

# Sistemas de Transportes en Minería a Cielo Abierto

Andrés Parra  
Noviembre 2015



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# Open-Pit

# Underground

GMM

New  
Material  
Handling  
Systems

Selective  
Methods

B/P Caving

...

Transition

Preparation



# L2P1 Motivación y Objetivos

## Motivación

En la medida de que las operaciones a cielo abierto se vuelven más profundas y envejecen, la complejidad de su operación y sus costos operacionales y de capital se incrementan.

## Objetivo Principal

Desarrollar nuevas metodologías y proveer herramientas que soporten la planificación y diseño de minas a cielo abierto con el fin de agregar valor y robustez en los planes mineros.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# L2P1 Motivación y Objetivos

## Objetivos Específicos

- Comprender nuevas tecnologías para el manejo de materiales y diseñar metodologías y herramientas (software) para optimizar su utilización y combinación.



- Estudiar la integración entre la información geometalúrgica y de operación.
- Transferir los desarrollos metodológicos a la industria en forma de guías, capacitación y herramientas de software.



# L2P1 Metodología

## Investigación

- Modelamiento de sistemas de manejo de materiales.
- Planificación y geomecánica.



Investigación

## Herramientas

- Desarrollo de una herramienta de simulación (DSim).
- Desarrollo de herramientas de planificación.

Aplicación

Transferencia

## Entregables

- Metodológicos: Guías de planificación y diseño. Capacitación en estas metodologías.
- Herramientas de software.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# Geometalurgia



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



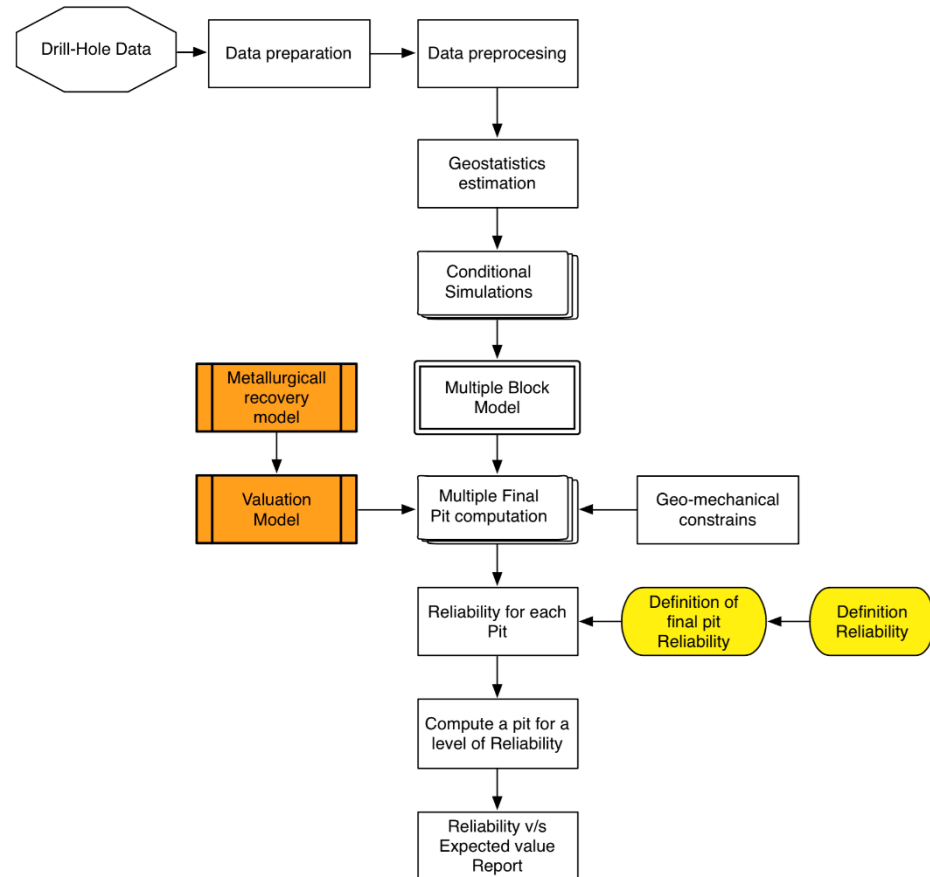
**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

