



# INTRODUCCIÓN AL DISEÑO MINERO

Raúl Castro R.





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

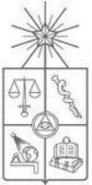
# DISEÑO MINERO

Es un proceso de ingeniería que soporta las definiciones de:

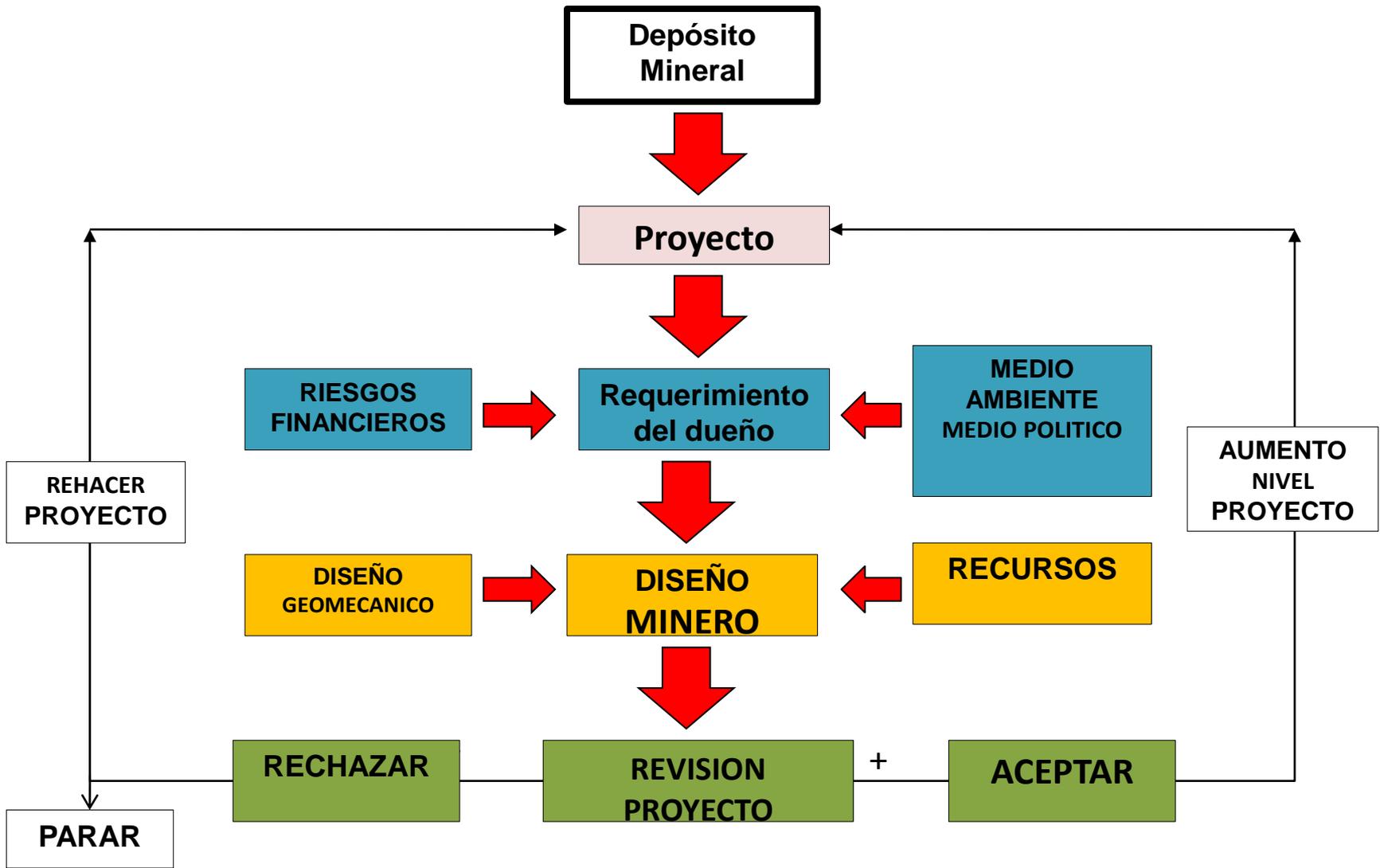
- ✓ Selección del sistema de explotación a utilizar
- ✓ Geometría del sistema minero
- ✓ Recuperación Minera
- ✓ Dilución
- ✓ Estimaciones de producción (Ritmo extracción mina/Equipos)
- ✓ Inversiones de la mina

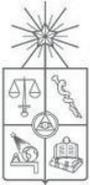


Geo-Minero-Metalurgia



# DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# INFORMACIÓN BASE PARA EL DISEÑO

## Información Geológica/Mineralógica

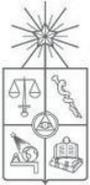
- Tamaño del área mineralizada
- Manteo de las zonas mineralizadas
- Profundidad máxima
- Continuidad
- Variación en potencia
- Tipos de contactos mineralizados
- Distribución mineral
- Distribución de contaminantes
- Liberación de mineral
- Alteraciones
- Plantas y perfiles que indiquen la cantidad y calidad de los recursos y reservas mineras
- Detalle de fallas u otras estructuras geológicas

## Información estructural (física y química)

- Profundidad
- Calidad y estructura de la roca de caja
- Estructura de la roca mineralizada

## Información de la propiedad minera

- Propiedad del terreno
- Disponibilidad de agua
- Ubicación de propiedad respecto a infraestructura
- Aspectos políticos regionales, nacionales y locales

