

Juan Herrera Herbert

Desarrollo de infraestructura y preparación de mina en interior

Madrid - 2022



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es



Desarrollo de infraestructura y preparación de mina en interior

Autor: Juan Herrera Herbert (juan.herrera@upm.es).

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: SRK Consulting: Addressing The Challenges And Future Of Cave Mining (<https://www.srk.com/>)

Copyright © 2022. Todos los derechos reservados

DC: <https://oa.upm.es/89348/>

Identificador OAI: oai:oa.upm.es:89348

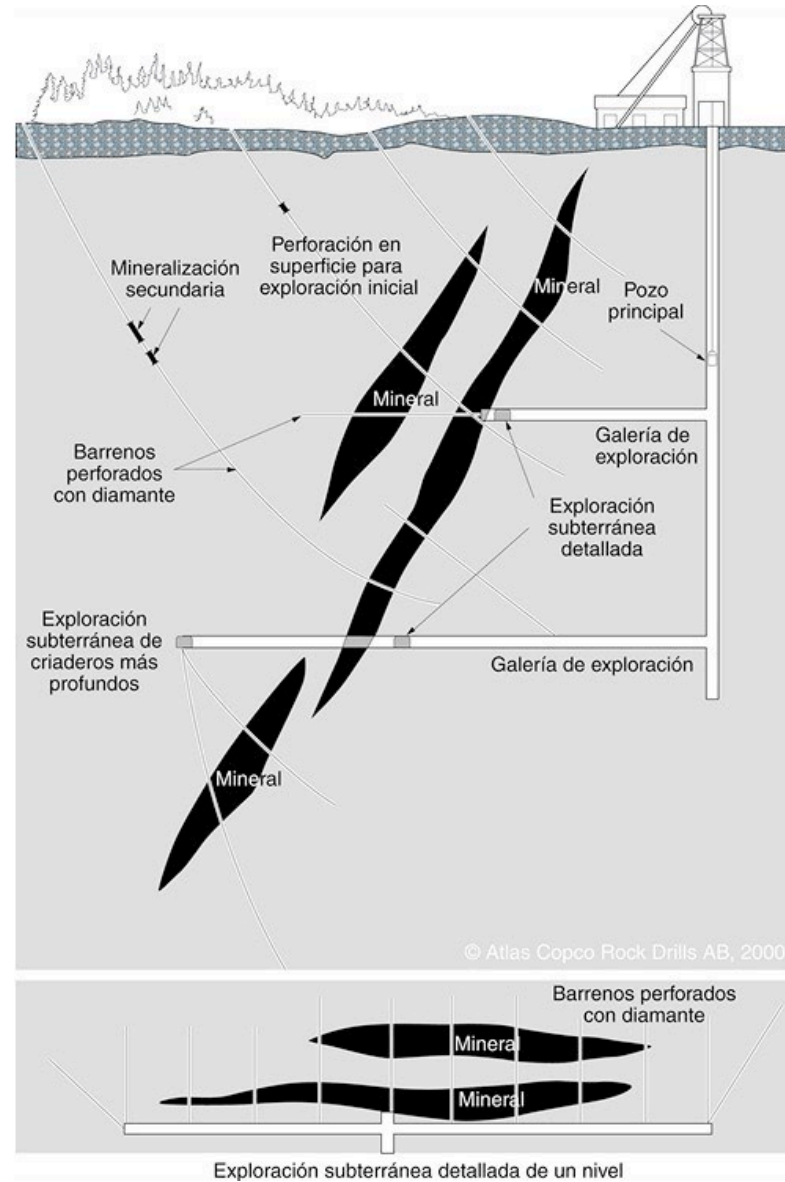


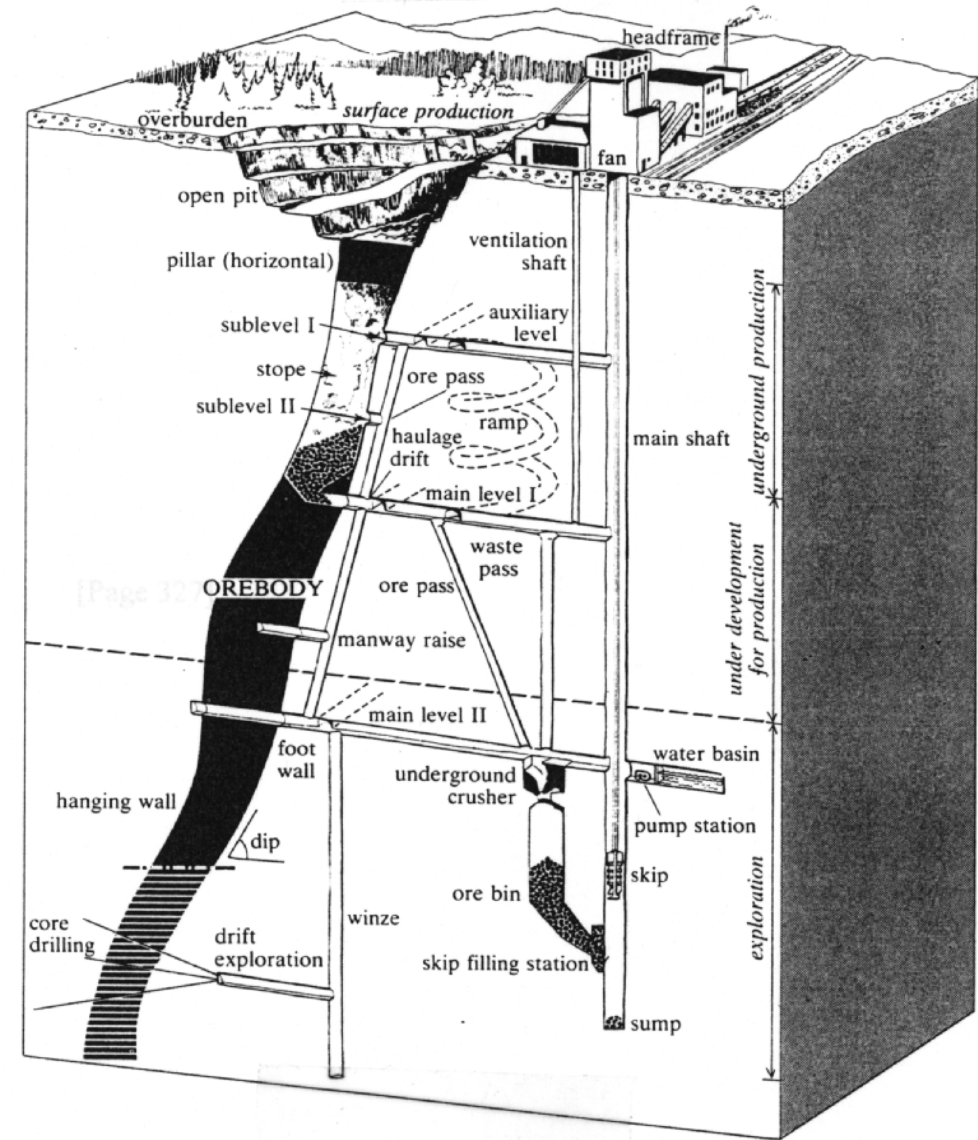
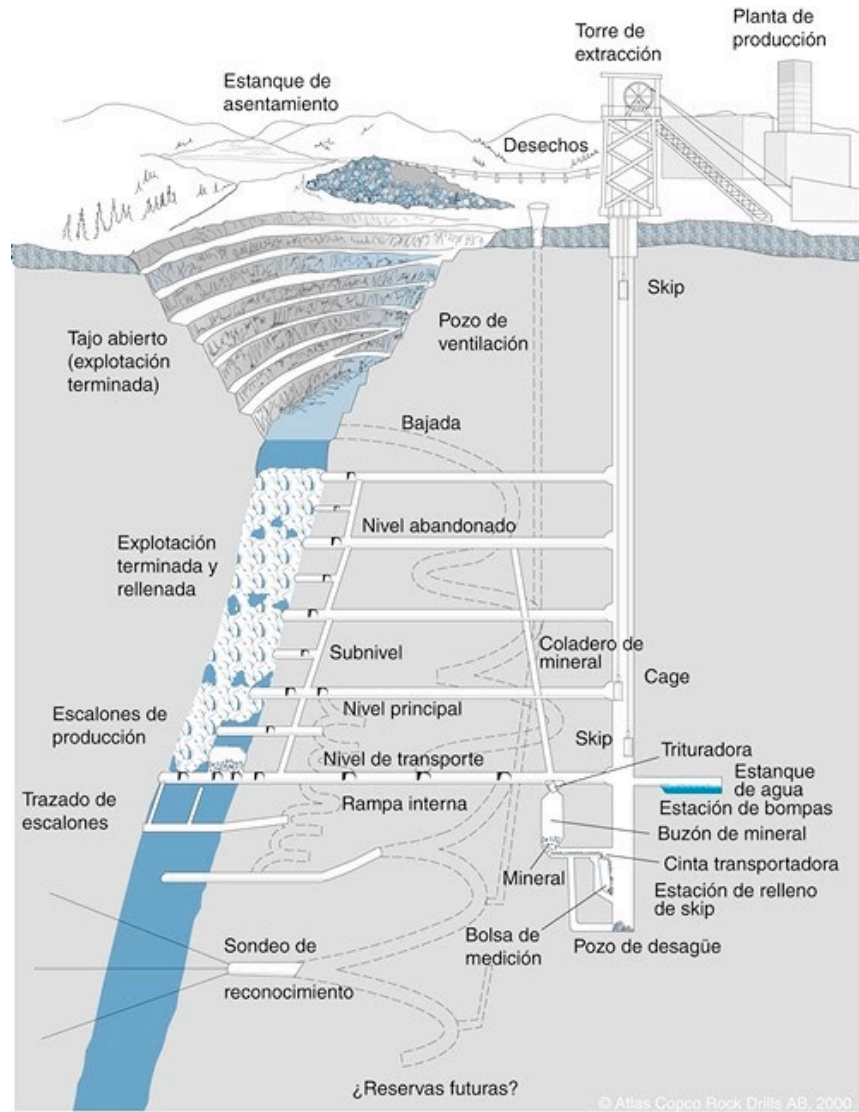
Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