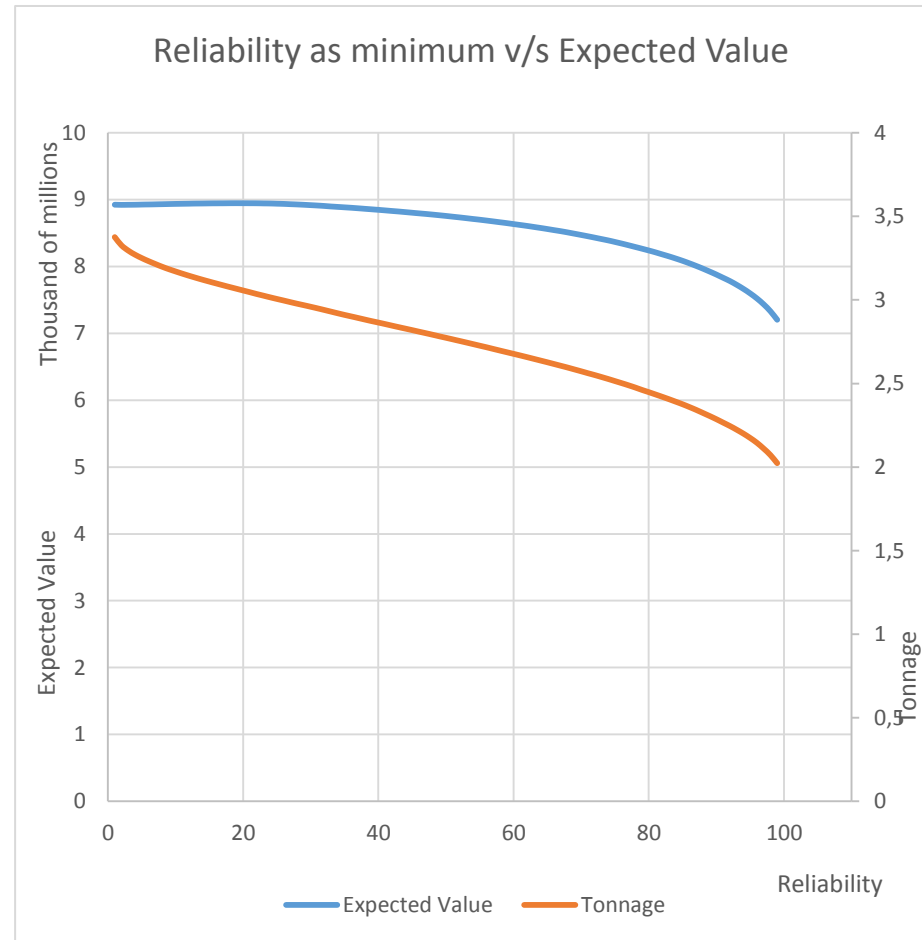
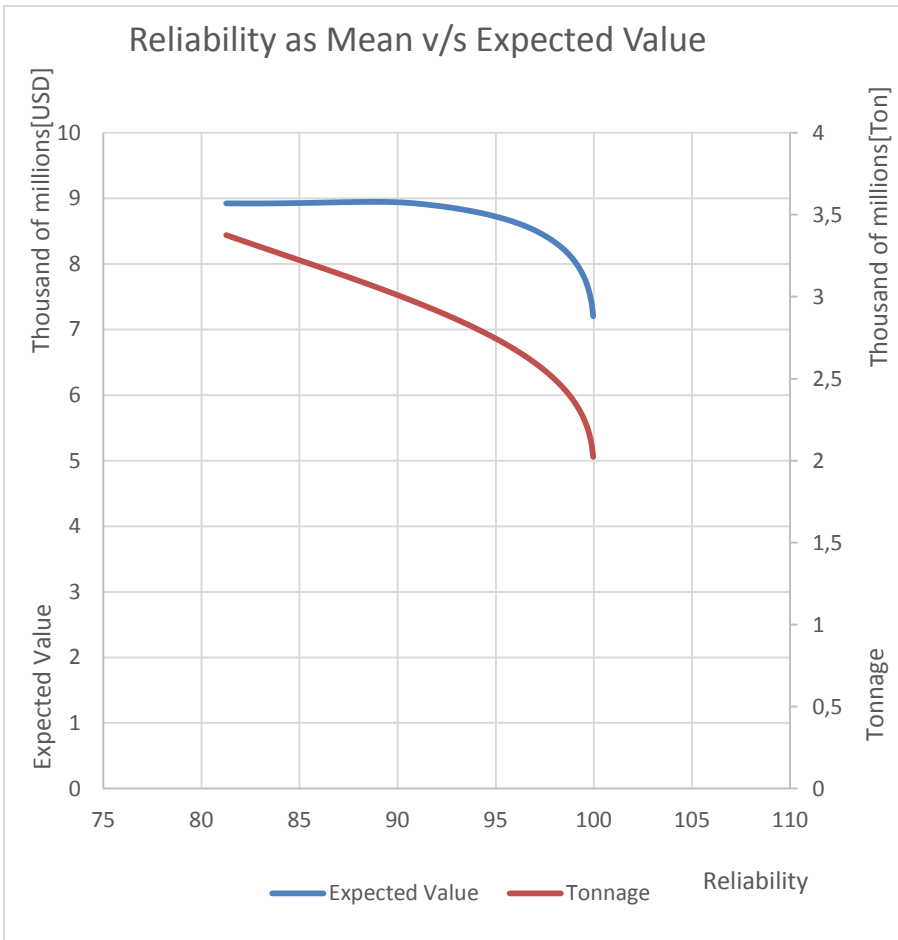
# Incorporación de la Ley en la decisión del pit final