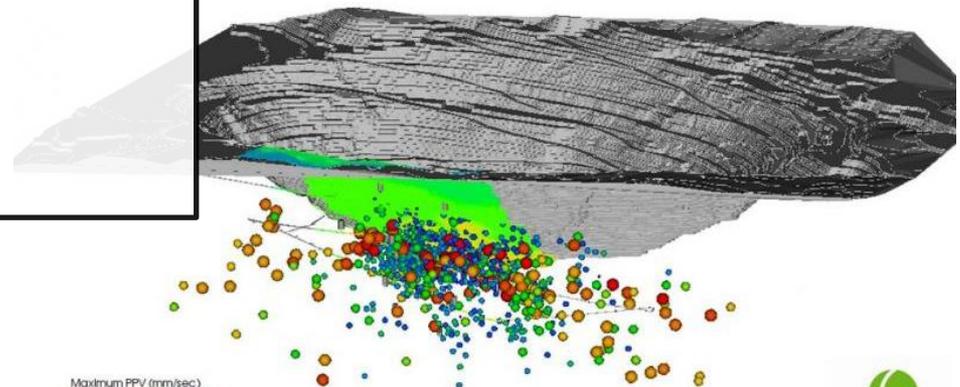


FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# RESUMEN DE INFORMACIÓN BASE PARA EL DISEÑO

## Información Base

- Geología
- Geometría
- Macizo rocoso
- Estructuras de debilidad
- Continuidad
- Estabilidad: Hundibilidad/ Estabilidad
- Distribución de la ley
- Costos insumos/equipos
- Dilución planeada y no planeada
- Restricciones externas e internas
- Ritmo deseado



Geo-Minero-Metalurgia

Maximum PPV (mm/sec)





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

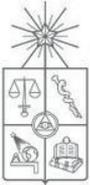
Es la estrategia global que permite la excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más eficiente:

- Define los principios generales según los que se ejecutan las operaciones unitarias
- Define criterios con respecto al tratamiento de las cavidades que deja la extracción

Una primera clasificación de los métodos se refiere a si la explotación se realiza siempre expuesta a la superficie o si se desarrolla a través de labores subterráneas.

- **Métodos de explotación a cielo abierto**
- **Métodos de explotación subterránea**

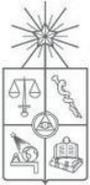




FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# EXPLOTACIÓN DE SUPERFICIE

- Cielo abierto, rajo abierto o tajo abierto (Open Pit). Es el método que más se ve en Chile, particularmente en la explotación de yacimientos de metales básicos y preciosos.
- Cantera (Quarry). Este nombre se da a la explotación de mineral que puede utilizarse directamente en aplicaciones industriales, como es el caso de la sílice, caliza y piedra de construcción.
- Lavaderos o placeres. Corresponde a la explotación de depósitos de arena en antiguos lechos de ríos o playas, con el fin de recuperar oro, piedras preciosas u otros elementos químicos valiosos.
- Otros:
  - Disolución, corresponde a la extracción de azufre o sales solubles mediante la incorporación de un solvente y posterior extracción del soluto de la solución recuperada.
  - Minería costa afuera, para la extracción de nódulos de manganeso presentes en el fondo del océano.



FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA

**Métodos autosoportantes o de caserones abiertos:** Dejan la cavidad que el mineral ocupaba vacía caserón estable en forma natural o escasos elementos de refuerzo.

- Room and Pillar
- Stope and Pillar
- Shrinkage Stopping
- Sublevel Stopping
- Vertical Crater Retreat

**Métodos soportados** o de caserones que requieren elementos de soporte para mantenerse estables y/o que se rellenan con algún material exógeno.

