguir desarrollar el proyecto minero tomando en consideración la envolvente económica en el tiempo



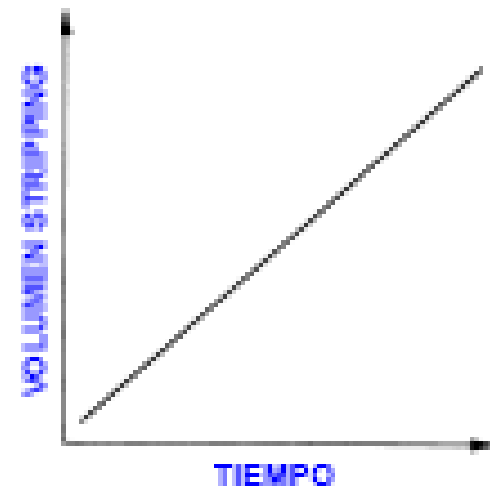
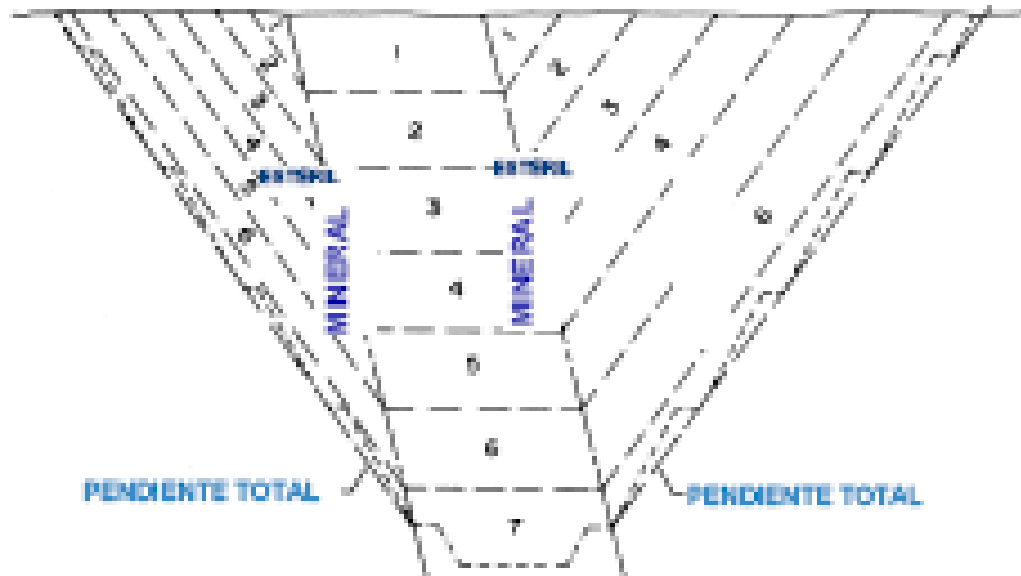
Programa de extracción

- Método de razón estéril mineral descendente
 - A medida que cada banco de mineral es extraído, todo el material estéril en dicho banco es extraído hasta el límite de la corta.
 - Ventaja: espacio de trabajo operativo
 - Desventaja: los costes operativos son máximos en los primeros años de operación debido al gran volumen de estéril

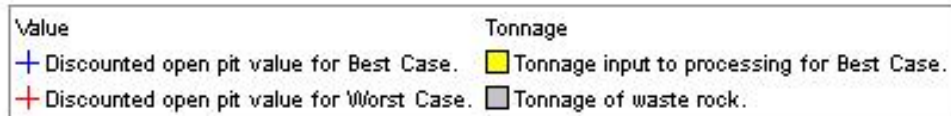
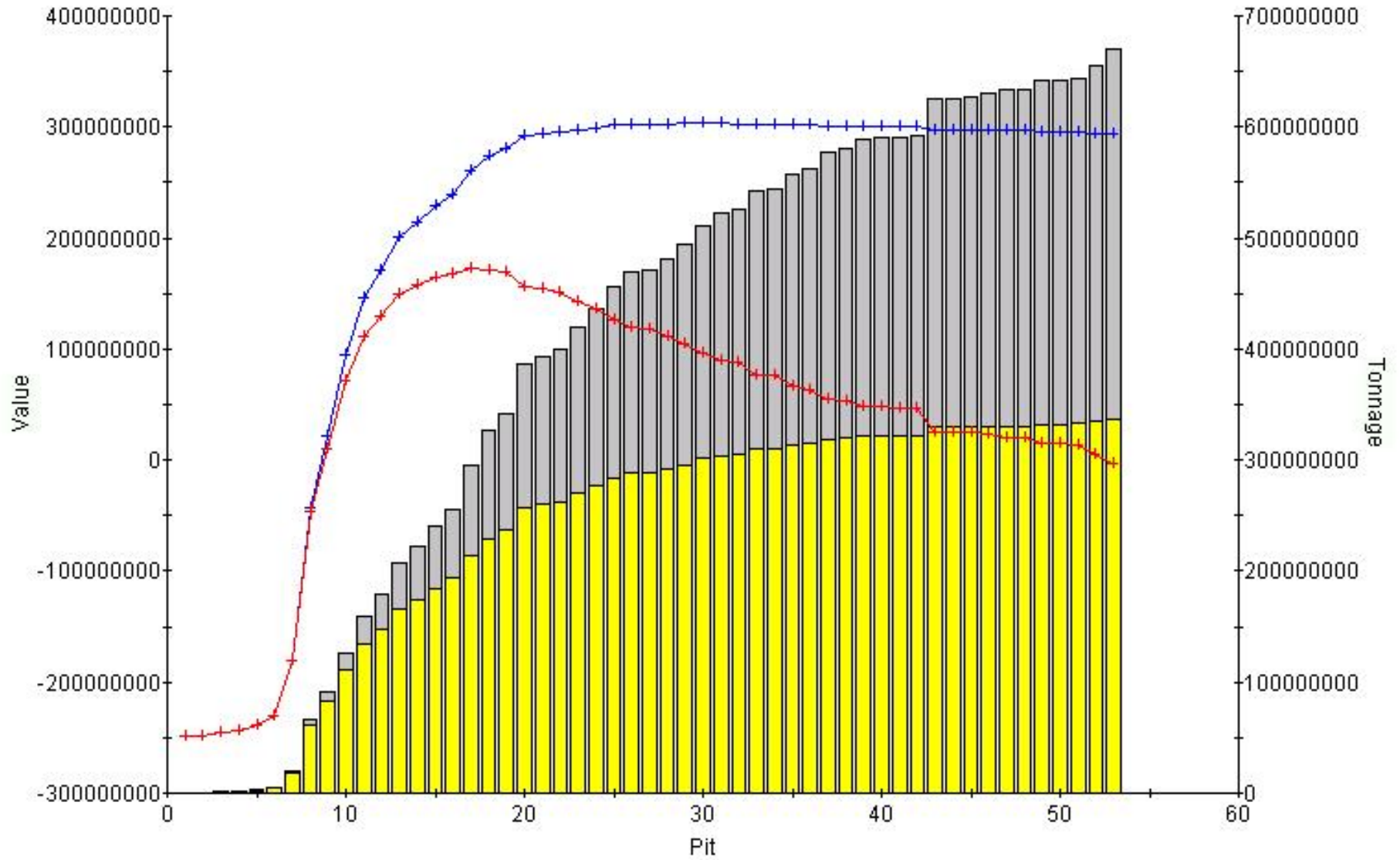


Programa de extracción

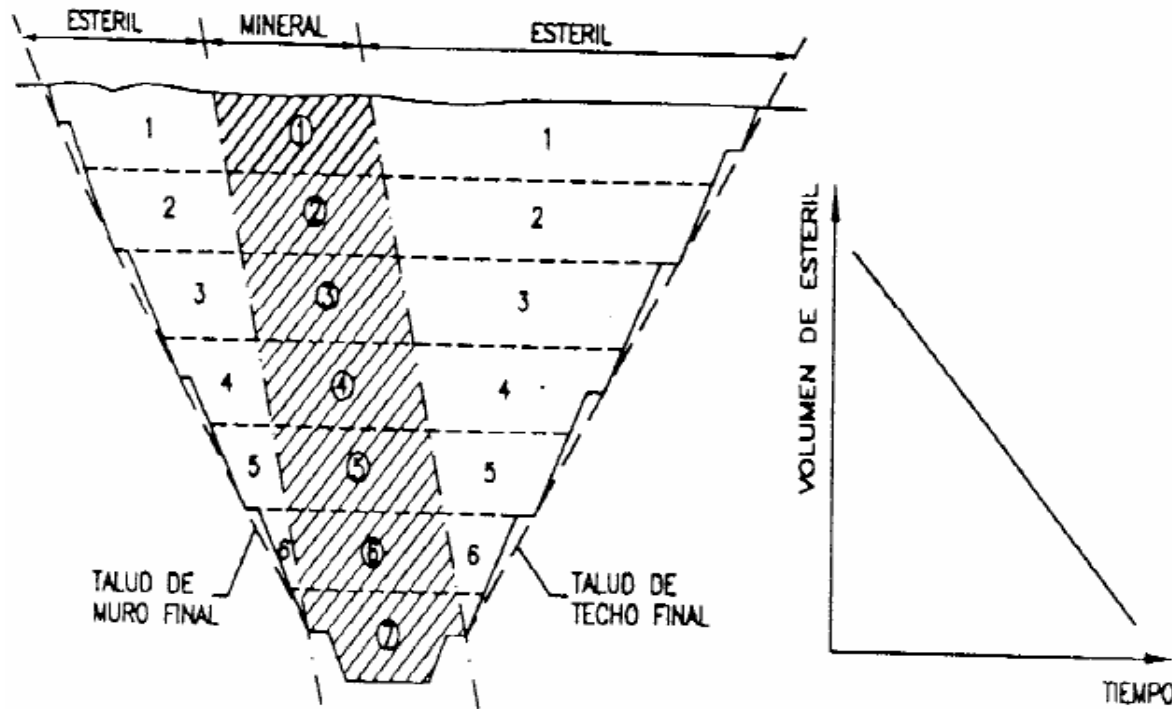
- Método de razón estéril mineral ascendente
 - La extracción de estéril se realiza como se indica en la figura hasta alcanzar el mineral.
 - Ventaja: beneficio neto máximo en los primeros años reduciendo riesgo en inversión
 - Desventaja: falta de espacio de trabajo operacional debido a que los bancos son estrechos.



