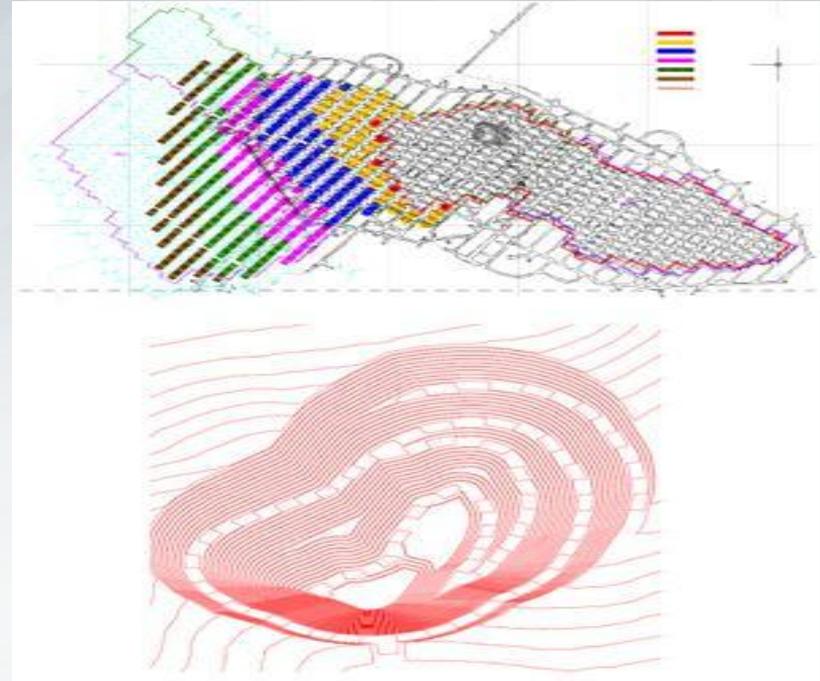


# Tema 3



## Planificación y Desarrollo de Minas a Cielo Abierto

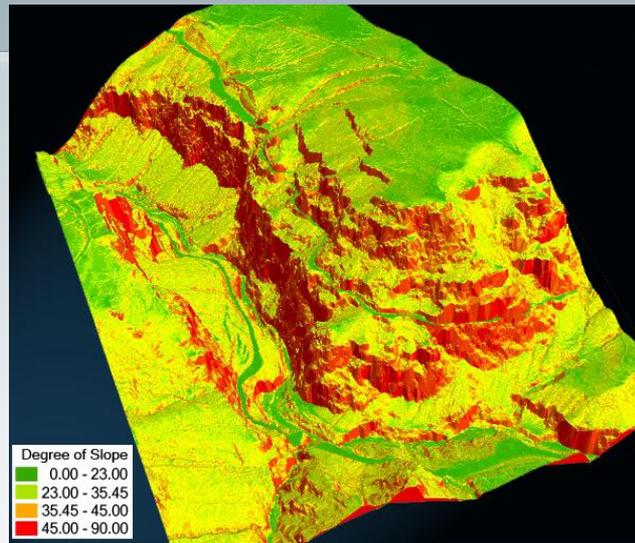
<http://www.redcoglobal.com/servicios-diseno-minero.php>

# Contenido

- Comparación económica de distintas alternativas de inversión en minería.
- Importancia del tenor límite y la relación de remoción en la economía del proyecto minero.
- Análisis del comportamiento de los parámetros económicos de selección de la mejor inversión en minería.

## Referencias recomendadas:

- ✓SME (1992) "*Mining Engineering Handbook*". Volumen I y II.
- ✓SME (1990) "*Surface Mining*"
- ✓Hustrulid y Kuchta (2006) "*Open pit mine planning & desing*" 2da edición.
- ✓Ortíz y Herrera (2002) "Curso de Laboreo I". Universidad Politécnica de Madrid.
- ✓Bustillo y López (1997) "Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras". Madrid.
- ✓[www.ingenierosenminas.com](http://www.ingenierosenminas.com)
- ✓<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/19713/20821>



# INTRODUCCIÓN

Bustillo y López (1997)