- Cut and Fill Stopping
- Excavation Techniques
- Backfilling Methods



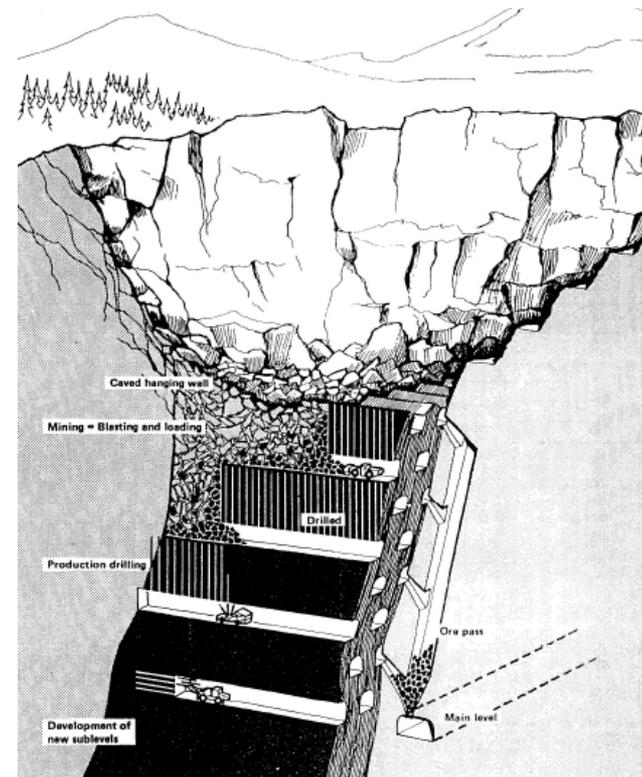
Geo-Minero-Metalurgia

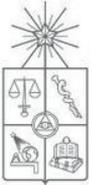


# EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA

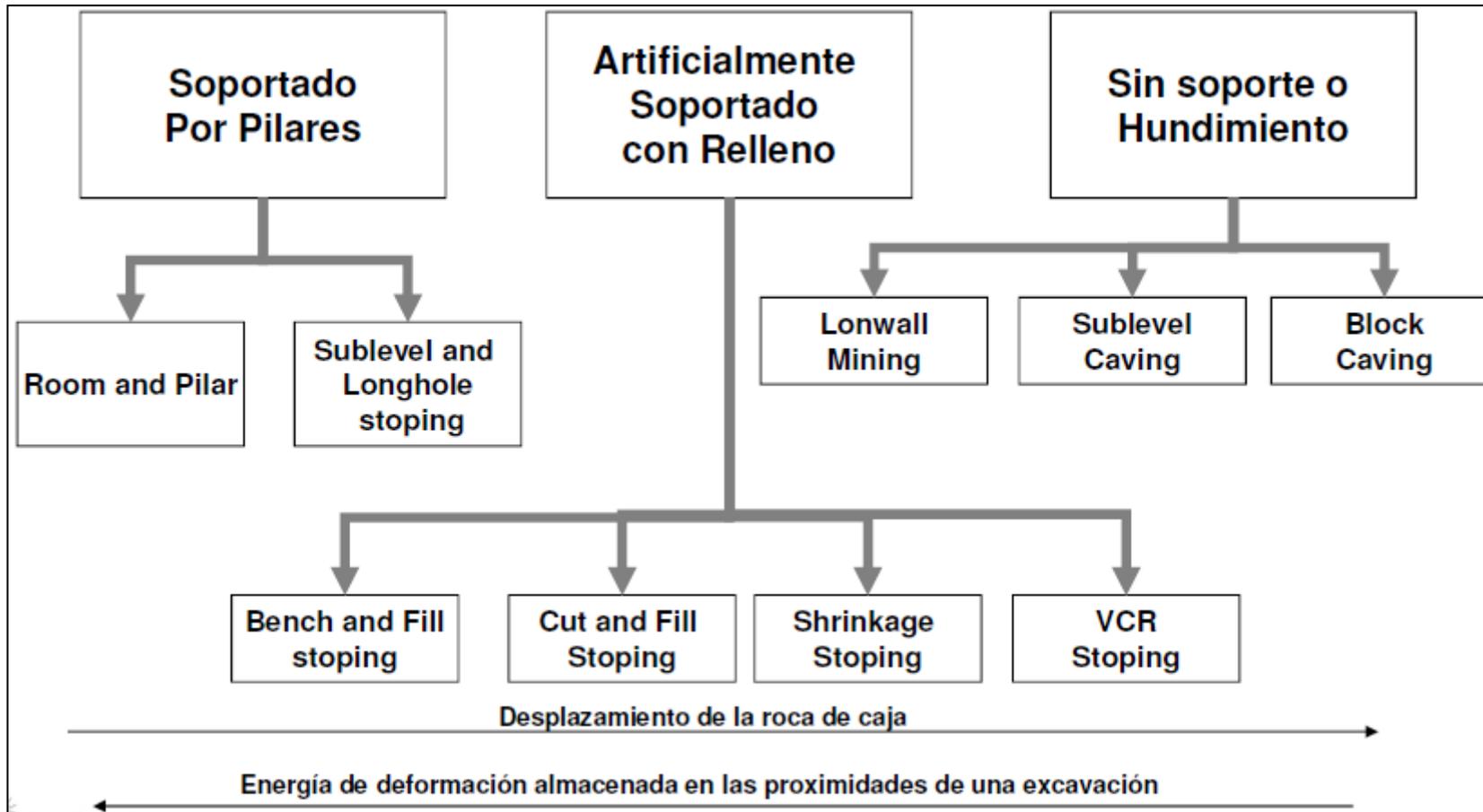
**Métodos de hundimiento:** las cavidades generadas por el mineral extraído son rellenas con el material superpuesto (mineral, mientras dura la explotación, y estéril, una vez finalizada). El hundimiento y consecuente relleno de las cavidades se produce simultáneamente a la extracción del mineral.

- Longwall Mining
- Sublevel Caving
- Block / Panel Caving





# EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

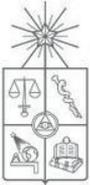
## ▪ **Características Espaciales:** tamaño, forma, disposición, profundidad

- Rajo vs Subterránea
- Afectan tasa de producción, método de manejo de material, diseño de la mina en el depósito.

## ▪ **Condiciones Geológicas e Hidrológicas:** drenaje, mineralogía y petrografía, composición química, estructuras, planos de debilidad, uniformidad, aguas subterráneas e hidrología

- Tanto de mineral como de roca de caja (o huésped)
- Afecta la decisión de usar métodos selectivos o no selectivos





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

▪ **Consideraciones Geotécnicas:** propiedades elásticas, comportamiento plástico o viscoelástico, estado de los esfuerzo, consolidación, compactación, competencia, otras propiedades físicas

- Selección del método (soporte necesario)
- Hundibilidad

▪ **Consideraciones Económicas:** reservas, tasa de producción, vida de la mina, productividad, costo de mina de métodos posibles de aplicar

- Determinan el éxito del proyecto
- Afectan inversión, flujos de caja, periodo de retorno, beneficio



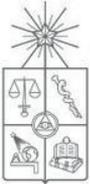


FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

- **Factores Tecnológicos:** porcentaje de recuperación, dilución, flexibilidad a cambios en la interpretación o condiciones, selectividad, concentración o dispersión de frentes de trabajo, capital, mano de obra, mecanización
  - Se busca la mejor combinación entre las condiciones naturales y el método
- **Factores Medioambientales:** control de excavaciones para mantener integridad de las mismas, subsidencia y efectos en superficie, control atmosférico, fuerza laboral
  - No sólo físico, sino que también económico-político-social





# OPEN PIT V/S SUBTERRÁNEA

	Tonelaje Mineral		Tonelaje Total	
	Superficie	Subterránea	Superficie	Subterránea
<b>Metalico</b>	95.30%	4.70%	97.90%	2.10%
<b>No metálico</b>	95.80%	4.30%	96.30%	3.70%
<b>Carbón</b>	61.40%	38.60%	95.90%	4.10%
<b>Total</b>	88.60%	11.30%	96.40%	3.60%

Proporciones de mineral , tonelaje de carbón y tonelaje total procedente de la explotación a cielo abierto y subterránea