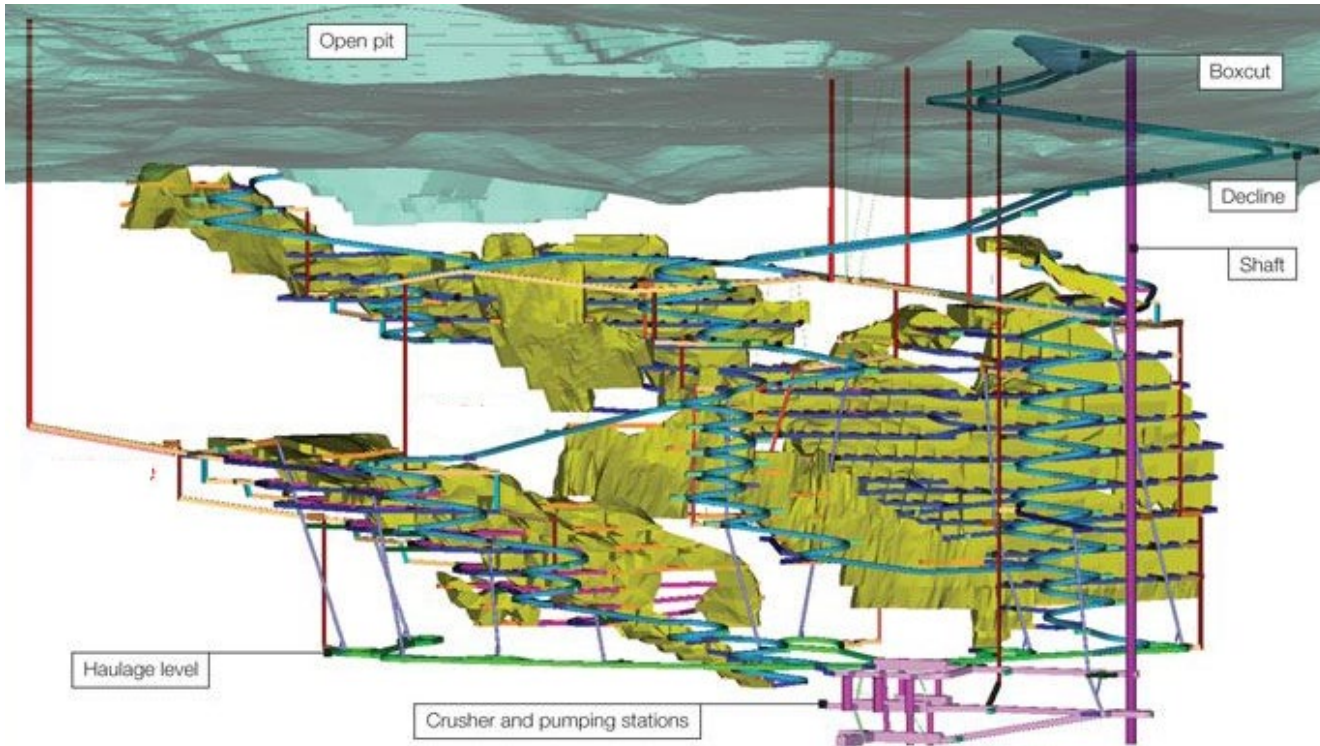
Calle Ríos Rosas 21
28003 Madrid (España)



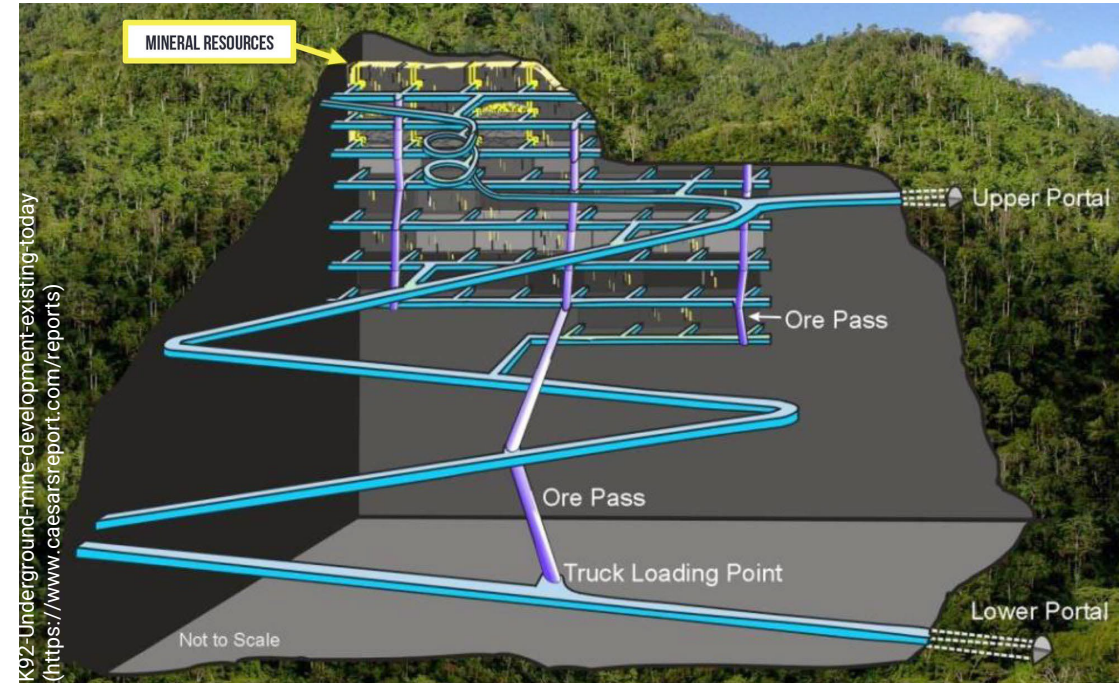
Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.



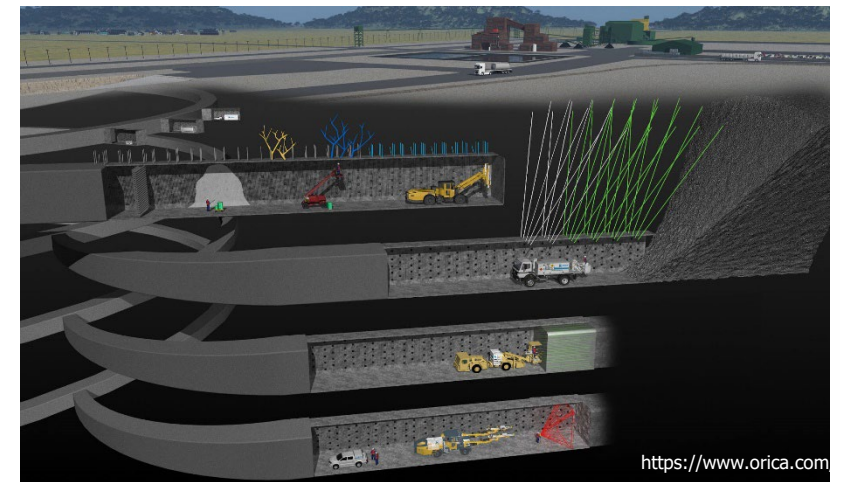


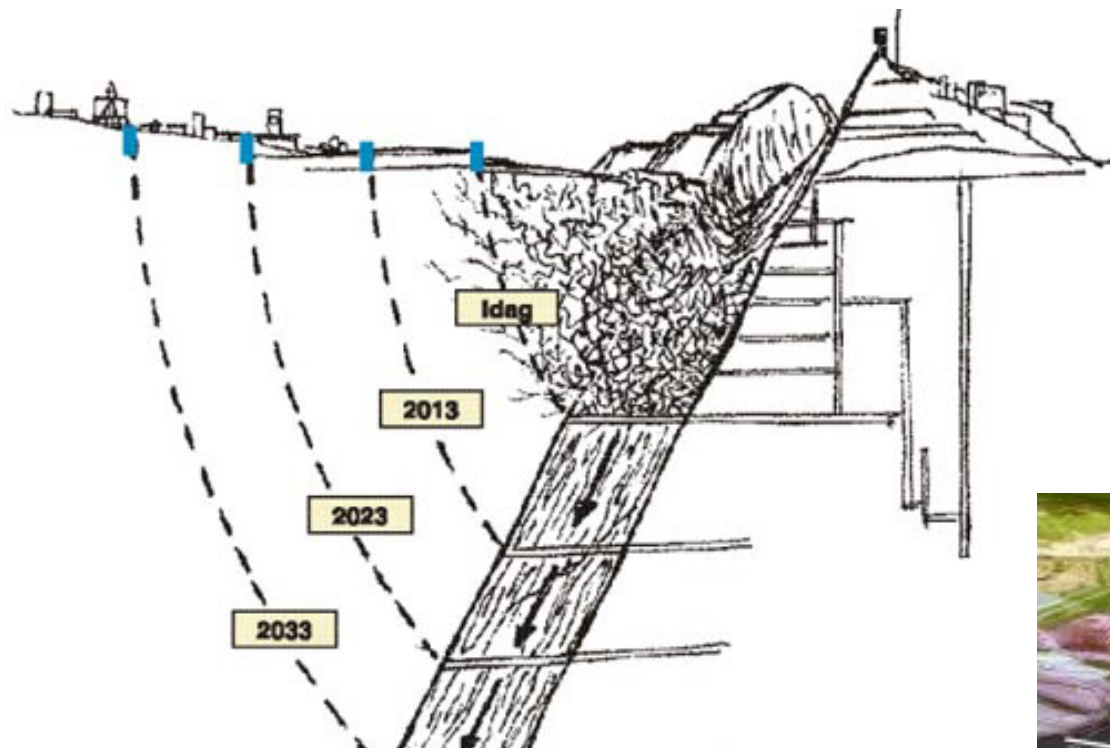


Kibali Mine (<https://im-mining.com/2017>)



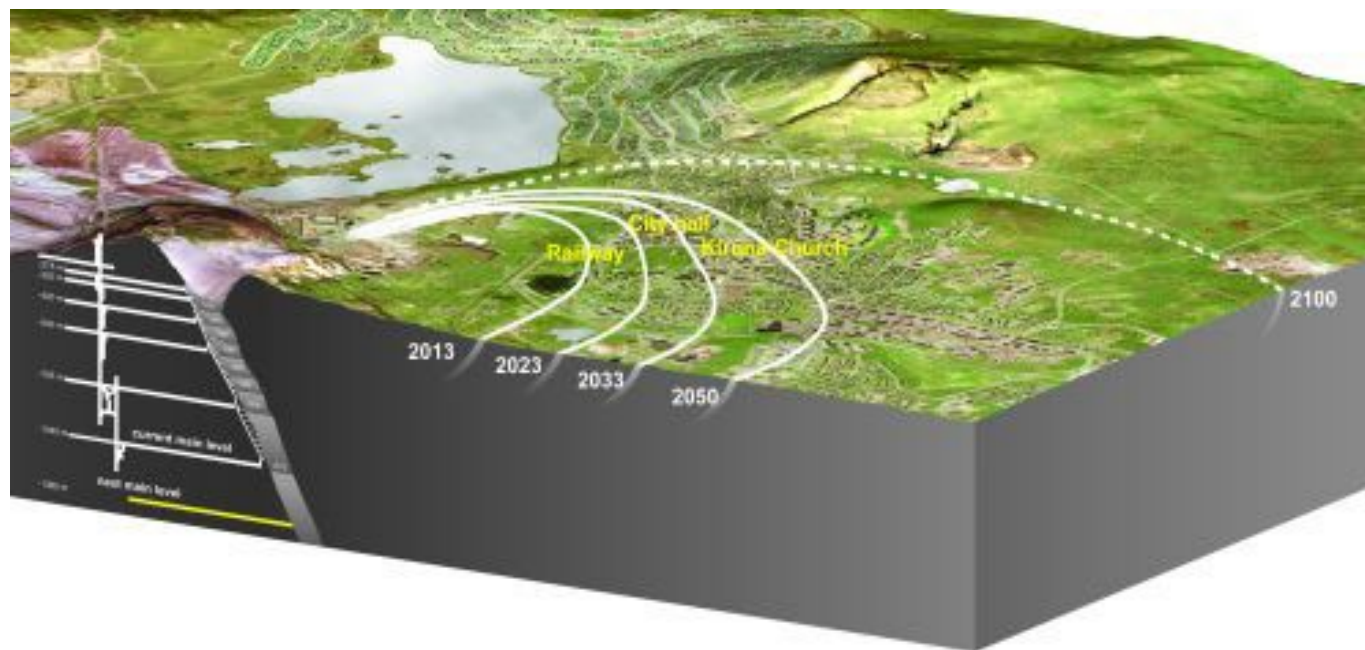
Antes de que comience la operación, se debe construir toda la infraestructura.