## Metodología

- Se utilizan simulaciones condicionales de la ley para generar escenarios.
- Para cada escenario se calcula el pit final. Bloques que flotan a menudo, son más confiables que otros.
- Se asigna la confiabilidad de un pit, como el promedio de las confiabilidades de los bloques que contiene.



# Tradeoff entre valor esperado de un pit y la confiabilidad de alcanzar este valor





# VPR (Virtual Planning Room)



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# Virtual Planning Room Descripción

## Descripción

- Repositorio inteligente que maneja el histórico de variables y archivos de entrada y salida.
- Integrado con herramientas de planificación Delphos y capaz de interactuar con otras como Whittle.
- Ahorra tiempo de manejo de datos.
- Facilita análisis de sensibilidad y corridas múltiples con escenarios.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# VPR – Prototipos y conectividad con otros software

## Versión 0.5 (2015)

- Conectividad con herramienta de planificación DOPPLER de Delphos.

**VIRTUAL PLANNING ROOM**

**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

Ingreso a su cuenta

Recuérdame

[Olvidaste tu contraseña?](#)

## Versión 1.0 (2016)

- Incorporación de otras herramientas para interactuar con la plataforma.

**Corridas**

Todos las corridas registradas en el sistema

50 registros por página

Estado ▲	Tipo ↕	Nombre ↕	Fecha
🔒	★	P1V1C1	Plan 1 Version 1 Corrida 1
🔒	★	P1V1C2	Plan 1 Version 1 Corrida 2
🔒	🏆	P1V1C3	Plan 1 Version 1 Corrida 3
🔒	★	P2V1C1	Plan 2 Version 1 Corrida 1



# Tecnologías Específicas de Manejo de Materiales



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# Introducción

- En Minería a Cielo Abierto, los costos asociados al transporte corresponden a aproximadamente a un **45% del costo de operación mina** en un sistema convencional pala – camión, y entre un **40% y un 50% del CAPEX**.

En forma adicional al alto costo asociado al transporte, es importante destacar los siguientes aspectos:

- Las leyes de los minerales tienen una tendencia cada vez más decreciente.
- La profundidad de algunas minas operadas en la actualidad están alcanzando más de 1000 metros.
- Escasez y costos cada vez más altos para neumáticos.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# Objetivos

## Objetivo General:

- Establecer una metodología que permita entender de manera conceptual las variables que se deben incorporar en el proceso de planificación minera al introducir diferentes sistemas de transporte de materiales en minería a cielo abierto.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# IPCC (In Pit Crushing and Conveying)

El sistema In Pit Crushing and Conveying (IPCC) puede tener 4 variantes:

Chancador Fijo: Chancador giratorio o de mandíbula.

Chancador Semi-Fijo: Chancador giratorio o de mandíbula.

Chancador Semi-Móvil: Chancador de rodillos o sizer.

Chancador Móvil: Chancador de rodillos o sizer.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# IPCC (In Pit Crushing and Conveying)

El sistema In Pit Crushing and Conveying (IPCC) puede tener 4 variantes:

Chancador Fijo: Chancador giratorio o de mandíbula.

Chancador Semi-Fijo: Chancador giratorio o de mandíbula.

Chancador Semi-Móvil: Chancador de rodillos o sizer.