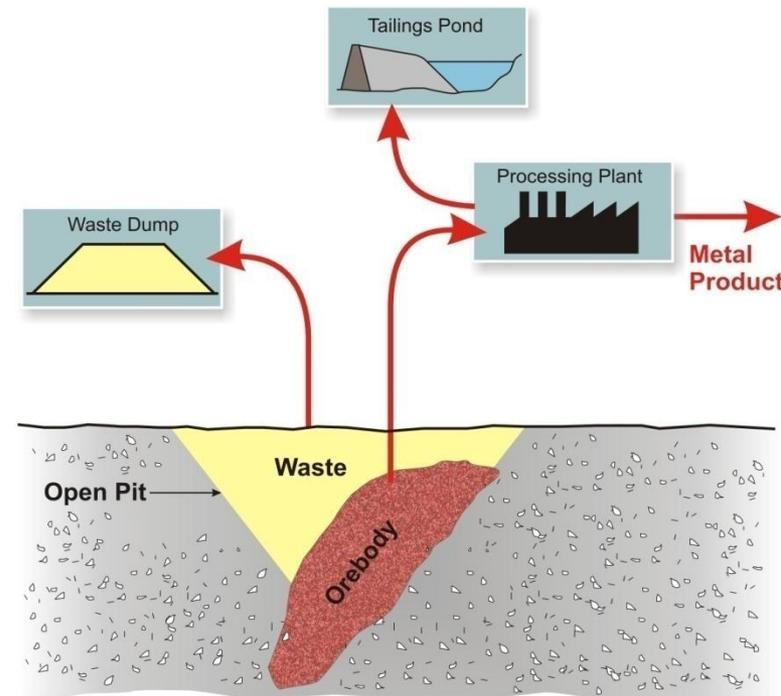
# MINERÍA A CIELO ABIERTO

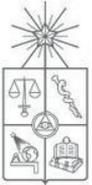
Generalmente aplicado a yacimientos superficiales  
Ritmo de producción >20,000 tpd mineral.

Moderadamente selectivo ya que posee la facilidad de vaciar el estéril en botaderos

Algunos desafíos del diseño

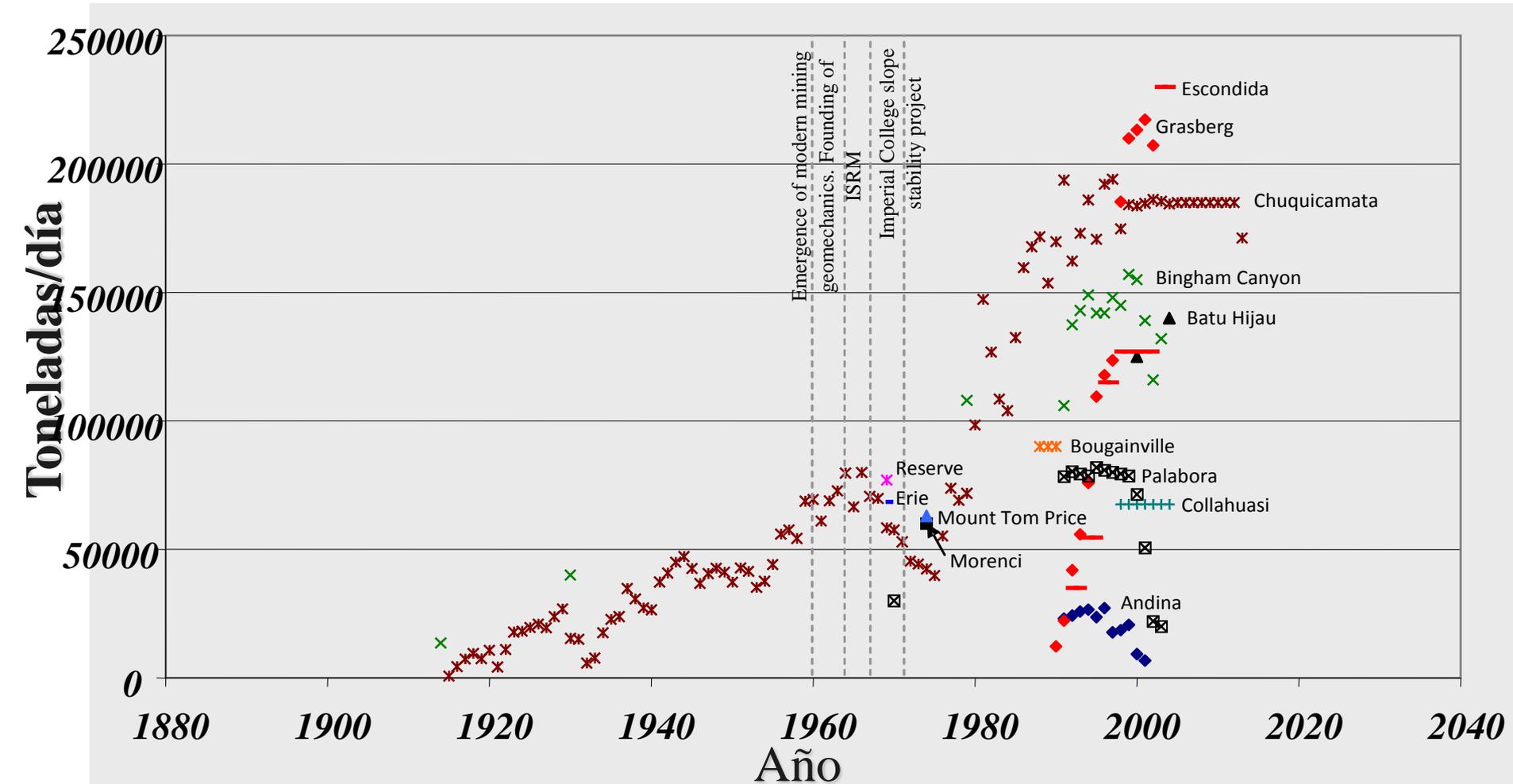
- Estabilidad de las paredes del rajo
- Ubicación de las rampas de acceso y producción
- Diseño de las flotas de equipos
- Manejo de la razón estéril/mineral y su evolución en el tiempo
- Mezcla de minerales provenientes de distintas fases
- Riesgos geotécnicos
- Riesgos de manejo de materiales
- Cuando comenzar la transición a subterránea