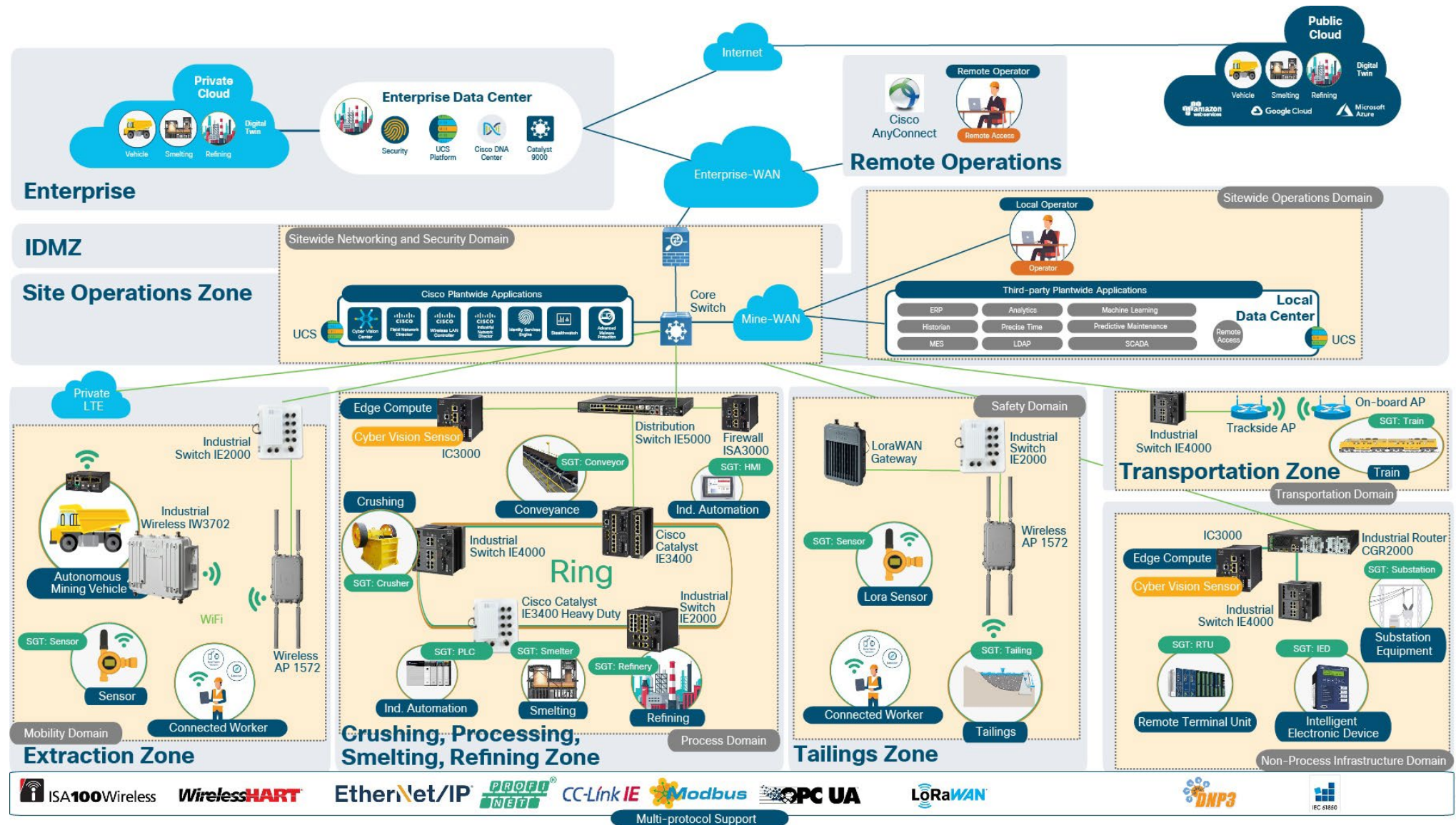




La construcción de la mina debe ser compatible con los posteriores hundimientos y deformaciones del suelo a lo largo de la vida de la mina.

Kiruna Mine (LKAB)







POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



INFRAESTRUCTURA A CONSTRUIR

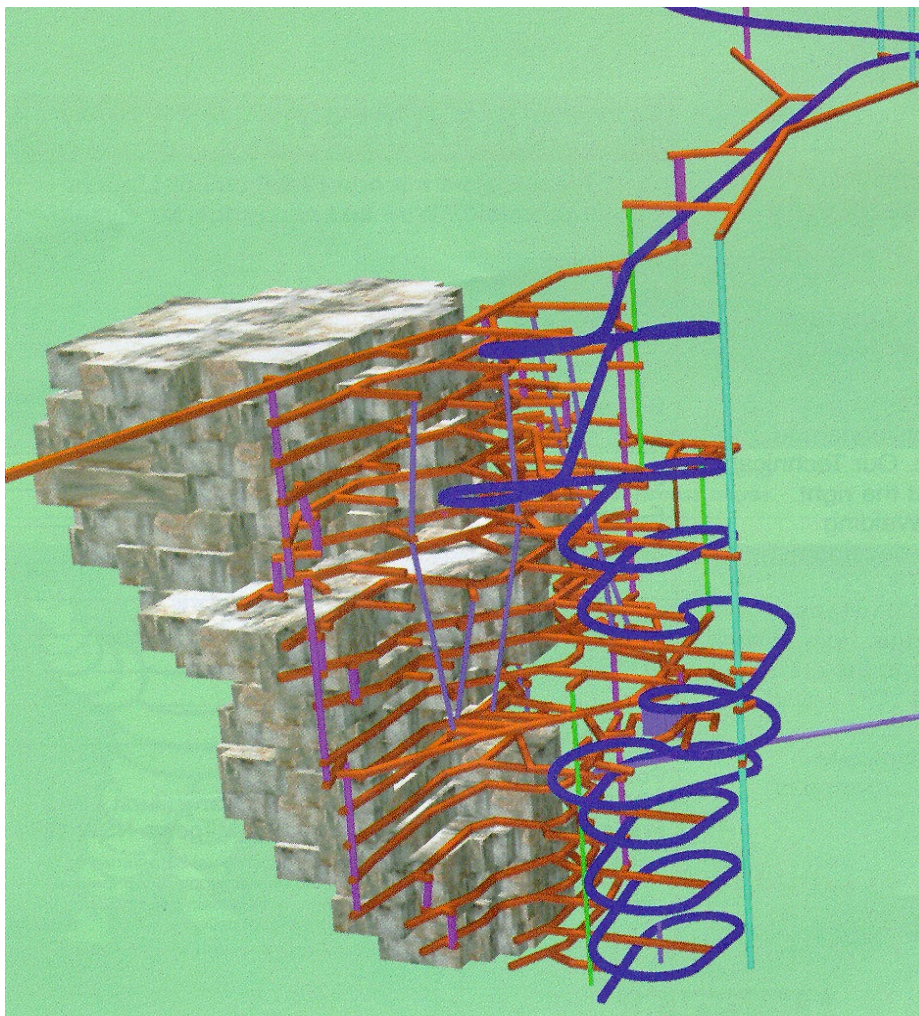
Infraestructura de mina

- Galerías generales
- Redes interiores de transporte:
 - Ferrocarril
 - Bandas transportadoras
 - Instalaciones de máquinas de extracción
- Rampas de comunicación interior
- Cámaras de trituración
- Instalaciones de servicios:
 - Centros de transformación eléctrica
 - Talleres de mantenimiento
 - Estación de servicio
 - Centros de comunicación
- Instalaciones para el personal
 - Salas de descanso
 - Vestuarios
 - Oficinas
- Centros de visitantes
- Infraestructura de drenaje y gestión del agua
- Red de ventilación
- Sistemas de backfilling
- Iluminación
- Control y seguridad

Galerías generales y secundarias



Desarrollo de galerías (Drifting)