Chancador Móvil: Chancador de rodillos o sizer.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



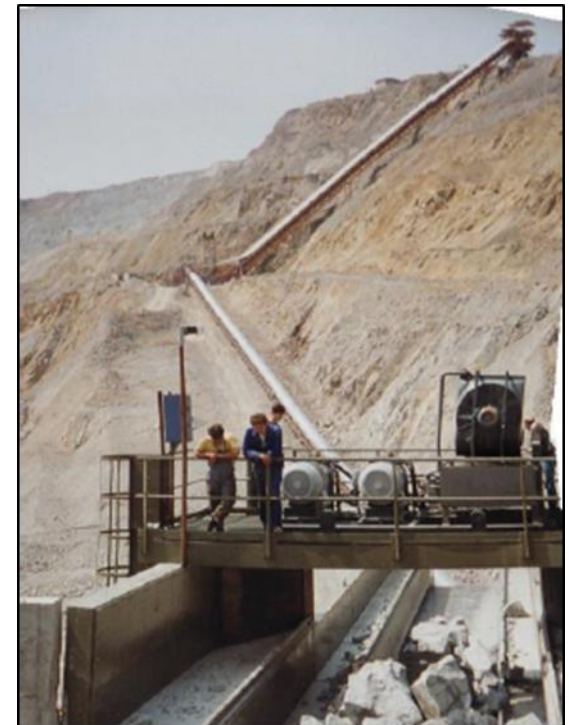
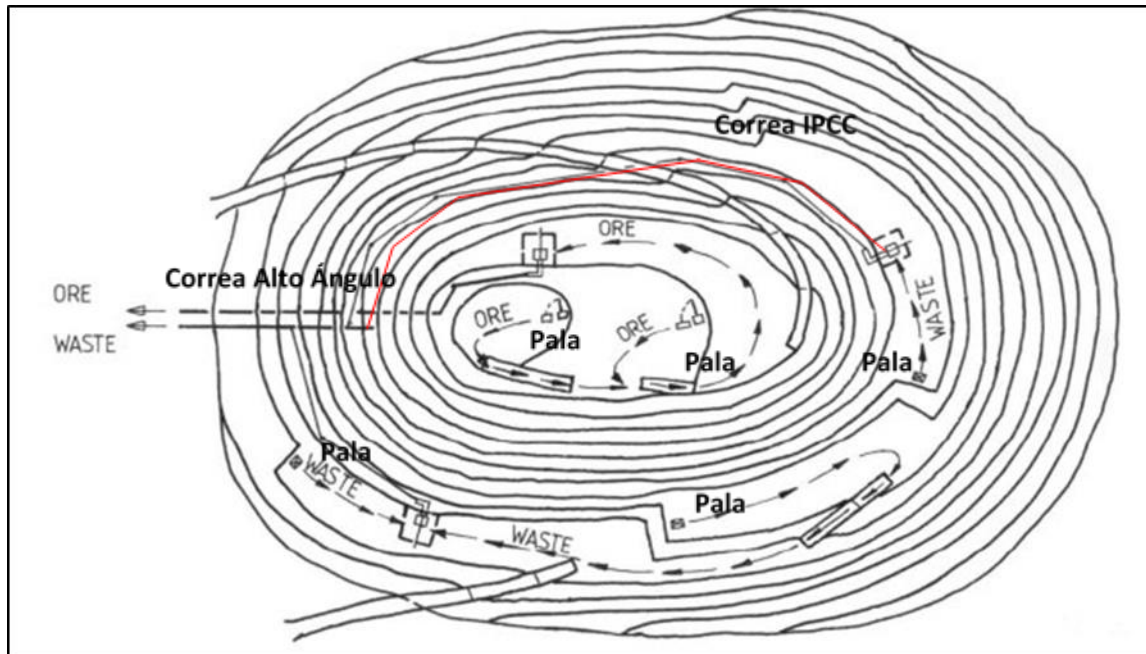
**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER



# HAC Correas de Alto Ángulo

Una correa de alto ángulo puede ser definida como aquella correa que transporta material a lo largo de una pendiente que excede la estabilidad dinámica del material transportado.