Pit by Pit Graph - BC & WC



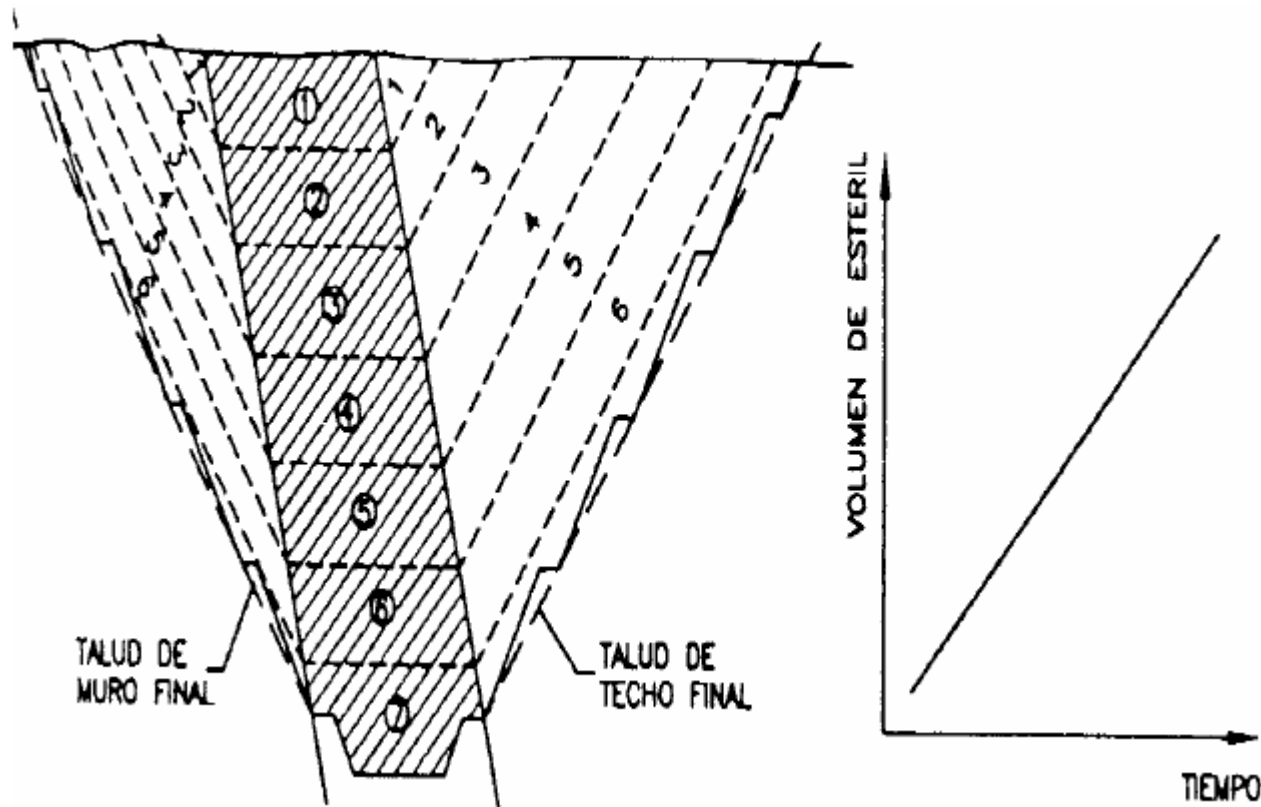
Ejemplo de secuencia de explotación con ratio descendente



Ejemplo de secuencia de explotación con ratio descendente

- En cada nivel se extrae todo el estéril y el mineral dentro del límite de la explotación.
- Se dispone de amplios espacios, lo que permite acudir a una concentración de equipos trabajando en el mismo nivel.
- Accesibilidad al mineral del banco siguiente.
- Escasa dilución mineral.
- Necesidad de un menor número de equipos mineros en las últimas etapas de explotación del yacimiento.

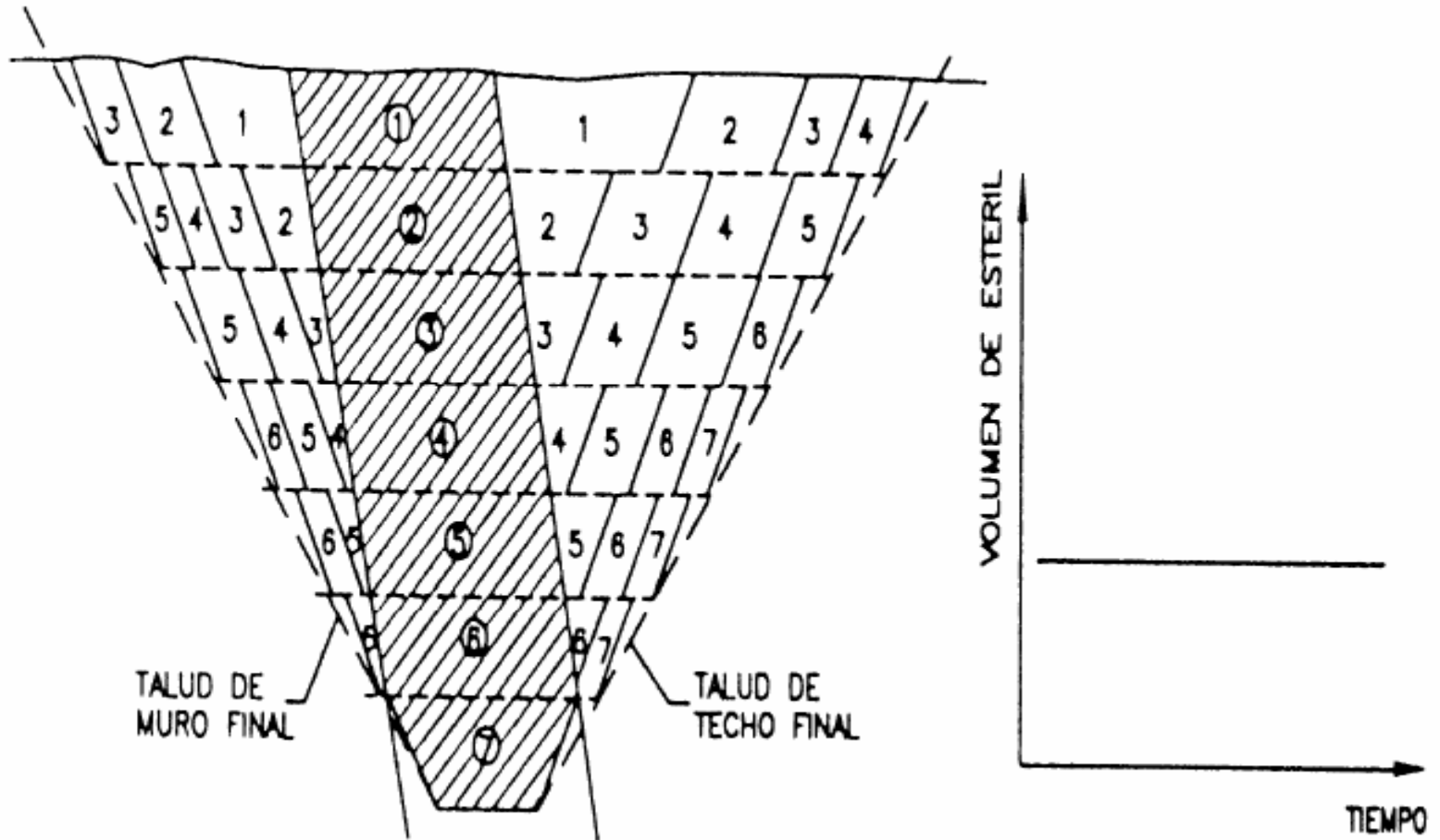
Ejemplo de secuencia de explotación con ratio creciente



Ejemplo de secuencia de explotación con ratio creciente

- Implica mover en cada etapa el mínimo estéril posible y necesario para destapar el mineral.
- Los taludes de trabajo se mantienen paralelos al diseño final del tajo.
- A medida que se profundiza, se debe extraer una mayor cantidad de estéril.
- Se obtiene el máximo beneficio en los primeros años de explotación y se puede reducir el riesgo de inversión futura por concepto de desmonte del tajo.
- Es frecuente cuando el ratio límite económico cambia en cortos periodos de tiempo.