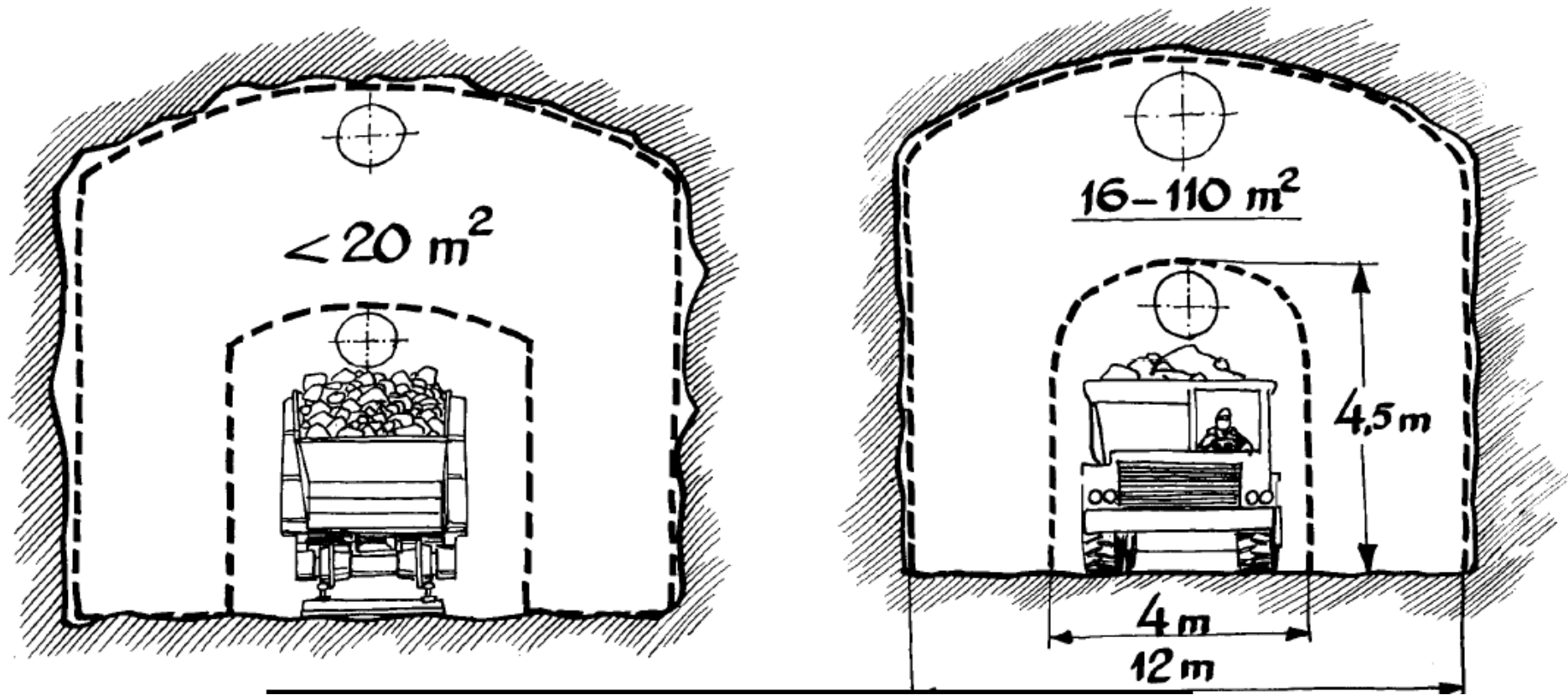
Rampas y galerías

- Forman la red que conecta los accesos (pozos o planos inclinados) con las diferentes partes de la mina subterránea, así como estas partes entre sí.
- Las galerías también se excavan para desarrollar las distintas cámaras y talleres de producción para la extracción del mineral.



Rampas

- Rampas (= Planos inclinados ascendentes o descendentes)
 - Conectan los diferentes niveles entre sí o, en su caso, estos con la superficie.
- Rampa principal de acceso:
 - Excavada fuera del cuerpo mineralizado, normalmente a muro y a suficiente distancia para evitar daños en la misma por la excavación y extracción del mineral pero suficientemente cerca para minimizar la longitud de las galerías horizontales en los niveles producción y acarreo.
 - Habitualmente se diseña para una utilización durante un plazo más largo que las galerías de producción.
 - En la medida de lo posible, debe ubicarse en roca competente y utilizarse sostenimiento para una larga vida operativa.
 - Las dimensiones mínimas son de 4.5 x 4.5 m cuando no se utilizan equipos sobre carril, siendo lo habitual no menos de 6.0 x 6.0 m cuando se utilizan camiones de interior y deben ubicarse instalaciones auxiliares (ventilación, suministro eléctrico, de agua, señalización, etc.).
 - La pendiente puede ser normalmente entre 1:10 y 1:7, que es adecuada para la mayor parte de los equipos, incluyendo camiones cargados. Pendientes más pronunciadas nunca deben superar 1:5 y usarse solamente en tramos muy cortos de conexión entre dos niveles próximos.



Desarrollo de galerías de nivel y tajos

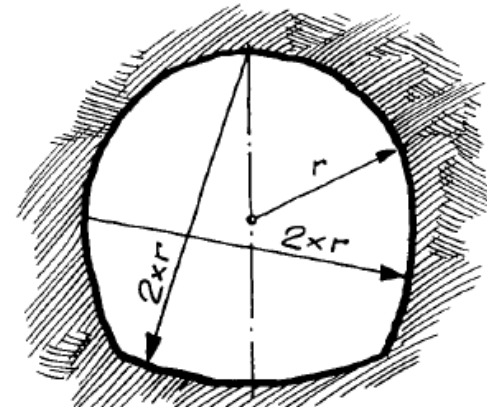
- Niveles principales:
 - A menudo suelen excavarse primero como galerías de exploración y posteriormente se convierten en galerías principales de carga y transporte.
 - La distancia vertical entre niveles principales de acarreo es normalmente entre 50 y 100 m, llegando a alcanzar hasta 200 m en algunos casos.

- Desarrollo de tajos:
 - Transversales (Cross-cuts) para las áreas de producción.
 - Subniveles
 - Galerías de carga y transporte, accesos a los tajos.
 - Otros: ventilación, evacuación y rescate, drenaje, etc.

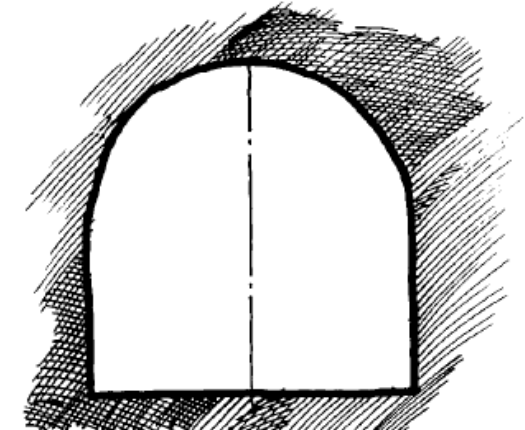
- Dimensiones de las galerías:
 - Vienen determinadas por las condiciones de la roca y la selección de los equipos para la perforación de las galerías, la carga y el transporte.
 - Debe contemplarse el suficiente espacio para los conductos de ventilación, líneas de servicios, etc.
 - En minería mecanizada, son comunes unas dimensiones comprendidas entre 3.5 x 3.5 m y 5.0 x 5.0 m



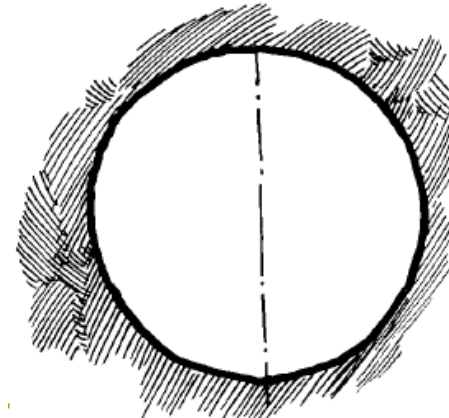
Tipos de secciones de galerías



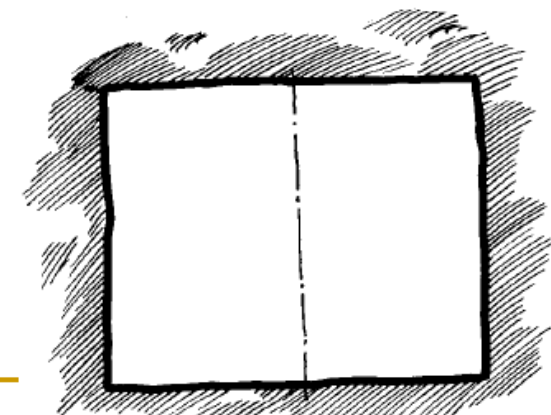
HORSE SHOE - SHAPED



D-SHAPED



CIRCULAR



RECTANGULAR





www.miningindustrialphotographer.com







Grosvenor Coal Mine



Grosvenor Coal Mine

Rampas de comunicación interiores

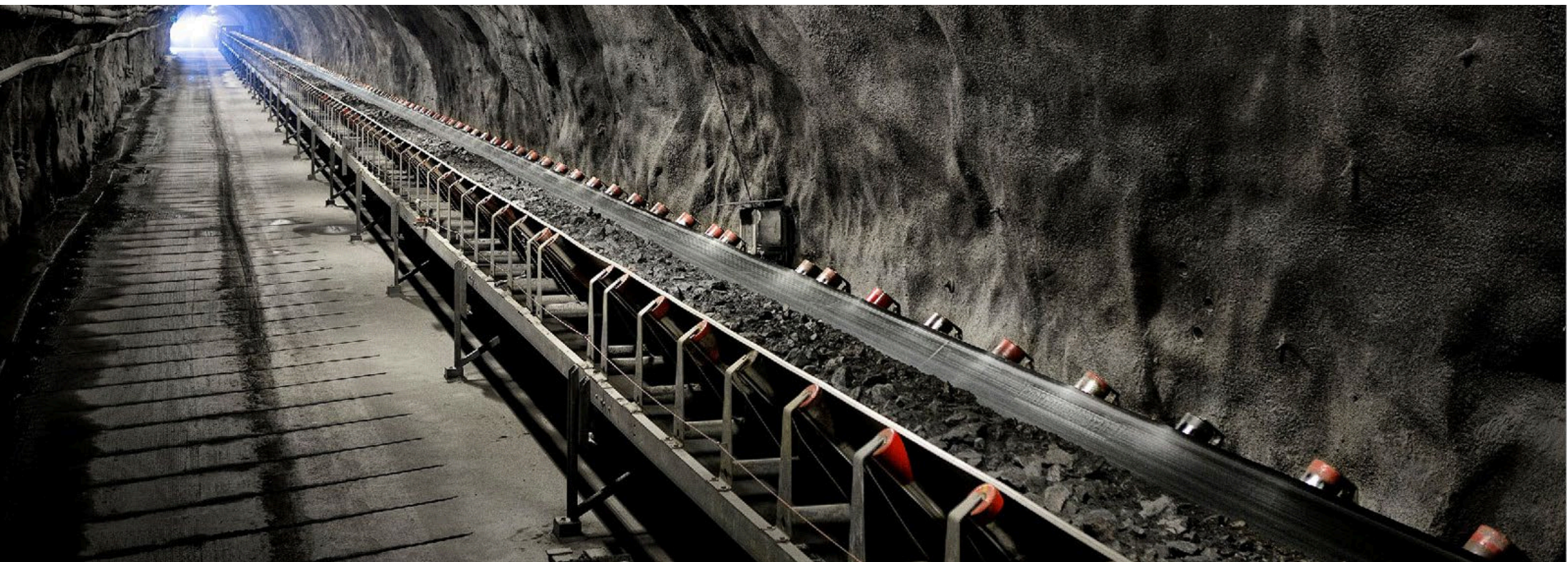


Redes internas de transporte: ferrocarril



Galería general de transporte.
Mina de Kiruna (Suecia)