# Camiones Autónomos

Este sistema recién comenzó a utilizarse a gran escala el año 2008, en Gaby. Luego de esto, la implementación de camiones autónomos ha tenido gran aceptabilidad y ha empezado a implementarse en otras minas a rajo abierto.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

# Sistema de Transporte Asistido por Trolley

Este sistema consiste en que el camión se conecta a una línea de corriente a través de un pantógrafo.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

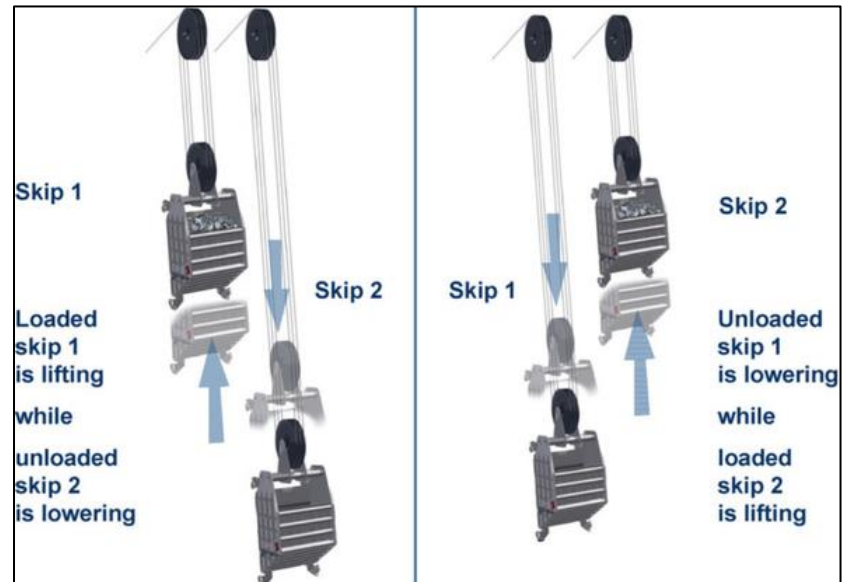


**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

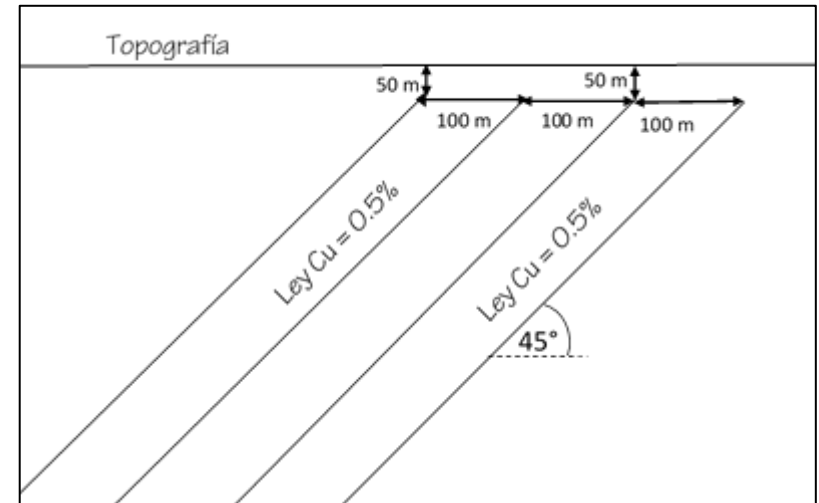
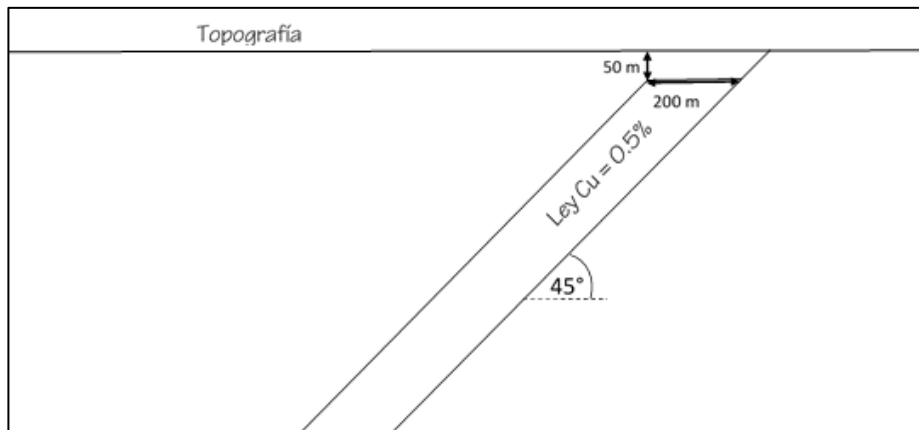
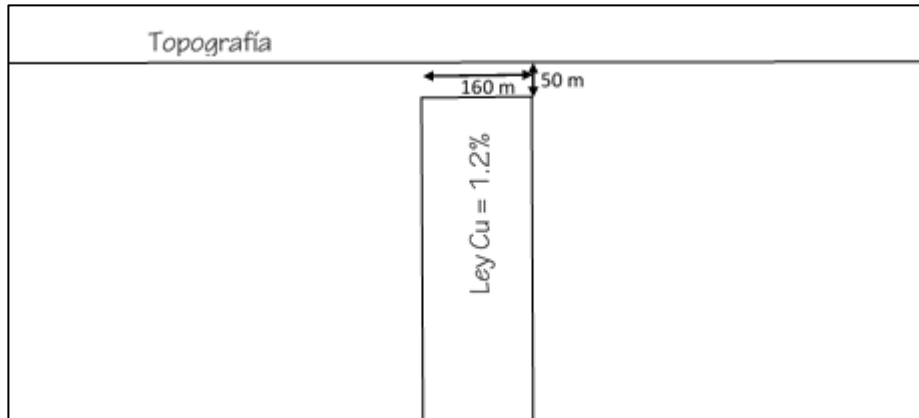
# Otras Tecnologías

