



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



Herramientas de diseño para la mediana minería subterránea

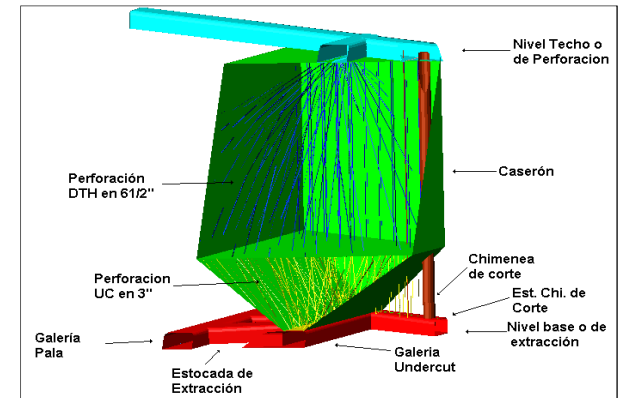
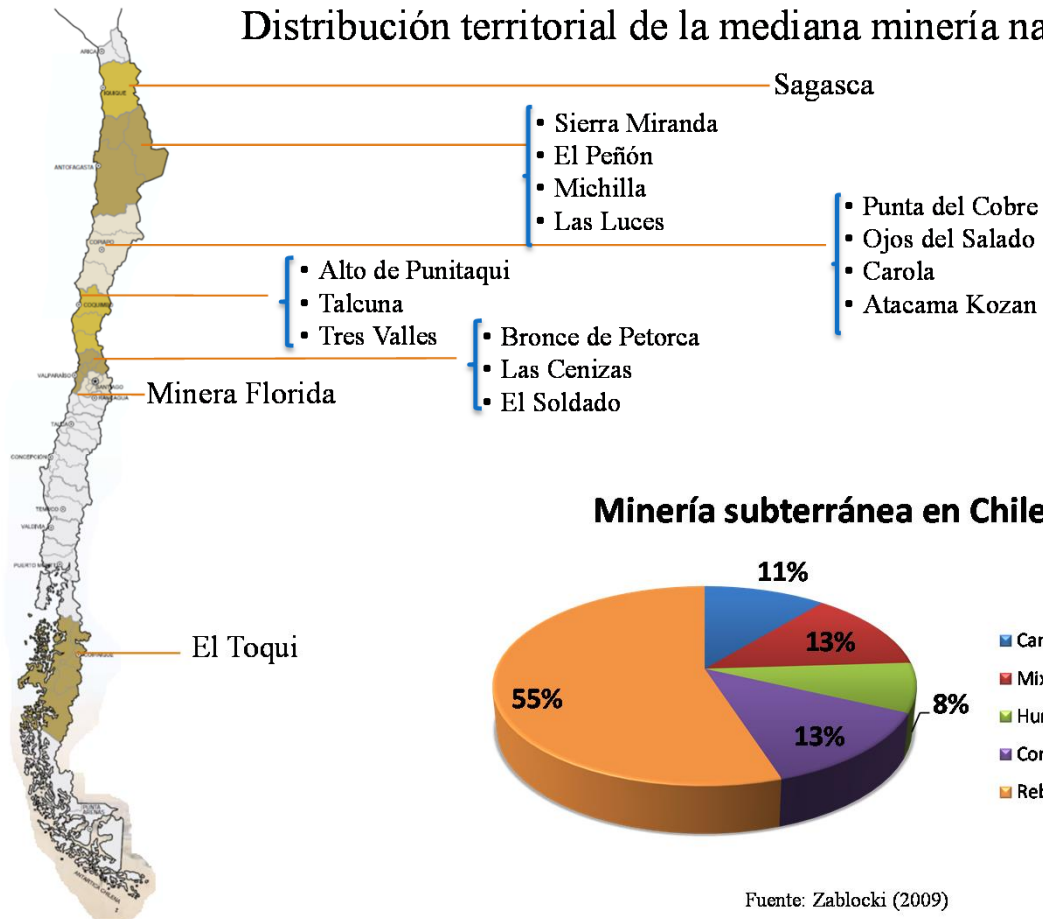
Javier Vallejos PhD
Profesor asociado Departamento de Ingeniería de Minas
Investigador titular AMTC
Universidad de Chile

Santiago
Agosto 2014

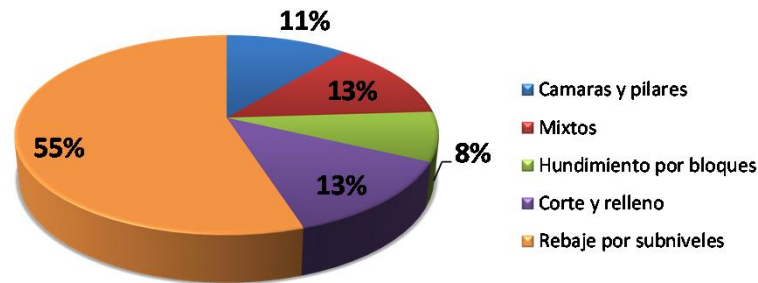
Oportunidad

Número significativo de minas subterráneas en Chile que utilizan caserones como método de explotación

Distribución territorial de la mediana minería nacional



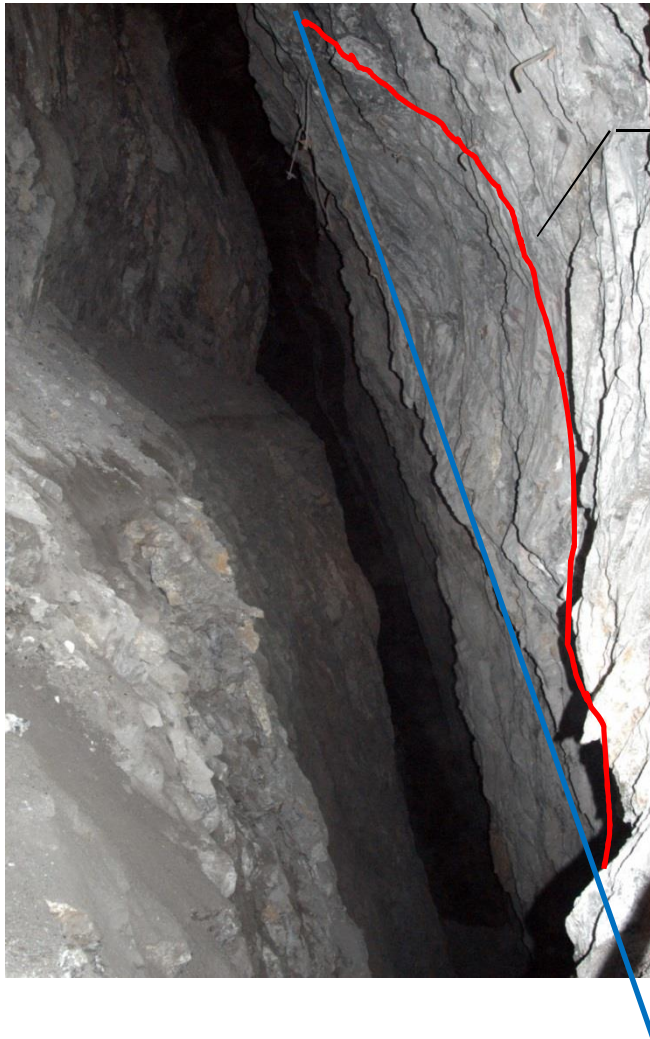
Minería subterránea en Chile



Fuente: Zablocki (2009)

Problemática

Caserones



Dilución
secundaria

Requerimientos del diseño de explotación :

- “ Debe asegurarse la estabilidad de las cajas para evitar dilución
- “ Debe definirse el tamaño del caserón para evitar que colapse

Problemática

Pilares/Puentes

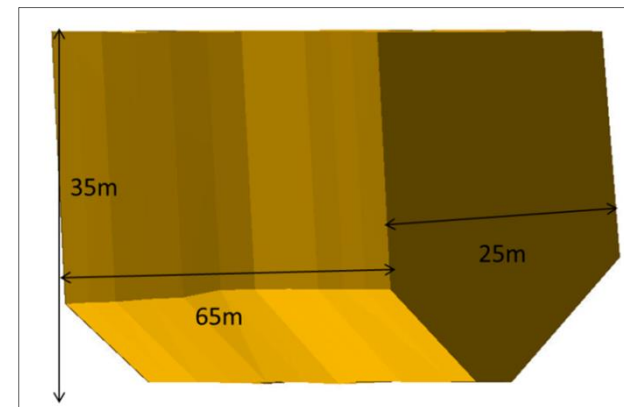
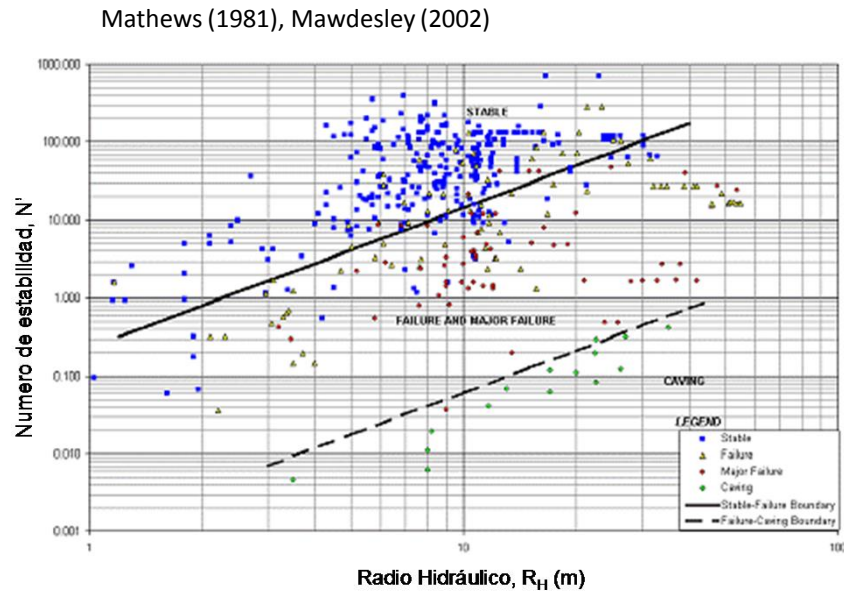


Debe definirse el tamaño de los puentes/losas para separar la nueva excavación de la cavidad existente

Problemática

Herramientas actuales de diseño basadas en la experiencia y prácticas operacionales de Canadá y Australia no necesariamente válidas para la realidad Chilena

Mediante métodos gráficos se establece la condición de estabilidad de los caserones diseñados.



Desafío

- ” Aumento de seguridad y productividad
- ” Disminución de dilución, sobre-excavación y costos
- ” Generar investigación de excelencia para el sector de la mediana minería subterránea

Herramientas de diseño

- “ Métodos analíticos
- “ Métodos observacionales
- “ **Métodos empíricos**
- “ Modelación numérica

Métodos empíricos

El diseño se realiza con gráficos de estabilidad que incorporan una relación entre un índice de estabilidad del macizo rocoso y el tamaño/forma de la excavación/pilar expuesto

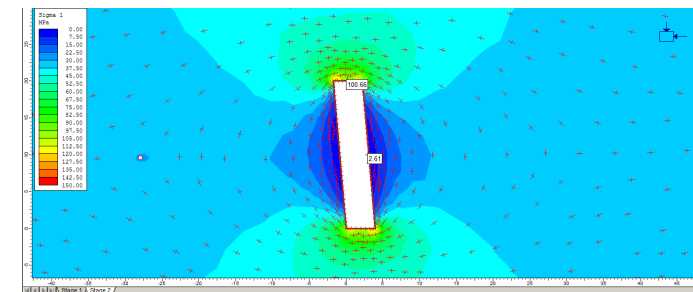
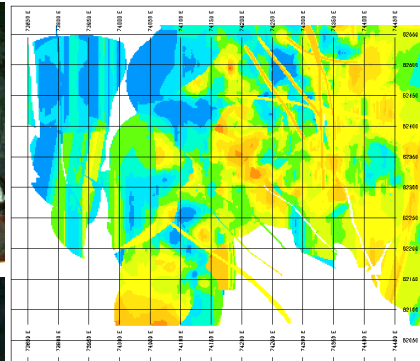
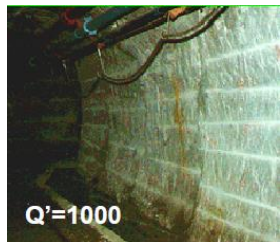
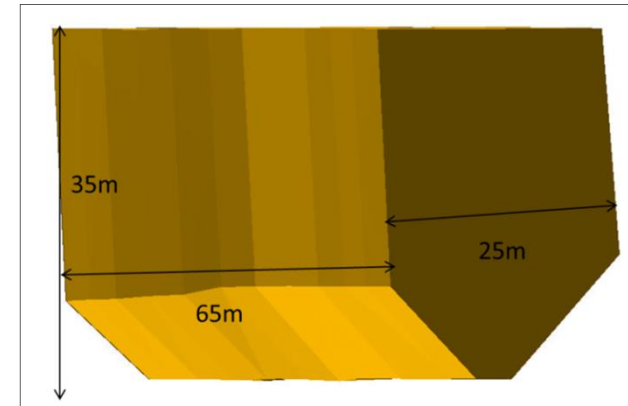
Son métodos no rigurosos, simples de usar

Herramientas de diseño

Métodos empíricos

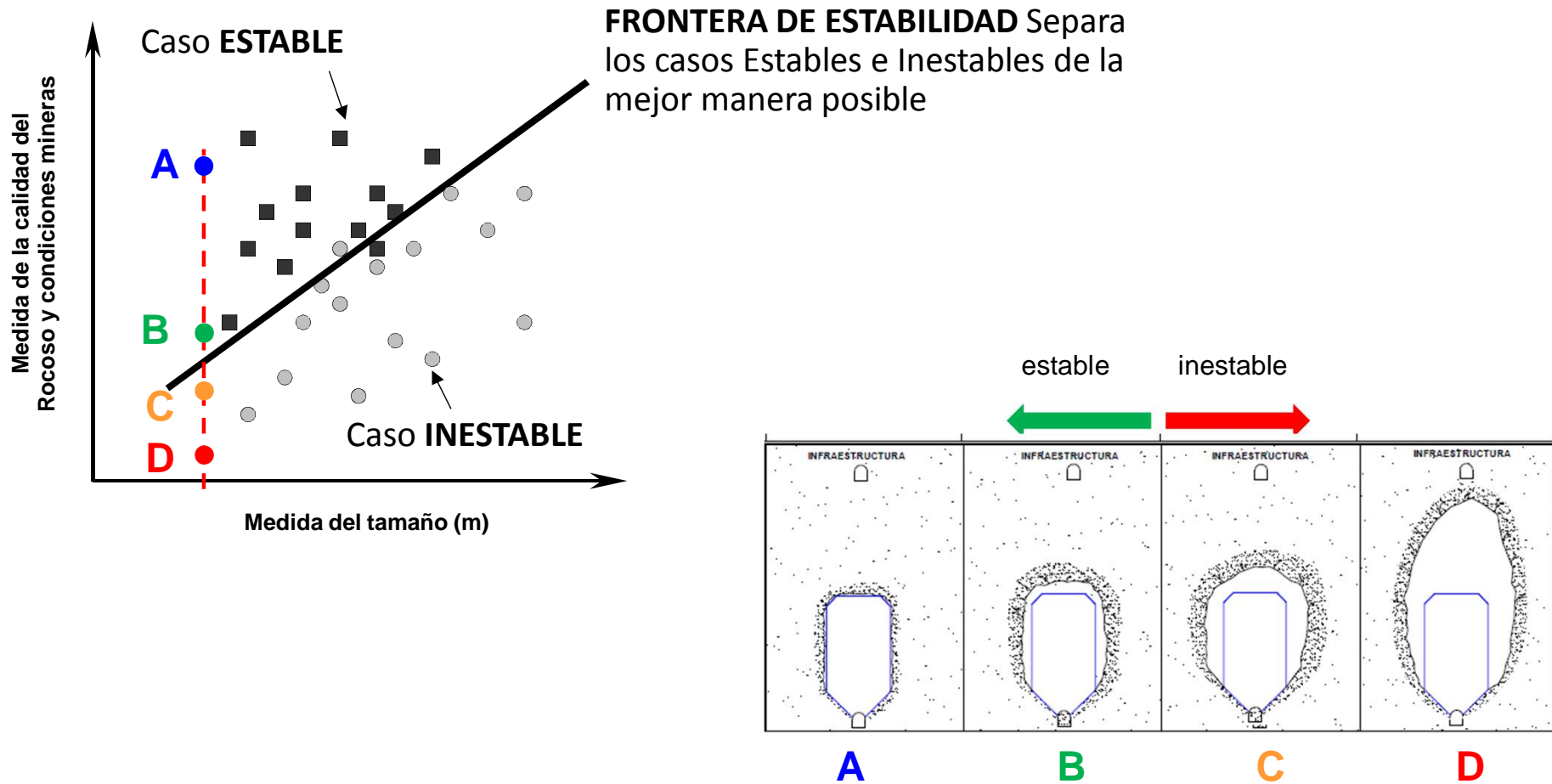
Los Factores que controlan el diseño

- . Tamaño, forma y orientación.
- . Resistencia de la roca y estructuras.
- . Esfuerzos.



Herramientas de diseño

Métodos empíricos



Proyecto

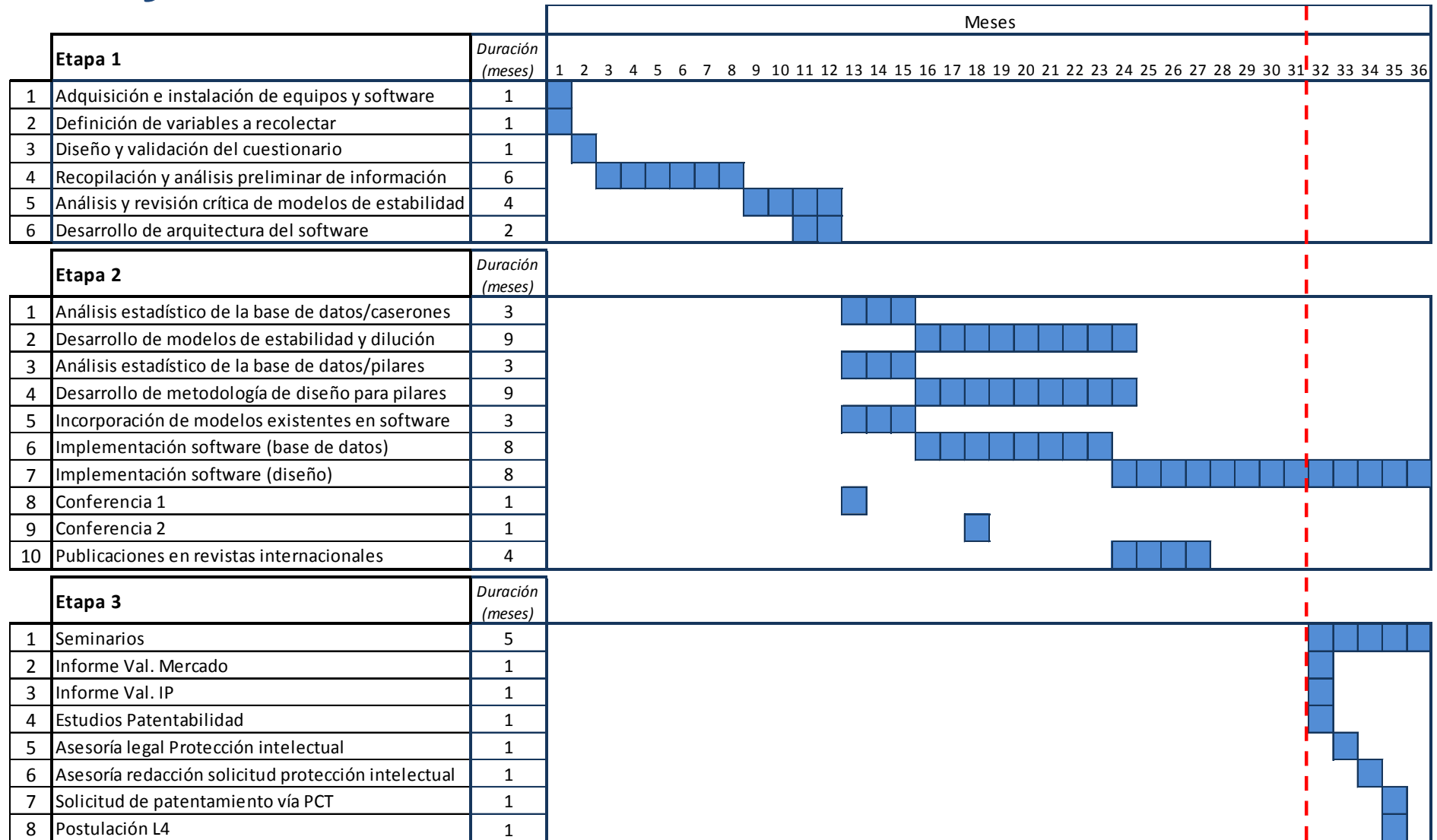
Objetivos

- “ Desarrollar herramientas de diseño para la mediana minería subterránea en Chile, que reflejen las condiciones geotécnicas/geológicas, y las prácticas operacionales (perforación y tronadura)
- “ Implementar las herramientas en un prototipo tecnológico

Inicio: Enero 2012

Duración: 3 años

Proyecto



Proyecto

Financiamiento

- “ Innova Corfo: 75%
- “ Minera Ojos del Salado: 19%
- “ Minera Meridian-El Peñon: 6%



Proyecto

Aportes no pecuniarios (datos, información)

- “ El Soldado
- “ Minera Florida
- “ Minera Carola

Proyecto

Equipo de trabajo

- Javier Vallejos, Ph.D.
Geomecánica/Diseño Minero - Director/Investigador principal
- Raúl Castro, Ph.D.
Diseño Minero - Director alternativo/Investigador principal
- Nelson Morales, Dr.
Planificación Minera
- Memoristas/Tesistas en Ing. de Minas-Universidad de Chile
 - Yonathan Molina
 - Cristián Castro
 - Maria Jose Yrrarazabal
 - Francisco Marco
 - Tania Galarce
 - Jose Fuenzalida
 - Alejandra Gomez
 - Ernesto Perez
- Grupo desarrollador Laboratorio de Geomecánica y Diseño Minero
 - Oriana Miranda
 - Cristian Gary

Proyecto

Resultados

- “ Benchmark operacional y de diseño de faenas Chilenas que utilizan el método Sub-Level Stopping
- “ Base de datos y modelo de esfuerzos in-situ
- “ Base de datos y modelo de estabilidad de pilares
- “ Bases de datos y modelo de dilución de caserones



Plataforma tecnológica

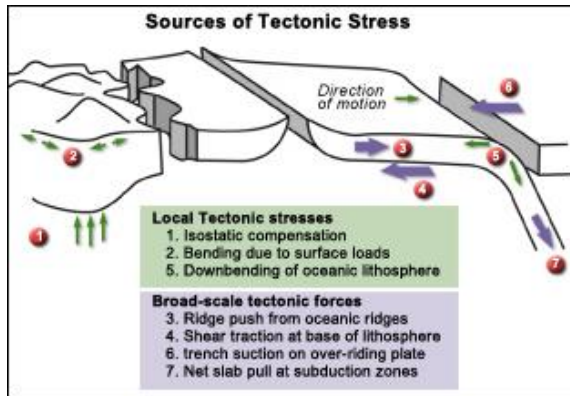


Benchmark operacional

Minería por caserones empleados en Chile (7 faenas)

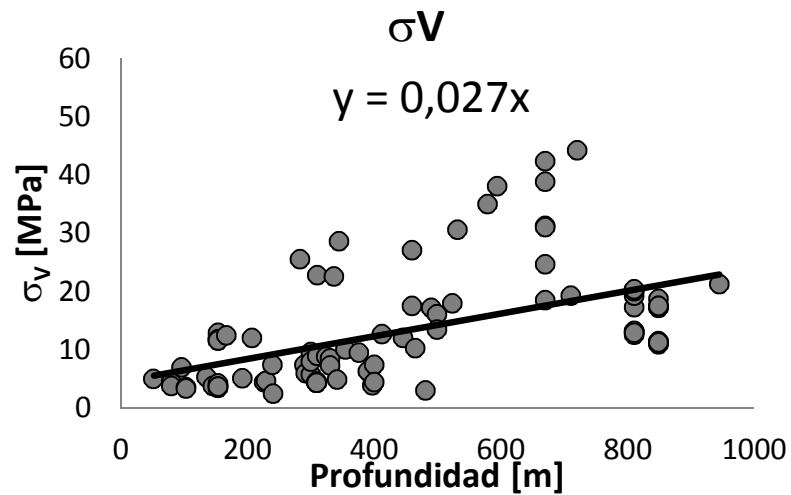
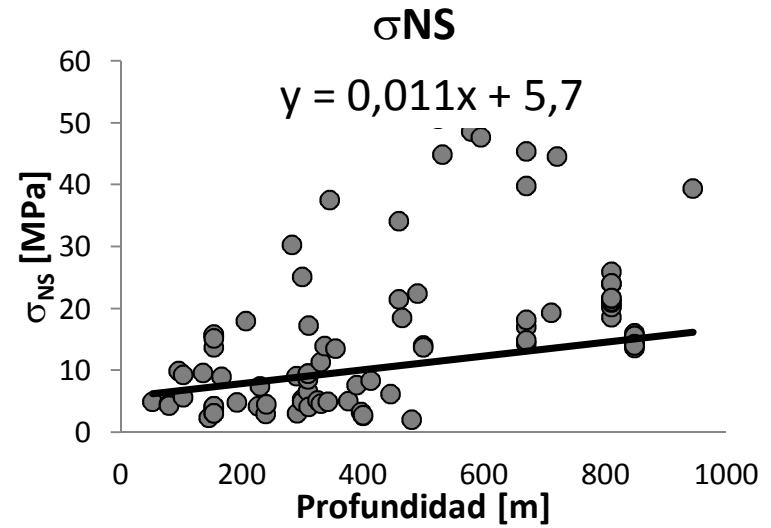
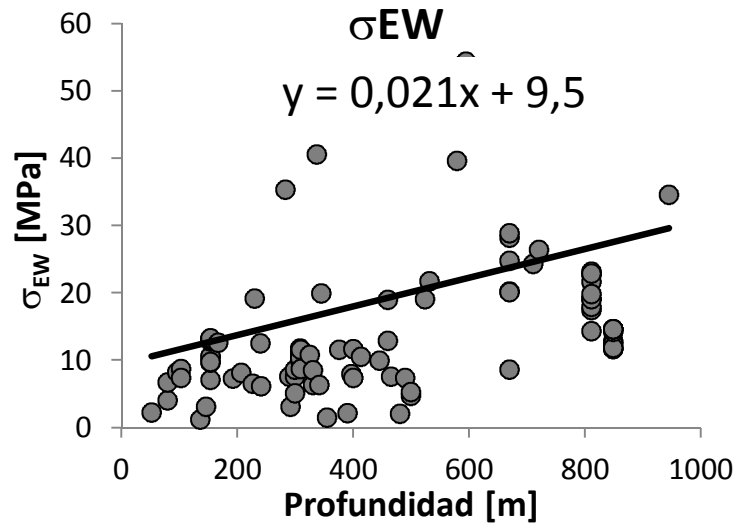
Parámetro		Valor Típico	Comentario	
INFORMACIÓN GENERAL Y DE DISEÑO	Ritmo de producción [tpd]	4500 tpd	Ritmo mínimo: 3800 tpd Ritmo máximo: 6700 tpd	
	Productividad [ton/hombre]	9.5 tpd/hombre	Puede variar entre 8.4 y 10.7 tpd/hombre	
	Acceso	Tipo	Rampa	100% de las minas utiliza rampa para acceso
		Sección	5 x 4 m	Sección mínima 4.5x4.2 m - Sección máxima: 6x5m
		Pendiente	12%	Puede variar ±20%
	Estocada de carguio	Sección	4x4 m	Puede incrementar pero no disminuir
		Largo	12 m	Puede variar entre 11m y 17m
		Ángulo	60°	Puede variar entre 40° y 70°
		Distancia	15 m	Puede variar entre 14m y 17m
	Galería Producción	Sección	5 x 4.5 m	Puede incrementar pero no disminuir
	Galería Perforación	Sección	5x4 m	Puede incrementar pero no disminuir
	Galería Undercut	Sección	4x4 m	Puede incrementar pero no disminuir
	Sistema de traspaso		Estocada de traspaso	40% de minas prefiere pique de traspaso y estocadas
	Índices	Ventilación	80 cfm/tpd	Puede variar un 20%
		Metros perforados por disparo	170	Puede variar dependiendo de la sección
		Metros avance por disparo	3.4	Puede variar ±10%
		Eficiencia de disparo	85	Puede incrementar en un 8%
Perforación LBH		28 ton/m	Puede variar entre 7.6 y 27 ton/m	
Perforación UC		7 ton/m	Puede variar ±15%	
Factor de carga	Avance	48 kg/m	Puede variar ±10%	
	UC	320 g/ton	Puede variar ±10%	
	LBH	240 g/ton	Puede incrementarse hasta 300 g/ton	
Instrumentación	Los más comunes sistemas de instrumentación topográfica son mediante I-Site y CMS			

Mediciones de esfuerzos



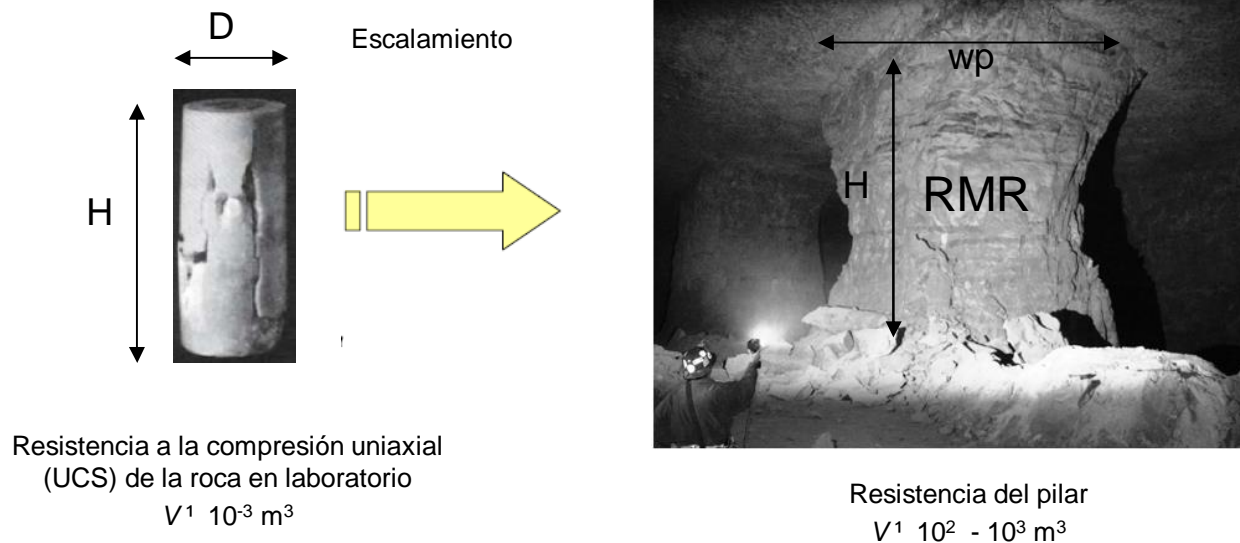
	País	Datos
Mina 1	Perú	13
Mina 2	Argentina	1
Mina 3	Chile	27
Mina 4	Chile	49
Mina 5	Chile	3
Mina 6	Chile	153
Mina 7	Chile	2
Mina 8	Chile	4
Mina 9	Chile	47
Mina 10	Chile	37
Mina 11	Chile	3
Mina 12	Chile	4
Total		343

Modelo de esfuerzos in-situ



Herramientas para el diseño de pilares

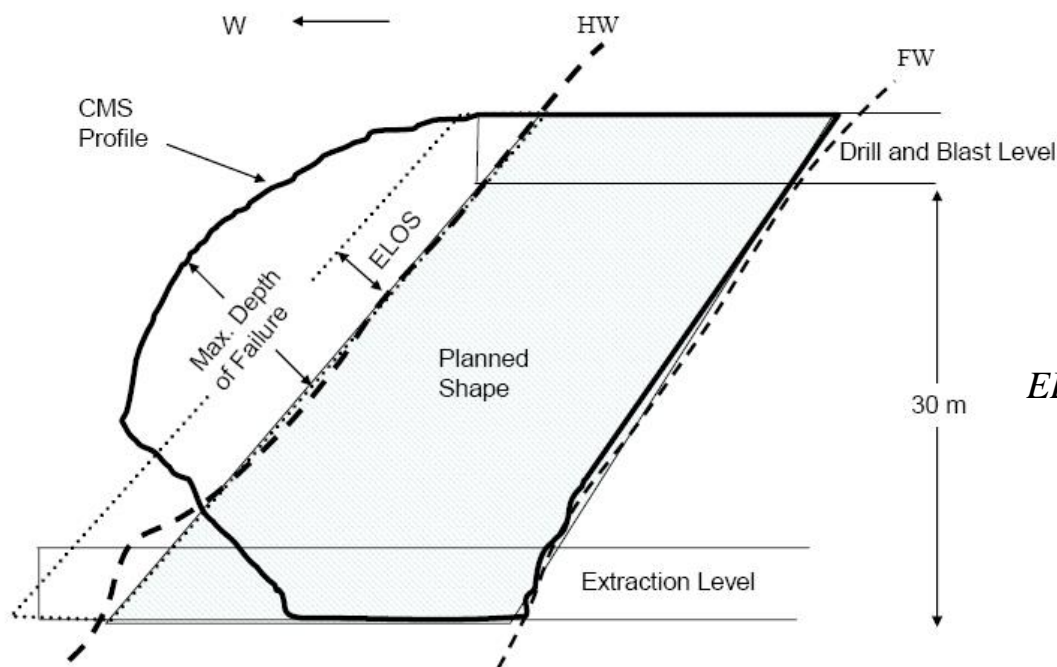
- “ 402 casos históricos recolectados de minería por caserones abiertos y Room and Pillar de operaciones de USA, España, Canadá, Sudáfrica, Suecia e India
- “ Nueva formula de mejor ajuste que las actuales, que incorpora escala, forma y calidad del macizo rocoso



Herramientas para el diseño de caserones

Actualización de guías para la estimación de dilución

- “ 1107 casos históricos recolectados de minería por caserones abiertos y Bench and Fill de operaciones de Canadá, Australia y Kazakhstan
- “ Nuevos gráficos para la estimación de sobre-excavación

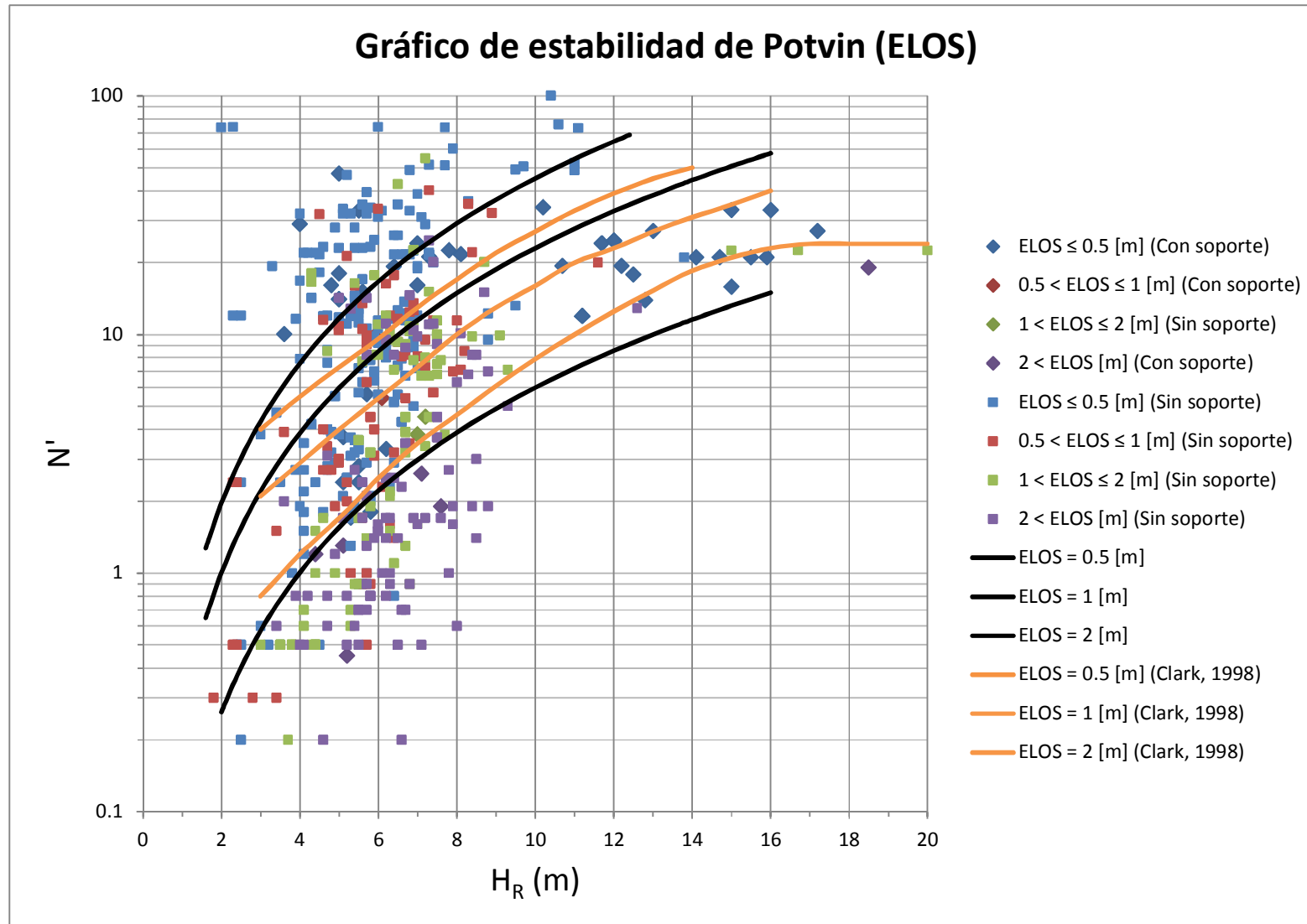


$$ELOS (m) = \frac{\text{volumen de sobre excavación en la pared}}{\text{área de la pared}}$$

$$\text{Dilución} = \frac{ELOS}{\text{ancho veta}}$$

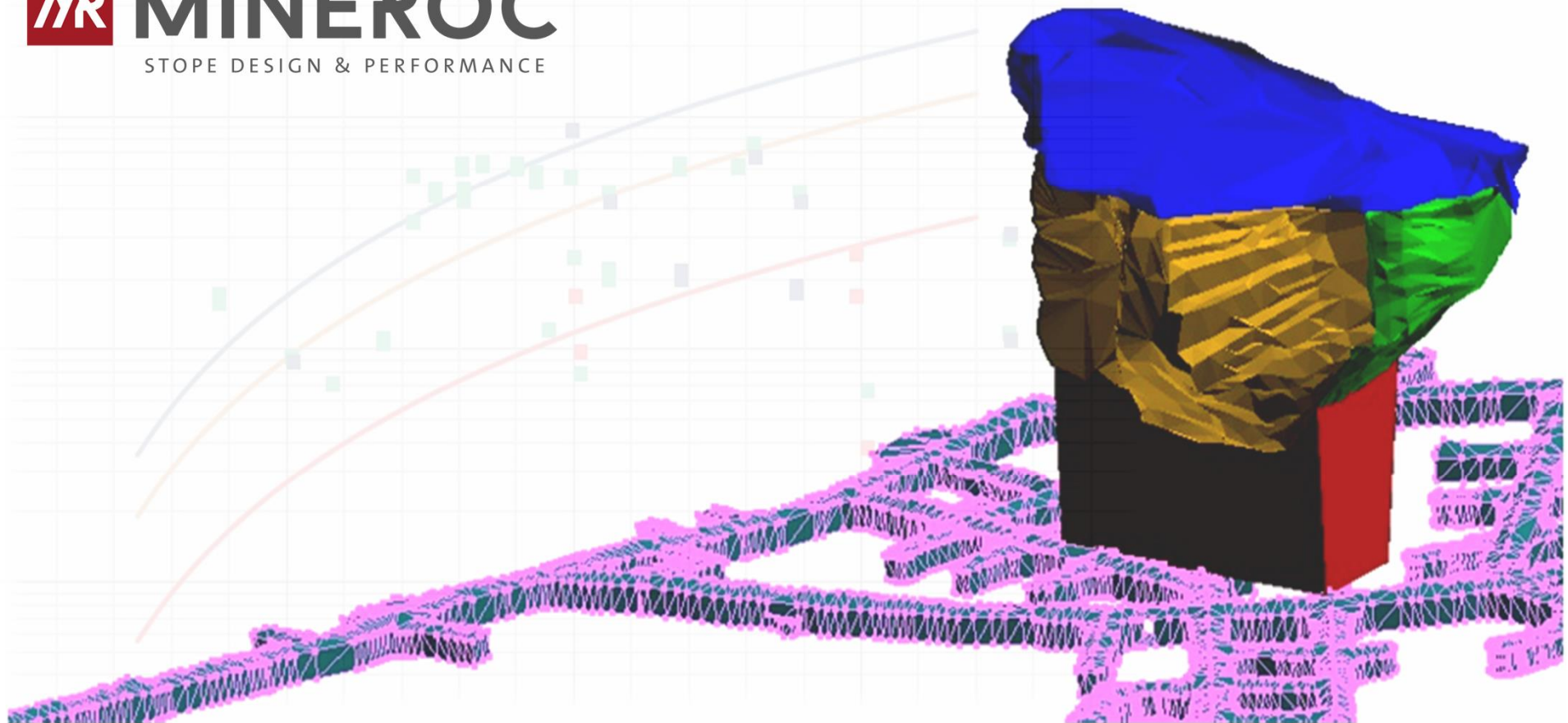
Herramientas para el diseño de caserones

Actualización de guías para la estimación de dilución



Prototipo tecnológico

MYR MINEROC
STOPE DESIGN & PERFORMANCE



Prototipo tecnológico

Software desarrollado como herramienta de apoyo al diseño y análisis de desempeño de caserones en Sublevel Stopping

Permite:

- Estandarizar el diseño de caserones.
- Incorporar información de unidades litológicas/geotécnicas al diseño.
- Analizar condición de estabilidad y dilución en caserones.
- Sensibilizar el diseño

Flexibilidad y adecuación de los parámetros de diseño a las condiciones de sitio de la mina.

Definición propia de estabilidad mediante back análisis de casos históricos locales.

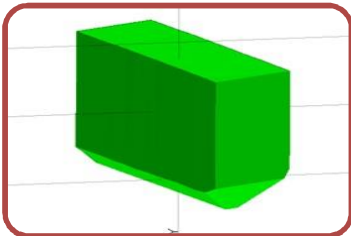
Aumento de productividad y disminución de costos de operación.

Módulos



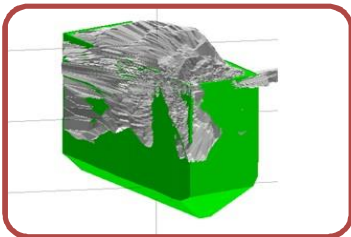
Módulo de ingreso de datos

- Almacenamiento de parámetros por librerías independientes
- Librerías disponibles para uso y análisis.



Módulo de diseño

- Transformación de datos geotécnicos en información de diseño minero.
- Análisis con información a nivel mina y/o con variación de parámetros a voluntad del usuario.



Módulo de desempeño

- Ingreso de caserones ya explotados con determinación de estabilidad por pared
- Medición de sobre excavación de caserones (dilución)

Prototipo tecnológico

Módulo de diseño

Geometría

UG por pared

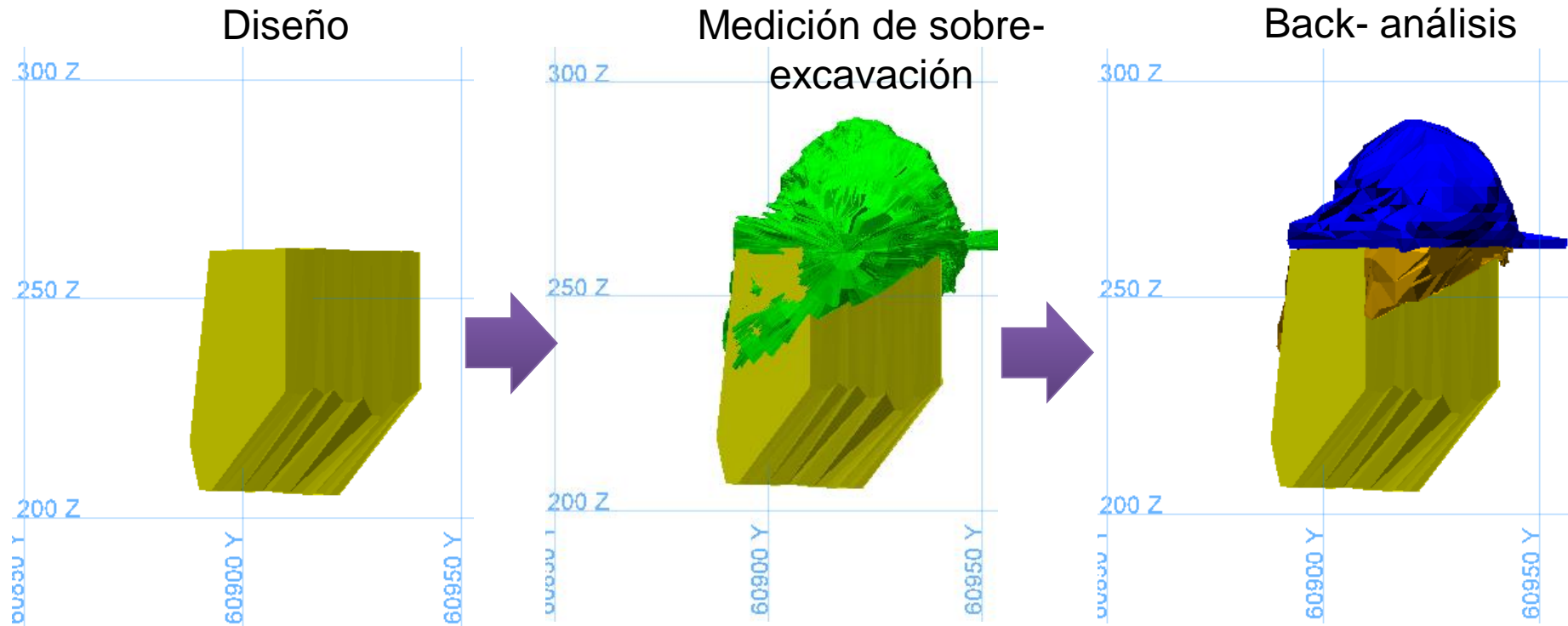
Esfuerzos

The screenshot displays the MINEROC software interface for stope design. It includes a 3D model of a stope with parameters like Length (L), Width (W0), Height (h), Dip, and Strike. A Mathews Stability Graph plots Stability number (N) against Hydraulic Radius (HR) in meters, showing curves for 'Stable' and 'Major Failure' regions. A 'Summary of Design Factors' table is provided at the bottom.

	A	B	C	Q'	N	HR [m]	ELOS [m]
Footwall	0.33	1.00	8.00	85.00	225.47	10.76	-
Hangingwall	0.33	1.00	6.78	85.00	191.21	10.76	0.00
Back	0.10	0.50	1.00	85.00	4.35	6.82	-

Prototipo tecnológico

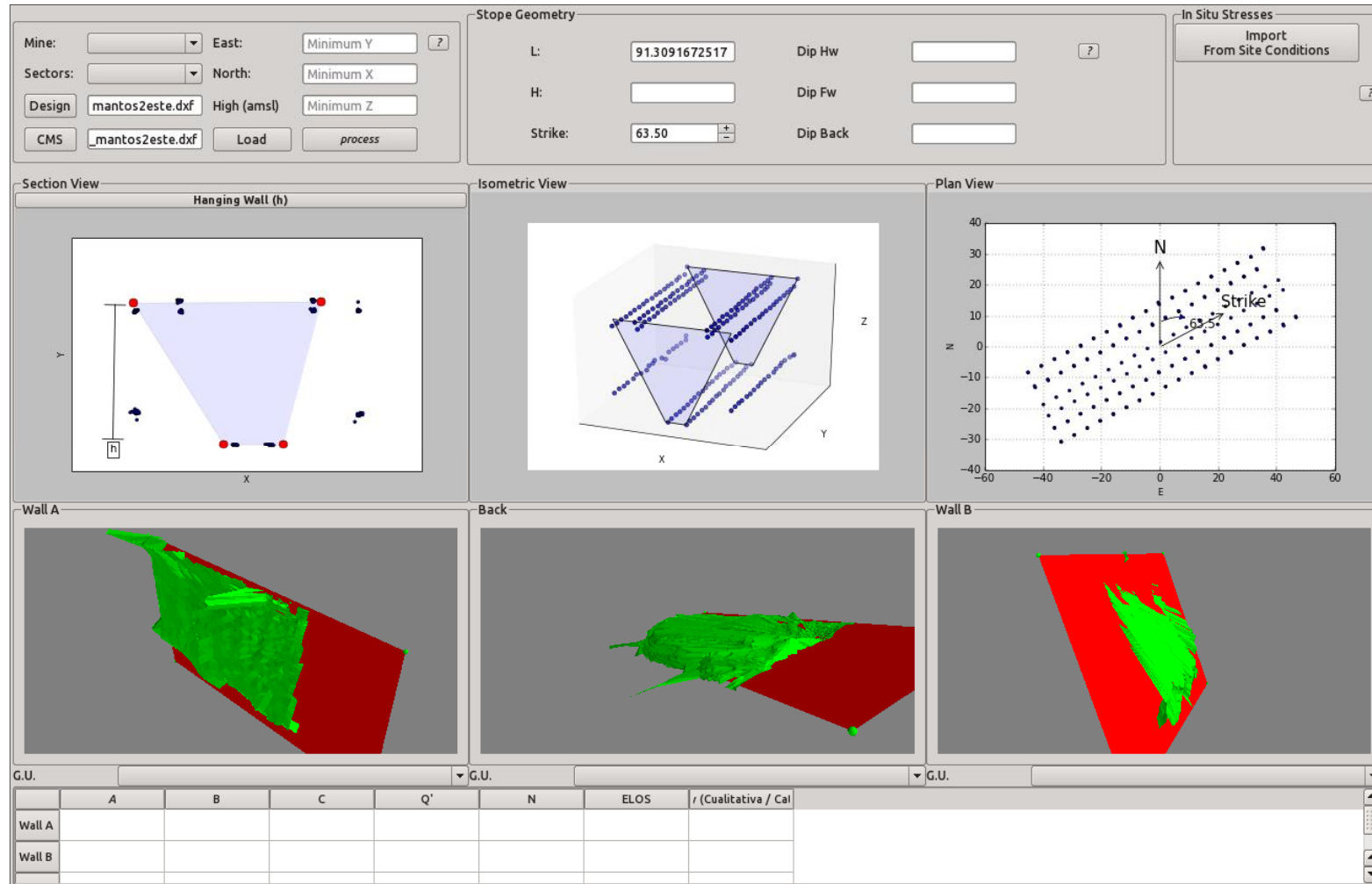
Módulo de desempeño



Back análisis fortalece procesos de diseño y planificación minera adecuándolos a las condiciones locales.

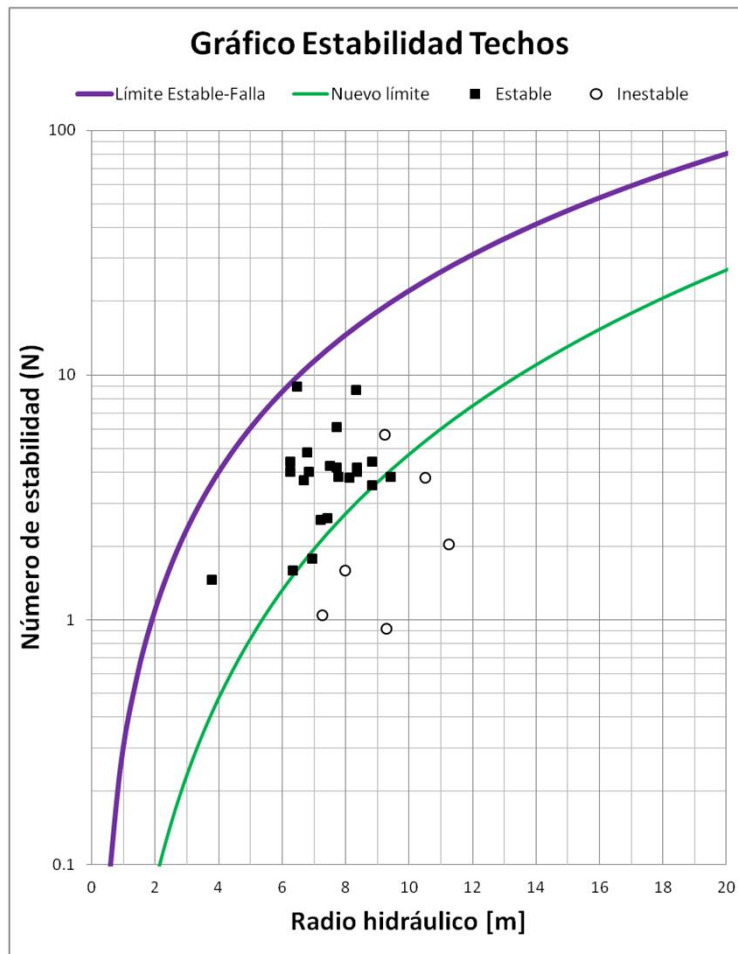
Prototipo tecnológico

Módulo de desempeño



Prototipo tecnológico

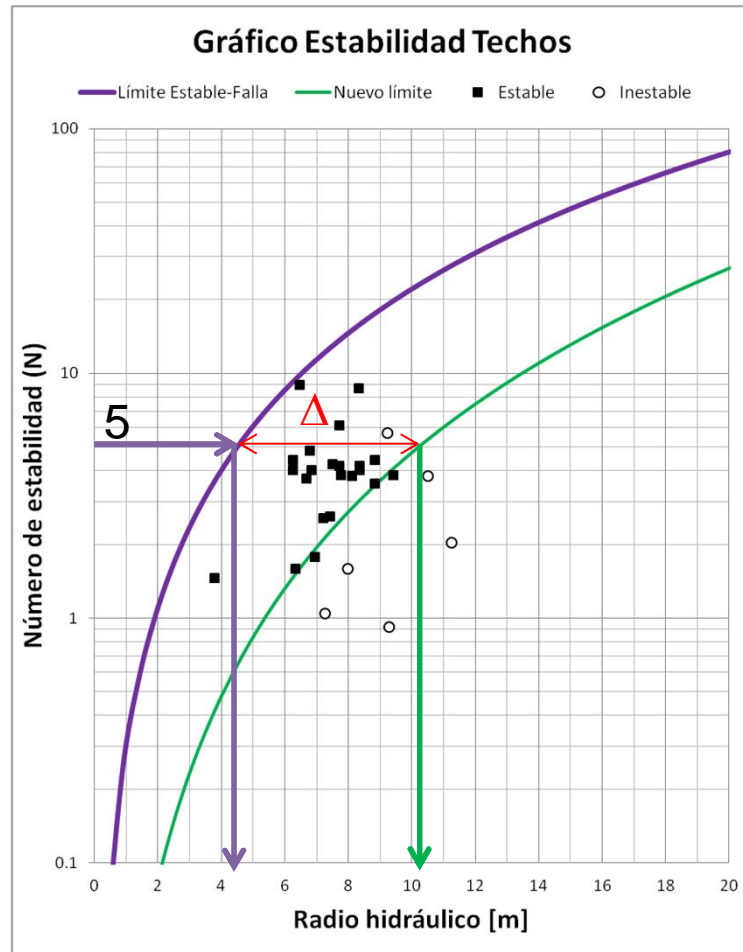
Generación de bases de datos y gráficos de diseño locales



← Curva de estabilidad actual

← Nueva curva de estabilidad

Impacto en el diseño



Ejemplo:

$$N' = A \cdot B \cdot C \cdot Q'$$

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$C = 1$$

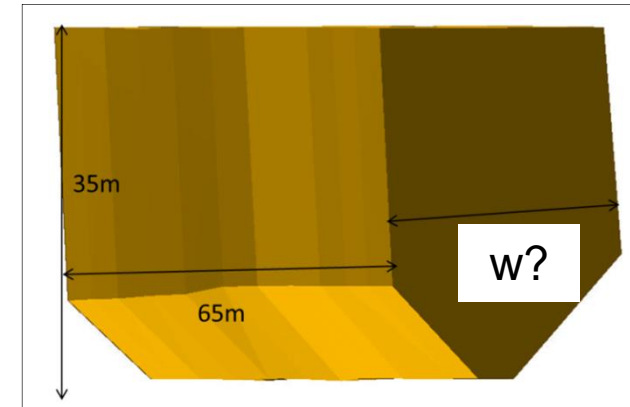
$$Q' = 10$$

$$\Rightarrow N' = 5$$

$$L = 65 \text{ m}$$

Curva actual $w = 9 \text{ m}$

Nueva curva $w = 29 \text{ m}$



Impacto en el diseño

- “ Excavaciones de mayores dimensiones
- “ Disminución de costos en desarrollos mineros
- “ Aumento beneficio

Comentarios finales

- “ Las herramientas actuales de diseño basadas en la experiencia de operaciones en Canadá y Australia **NO** reflejan las condiciones Chilenas
- “ El crecimiento sustentable de la minería exige una revisión y estandarización de los métodos de diseño
- “ Esto se traduce en un aumento de la seguridad y productividad
- “ La plataforma tecnológica MineRoc ya se encuentra disponible en su versión beta, la que permite desarrollar herramientas de diseño para la mediana minería subterránea

Futuro

- “ **Taller** para la utilización de los productos del proyecto a realizarse en **Copiapó** el día **Martes 26 de Agosto 2014**
- “ Se busca financiamiento a través de investigación colaborativa
- “ **Beneficios:**
 - Licencias, actualizaciones, desarrollo de bases de datos y modelos de diseño específicos para su sitio
 - Aporte de las empresa al proyecto está sujeto a beneficios tributarios (Ley 20.241), que permite recuperar hasta un 30% del gasto en I+D

Futuro

- “ Futuras versiones del software
 - Stope optimizer
 - Nuevos modelos de estabilidad (probabilístico)
 - Retroalimentación desarrollador-usuario para la generación de nuevos módulos
 - Estabilidad de pilares
 - Modelo de bloques geotécnico
 - Análisis de datos geotécnicos (Estructuras, sondajes, cuñas)
 - Daño por tronadura

GRACIAS

Referencias

- “ Bawden, W.F. (1993). The use of rock mechanics principles in Canadian underground hard rock mine design. Comprehensive Rock Engineering Principles, Practice and Projects, (ed. Hudson), Oxford: Pergamon Press, 5, 247-290.
- “ Clark, L. (1998). Minimizing dilution in open stope mining with a focus on stope design and narrow vein longhole blasting. MSc. Thesis, University of British Columbia, Canada, 316p.
- “ Hutchinson, D.J. and Diederichs, M.S. (1996). Cablebolting in Underground Mines.. Bitech Publishers Ltd., Vancouver. 416p
- “ Mathews, K.E., Hoek, E., Wyllie, D.C. and Stewart, S.B.V. (1981). Prediction of stable excavation spans at depths below 1000m in hrad rock mines. CANMET Report, DSS Serial No. OSQ80-00081.
- “ Potvin, Y. (1988). Empirical open stope design in Canada. PhD Thesis, University of British Columbia.
- “ Mawdesley, C., Trueman, R, Whiten, W.J., Extending the stability graph for open stope design, Trans. Inst. Min. Metall. 110: January-April, 2001.
- “ Stewart, P. , 2005. Minimising dilution in narrow vein mines. PhD Thesis, The University of Queensland