Redes internas de transporte: sistemas de bandas transportadoras





UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

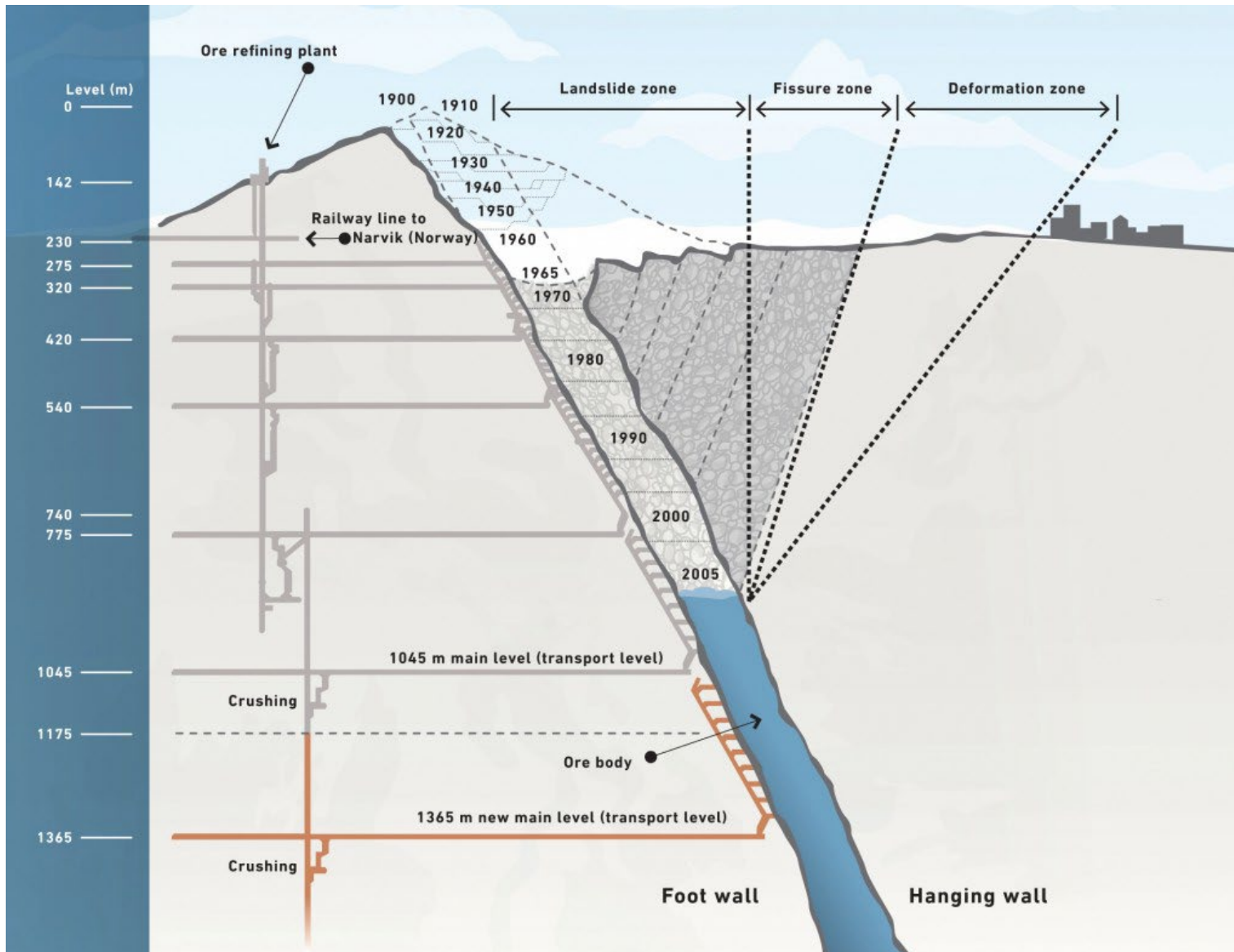
Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



Redes internas de transporte: pozos de extracción interiores y máquinas de extracción





Mina de Kiruna (Suecia)



Chimeneas y pozos piquera para mineral



Cámaras con salas de trituración









Servicios mina: centros de transformación eléctrica



Servicios mina: talleres de mantenimiento







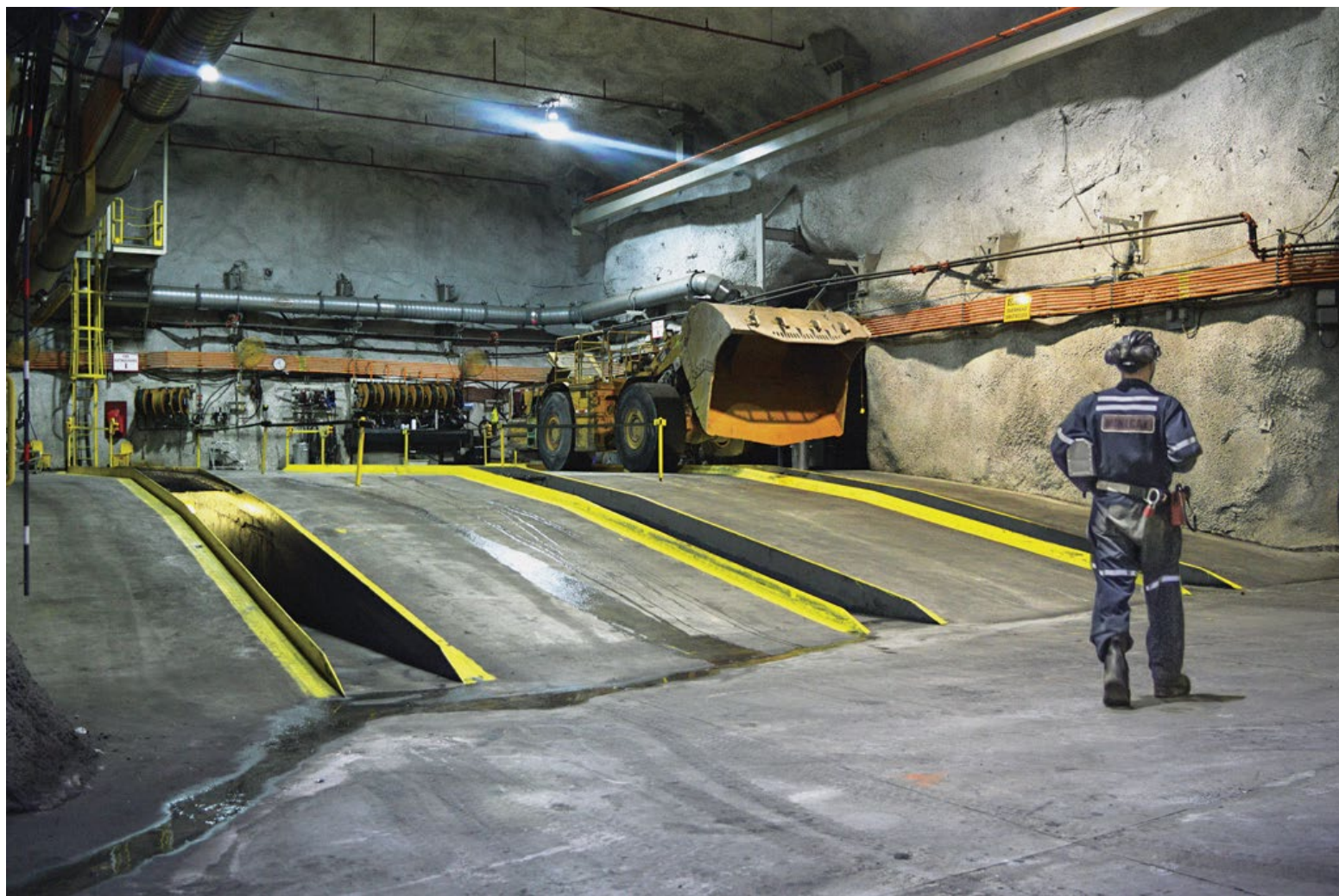




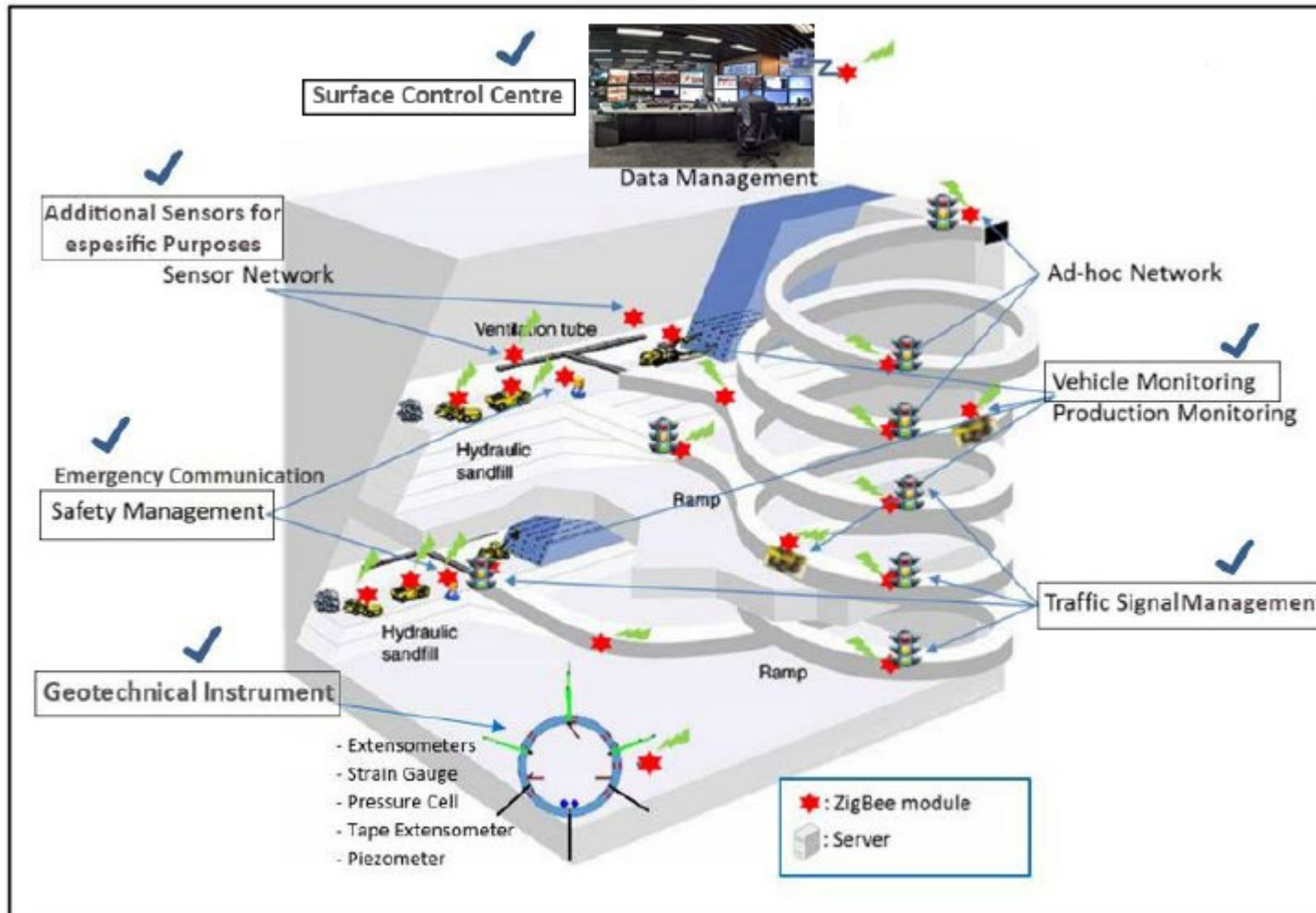
Kiruna KUJ 1365. Copyfree



Servicios mina: estación de servicio



Servicios mina: centros de comunicaciones



Servicios para el personal: zonas de descanso y comedores



<https://www.colorado.edu/>

Oficinas





La sala de reuniones de la oficina de Google en Zúrich está diseñada como un túnel.