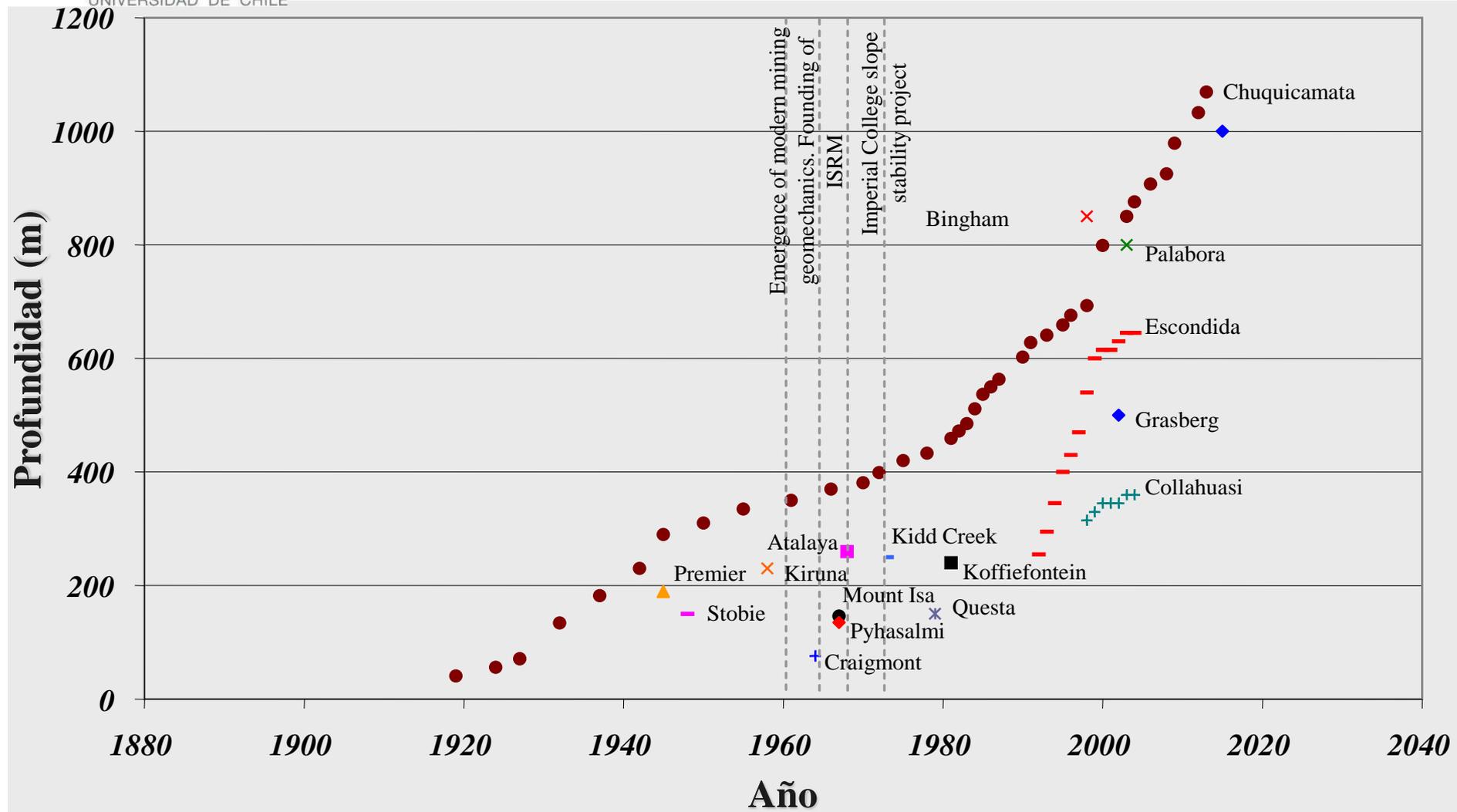
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