- Ascensores para camiones
- Transporte de material a través de contenedores.
- Excavadora de ruedas con balde.
- Tubería articulada en piso para transporte de arenas bituminosas.

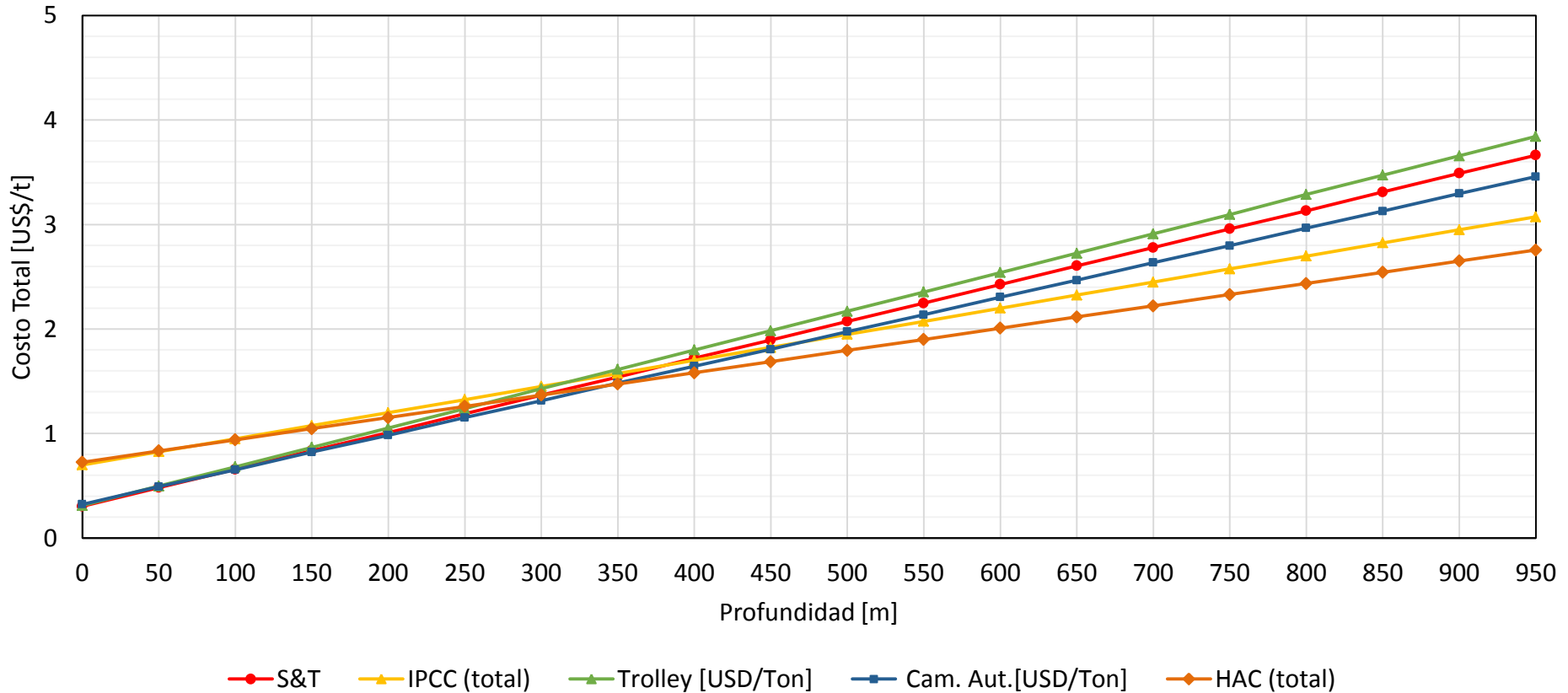


# Ejemplos de Cuerpos Mineralizados

La idea de estos cuerpos mineralizados es poder analizar la aplicabilidad y conveniencia de los