Centros de visitantes







Velenje underground mine, Slovenia (<https://bigsee.eu/velenje-underground/>)

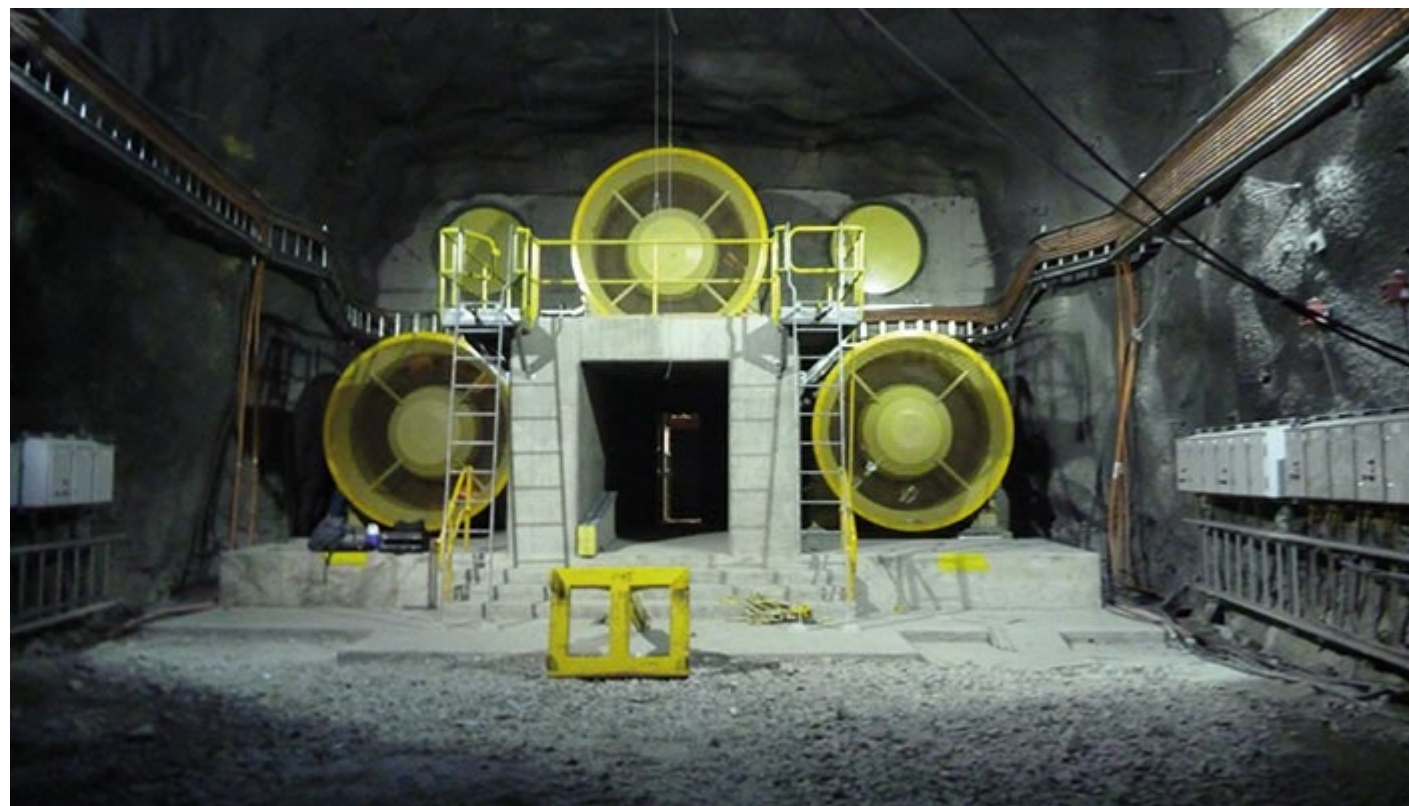


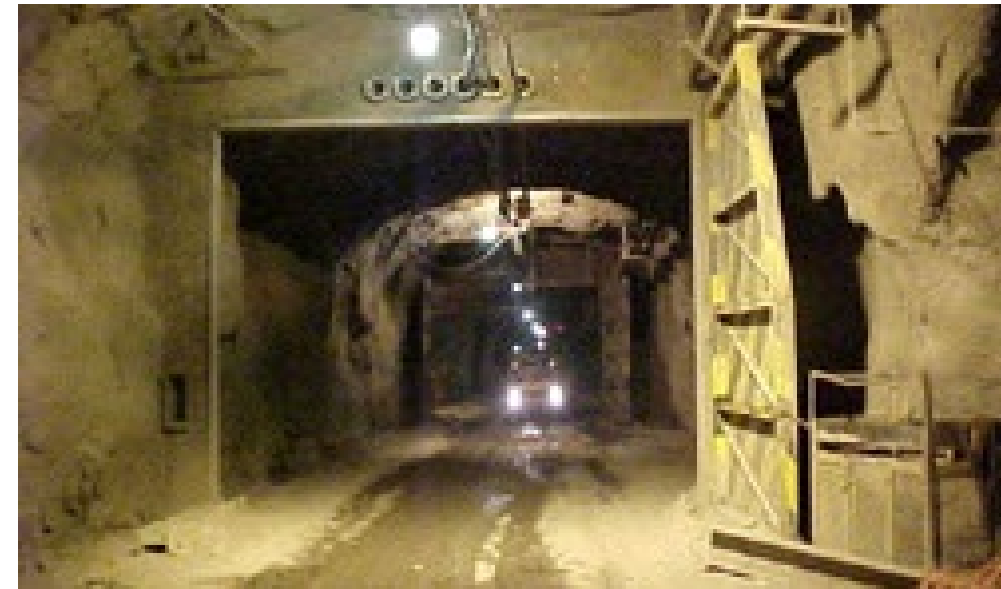
Infraestructura de drenaje y gestión de agua