Ejemplo de secuencia de explotación con ratio constante

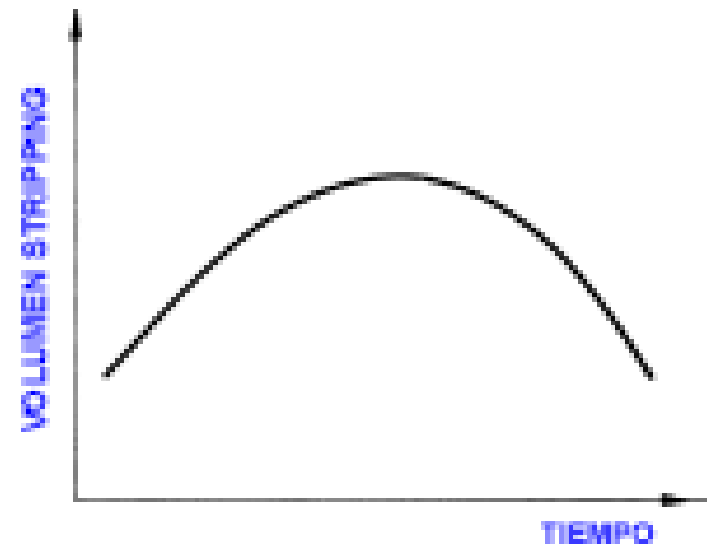


Ejemplo de secuencia de explotación con ratio constante

- Permite mover materiales en cada periodo o fase de tal manera que den lugar a un coeficiente de desmonte o ratio estéril mineral extraído similar al ratio medio global.
- El talud de trabajo en estéril comienza muy tendido, pero se va verticalizando conforme profundiza la explotación, hasta coincidir con el talud final.
- La flota de maquinaria y la cantidad de personal se mantienen durante toda la vida de la mina.
- Es una solución entre los dos planteamientos anteriores, que son secuencias extremas.

Programa de extracción

- Secuencia de extracción en fases
 - Yacimientos de gran tamaño, cuyos volúmenes de estériles iniciales son bajos y se mantienen bajos hasta el termino de la vida de la mina.
 - Ventajas
 - Ratios estéril / mineral bajos en los primeros años.
 - Flexibilidad en el diseño de la corta final.
 - Los equipos trabajan a capacidad máxima.
 - Permite retiradas programadas hacia el final de la mina.
 - El área de trabajo operativo no es excesivamente grande.



Valorización económica

- Ingresos:
 - Tonelajes
 - Leyes
 - Recuperaciones
 - Precio del producto
- Costes:
 - Costes de minería
 - Costes de procesamiento
 - Costes de metalurgia
 - Costes generales

Valorización de un bloque

- El valor debe ser calculado asumiendo que el bloque está descubierto.
- El valor debe ser calculado suponiendo que será explotado.
- El coste de una eventual parada de la mina, planta o venta, debe ser contabilizado en la valorización de un bloque.

Costes de extracción

- Perforación
- Voladura
- Carga
- Transporte
- Mantenimiento de pistas e infraestructura de mina.
- Vertederos y escombreras
- Bombeo de aguas.
- Costes generales de la mina
- Amortización y depreciación

Costes de planta de concentración

- Movimiento desde stockpile
- Molienda
- Flotación
- Espesadores
- Filtración
- Secadores
- Costes generales de la planta de concentración
- Amortización y depreciación



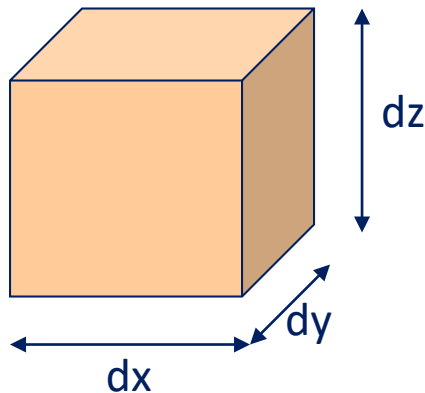
Costes de fundición y refinación

- Transporte del concentrado
- Costes generales de fundición y refinación
- Amortización y depreciación
- Perdidas de la fundición y refinación
- Transporte del cobre blister
- Créditos y cargos de la fundición

Valorización de Bloques

- El coste de mina es el coste de mover un bloque de estéril todo el resto de los costes involucrados en la extracción se deben asignar al coste de planta.
- Nomenclatura
 - C_m , coste mina \$/t
 - C_p , coste planta \$/t
 - C_{fr} , coste de refinación y fundición \$/t
 - R , recuperación del proceso minero y metalúrgico
 - L_m , ley media
 - P , precio
 - RF , factor de utilidad $= (P - C_{fr}) * R * f$, $f = 22.04$ para cobre

Estimación de valor de un bloque



Densidad r

Concentración de cobre %

Volumen: $dx \cdot dy \cdot dz = v$ [m³]

Masa: $v \cdot r = m$ [t]

Ingreso: $(P - C_{fy}) \cdot R \cdot m \cdot I$ (\$)

coste Mina: $C_m \cdot m$ (\$)

coste de Proceso: $C_p \cdot m$ (\$)

Beneficio = $(P - C_{fy}) \cdot R \cdot m \cdot I - C_m \cdot m - C_p \cdot m$

Nomenclatura

P : precio de producto (\$/unidad de producto)

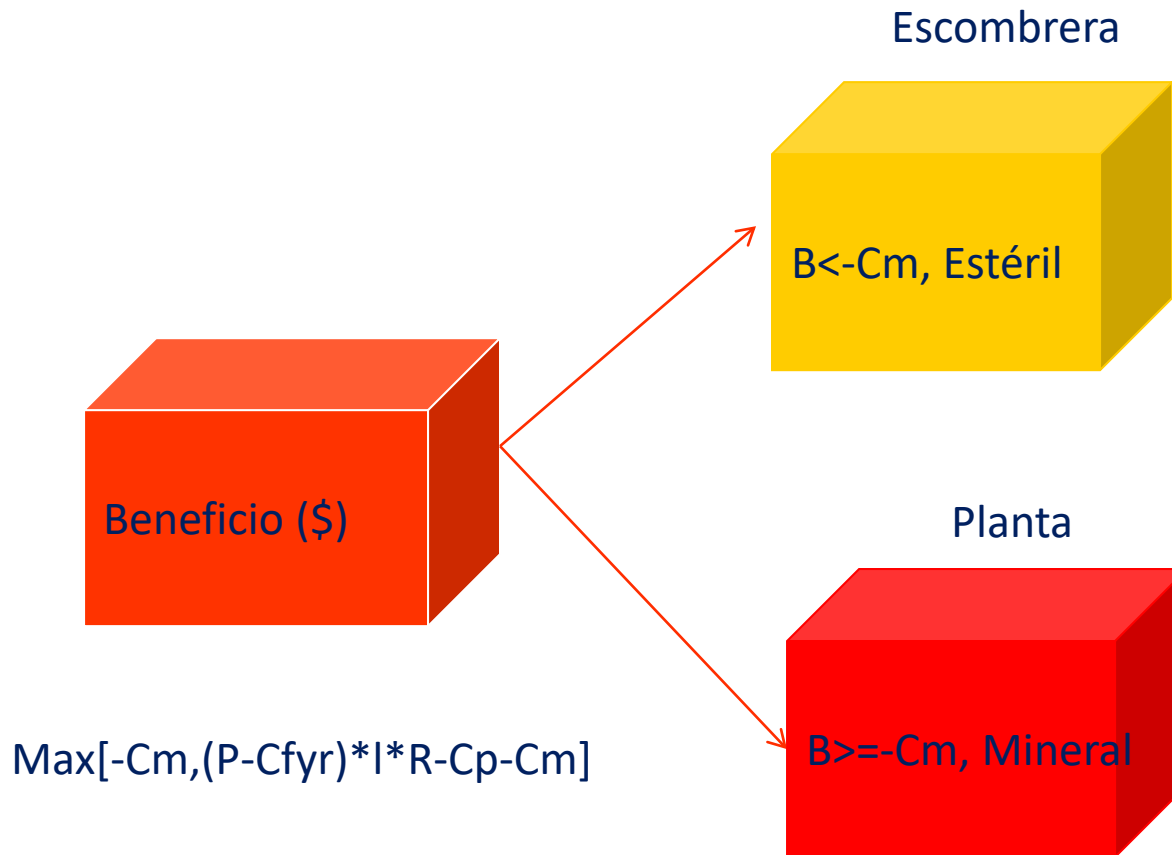
C_{fy} : coste de venta y fundición (\$/unidad de producto)