<http://www.terraremove.com/es/mineria/planeacion-de-minas/>

# Introducción

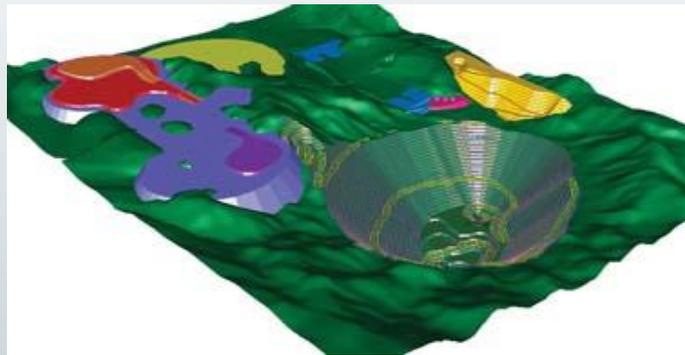
Los costos de desarrollo de una explotación minera incrementan con el tiempo

En conjunto las leyes se hacen cada vez más bajas

El diseño final de la explotación a cielo abierto se debe llevar a cabo con criterios económicos

# DESARROLLO GENERAL DEL PROCESO

Bustillo y López (1997)

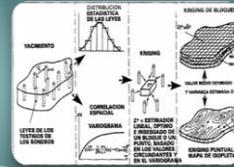


<http://www.cpampa.com/web/mpa/2011/03/herramienta-para-optimizar-la-extraccion/>

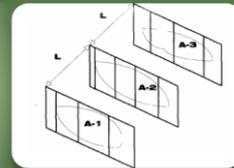
Material recopilado por: Profa. Aurora Piña

# Definición de las leyes de los bloques

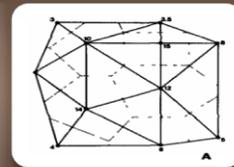
La estimación de las leyes a asignar a cada bloque se realiza mediante cualquiera de los métodos de estimación de las reservas



Geoestadística (krigeaje)



Inverso de la distancia



Polígonos, triángulos o similar

Una vez establecido el método que mejor se adapte al yacimiento en cuestión, para definir el conjunto de bloques con sus leyes correspondientes

# Definición del valor económico de los bloques

Una vez conocidas las leyes de los diferentes bloques, se les asigna un valor económico (expresado en Bs. o US\$) a partir del cual se establece la optimización de la explotación

El problema del diseño de la fosa será encontrar aquel conjunto de bloques que den el máximo valor posible

Hay que considerar que todo estará sujeto a las restricciones mineras que puedan aparecer de manera puntual

# Definición del valor económico de los bloques

Desde el punto de vista económico, cada bloque se puede caracterizar por los siguientes parámetros:

Valor de la mineralización presente en el bloque (I)

Costos directos que pueden atribuirse directamente a cada bloque (CD): sondeos, arranque, transporte, tratamiento, entre otros

Costos indirectos que no se pueden asignar a los bloques individuales (CI), que son función del tiempo: salarios, amortización de maquinaria, entre otros

# Definición del valor económico de los bloques

El valor económico del bloque vendrá dado por:

$$\text{VEB} = I - CD$$

El VEB no es lo mismo que el beneficio o pérdida, el cual viene definido por:

$$\text{Beneficio (pérdida)} = \sum(\text{VEB}) - CI$$

El objetivo de la optimización del diseño de la explotación será maximizar el valor del  $\sum\text{VEB}$

# Definición del valor económico de los bloques

Existen numerosos criterios a  
la hora de optimizar

Maximizar  
el valor de  
la  
explotación

Maximizar  
el valor por  
tonelada  
de  
producto  
vendible

Maximizar  
la vida de  
la mina

Maximizar  
el  
contenido  
de metal  
dentro de  
la  
explotación

# Tipos de algoritmos

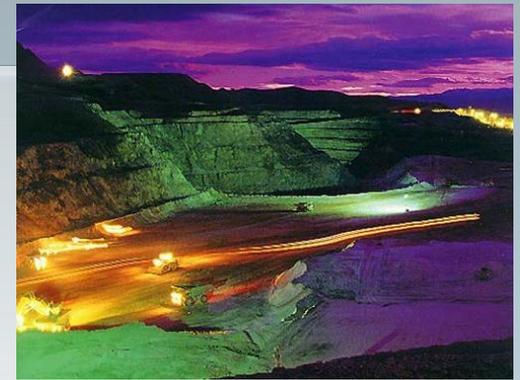
Annels (1991) et al. Bustillo y López (1997)