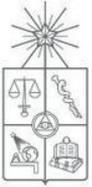
# RITMO DE PRODUCCIÓN EN MINERÍA A CIELO ABIERTO



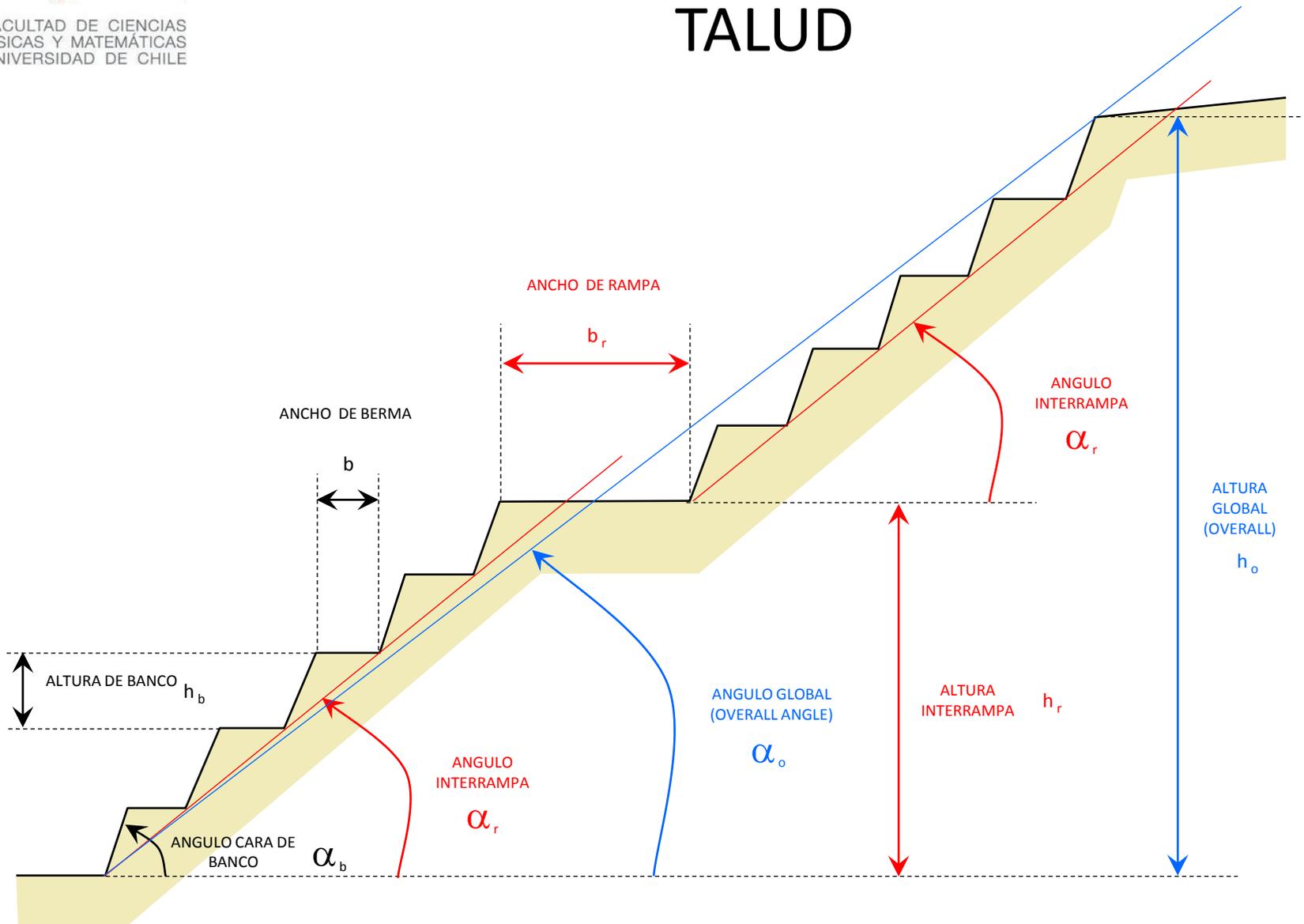


# PROFUNDIDADES DE LOS PITS





# PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE UN TALUD





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# PARÁMETROS TÍPICOS DE DISEÑO EN MINERÍA A CIELO ABIERTO

Parámetro	Rango	Valor típico
RMR <sub>L</sub>	20-40	30
Factor de seguridad	1.0 – 1.3	1.3
Altura de banco simple	10 – 20 m	15 m
Altura de banco doble	25- 35 m	30 m
Altura inter-rampa	50-250 m	140 m
Altura global	100 -900	350 m
Angulo de banco	55°-90°	73°
Angulo inter-rampa	25°-60°	50°
Angulo de talud*	25°-60°	45°
Ancho de berma	8-15 m	11 m
Ancho de rampa	26-40 m	33 m
*Angulo de talud < ángulo inter-rampa (20-25° menor) < ángulo talud (5° menor)		



# PARÁMETROS TÍPICOS DE DISEÑO EN CIELO ABIERTO

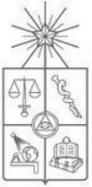
---

<b>Mineral</b>	<b>Altura[m]</b>	<b>Ancho [m]</b>	<b>Talud</b>
<b>Cobre</b>	12 a 18	24 a 38	50° a 60°
<b>Hierro</b>	9 a 14	18 a 30	60° a 70°
<b>No Metálicos</b>	12 a 30	18 a 45	50° a 60°
<b>Carbón (Oeste de EE.UU)</b>	15 a 23	15 a 30	60° a 70°