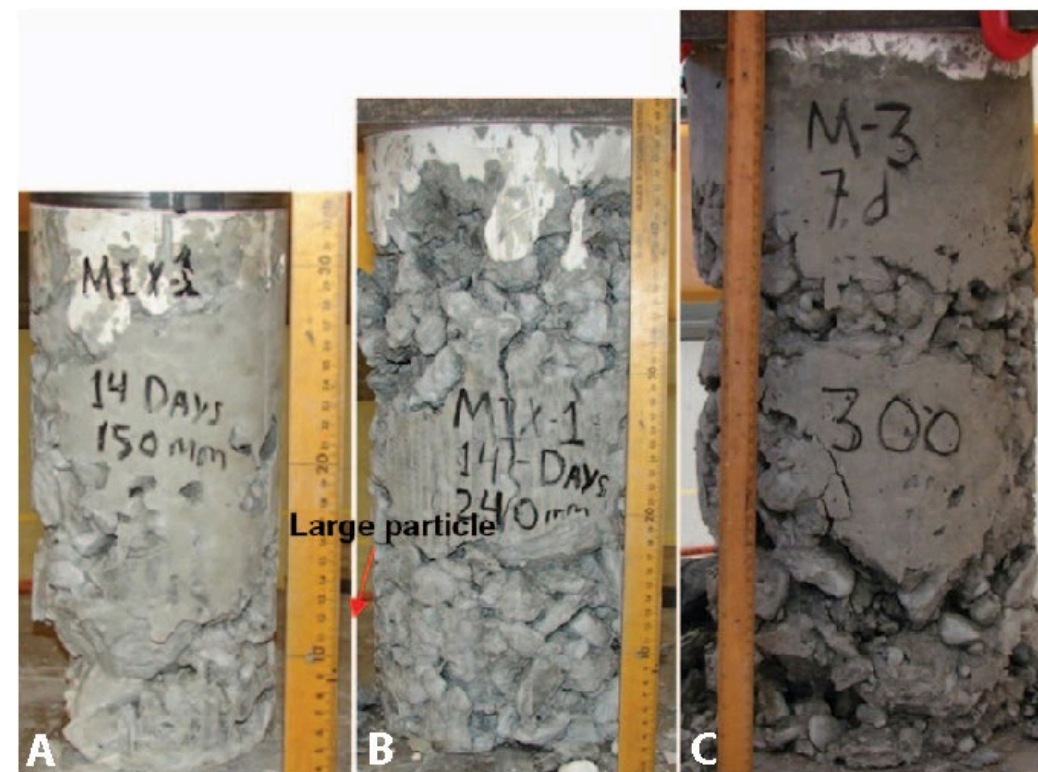


Infraestructura de ventilación

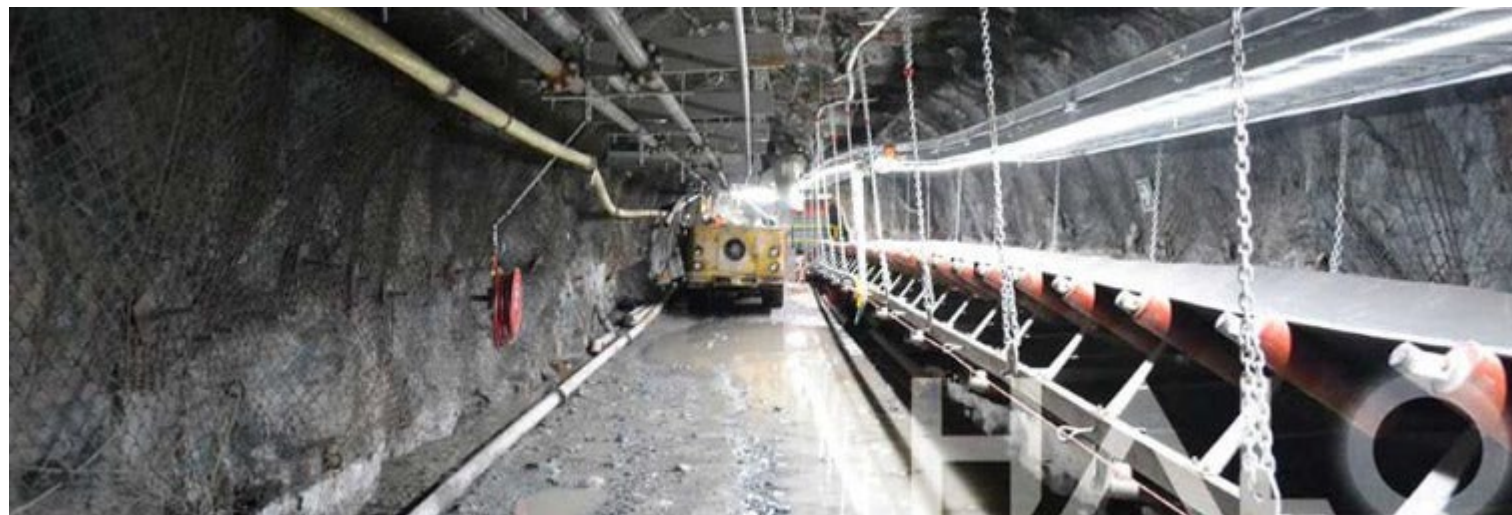




Sistemas de Backfilling



Iluminación

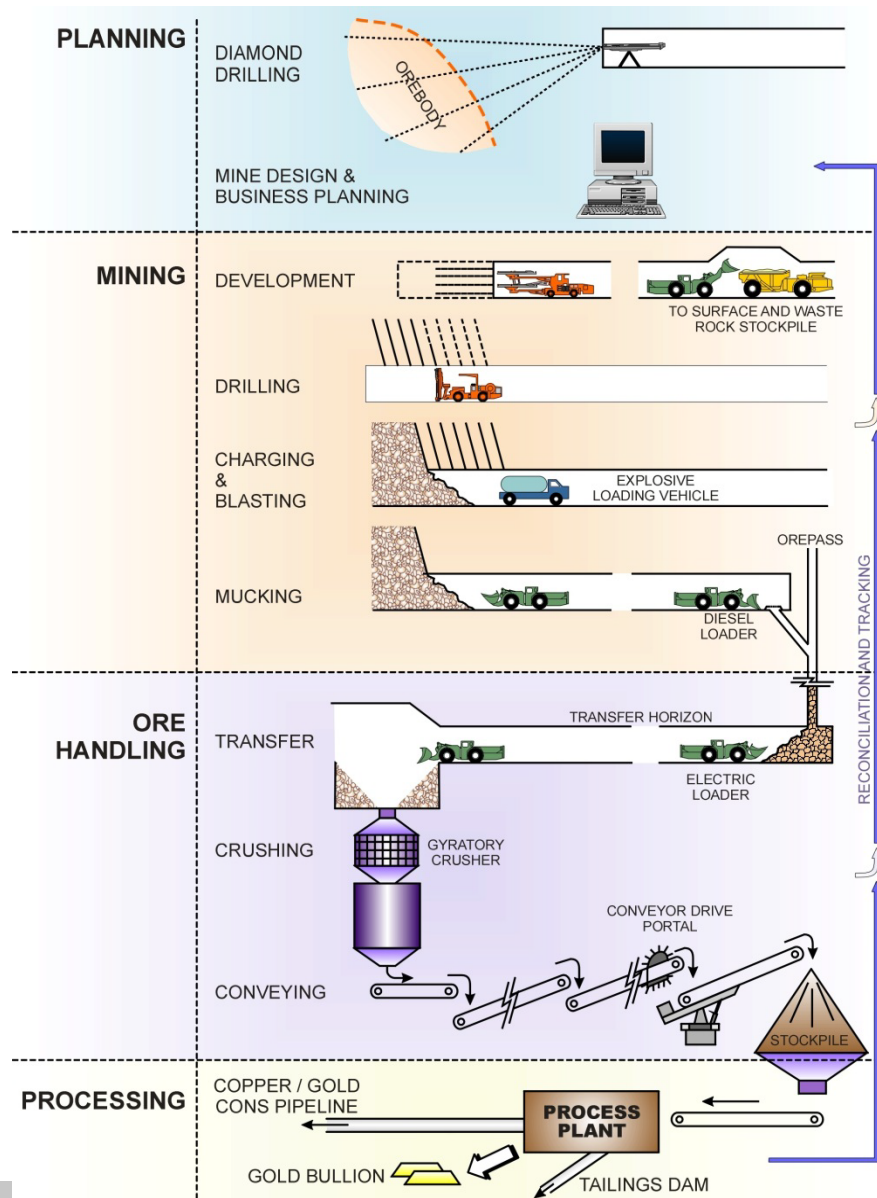


Infraestructura de seguridad: salas de rescate



Preparación de tajos

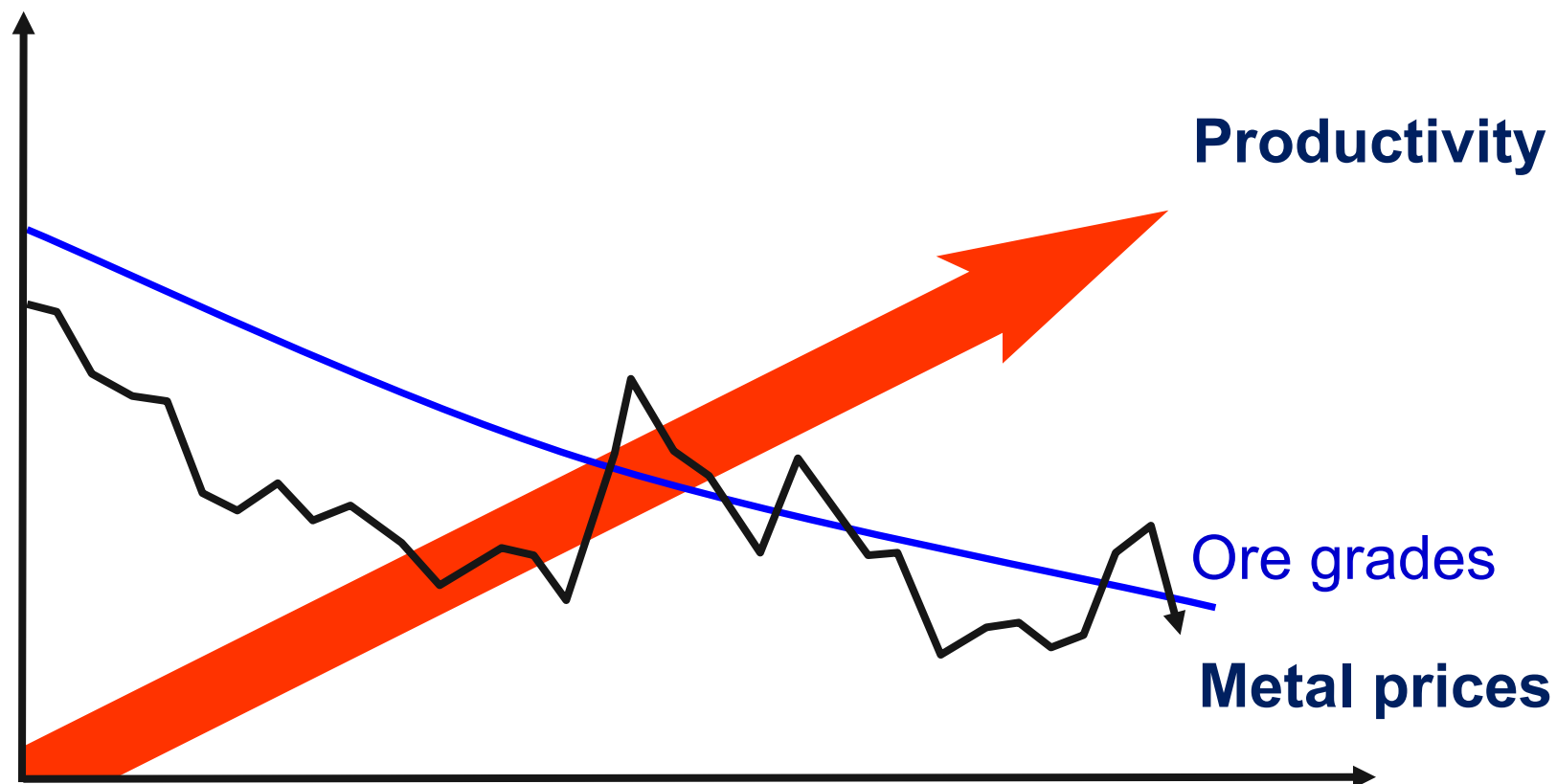




Aspectos donde debe incidir la eficiencia

- Todos los métodos de explotación incluyen:
 - Desarrollo de las labores para alcanzar la mena y trabajos preparatorios para la fase de producción.
 - Extracción de la mena y de la roca encajante cuando sea necesario.
 - Separación de la mena de la roca encajante mediante el diseño de mina y excavación de la mena.
 - Carga y transporte de la mena hasta machacadora.
 - Trituración de la mena hasta un tamaño adecuado para su posterior manipulación.
 - Transporte hasta la planta de tratamiento.