R : recuperación del proceso productivo

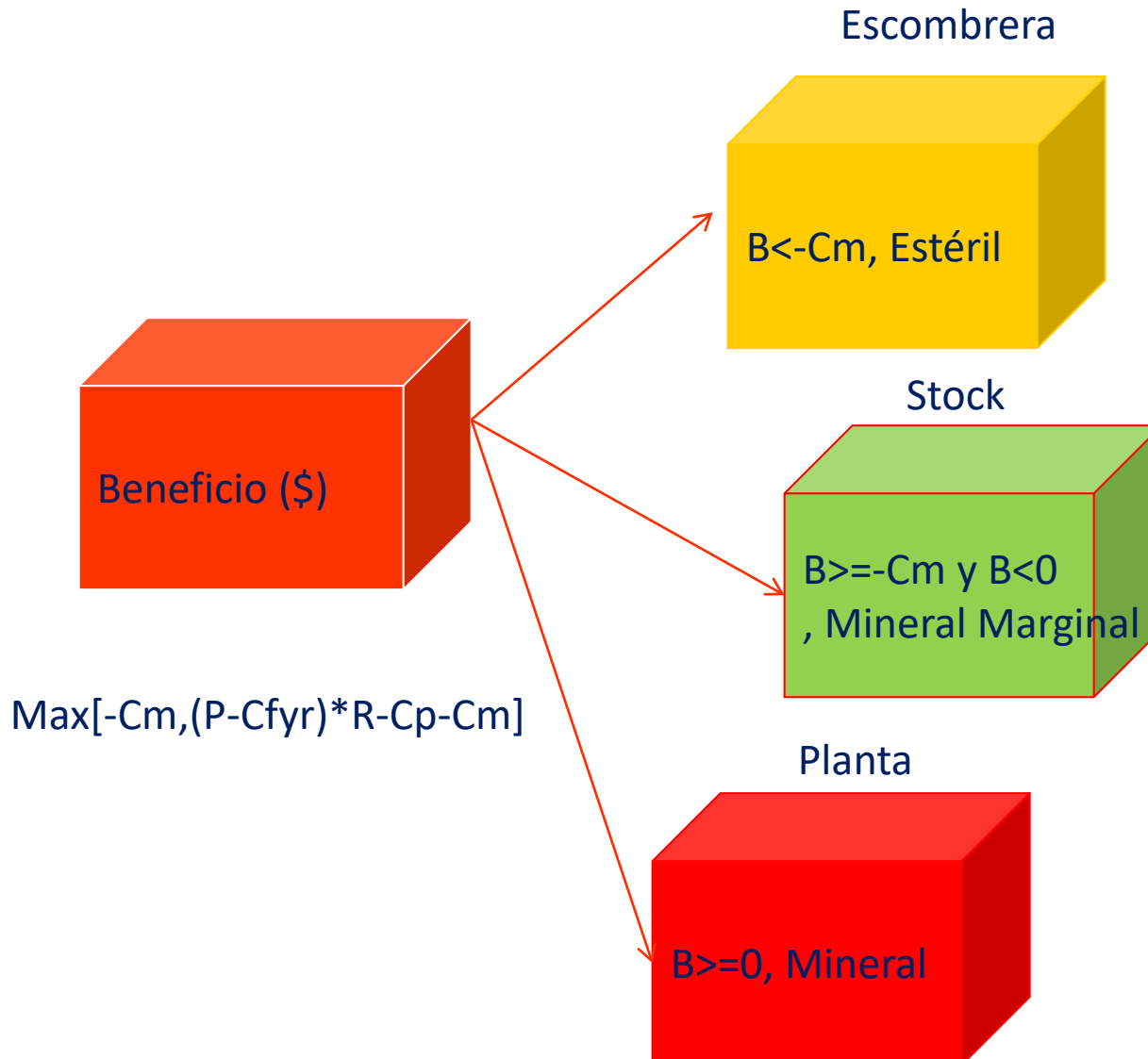
C_m : coste mina (\$/t)

C_p : coste de planta (\$/t)

¿Mineral? ¿Estéril?



¿Mineral? ¿Estéril?



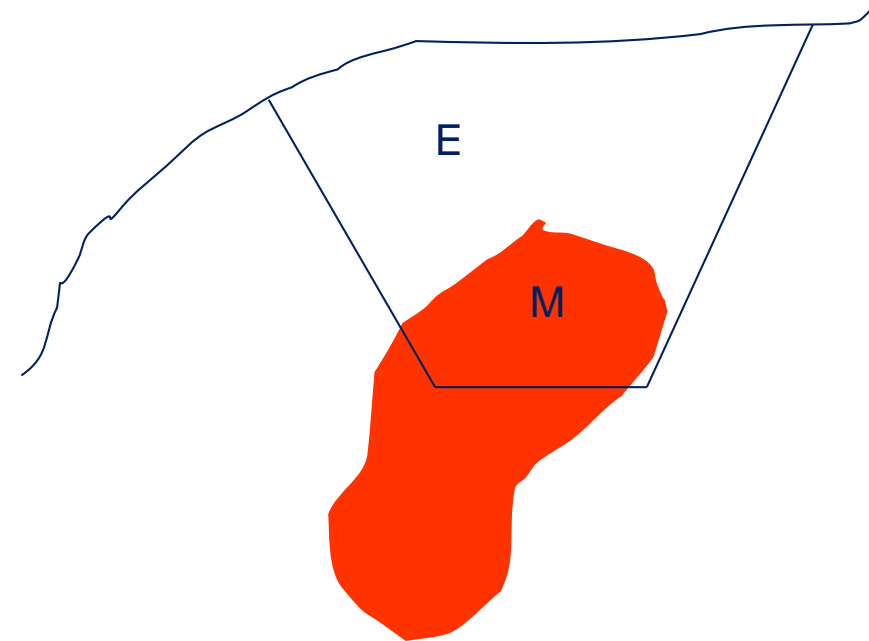
Relación Estéril Mineral

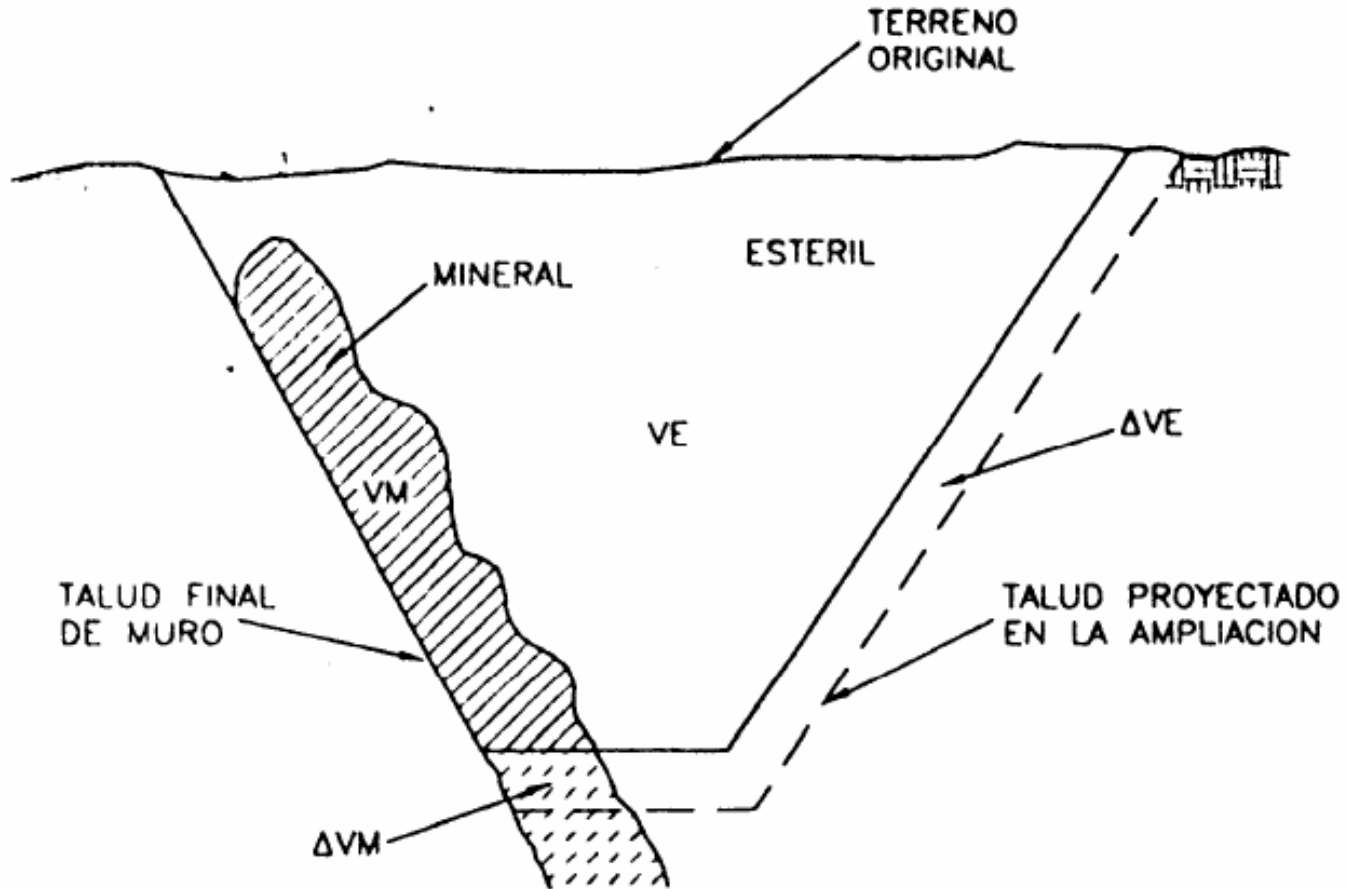
- La relación estéril/mineral debe ser incorporada en la valoración de un determinado cono
- Dependiendo de los parámetros económicos esta relación permitirá más o menos estéril
- Equilibrio