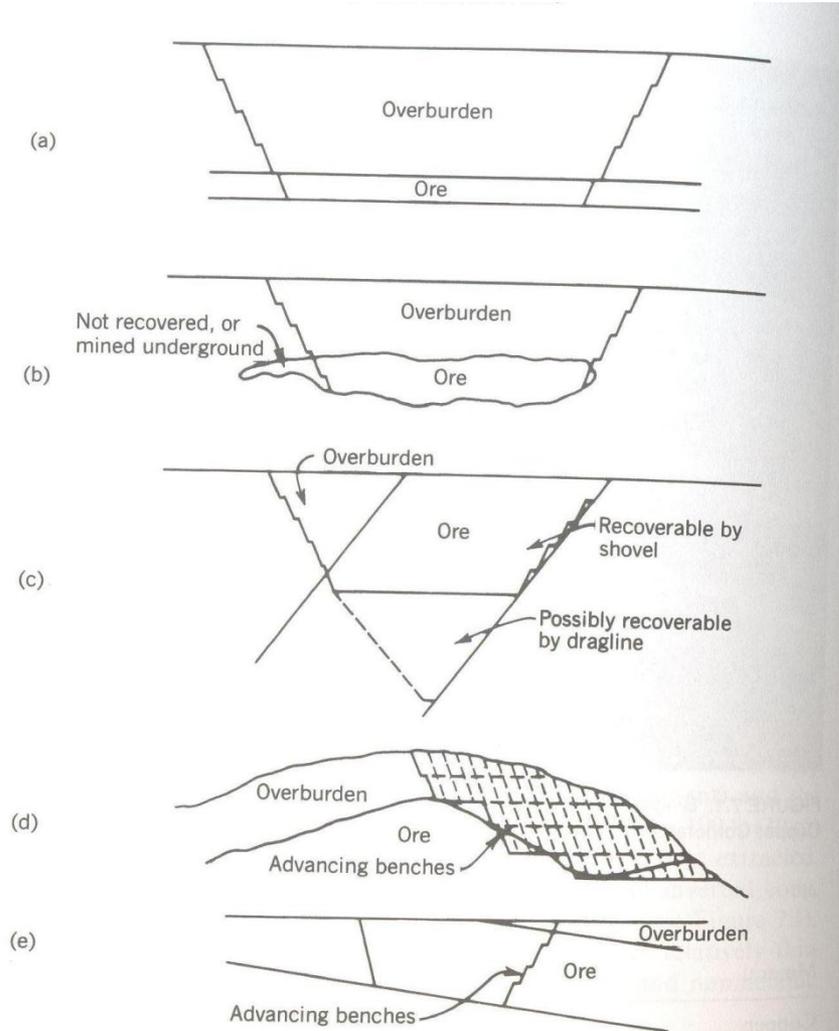
---







# VARIACIONES EN EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO



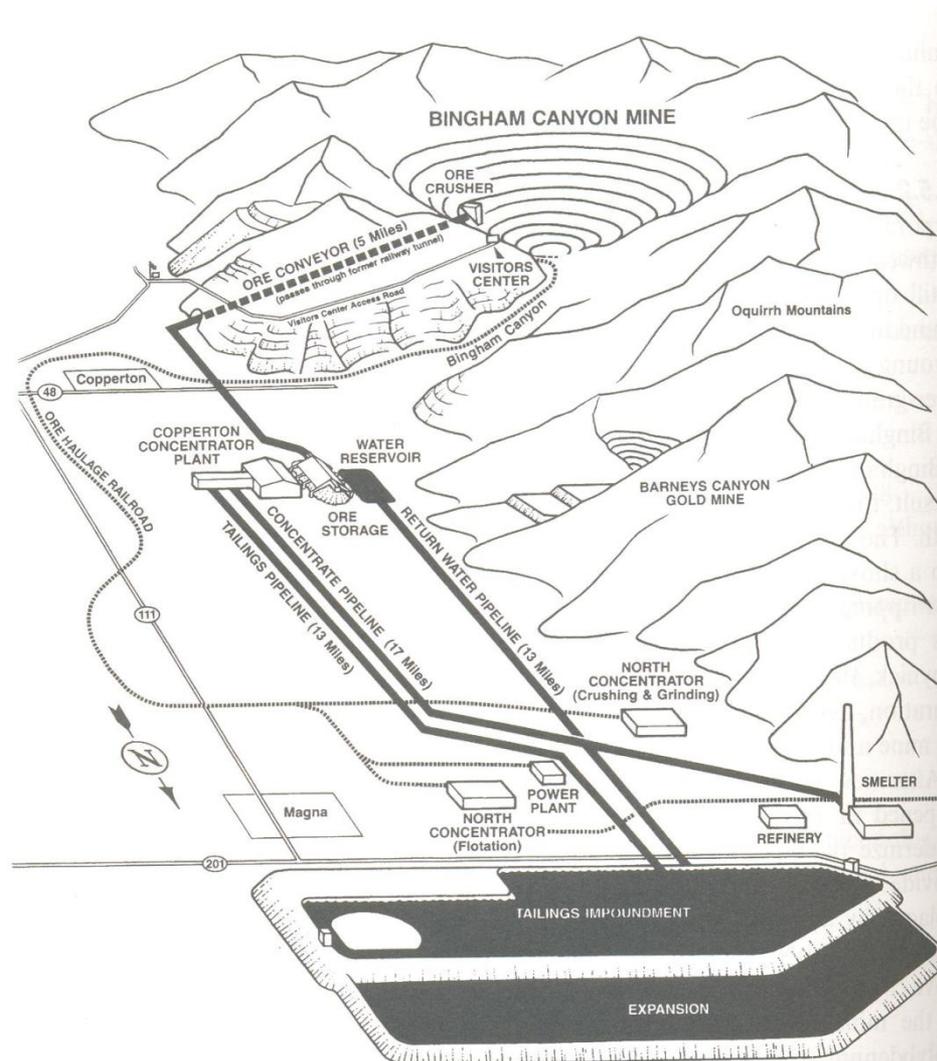
- A) Cuerpos mineralizados tabulares en terreno plano, por ejemplo para hierro
- B) Depósitos masivos en terreno plano, por ejemplo hierro
- C) Filón inclinado, por ejemplo depósitos de cobre
- D) Cuerpos masivos, con relieve alto.
- E) Mantos de potencia considerable, con poca sobrecarga, como por ejemplo depósitos de carbón.