distintos sistemas de manejo de materiales en minería a cielo abierto.

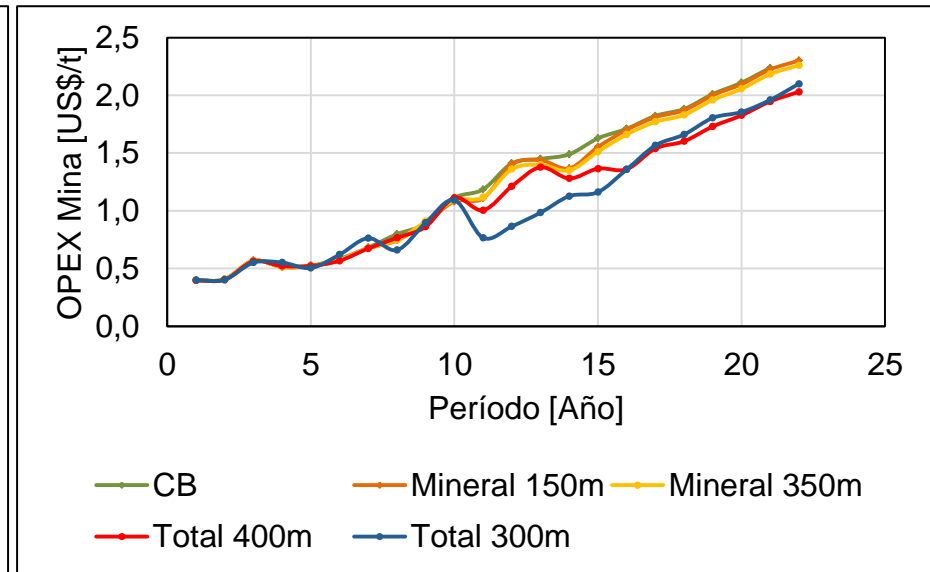
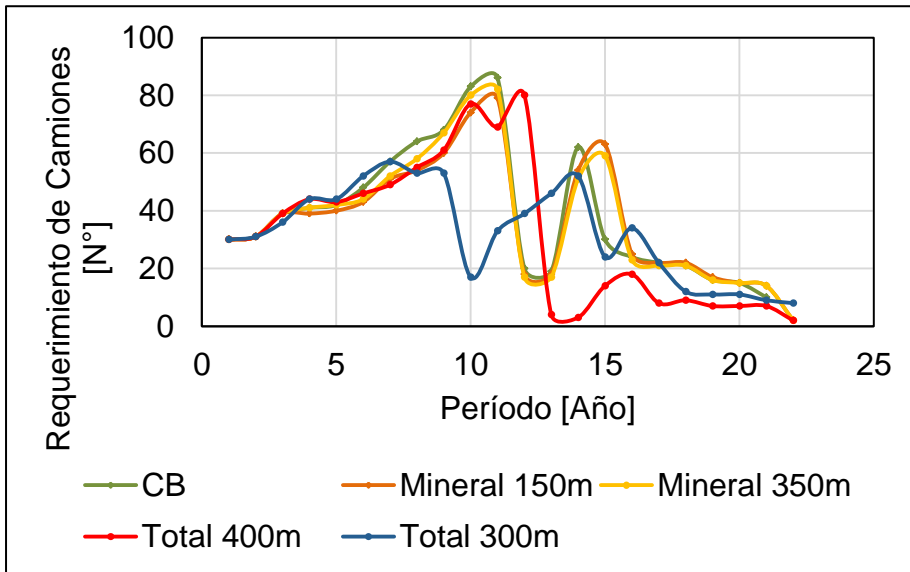


# Análisis de Costos



A partir del análisis de costos se puede observar que de acuerdo a los precios del petróleo y de la energía utilizados, no resultaría conveniente utilizar el sistema de Trolley.