Ingreso = costes

$$RF \cdot L_m \cdot M = ((1 + E/M) \cdot C_m + C_p) \cdot M$$

$$L_m = ((1 + E/M) \cdot C_m + C_p) / RF$$







POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

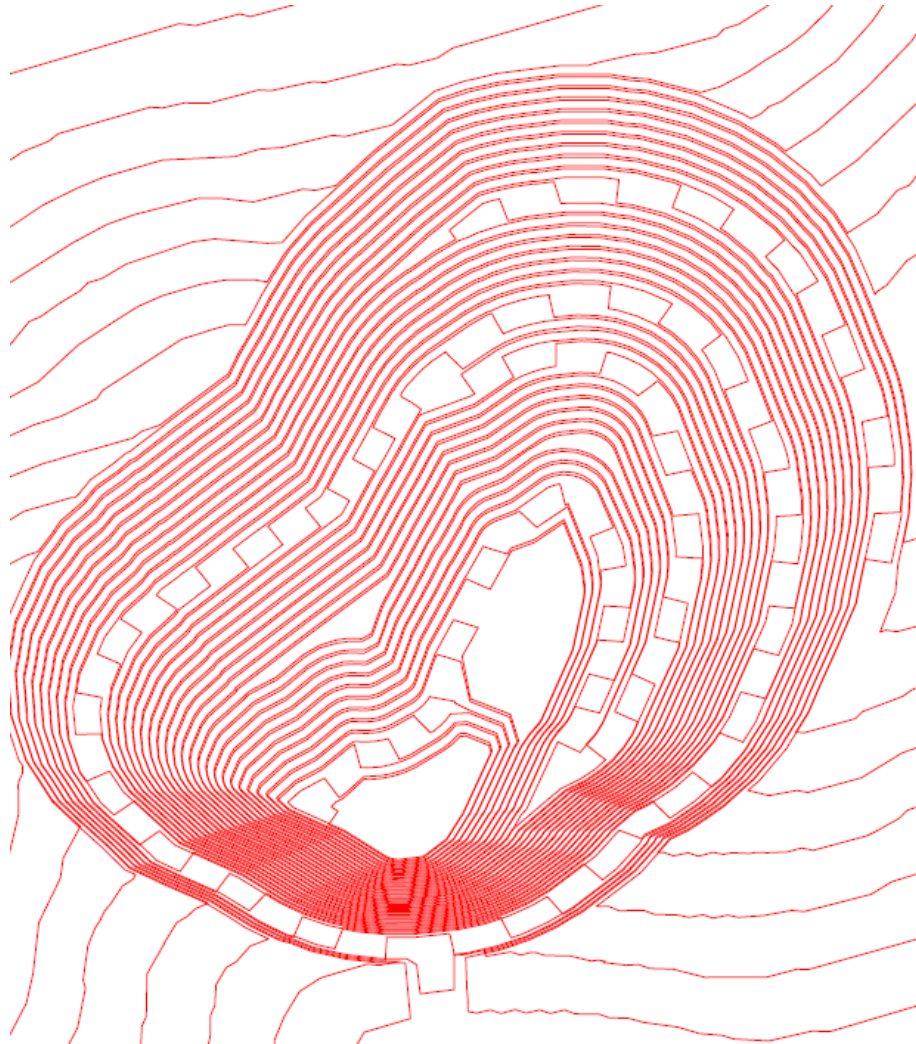
CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Limite final operativo



Selección del método

- Explotaciones a cielo abierto:
 - Canteras en terrenos horizontales.
 - Explotaciones en ladera.
 - Supercanteras.
- Canteras subterráneas.





Selección del sistema

- Sistema totalmente discontinuo.
- Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la cantera.
- Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la cantera.
- Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo.
- Sistema de transporte mixto y arranque continuo.
- Sistema de arranque y transporte continuos.



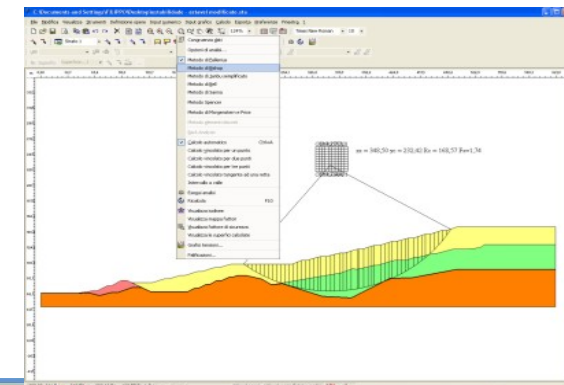
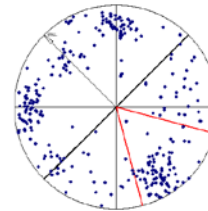
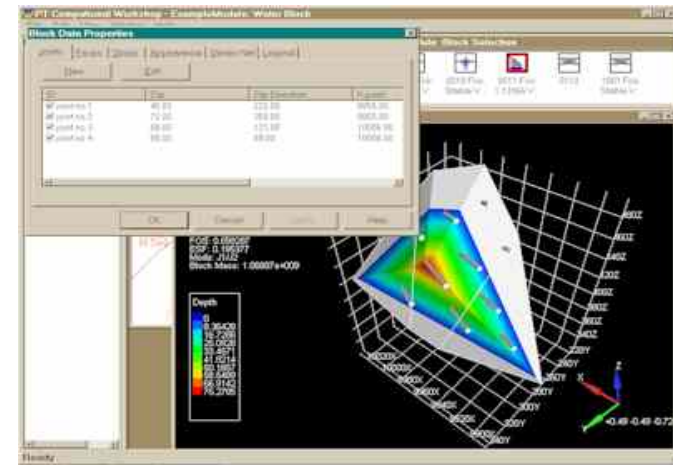
Vida y ritmo de la operación

- La justificación de la vida útil de la operación y su ritmo de extracción deben fijarse:
 - A partir de las reservas y características geológicas del yacimiento.
 - Los estudios de calidades.
 - Mediante un análisis técnico de la capacidad.
 - Mediante un análisis económico de la operación.
 - Un estudio de las características de la maquinaria.
 - El dimensionamiento de la planta.
- Se definirán entonces:
 - La cadencia de las voladuras.
 - La producción estimada.
 - Las necesidades de personal



Estabilidad de taludes

- La estabilidad de taludes es la clave de:
 - La viabilidad técnica y económica del proyecto.
 - La seguridad.
 - La rentabilidad del proyecto.
- Requiere ser analizada desde las etapas más tempranas.
- Los estudios geotécnicos serán función de:
 - Los condicionantes geométricos (altura del talud general, de banco y ángulos de talud)
 - Los condicionantes geológicos cualitativos y estructurales
 - Condicionantes hidrológicos e hidrogeológicos.
 - Condicionantes de infraestructura.
- Se debe garantizar la absoluta seguridad geotécnica del hueco excavado en prevención de:
 - Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
 - Colapso parcial de un banco.
 - Colapso general del talud de excavación.
- Los estudios deben extenderse a las escombreras y cualquier otra estructura minera creada





POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid







POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

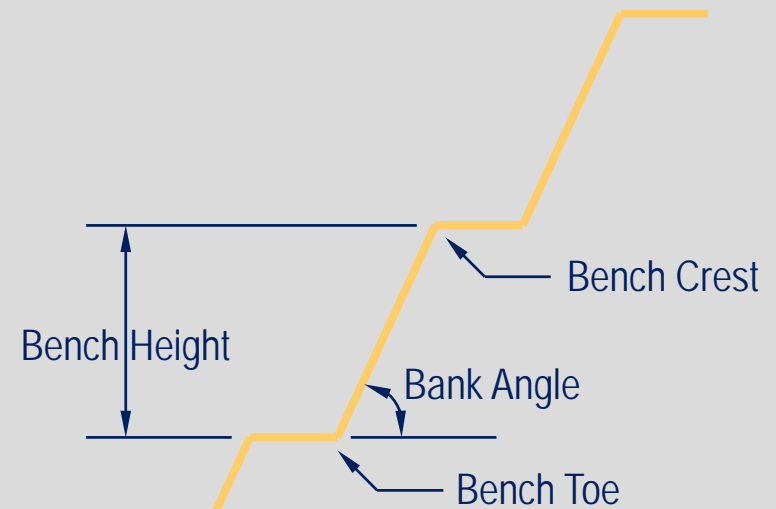
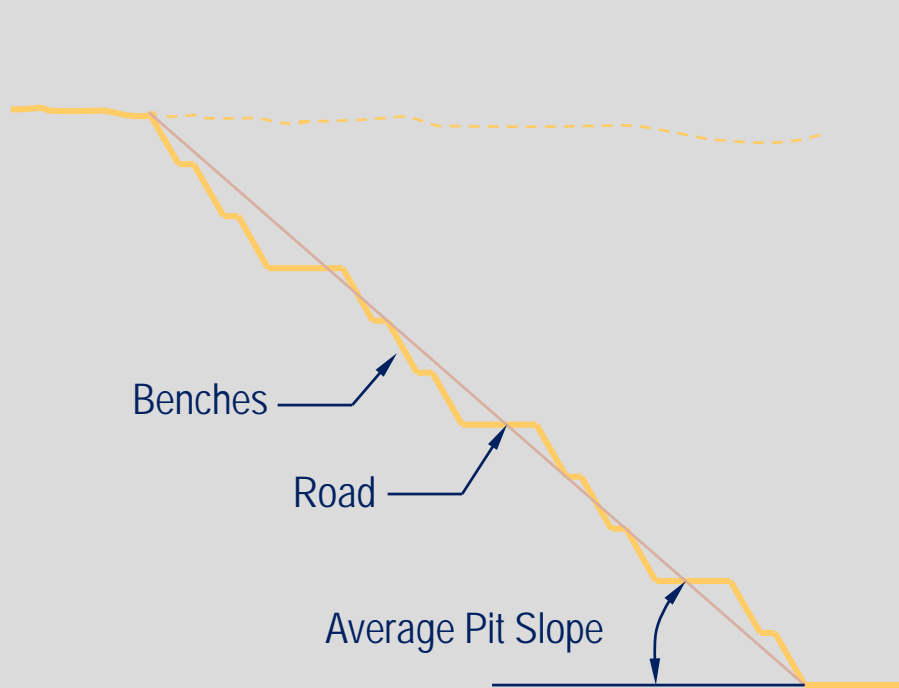
CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Definición de los bancos



Dimensiones y orientaciones de los bancos

GEOMETRÍA DE LOS BANCOS

- La geometría de los bancos dependerá de:
 - La configuración de los taludes con respecto al cuerpo o masa a explotar.
 - La configuración de los bancos y su orientación relativa con respecto a la estratificación o familias de discontinuidades dominantes.
 - Las alturas máximas y mínimas admisibles.
 - Las alturas máximas finales de banco.
 - La pendiente máxima de los taludes de banco.
 - Las condiciones de estabilidad.
- El diseño también debe abordar la inclusión de los necesarios elementos de infraestructura como son las pistas de transporte.
- El diseño debe abordar las consideraciones impuestas por el proyecto de restauración a ejecutar a la conclusión de las actividades extractivas.

ALTURA DE BANCO:

- Será consecuencia del resultado de un análisis técnico – económico apoyado en estudios geotécnicos que incluyen el aspecto de seguridad de las operaciones y la posterior recuperación de los terrenos.



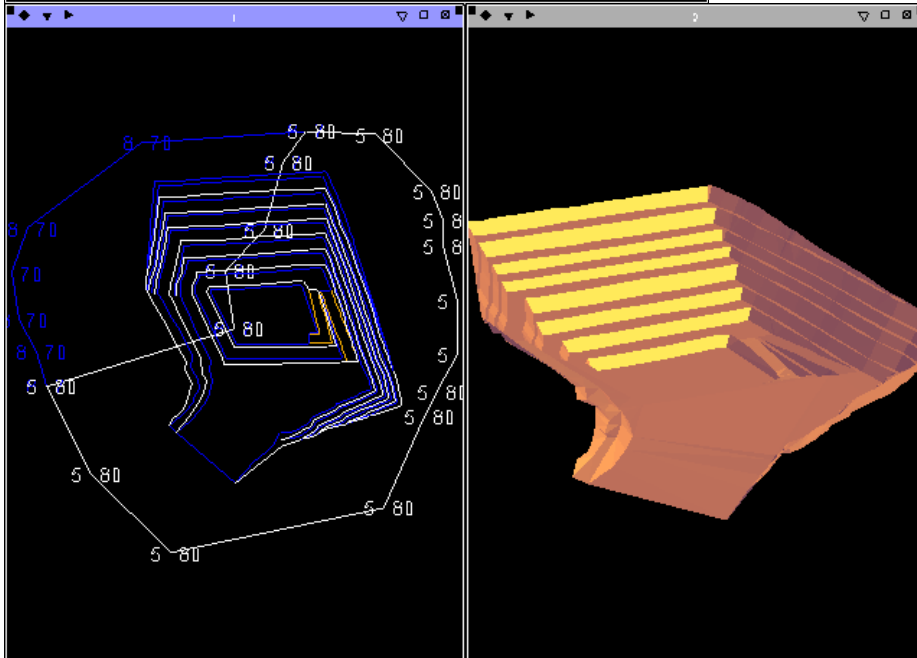
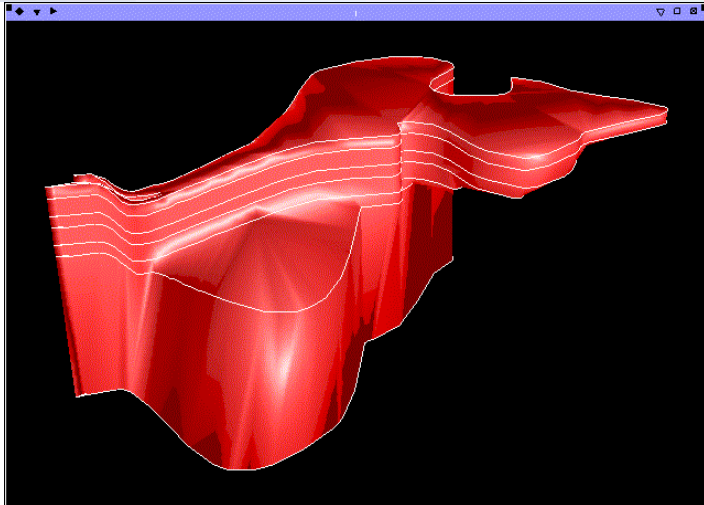
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



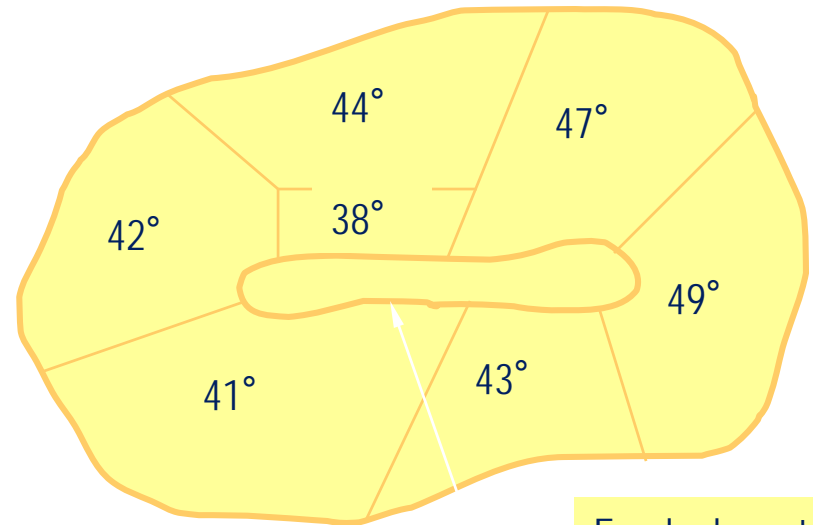
- Ventajas de bancos altos:
 - Mayor rendimiento en la perforación, menores tiempos muertos y mayor tonelaje extraído por metro perforado.
 - Menor desplazamiento de los equipos de carga y transporte, lo que implica un mejor rendimiento.
 - Menor número de bancos, lo que permite una mejor concentración y eficiencia del equipo.
 - Menor longitud de viales y pistas, lo que significa menor inversión en infraestructura.

- Ventajas de los bancos pequeños:
 - Mejores condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria.
 - Menores desviaciones en la perforación, lo que significa un mejor rendimiento en perforación y voladura, mejor control en la fragmentación, las vibraciones y las ondas de choque.
 - Mayor rapidez en la construcción de accesos.
 - Mejores condiciones para restaurar taludes finales.

Diseño de taludes

- Diseño de taludes:
 - Los ángulos de talud afectan a las dimensiones del hueco final y a la cantidad de estéril que hay que remover antes de alcanzar el mineral.
 - Los cambios en la geología pueden forzar a la utilización de distintos ángulos de talud en cada parte del hueco.
- Minimización de ratio de desmonte:
 - Buscando taludes inclinados pero sin poner en riesgo la seguridad del personal o de los equipos.