# EXPLORACIÓN A CIELO ABIERTO

## BINGHAM CANYON MINE

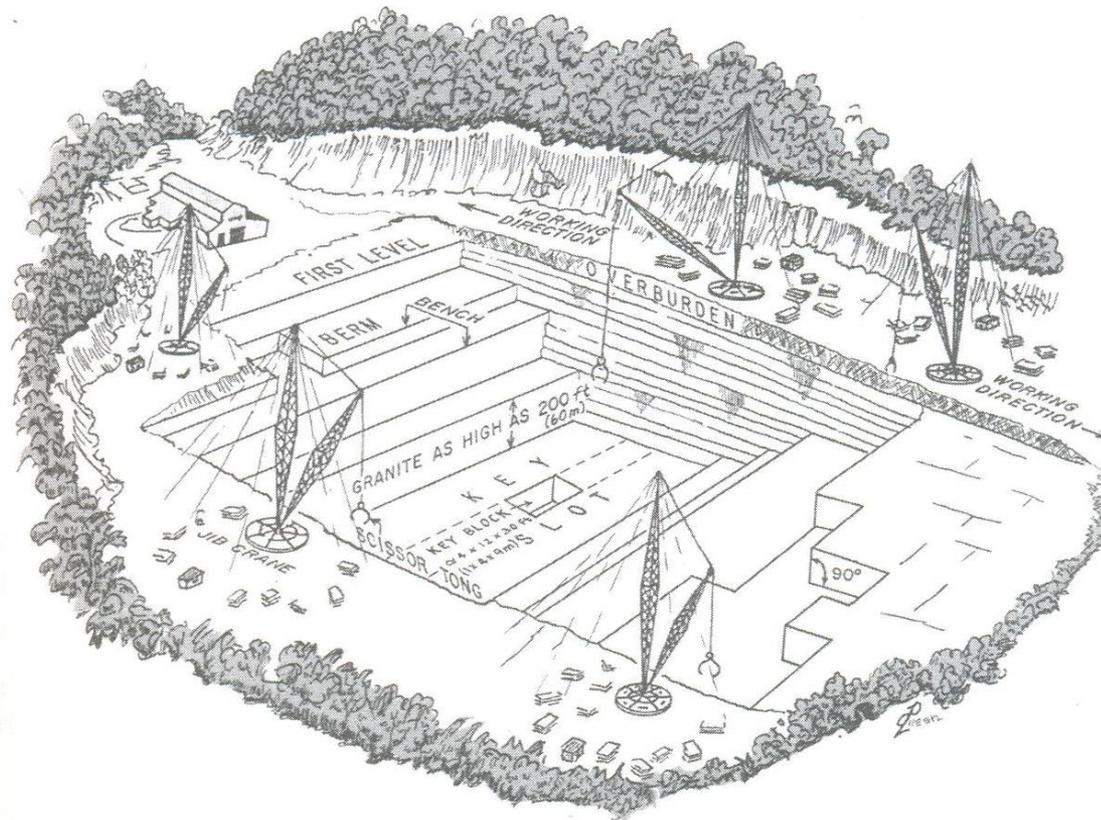
LAYOUT DE LA MINA, CONCENTRADORA , FUNDICIÓN Y REFINERÍA

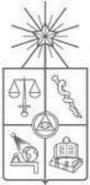




# EXPLORACIÓN COMO CANTERA

## DIAGRAMA DE OPERACIONES EN UNA CANTERA DE MÁRMOL





FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO EN EL MUNDO

## Australia

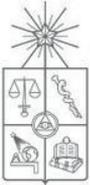
- Super Pit – gold mine near Kalgoorlie, Western Australia.
- Cadia mine – gold and copper mine located near Orange, New South Wales.
- Boddington Gold Mine – Boddington, Western Australia.
- Telfer Mine – Gold and copper mine in Pilbara, Western Australia
- Ranger Mine – Uranium mine east of Darwin in the Northern Territory
- Bulgaria
- Maritsa Iztok Mines – coal mine near Radnevo, Stara Zagora Province, Bulgaria.

## Canadá

- Adams Mine – controversial abandoned mine in Kirkland Lake, Ontario.
- Colomac Mine – gold mine in Northwest Territories, Canada.
- Diavik Diamond Mine – diamond mine in Northwest Territories, Canada.
- Ekati Diamond Mine – diamond mine in Northwest Territories, Canada.
- Pine Point Mine – lead and zinc mine in Northwest Territories, Canada.

## Chile

- Chuquicamata – copper mine.
- Escondida – copper mine.
- Pascua Lama – gold and silver mine in Atacama, Chile (in project).
- Radomiro Tomic – copper mine.



FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO EN EL MUNDO

## Indonesia

- Batu Hijau mine – copper and gold mine on the island of Sumbawa.
- Grasberg mine – located in the mountains of the Papua province.
- Kyrgyzstan
- Kumtor Gold Mine – gold mine in Tian Shan Mountains at 4,000-4,400 m (14,000 ft) above sea level.

## Mongolia

- Boroo Gold Mine – gold mine 110 km (70 mi) WNW of the capital Ulan Bator.

## Namibia

- Rossing – uranium mine.
- Open Cast Mine, Uncovered Coal Seam, Kai Point Coal Mine, New Zealand

## Perú

- Yanacocha – gold mine.
- Toquepala – Porphyry copper.
- Portugal
- Sao Domingos Mine – copper mine.
- Rumania
- Motru Coal Mine – coal mine.
- Rovinari Coal Mine – coal mine.



Geo-Minero-Metalurgia



FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

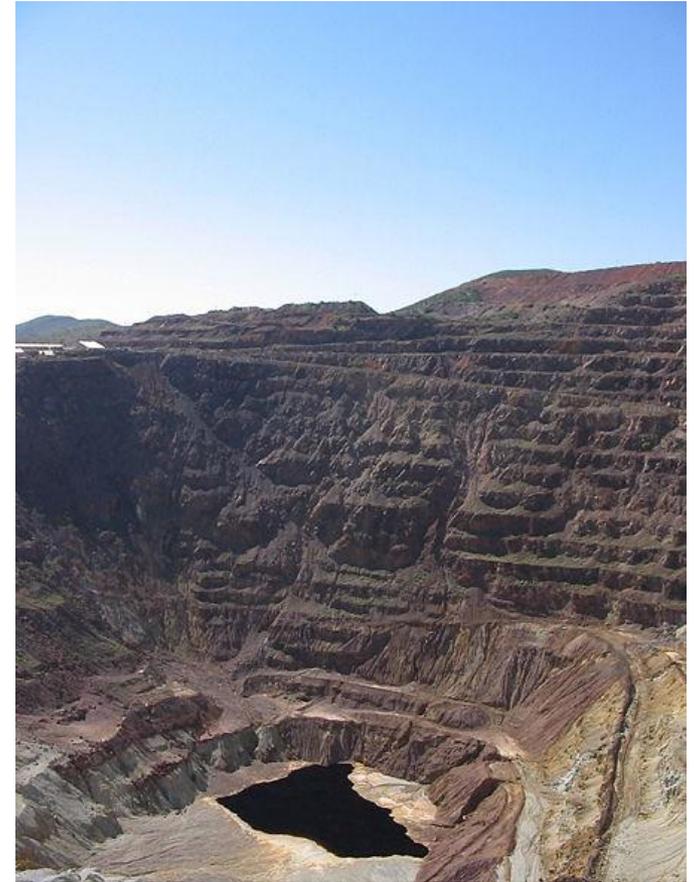
# EXPLORACIÓN A CIELO ABIERTO EN EL MUNDO

## South Africa

- The Big Hole, former diamond mine in Kimberley, more than 1,000 m (3,300 ft) deep; now a museum.
- The Jagersfontein Mine.

## United States

- Berkeley Pit - former copper mine in Butte, Montana; now a toxic lake and tourist attraction.
- El Chino Mine – copper mine in Grant County, New Mexico.
- Hull-Rust-Mahoning Mine – largest open pit iron mine in the world near Hibbing, Minnesota
- Bingham Canyon Mine – copper mine in Salt Lake County, Utah.
- Lavender Pit – copper mine in Cochise County, Arizona.



Lavender Pit – copper mine in Cochise County, Arizona.



FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Guidelines for Open Pit Slope Design, Read J, Stacey, P, 2009, CRC Press
- ✓ Open Pit Mine Planning and Design (2nd edition), Hustrulid, W, Kuchta, 2006, Balkema.
- ✓ Rock Slope Engineering, E Hoek, J.W. Bray, 1981, University Press Cambridge.
- ✓ SME Mining Engineering Handbook, Hartman, 1992.
- ✓ SME Surface Mining, Kennedy , 1990.
- ✓ Introduction Mining Engineering, Hartman.