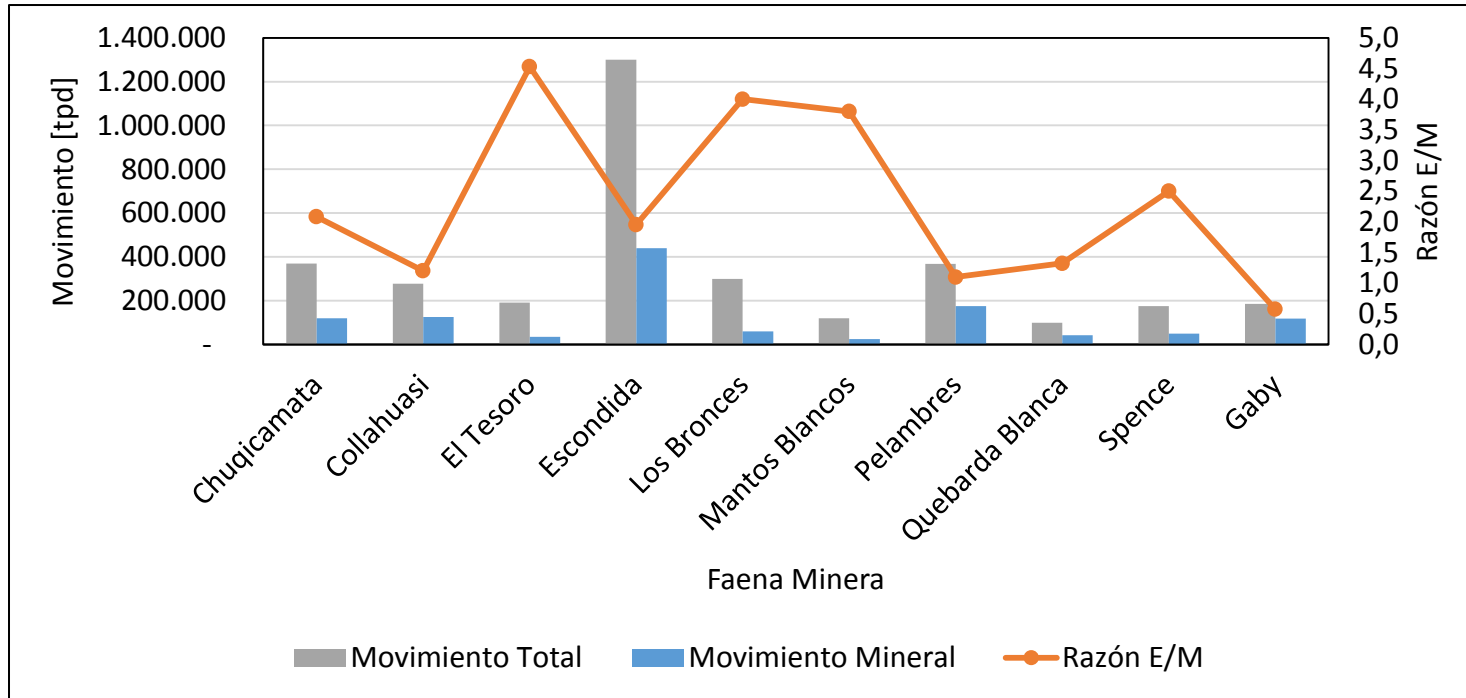
# Sistemas de Manejo Materiales



- La reducción de los camiones y del costo operacional en el caso de localizar el chancado para mineral y lastre a una profundidad de 300m es mayor con respecto a los otros casos.

# Benchmark Minas Chilenas

A continuación se presenta un Benchmark hecho para minas chilenas que incluye movimiento total, movimiento de mineral y razón estéril mineral.





# Simulación para sistema HAC (Manto 1000m x 200m)



## Pasos siguientes

- Análisis de CAPEX y OPEX para el Sistema HAC.
- Reuniones con los fabricantes de distintas tecnologías.
- Para los camiones autónomos, se quiere hacer una visita a terreno para obtener parámetros reales de operación.
- Estamos en un punto en que podemos aplicar conceptos y tecnologías para evaluar sistemas de manejo de materiales que incluyen soluciones en términos de productividad, costos, e impactos en el plan.



**fcfm**

Ingeniería de Minas  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE



**DELPHOS**  
Laboratorio de Planificación Minera

**amtc**  
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER