



iUAI | MINING

iUAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

Aspectos Geomecánicos de la Planificación de Minas iUAI-Mining Center

Septiembre 7, 2016



Comisión Calificadora de
Competencias en Recursos
y Reservas Mineras

iUAI | MINING

Contenidos

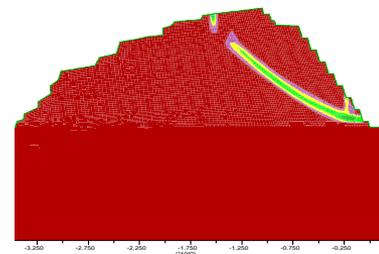
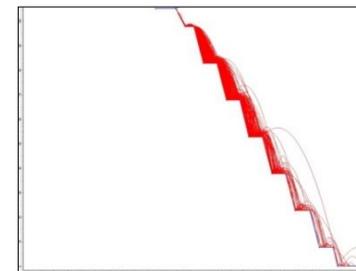
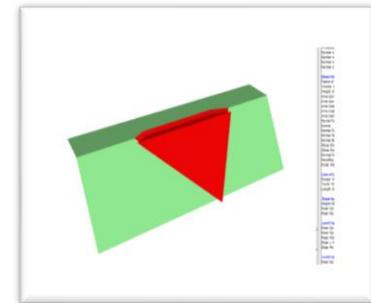
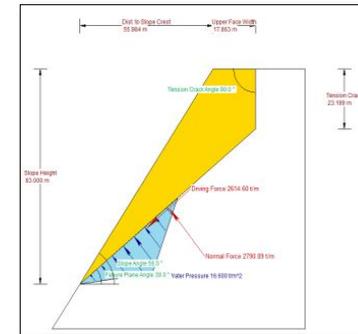
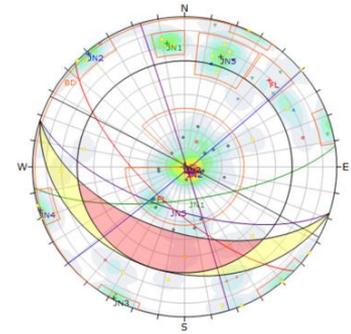
- Parámetros que controlan la estabilidad de las excavaciones
- Diseño de Taludes Estables
- Desarrollos – Galerías
- Estabilidad de Caserones Abiertos
- Dimensionamiento de Pilares
- Rehabilitación de Colapsos
- Fortificación de las Labores
- Uso de Relleno Cementado para Mejorar la Estabilidad de las Excavaciones
- Secuenciamiento de Minado
- Métodos de minado/Técnicas de minado
- Comentarios

Parámetros que controlan la estabilidad de las excavaciones

- Propiedades mecánicas de la roca
 - Resistencia a la compresión uniaxial
 - Resistencia al corte
 - Resistencia a la tracción
 - Ángulo de fricción interna
 - Ángulo de fricción de deslizamiento
 - Módulo de elasticidad y razón de Poisson
- Competencia de la roca (clasificación geomecánica)
 - RMR
 - Q
 - GSI
 - Otros
- Sistemas estructurales
 - Set de diaclasas
 - Estratificación
 - Fallas
- Estado tensional del macizo rocoso en profundidad
 - Magnitud esfuerzo vertical
 - Razón esfuerzo horizontal / vertical
 - Orientación esfuerzos
- Dimensión de las excavaciones
 - Tamaño de las galerías
 - Tamaño de los piques de traspaso
 - Tamaño de caserones
 - Tamaño de pilares

Diseño de Taludes Estables

- Competencia de la roca – evaluación potenciales fallas del macizo rocoso
- Sistemas estructurales presentes – evaluación potenciales fallas tipo planares y cuñas

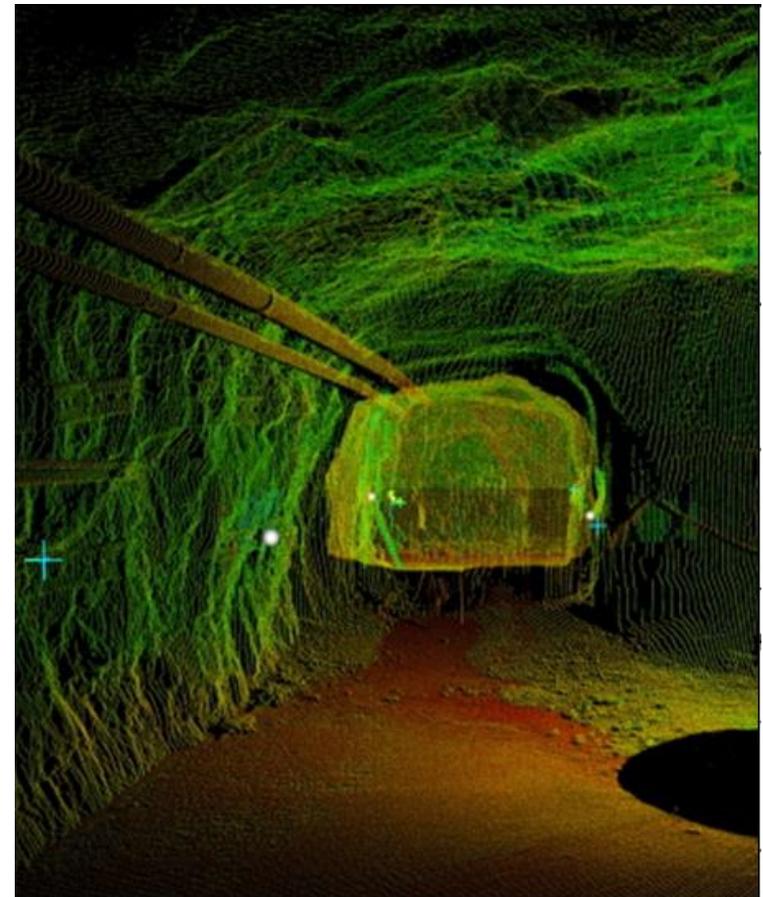
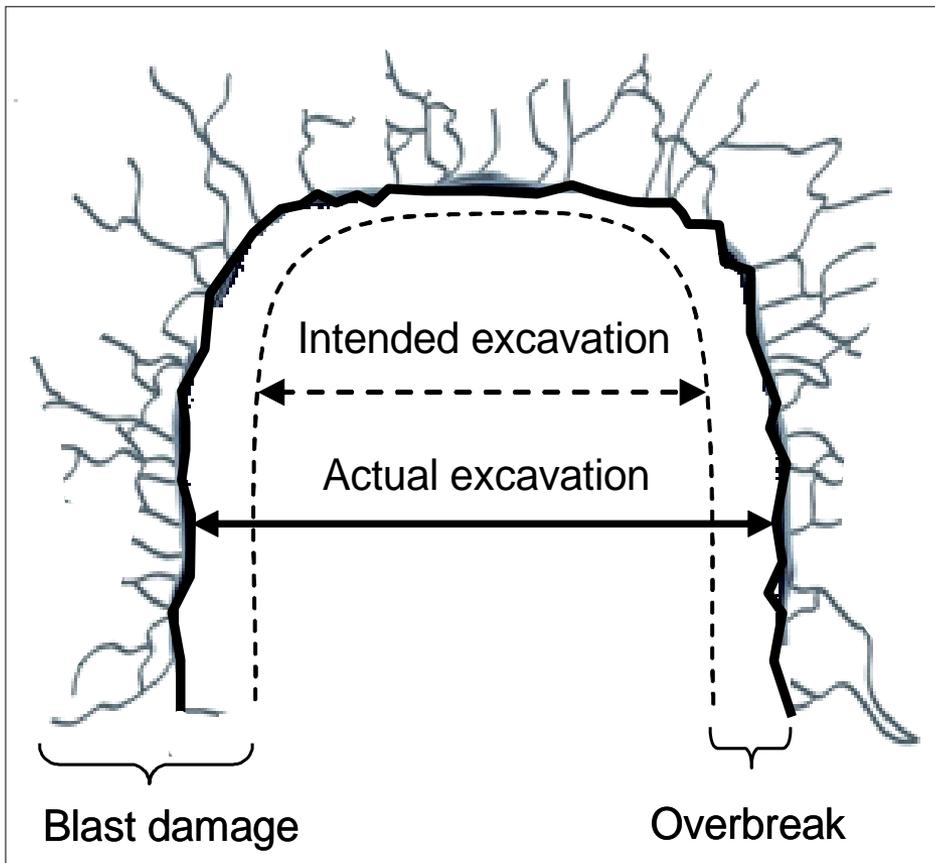


Desarrollos – Galerías

- Dimensión de las galerías
 - Fortificación,
 - Sobre excavación/daño (mayores tiempos de ciclo),
- Vida útil
- Orientación de la galería respecto de los sistemas estructurales presentes
- Cercanía a los caserones (sobrequebradura, esfuerzos inducidos)

Desarrollo de Galerías

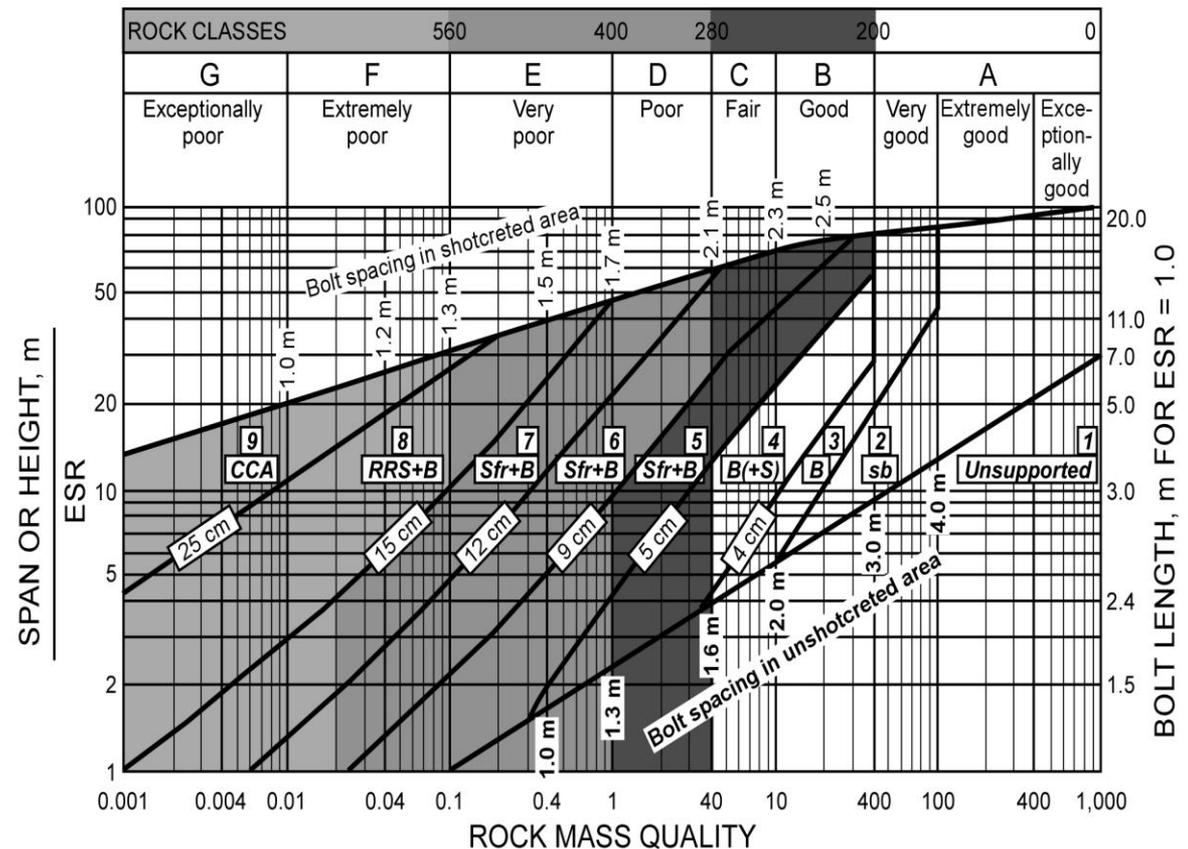
- Dimensión de las galerías (fortificación, sobreexcavación, daño, tiempos de perforación, extracción marina)



Desarrollo de Galerías

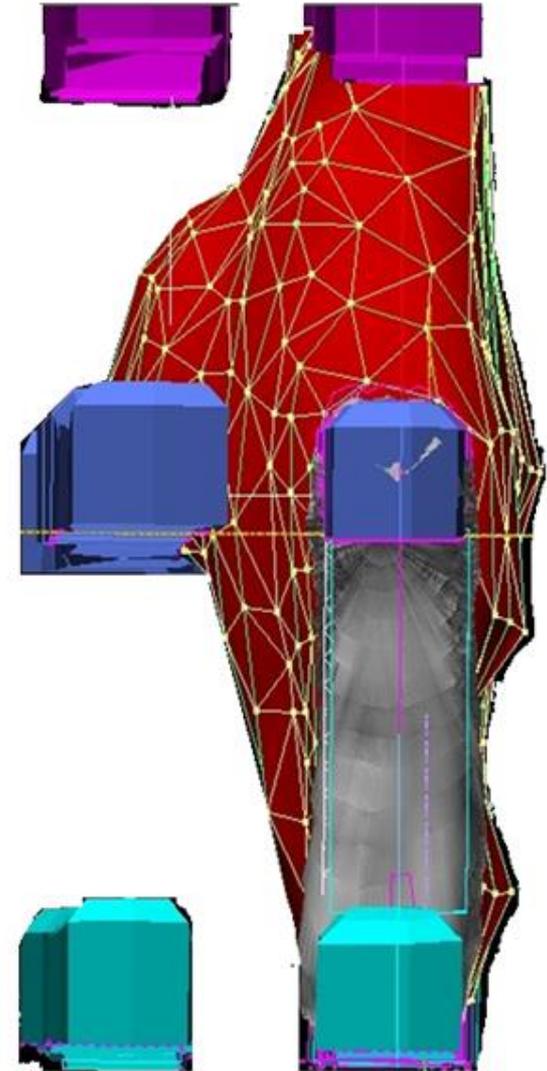
- Vida Útil – Categoría de la excavación

Obras mineras temporales	3-5
Excavaciones mineras permanentes, túneles hidroeléctricos, túneles piloto, galerías y frentes para excavaciones de gran tamaño	1.6
Excavaciones para almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles de obras civiles menores y trenes, cavernas de almacenamiento de aguas de exceso, túneles de acceso	1.3
Estaciones eléctricas, túneles de obras civiles mayores y trenes, cavernas para la defensa civil, intersección de portales	1.0
Plantas nucleares de energía, estaciones de trenes, cavernas para instalaciones deportivas y publico en general, industrias	0.8



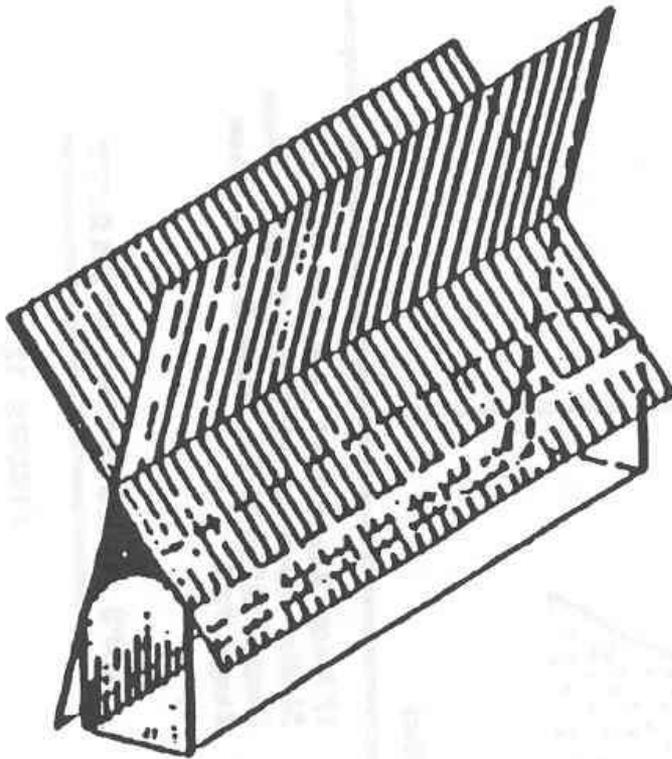
Desarrollo de Galerías

- Cercanía a los caserones
- Sobre quebradura de la pared yacente
- Esfuerzos inducidos

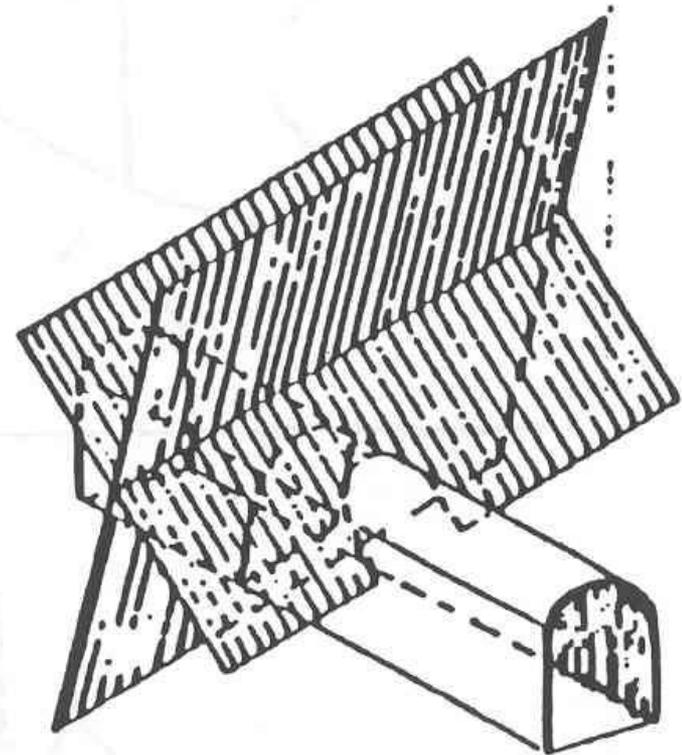


Desarrollo de Galerías

- Orientación de la excavación con respecto a la orientación de las estructuras



Orientación desfavorable

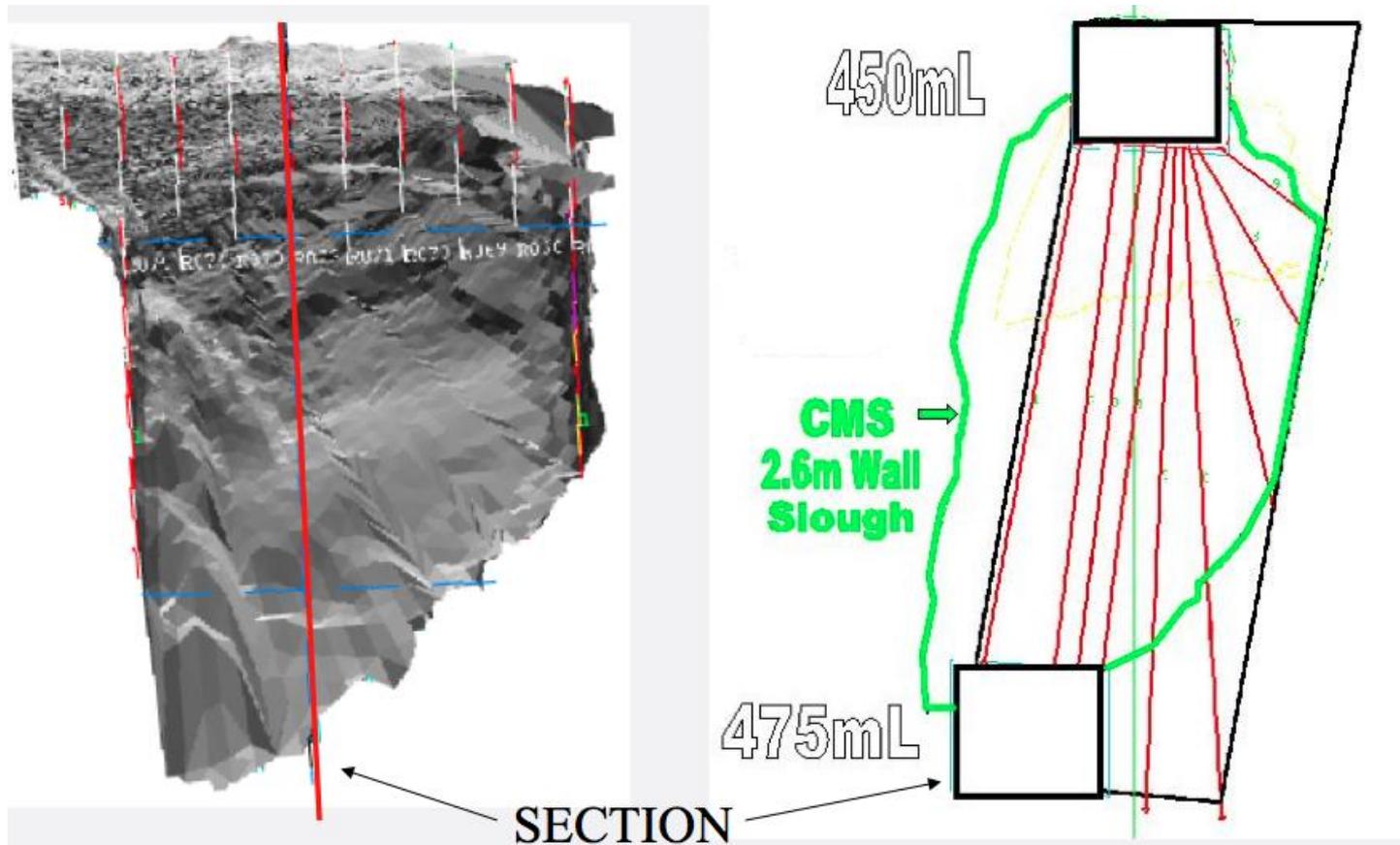


Orientación favorable

Estabilidad de Caserones Abiertos

Orientación de las estructuras respecto a orientación del caserón

Competencia del mineral y roca de caja (HW y FW)



Dimensionamiento de Pilares

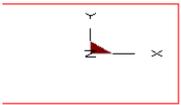
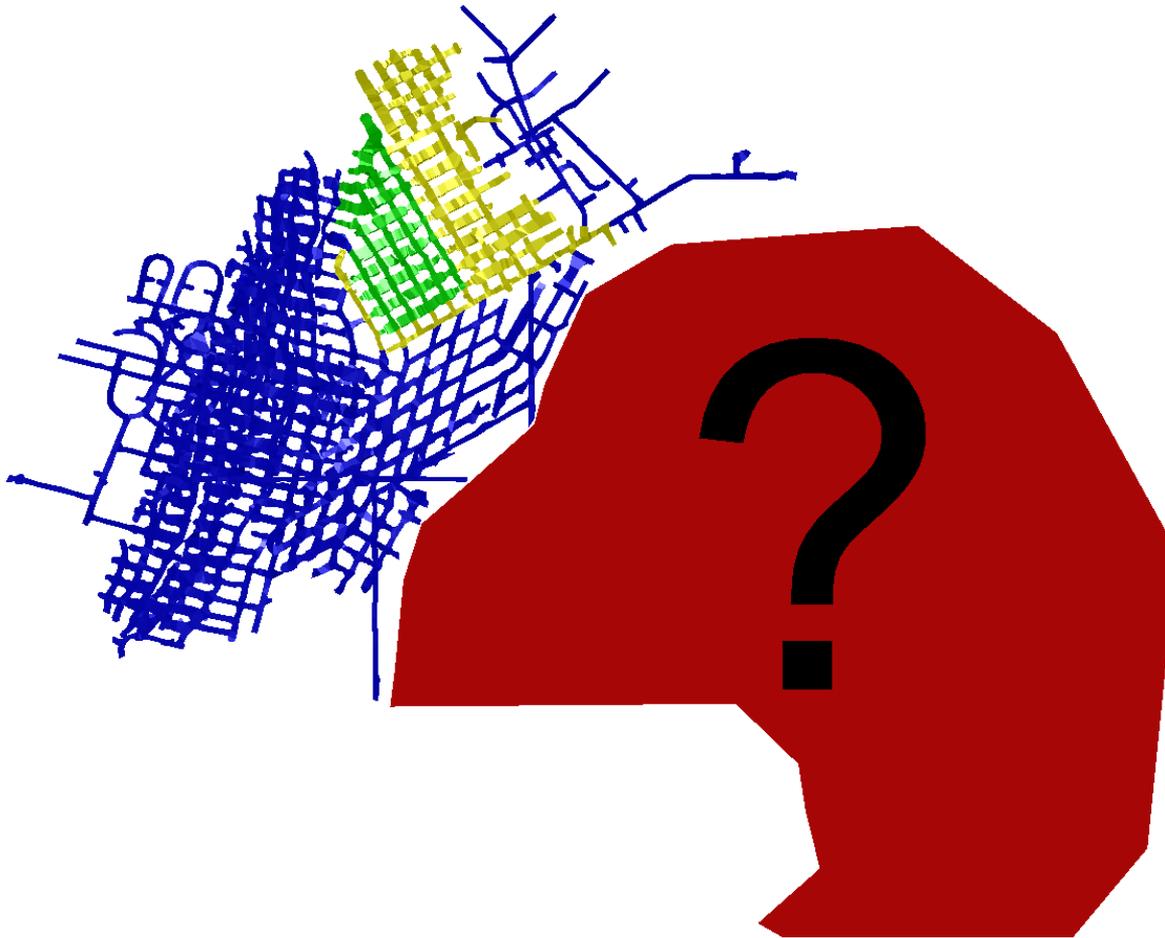
Los pilares tienen por objetivo dar estabilidad a las excavaciones mineras y aumentan la flexibilidad al permitir múltiples horizontes de minado pero disminuyen la recuperación total de la mina

- Pilares loza
- Pilares Costilla
- Pilares regionales
- Pilares loza de relleno cementado – reemplazo de pilares de mineral
- Uso de relleno cementado y no consolidado para mejorar la estabilidad de las excavaciones => mejora la recuperación

Dimensionamiento de Pilares



Dimensionamiento de Pilares



RMR - Pilar T32-T31 p1

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	150 MPa	12
RQD	65% - 85%	15
Spacing of joints	5-20cm (bottom of pillar)/0.6-1.0m (top)	15
Condition of joints	Tight/Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	20
Water	Dry	30
TOTAL		70



RMR - Pilar T31-T30 p2

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66



RMR - Pilar T30-T29 p3

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66



RMR - T29-T28 p4

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66



RMR - T28-T27 p5

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66



RMR - T27-T26 p6

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66



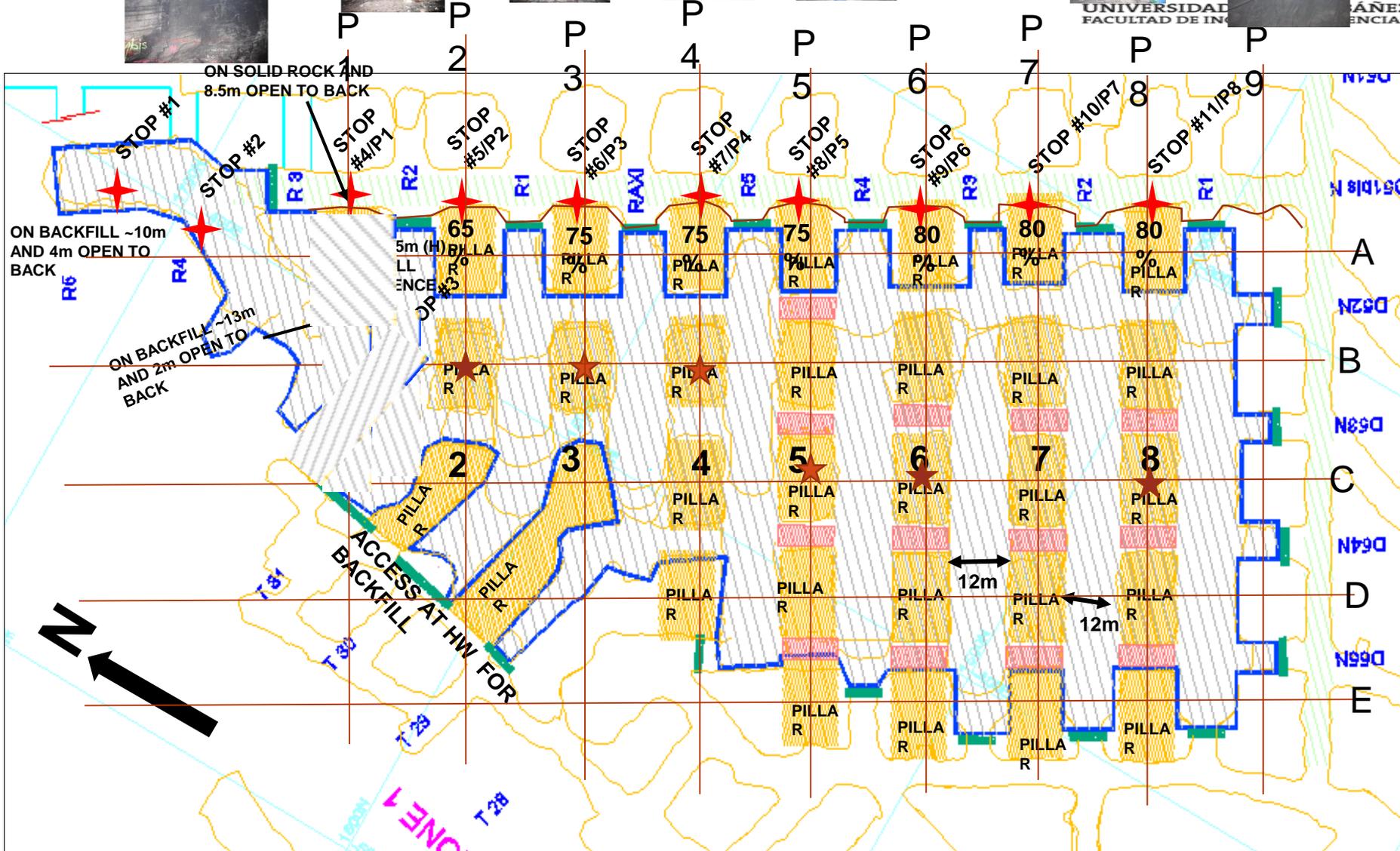
RMR - T26-T25 p7

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66

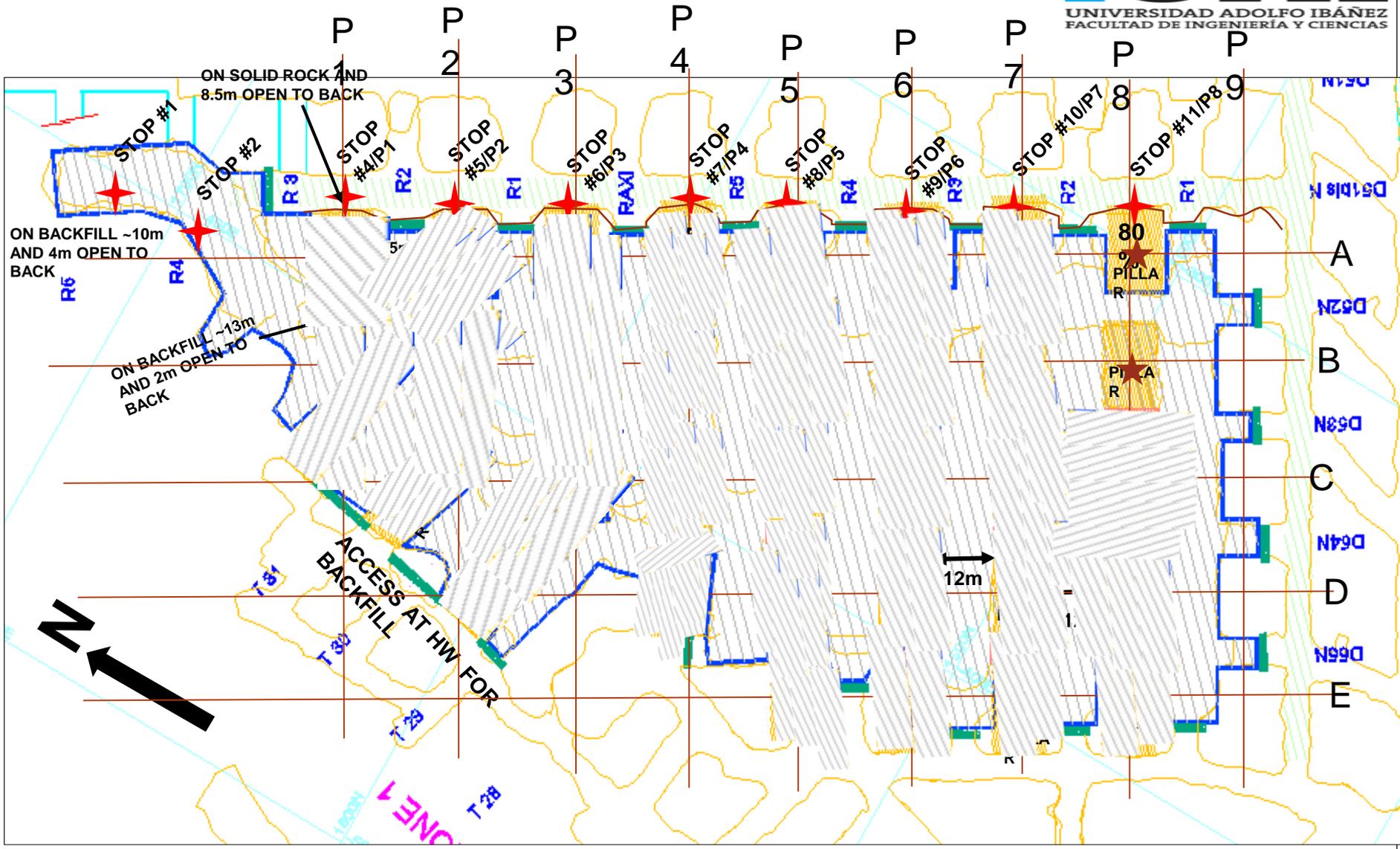


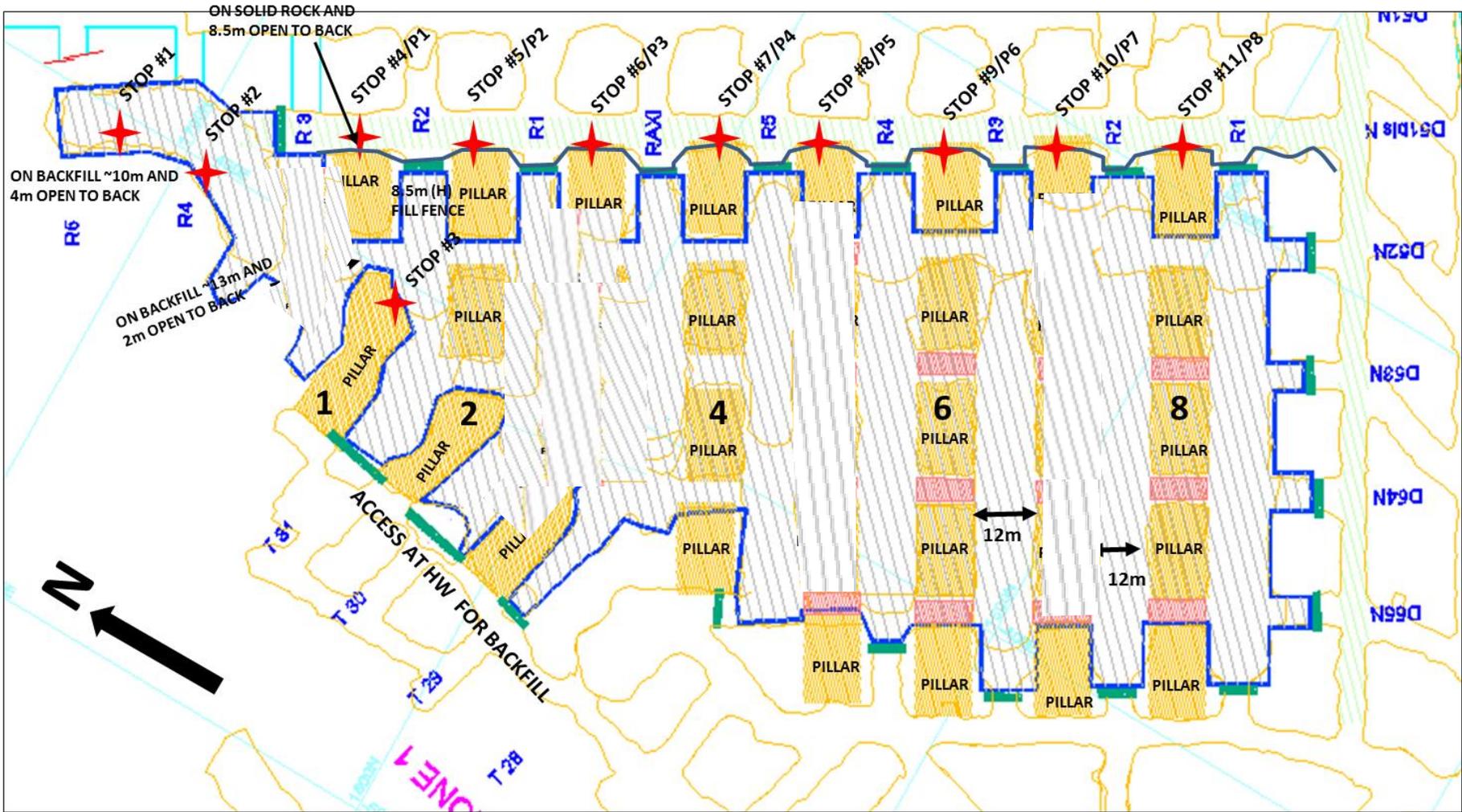
RMR - T25-T24 p8

Parameter	Range of Values	Rating
Strength	100 MPa	11
RQD	50% - 60%	10
Spacing of joints	0.5-1.0m	10
Condition of joints	Slightly rough/Smooth/hard joint wall rock	15
Water	Dry	30
TOTAL		66



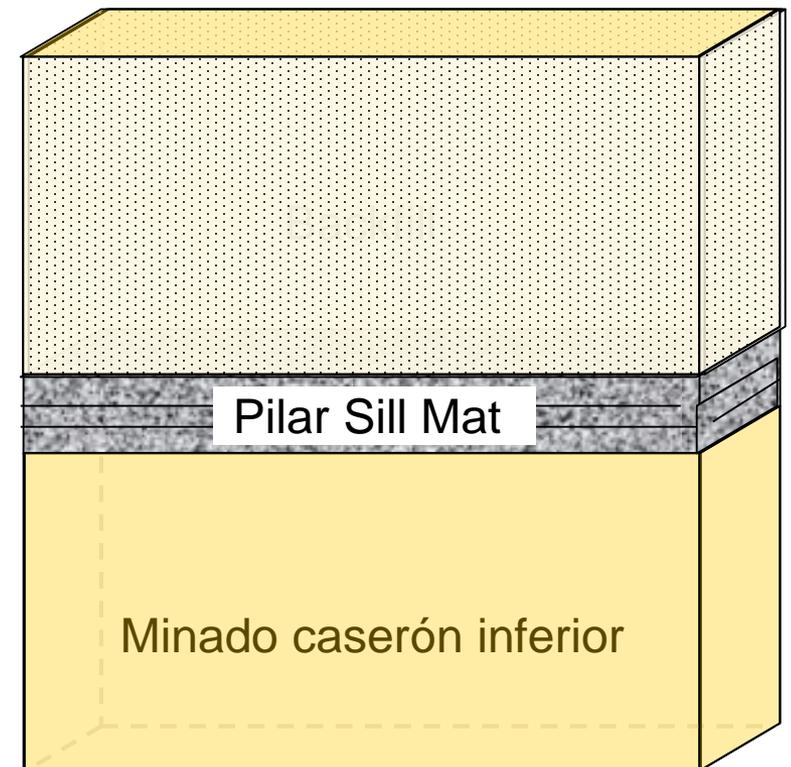
Opción 1: Minar todos los pilares, Opción 2: Minar pilares traslapados



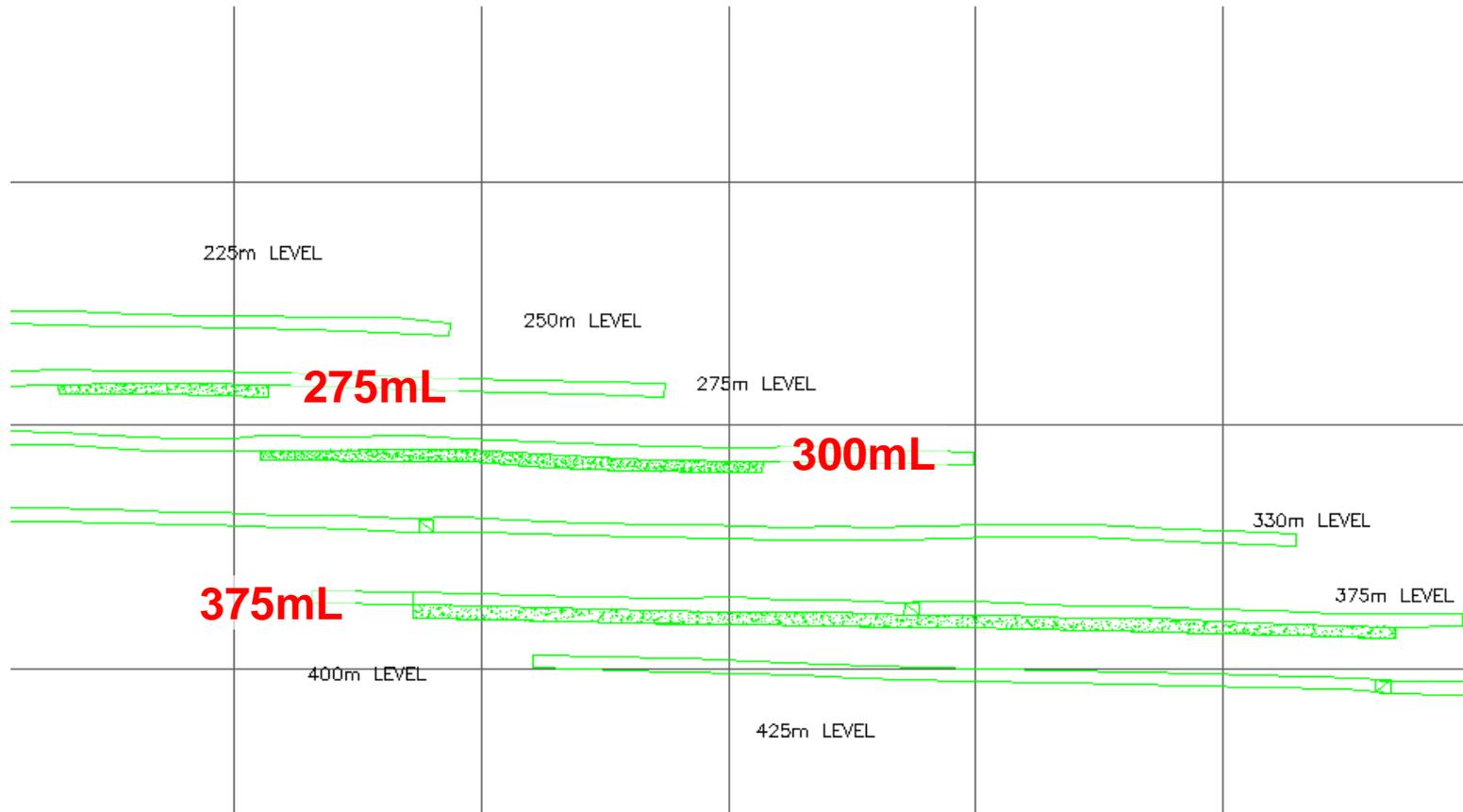


Uso de Relleno Cementado para Mejorar la Estabilidad de las Excavaciones

- Desarrollo de gallería longitudinal y construcción del pilar Sill Mat por etapas
- Minado del caserón superior
- Relleno no cementado del caserón
- Minado del caserón supra yacente utilizando tiros largos verticales

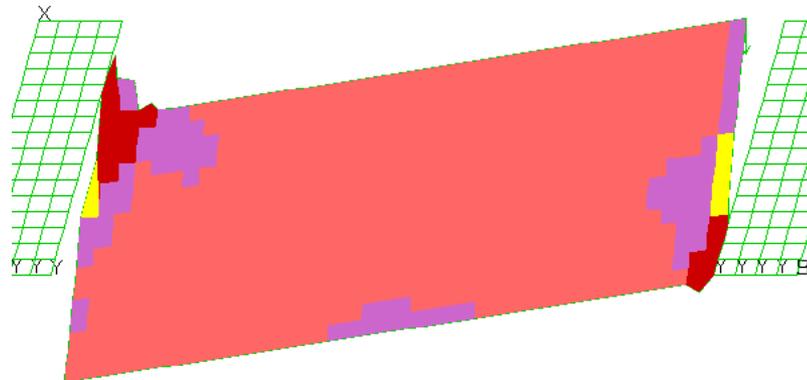
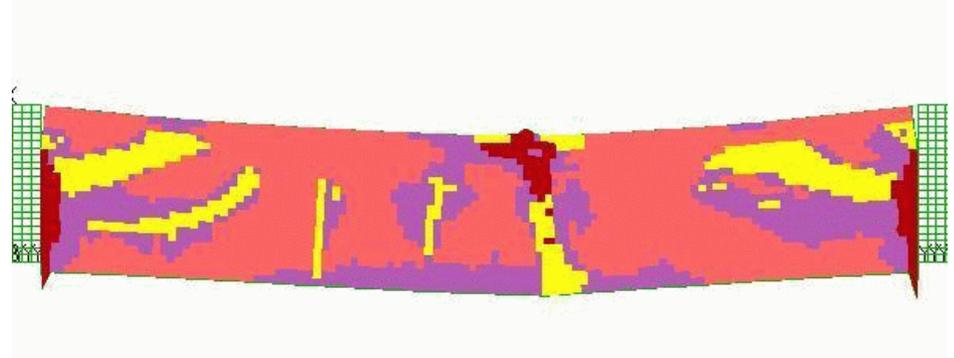
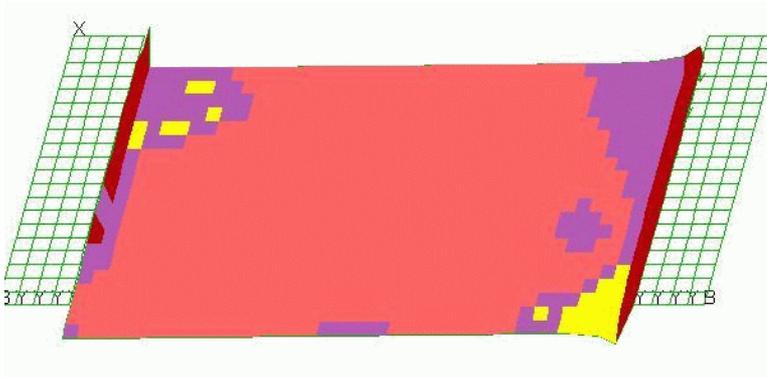


Pilares Sill Mat de CRF¹



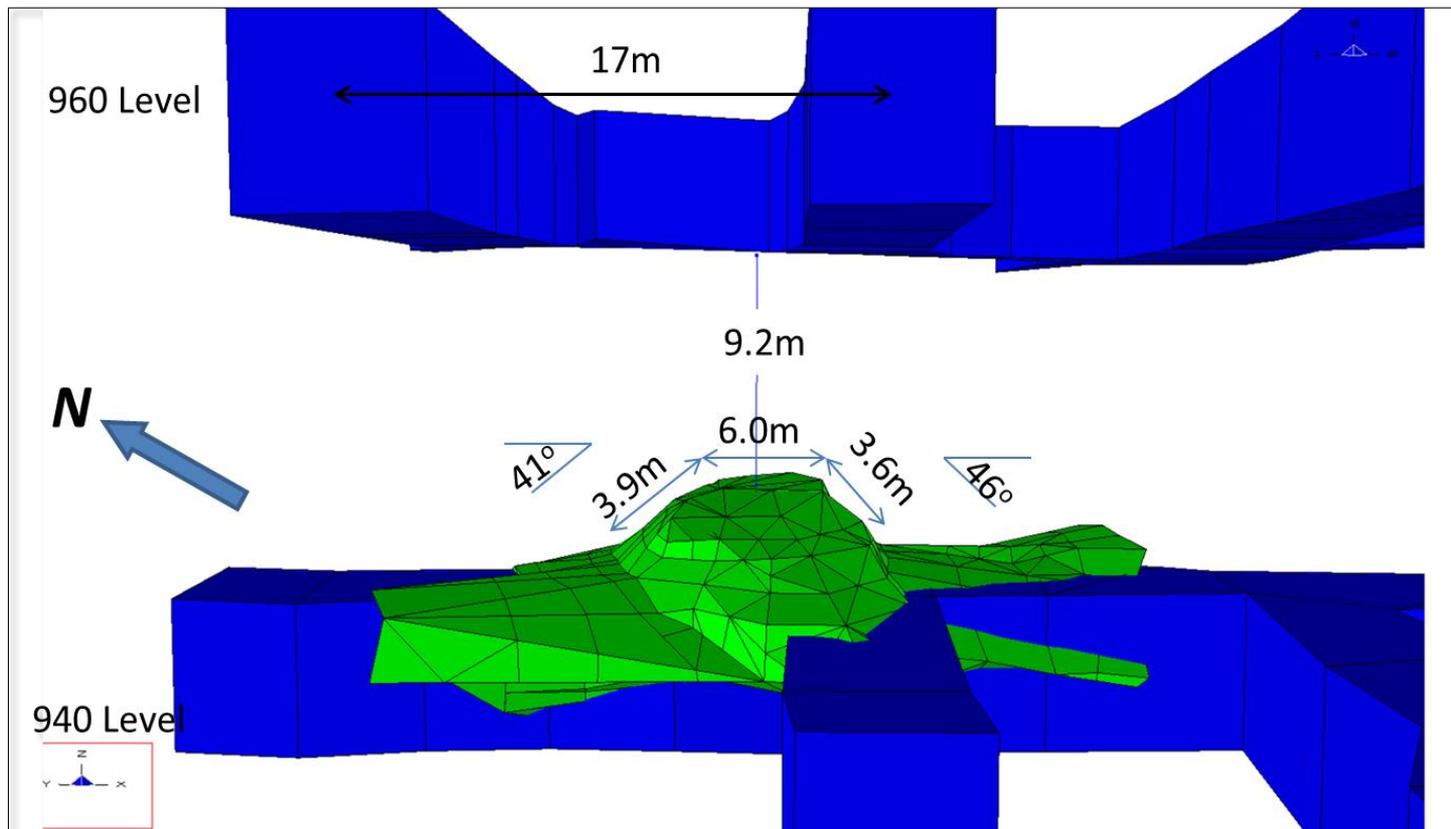
¹ Relleno de roca cementada

Sill Mat de CRF- Modos de Falla



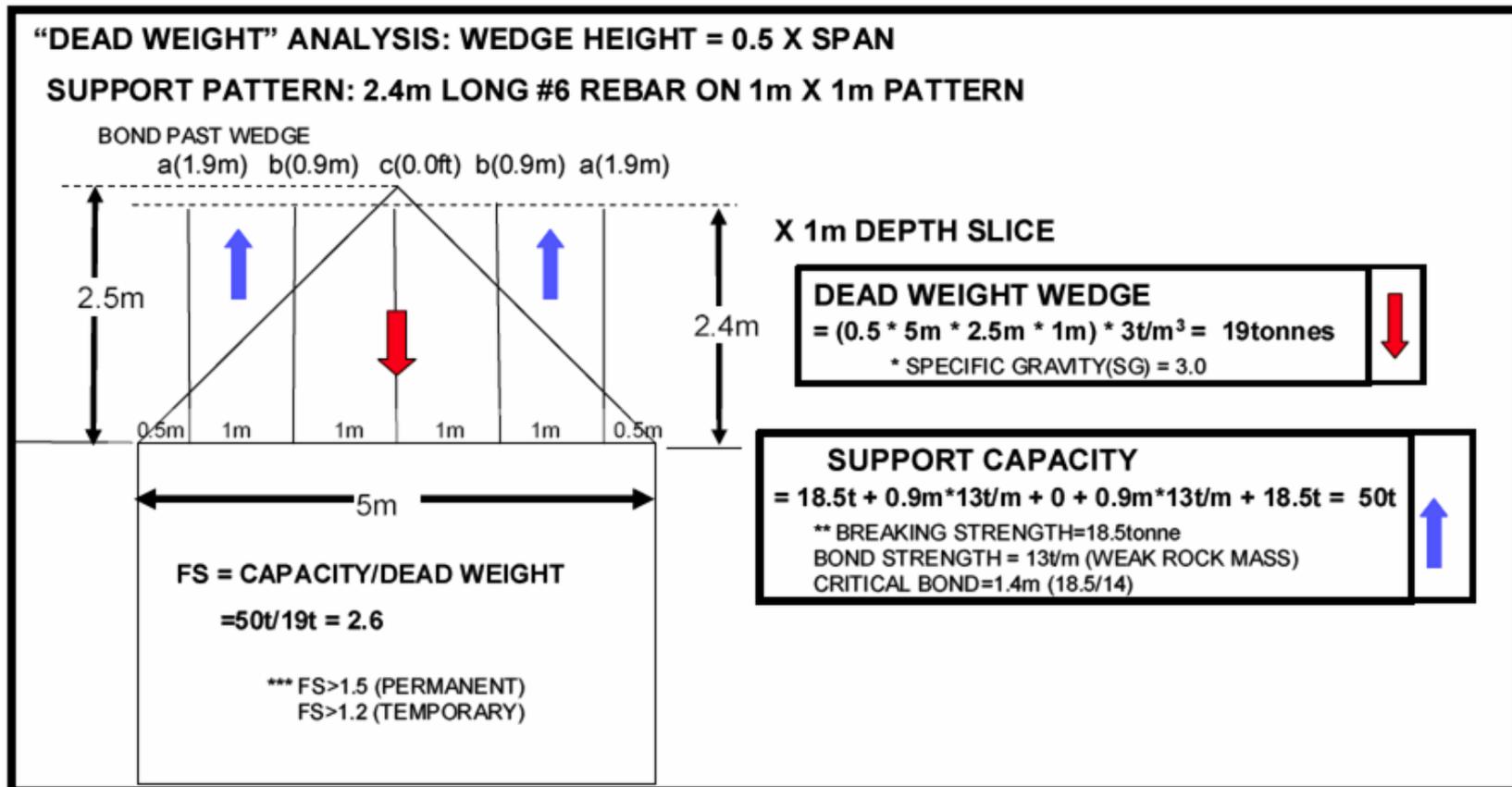
Rehabilitación de Colapsos

- Disrupción de la producción
- Accidentes del personal y daño/pérdida de equipos
- Mayor grado de fortificación



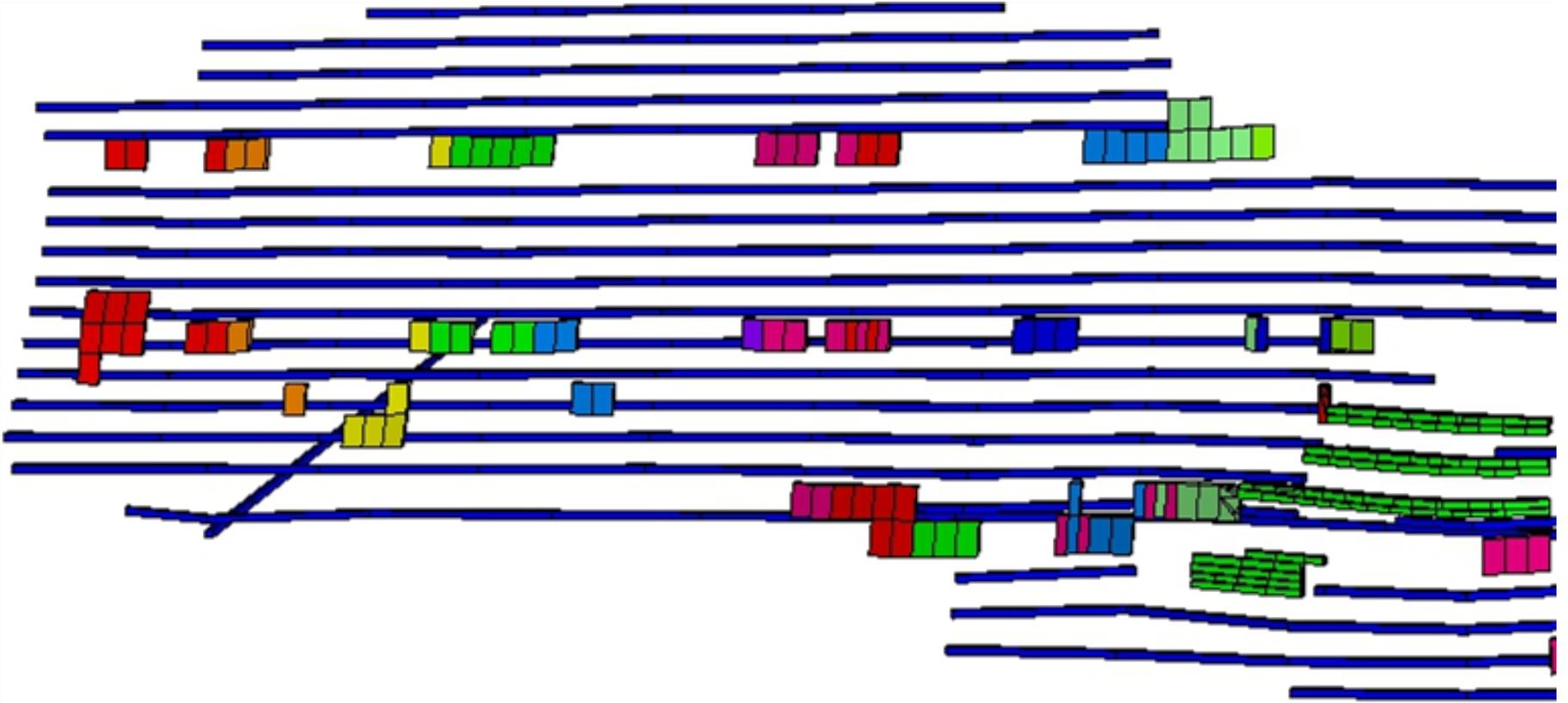
Fortificación de las Labores

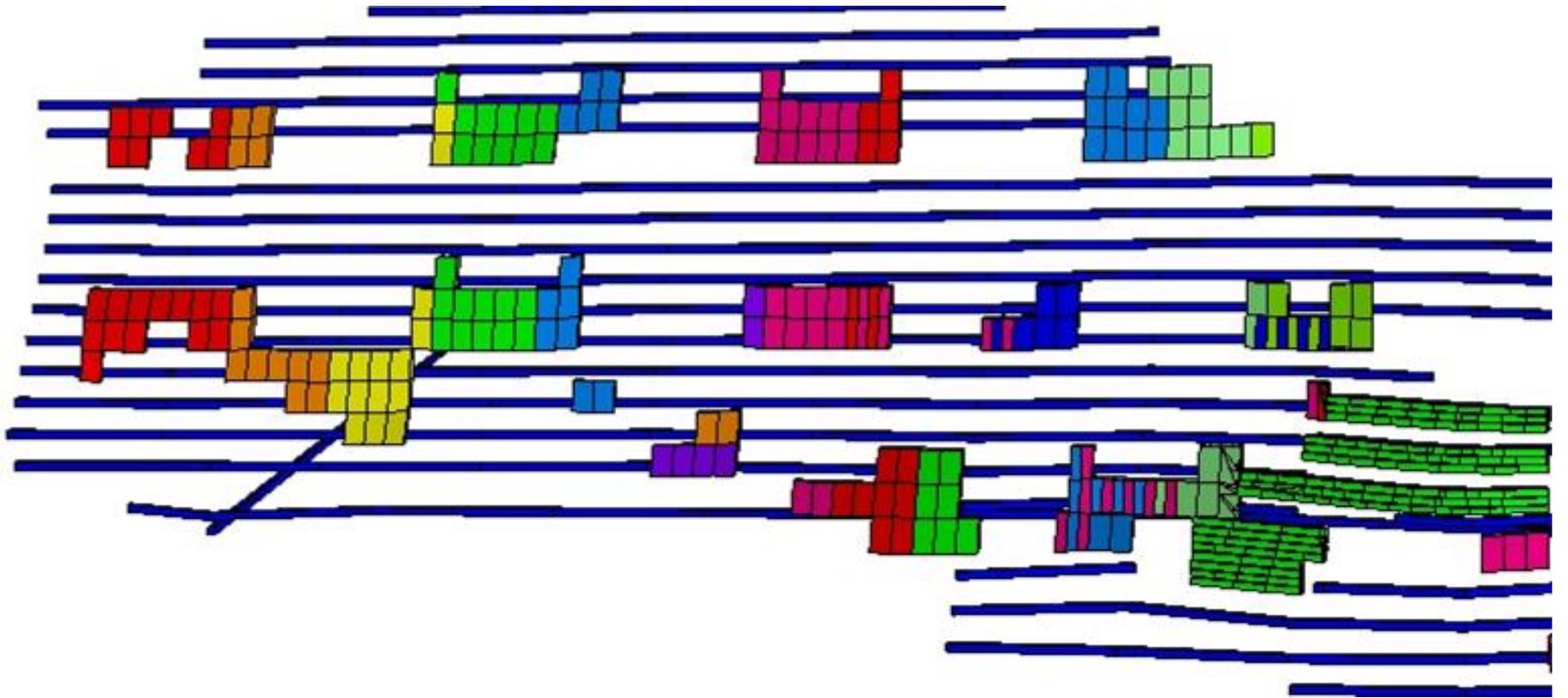
- Impacto en los tiempos de ciclo

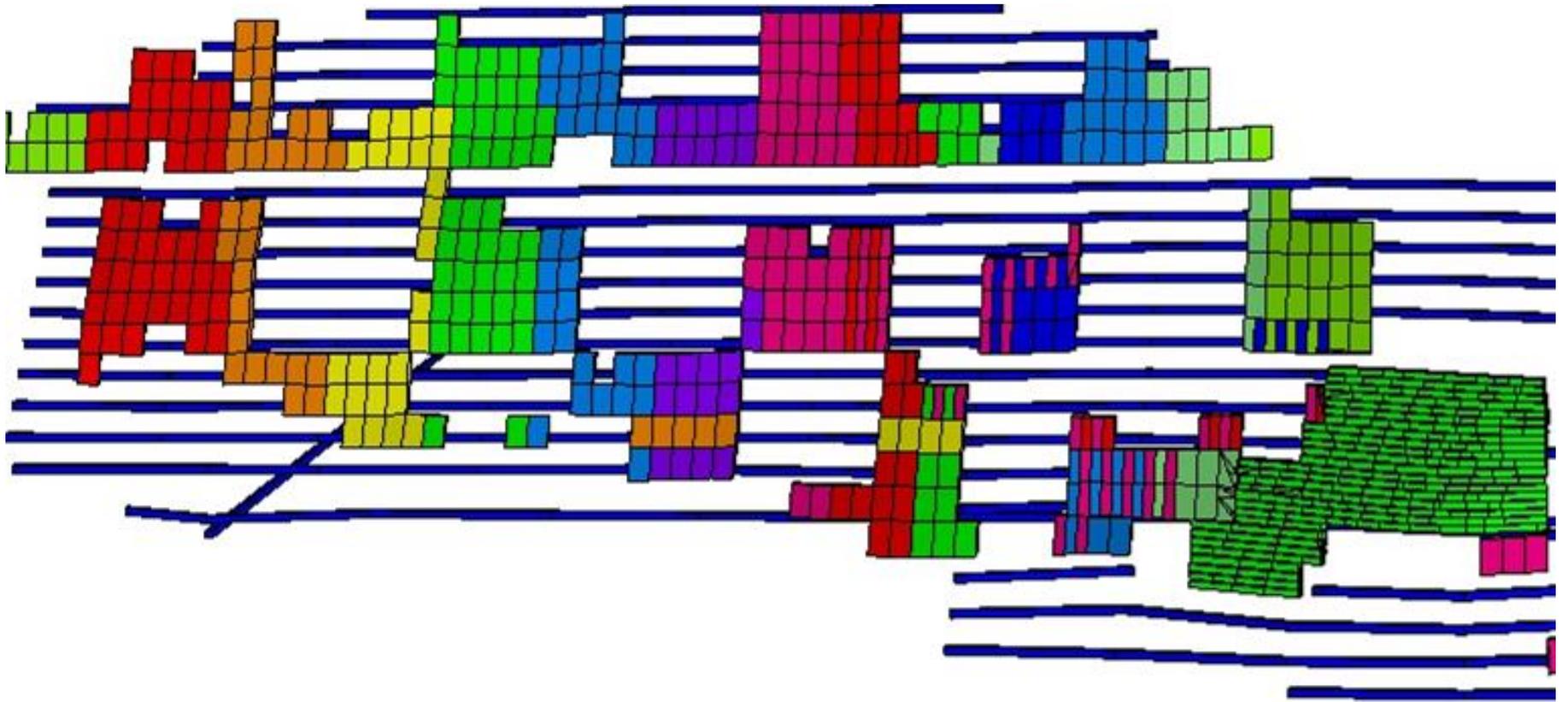


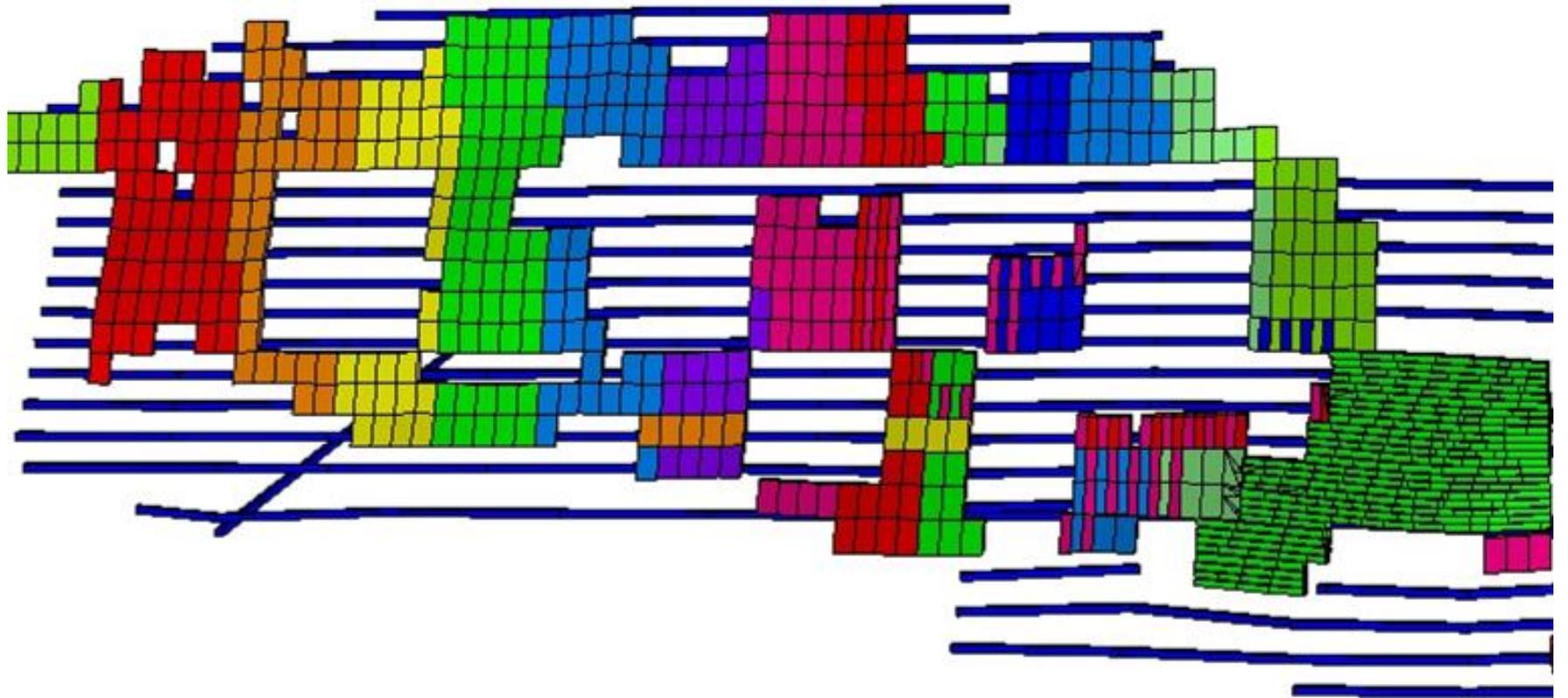
Secuenciamiento de Minado

- La secuencia más adecuada para la estabilidad no necesariamente será la secuencia óptima para la planificación
- Recuperación < 100%

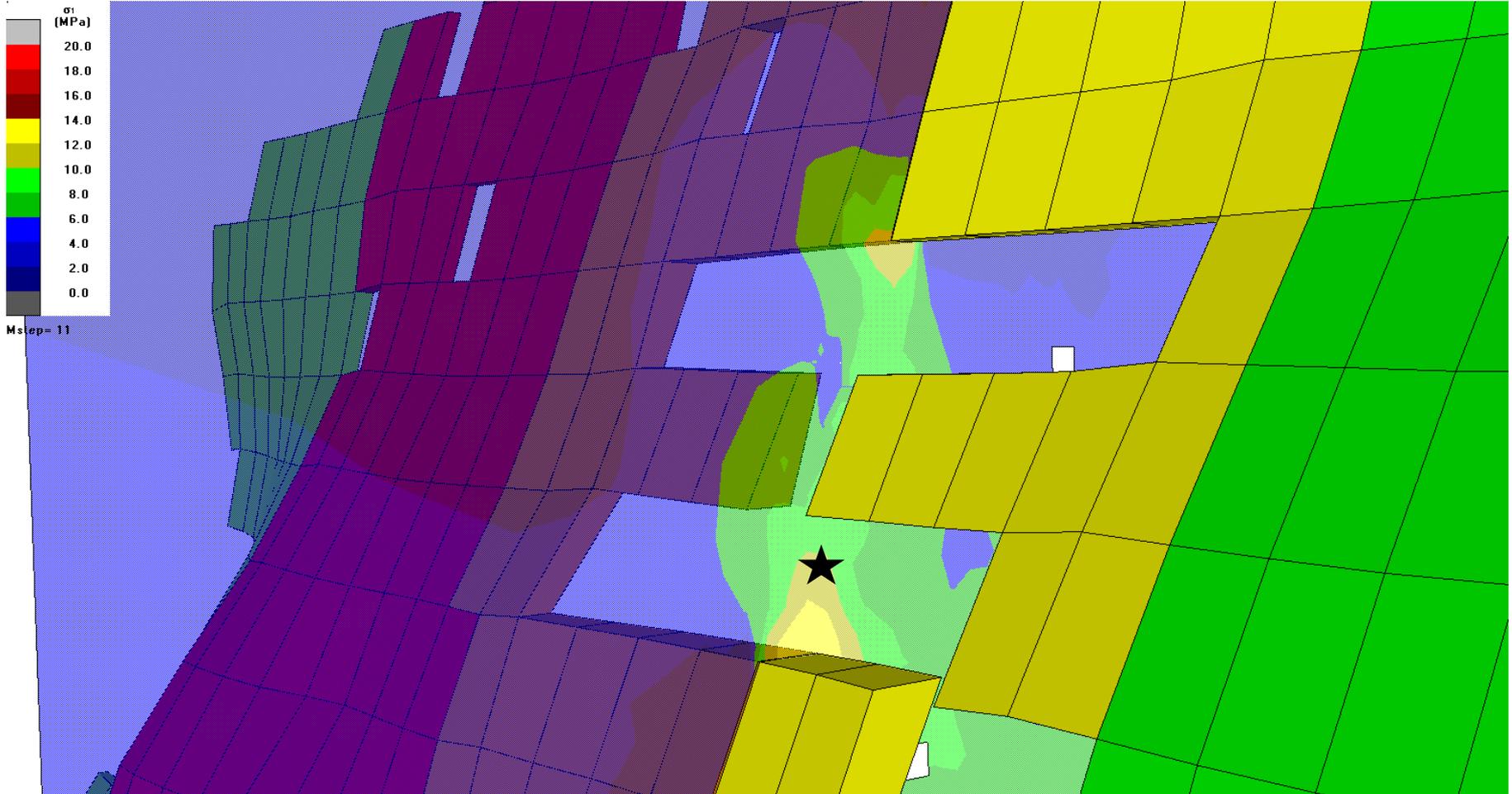


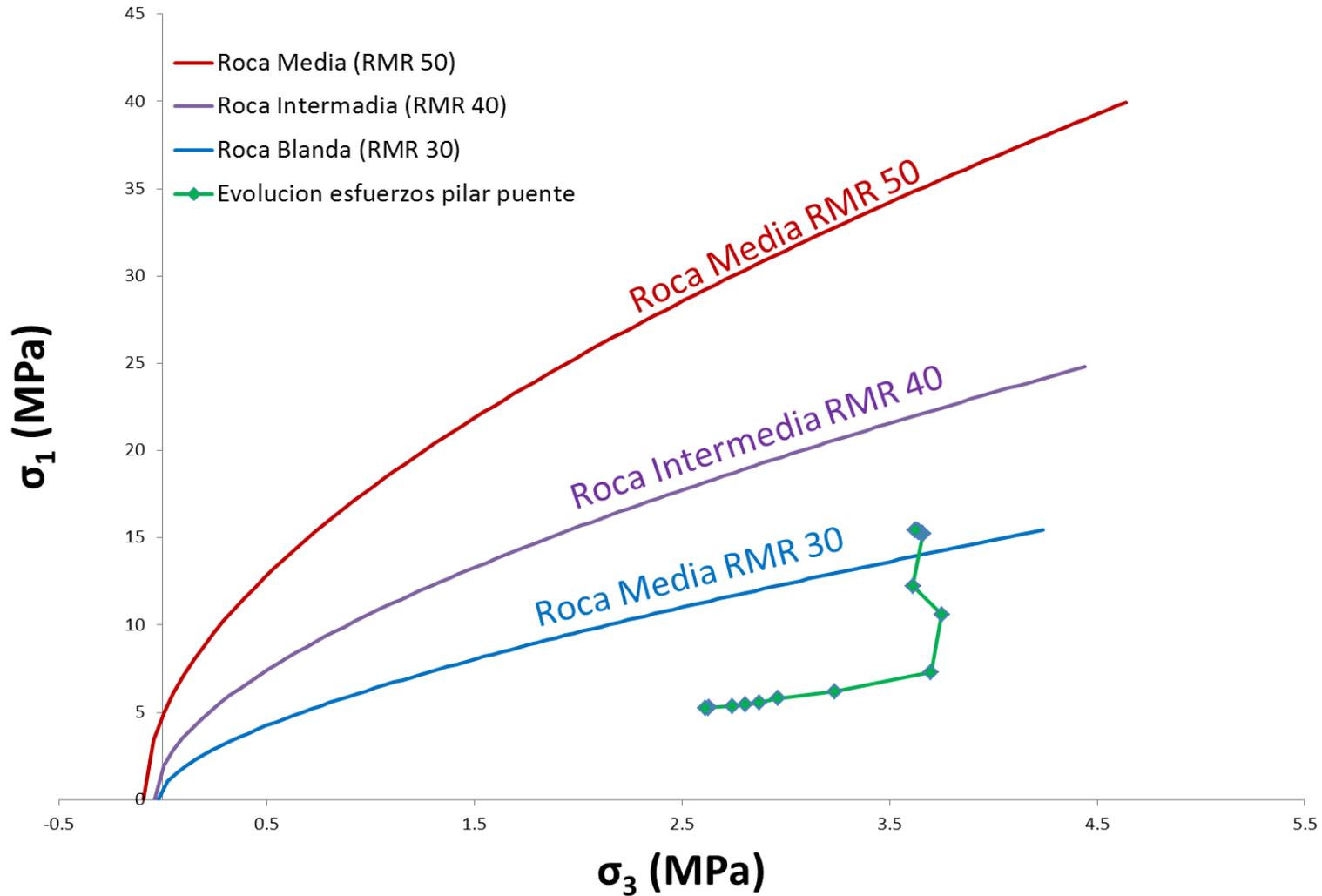






Esfuerzo Modelado en Núcleo Pilar Loza Longitudinal

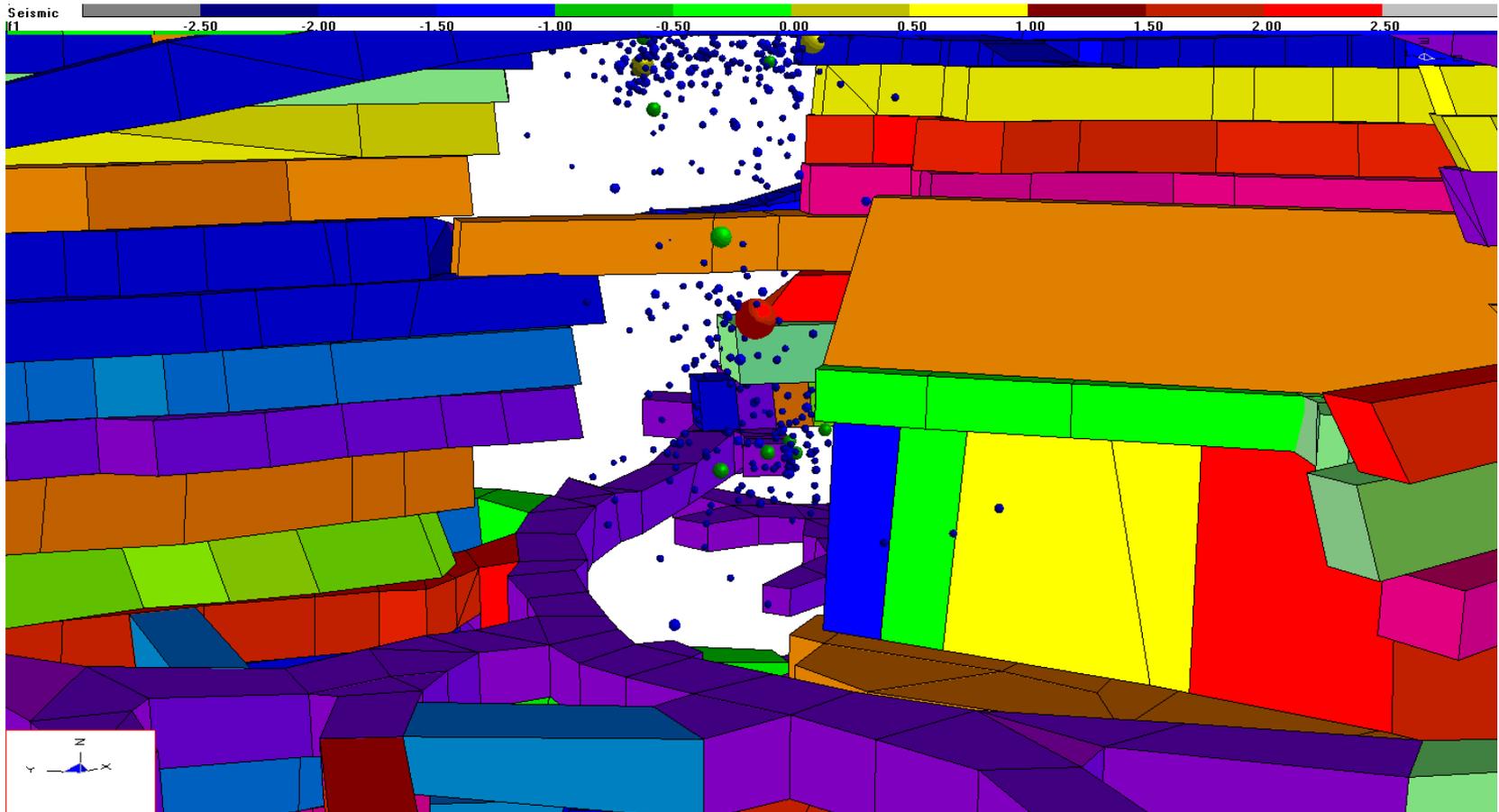




- Caserones abiertos (sub level open stoping)
 - Dimensiones
- Pilares y cámaras (Room & Pillar)
 - Dimensiones
- Caserones con utilización de relleno para mejorar la estabilidad
 - Avoca en retroceso longitudinal
 - Transversal
 - Caserones primarios con relleno cementado
 - Secundarios con relleno no cementado
 - Corte y relleno
 - Relleno ROM y en pastas cementado
 - Corte y relleno descendente
 - Room & Pillar con reemplazo de pilares

- Fortificación de cajas de caserones abiertos
- Reemplazo de pilares de mineral por relleno cementado
 - Incrementa la flexibilidad (i.e. es posible tener múltiples horizontes de minado)
 - Aumento de la recuperación
- En terreno propenso al estallido de roca
 - Des-estresar el macizo con tronadura
 - Cortina de des-estresamiento
 - Fortificación de la frente
 - Fortificación de excavaciones con sistemas de soporte dinámico
- Pre acondicionamiento del hundimiento con fracturamiento hidráulico
- Hundimiento avanzado

- Minado de caserón de estéril próximo al mineral con el fin de dejar en la sombra los esfuerzos inducidos en el mineral



Comentarios Finales

- Las inestabilidades geomecánicas tiene un fuerte impacto en la planificación minera al condicionar e interrumpir la operación
- Se hace uso de recursos que están programados con otros fines
- Idealmente se quiere minar al menor costo posible pero aumentar la recuperación y la estabilidad con el uso de relleno implica necesariamente un mayor grado de planificación de la entrega y distribución del relleno
- El uso de relleno necesariamente hace un mayor uso de los equipos disponibles
- Un secuenciamiento inadecuado puede llegar a producir inestabilidad geomecánica
- La utilización de pilares reduce la recuperación del método y como consecuencia reduce la disponibilidad de mineral, lo que debe ser considerado en los planes de producción.