Los diferentes algoritmos existentes para llevar a cabo la optimización se pueden agrupar en dos categorías (Annels, 1991)

Heurísticos: Caso del cono flotante (no poseen demostraciones matemáticas que permitan asegurar su validez)

En este tema trataremos los métodos del Cono flotante y el de Lerchs y Grossman, que son los más utilizados en la industria minera

Rigurosos: El más conocido es el de Lerchs y Grossman (tienen una completa demostración matemática)



# MÉTODO DEL CONO FLOTANTE

Bustillo y López (1997)



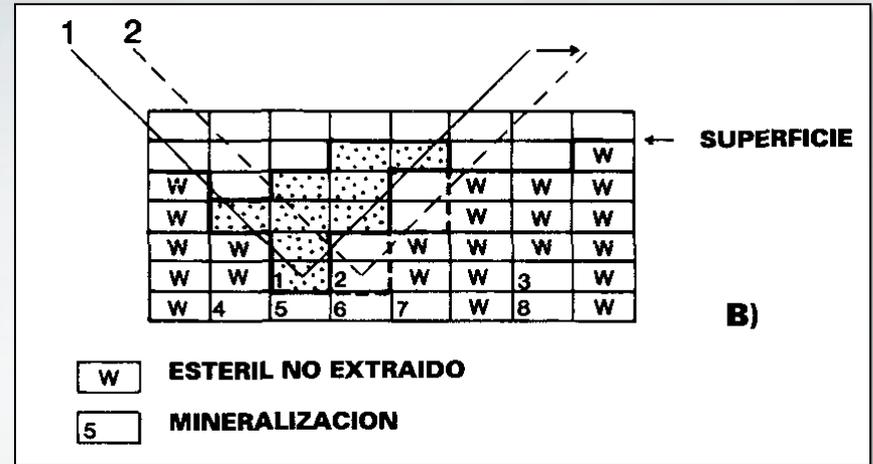
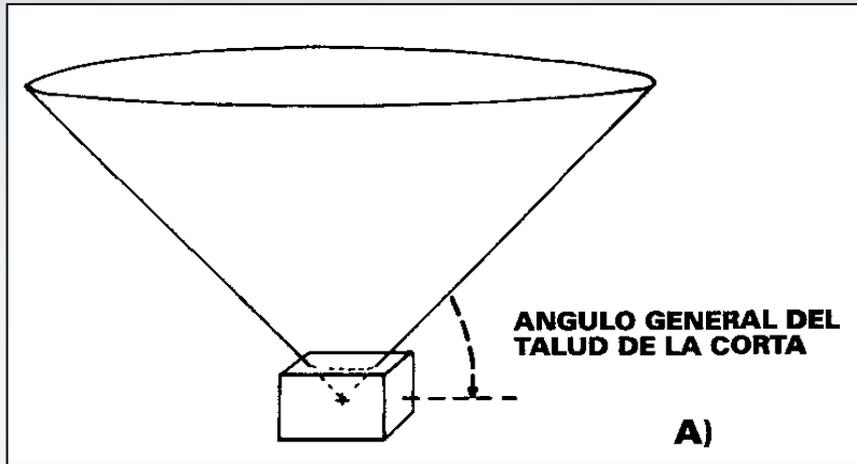
Leer también:  
<http://ingenieroenminas.com/limites-economicos-de-una-explotacion-a-cielo-abierto/>

# Método del cono flotante

Consiste en el estudio económico de los bloques mineralizados y estériles que caen dentro de un cono invertido, el cual se mueve sistemáticamente a través de una matriz de bloques, con el vértice ocupando los centros de estos bloques

Es importante considerar que **los beneficios netos obtenidos** de explotar la mineralización que se encuentra dentro del cono **deben superar los gastos de extraer el estéril** existente de dicho cono

# Método del cono flotante



Los conos, individualmente, pueden no ser económicos, pero cuando dos o más conos se superponen, existe parte importante del estéril que es compartida por los diversos conos, lo que genera un cambio en sus estatus económicos.

# Método del cono flotante

Se parte de una matriz de bloques cuyas leyes se han calculado

- Se establece una ley mínima de explotación
- Y el ángulo determinado para la fosa o corta (p.e. 45°)

Se coloca en el primer bloque económico

- > ley mínima de explotación
- Esto en todos los bloques comenzando por arriba y por la izquierda

La viabilidad del cono se calcula con la fórmula:

- Si el beneficio es positivo, todos los bloques dentro del cono se marcan, creando una nueva superficie
- Si es negativo, la matriz no cambia y nos trasladamos a otro bloque con una ley mayor

$$B = (Pr \times RM \times G \times NB - (M_M + P) \times NB - (M_E \times NE)) \times VB \times DA$$



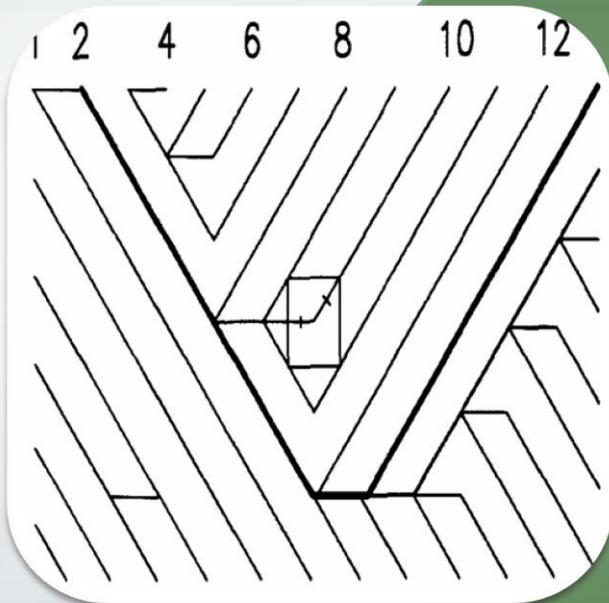
# MÉTODO DE LERCHS Y GROSSMAN

Bustillo y López (1997)



Material recopilado por: Profa. Aurora Piña

# Método de Lerchs y Grossman



Estos autores propusieron en 1965 un algoritmo matemático que permita: "...diseñar el contorno de una explotación a cielo abierto de tal forma que se maximice la diferencia entre el valor total de la mineralización explotada y el costo total de la extracción de mineral y estéril"

# Método de Lerchs y Grossman

El uso de este método no está todavía universalmente aceptado porque ha presentado algunos inconvenientes:

Complejidad del método en términos de comprensión y programación

Tiempo requerido en la computadora para la obtención del modelo

Dificultad para incorporar cambios en las pendientes de la explotación

El criterio de optimización se basa en el beneficio total, mientras que debería hacerlo en el valor actual neto

# Método de Lerchs y Grossman

Obtenemos las leyes en la matriz de bloques

Se deben representar los beneficios que se obtienen con su explotación

En el caso que un bloque genere pérdidas se coloca el valor del costo asociado a su explotación

-2	-2	1	1	2	7	22	10	20	10	6	-2	-2
-2	-2	-2	1	6	20	10	14	29	14	10	-2	-2
-2	-2	-2	-2	8	13	29	80	43	18	9	-2	-2
-2	1	1	3	9	1	15	66	92	22	2	-2	-2
-2	1	1	-2	1	-2	9	6	30	6	-2	-2	-2
-2	1	10	2	-2	1	3	4	3	-2	-2	-2	-2
-2	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2

Figura 9.27. Valores del beneficio neto para los diferentes bloques.

Los bloques que se encuentren por debajo de la ley (o calidad) mínima, se envían como estéril a las escombreras

# Método de Lerchs y Grossman

## Inconvenientes del método de Lerchs y Grossman en 2-D:

- Trabaja por secciones independientes
- Esto trae como consecuencia que el modelo tenga mayor complejidad y requiera mayor esfuerzo para obtener la geometría de la excavación
- Cada sección trabaja de manera independiente
- Debido a lo anterior no hay garantía que una sección sea compatible con la siguiente
- La solución ha sido darle tridimensionalidad al problema, aunque la solución no llegue a ser satisfactoria



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

# Actividades

<http://dcscienceworld.blogspot.com/2010/11/mining.html>

# Asignación 3

1. Lea el capítulo 9 del texto de Bustillo y López (1997)
2. Elaborar un esquema sobre la metodología para emplear el método de Lerchs y Grossman en 3-D
3. Elabore una propuesta para su explotación minera, de cuál sería el método más adecuado para optimizarla