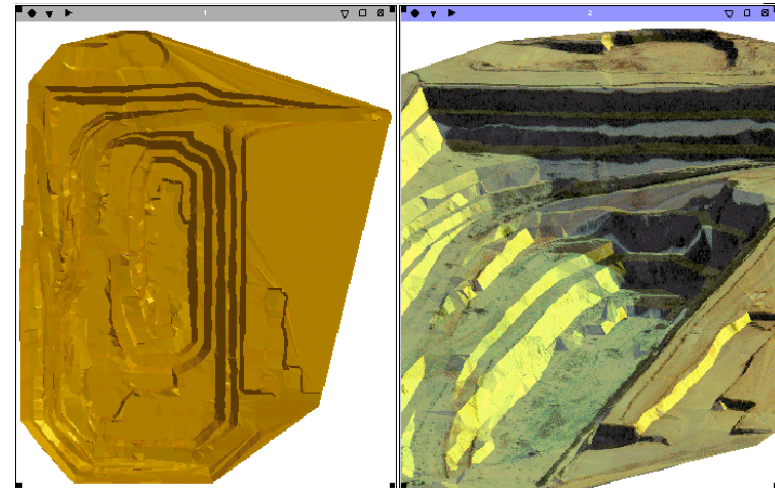
Superficie del talud



Fondo de corta

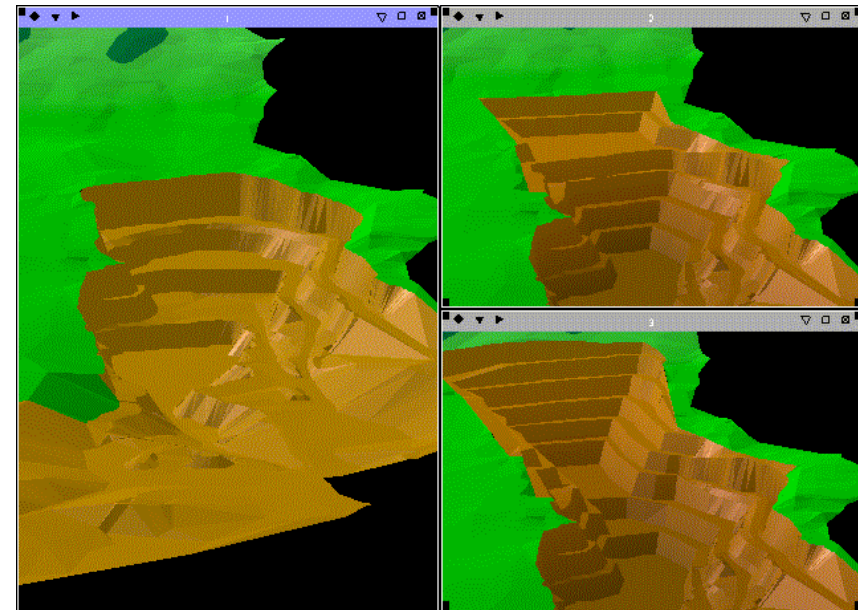
Anchura de bancos y plataformas

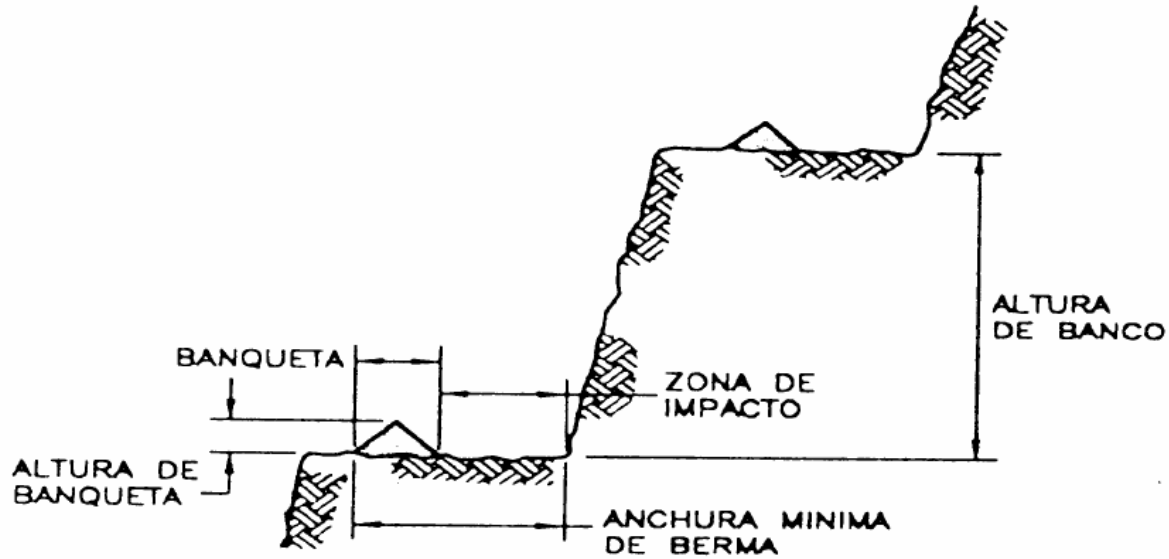
- La anchura mínima de un banco de trabajo es la suma de las necesarias para:
 - Garantizar el movimiento suficientemente holgado de la maquinaria que trabaja normalmente en ella.
 - Facilitar que los volquetes y palas maniobren con facilidad sin aproximarse innecesariamente al frente de arranque.
 - Se mantenga una distancia de seguridad suficiente a los bordes de los taludes.
 - Puedan disponerse barreras o topes infranqueables.
- La superficie de trabajo debe ser regular, de manera a permitir una maniobra fácil de la maquinaria y su absoluta estabilidad.
- Deberá contar con una pendiente transversal y longitudinal suficiente para permitir un desagüe eficaz.
- Debe estar dotada de los sistemas de drenaje oportunos.



Bermas

- Su finalidad es la de servir como:
 - Plataformas de acceso en el talud de una excavación.
 - Servir como elemento de protección para detener la caída de materiales que puedan desprenderse de bancos superiores.
- Sus características y dimensiones definitivas deben ser justificadas por cálculo.
- Si una berma va a ser utilizada como pista de transporte debe ser acondicionada para cumplir los condicionamientos impuestos a las pistas.
- La altura y separación entre bermas es función del talud de cara de banco y de las dimensiones de los equipos existentes.





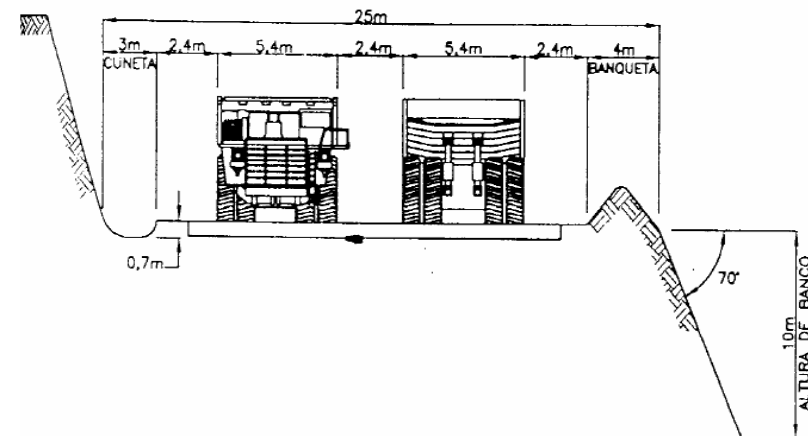
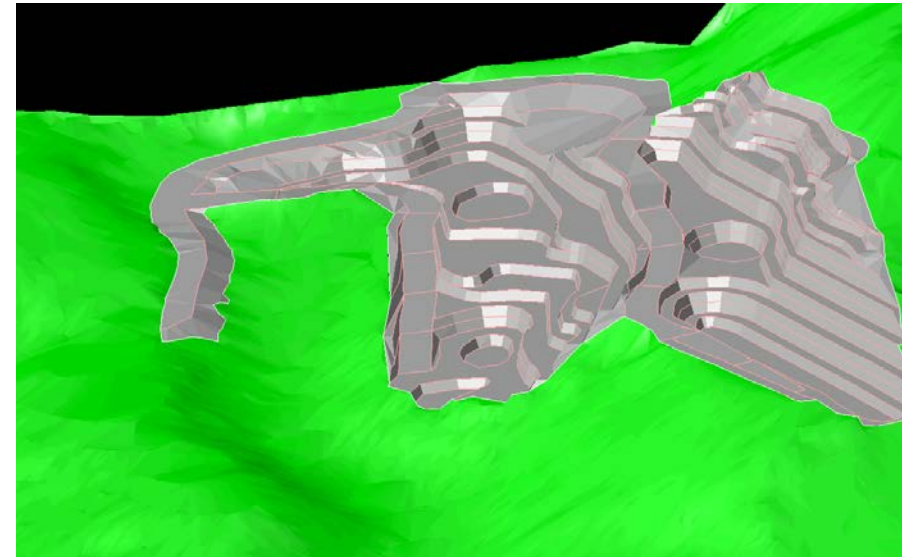
Diseño de protecciones frente a desprendimientos

Dimensiones recomendadas para la construcción de protecciones frente a desprendimientos

ALTURA DE BANCO (m)	ZONA DE IMPACTO (m)	ALTURA DE BANQUETA (m)	ANCHURA DE BANQUETA (m)	ANCHURA MINIMA DE BERMA (m)
15	3,5	1,5	4	7,5
30	4,5	2	5,5	10
45	5	3	8	13

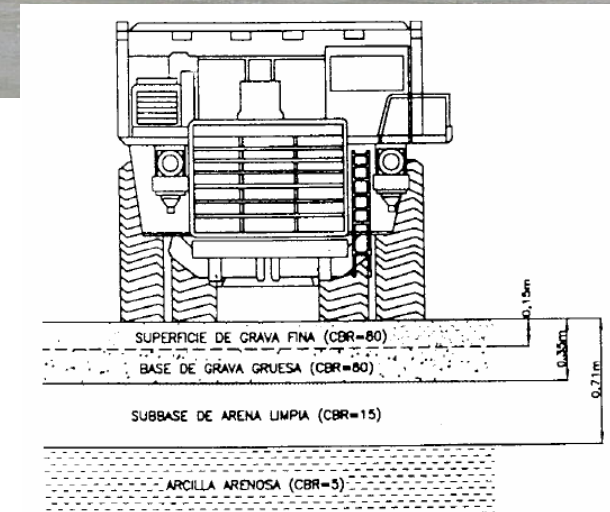
Diseño de pistas y accesos

- Constituyen uno de los elementos de infraestructura más complejos de definir y de diseñar.
- Por encima de cualquier otra consideración, deben asegurar la accesibilidad a cualquier punto de la cantera con total seguridad y sin ningún riesgo.
- Pistas y accesos son de características diferentes:
 - Pista: circulación habitual y continua en los dos sentidos, a marcha rápida.
 - Accesos: usados de forma eventual y exclusivamente para la llegada a un tajo específico de la maquinaria.



Diseño de pistas y accesos

- Criterios de diseño en ambos casos:
 - Firme.
 - Pendientes longitudinales y transversales.
 - Anchura de pista.
 - Curvas: radios, peraltes y sobreechanco.
 - Visibilidad en curvas y cambios de rasante
 - Sección transversal. Convexidad o bombeo.
 - Desagüe y drenaje.
 - Conservación y mantenimiento.



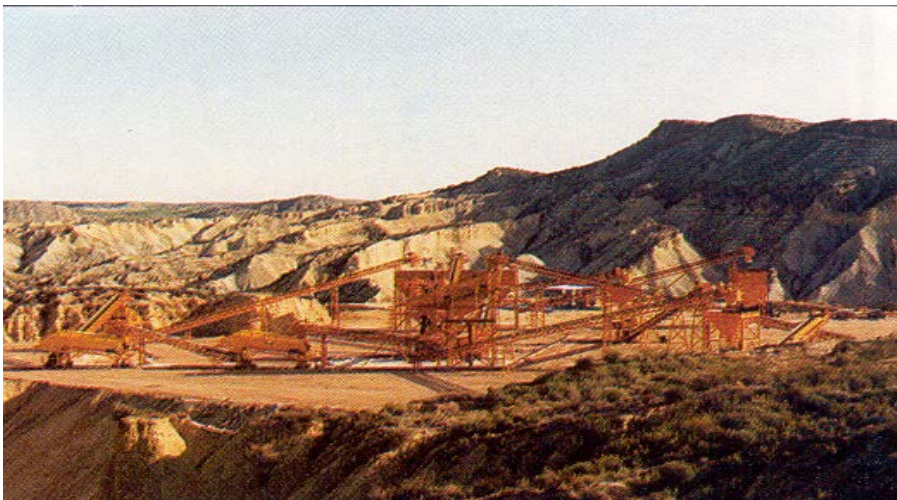
Diseño minero ambiental de la explotación

- Constituyen el capítulo más complejo y difícil todo el proceso de diseño de una cantera, pues tiene que:
 - Prever todos los impactos que pueden llegar a producirse en función de las características físicas, climáticas y biológicas del emplazamiento.
 - Prever la repercusión en el medio social.
 - Atender a las demandas y exigencias que tales repercusiones van a plantear.
 - Modificar los diseños tantas veces como sea necesario para alcanzar la solución que responda a tales demandas.

- Los impactos a los que se deberá dar respuesta siempre serán, al menos, los siguientes:
 - Generación de polvo.
 - Generación de ruidos.
 - Daños por vibraciones y onda aérea de las voladuras.
 - Impacto visual.
 - Intensificación del tráfico de vehículos pesados.
 - Degradación de la calidad biológica.
 - Repercusión social.



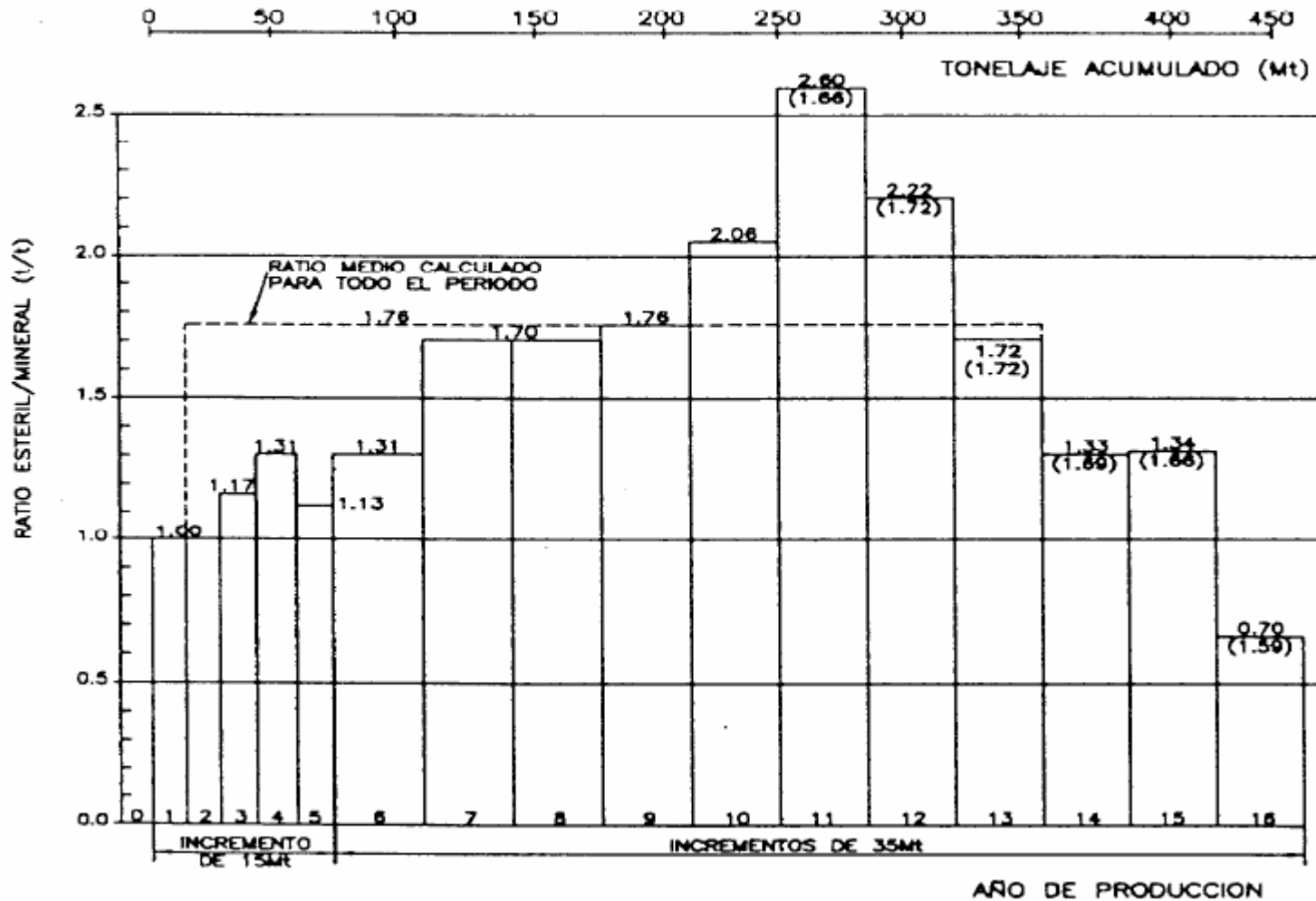
Emplazamiento de la planta



Criterios económicos del diseño

- Criterios económicos del diseño:
 - Contenido del mineral: leyes medias y ley de corte.
 - Cantidad de reservas explotables, dilución, pérdidas, etc.
 - Coeficientes de desmonte.
 - Costes operativos: extracción en mina, procesamiento, transporte, etc.
 - Costes de inversión.
 - Precios del o de los minerales comercializados.
 - Rentabilidad y beneficios de la operación.

PLAN PRELIMINAR DE EXPLOTACION Y RATIOS POR FASES
(RATIOS ACUMULADOS ENTRE PARENTESIS)



Ratios estéril mineral a lo largo del tiempo correspondientes a diseños de fases sin ajustar



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Dudas y preguntas