Driving force in mining industry = Need for productivity improvement



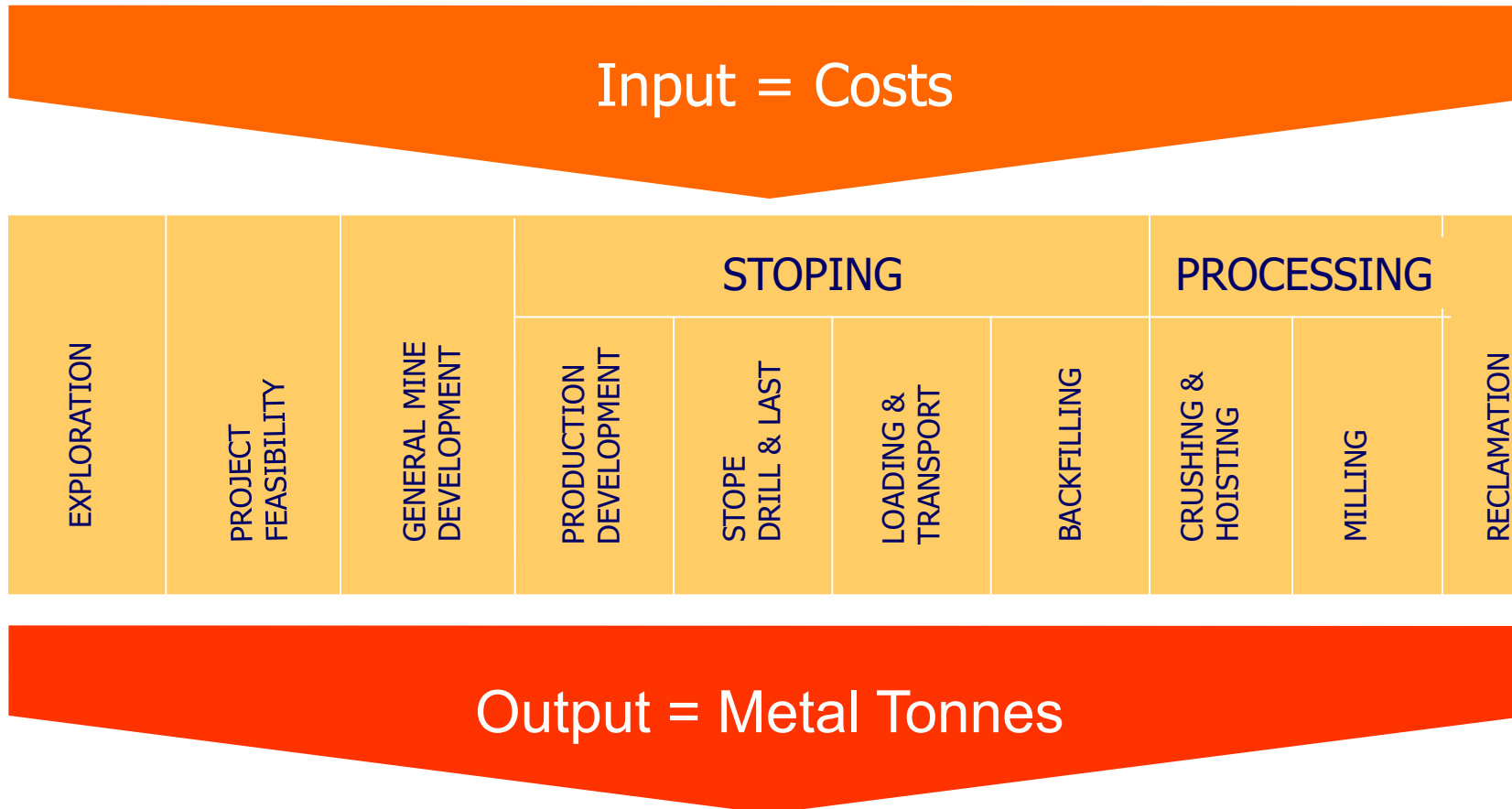
Criterios para el diseño de mina

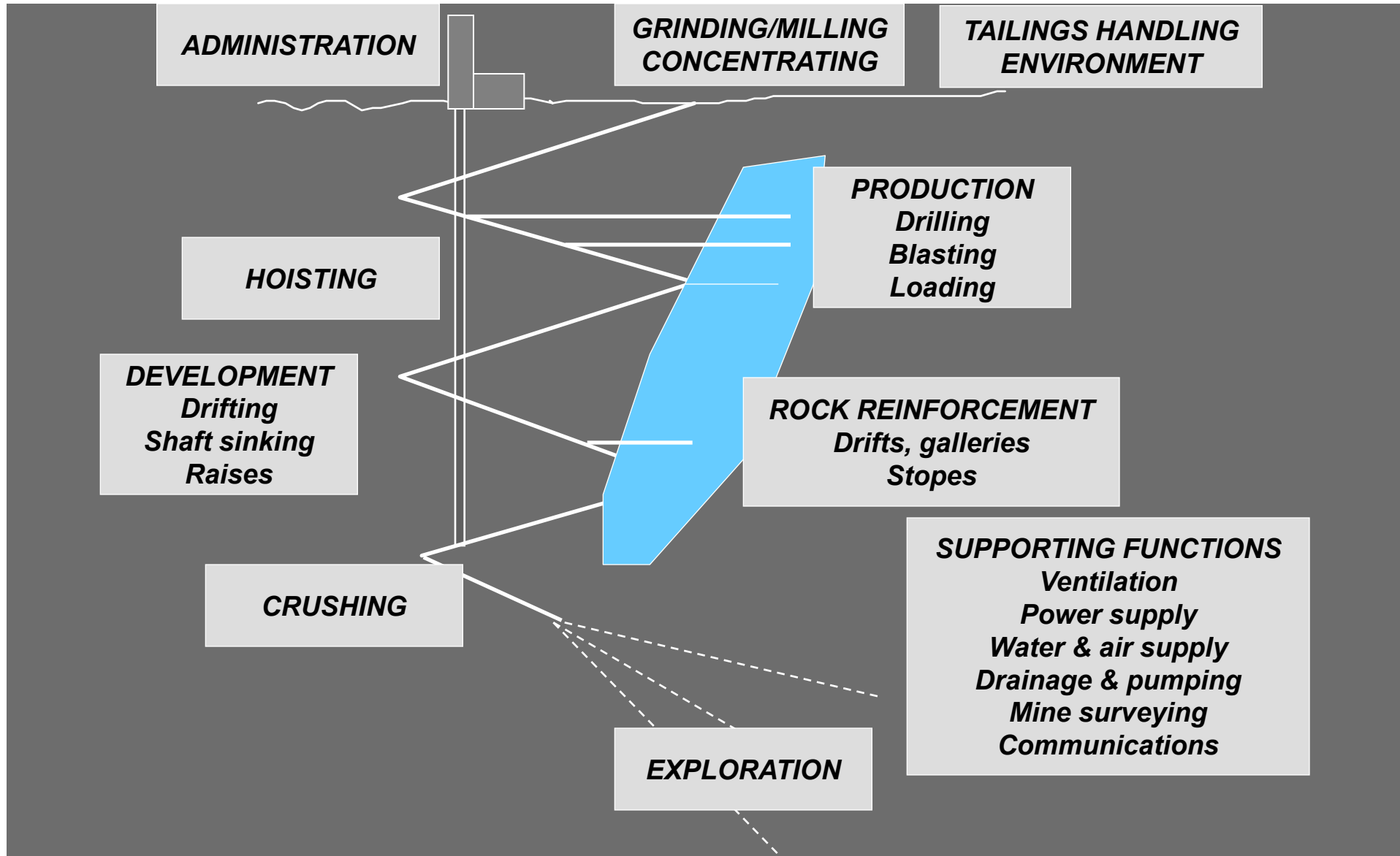
- YACIMIENTO
 - Dimensiones / Distribución / Continuidad
- MENA
 - Ley, Valor, Distribución / Mineralogía / Dureza (Strength), Estructura ...
- ROCA(S) ENCAJANTE (S)
 - Dureza (Strength), Estructura...
- FACTORES FÍSICOS EXTERNOS
 - Geografía / Clima...
- FACTORES ECONÓMICOS LOCALES
 - Mano de Obra / Energía / Disponibilidad de suministros...
- FACTORES ECONÓMICOS EN LA INDUSTRIA
 - Regularidad en la demanda de los productos.
 - Rango de precios unitarios de los productos.
 - Posibles efectos de la operación sobre le precio y la demanda futura.

Parámetros que incrementan los costes mineros

- Cuerpos mineralizados finos o delgados.
- Buzamientos medios ($< 50 - 55$).
- Límites vagos de la mena.
- Roca débil y/o fracturada.
- Condiciones mecánicas de roca dura.
- Probabilidad de presencia de cavernas.
- Mena dura y/o abrasiva.
- Factores / Condiciones externas de carácter extremo.
- Condiciones medioambientales extremas.

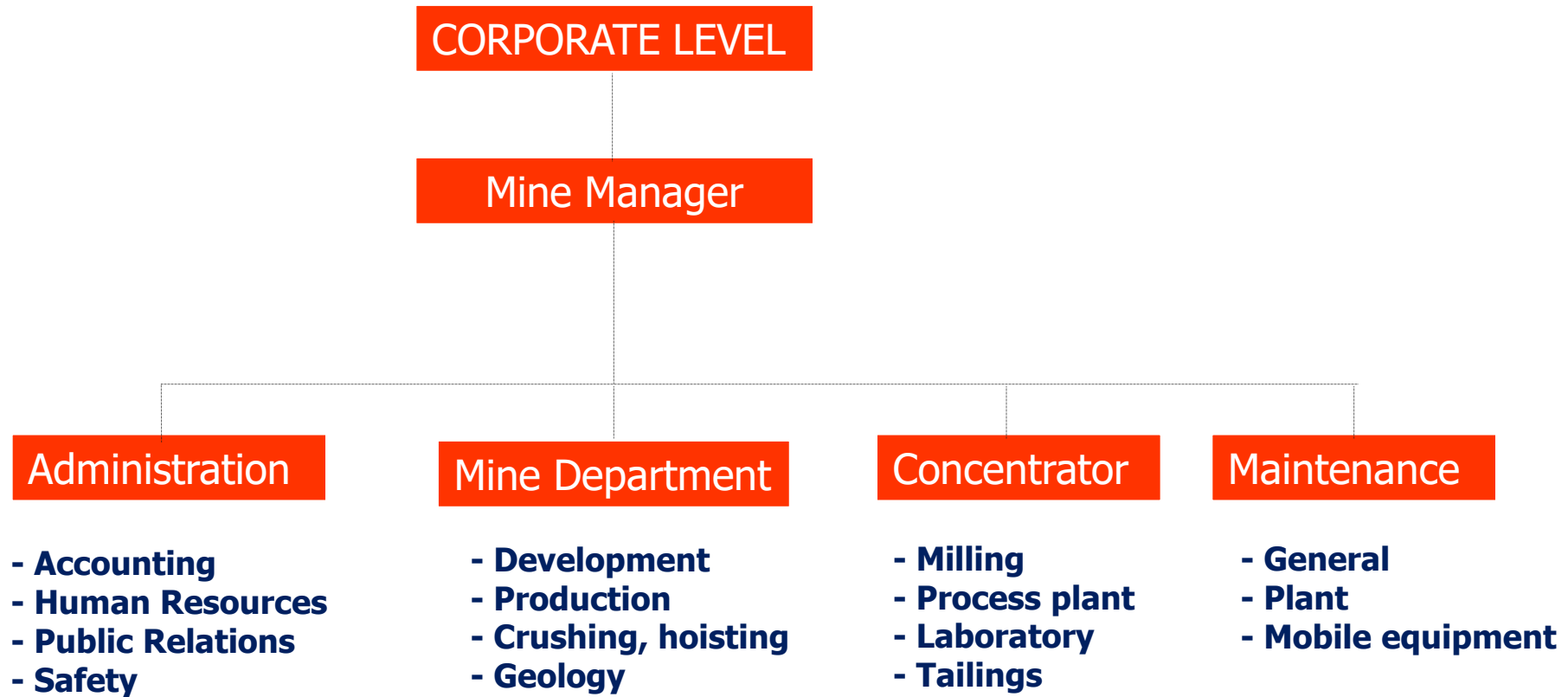
UG Mine Value Chain





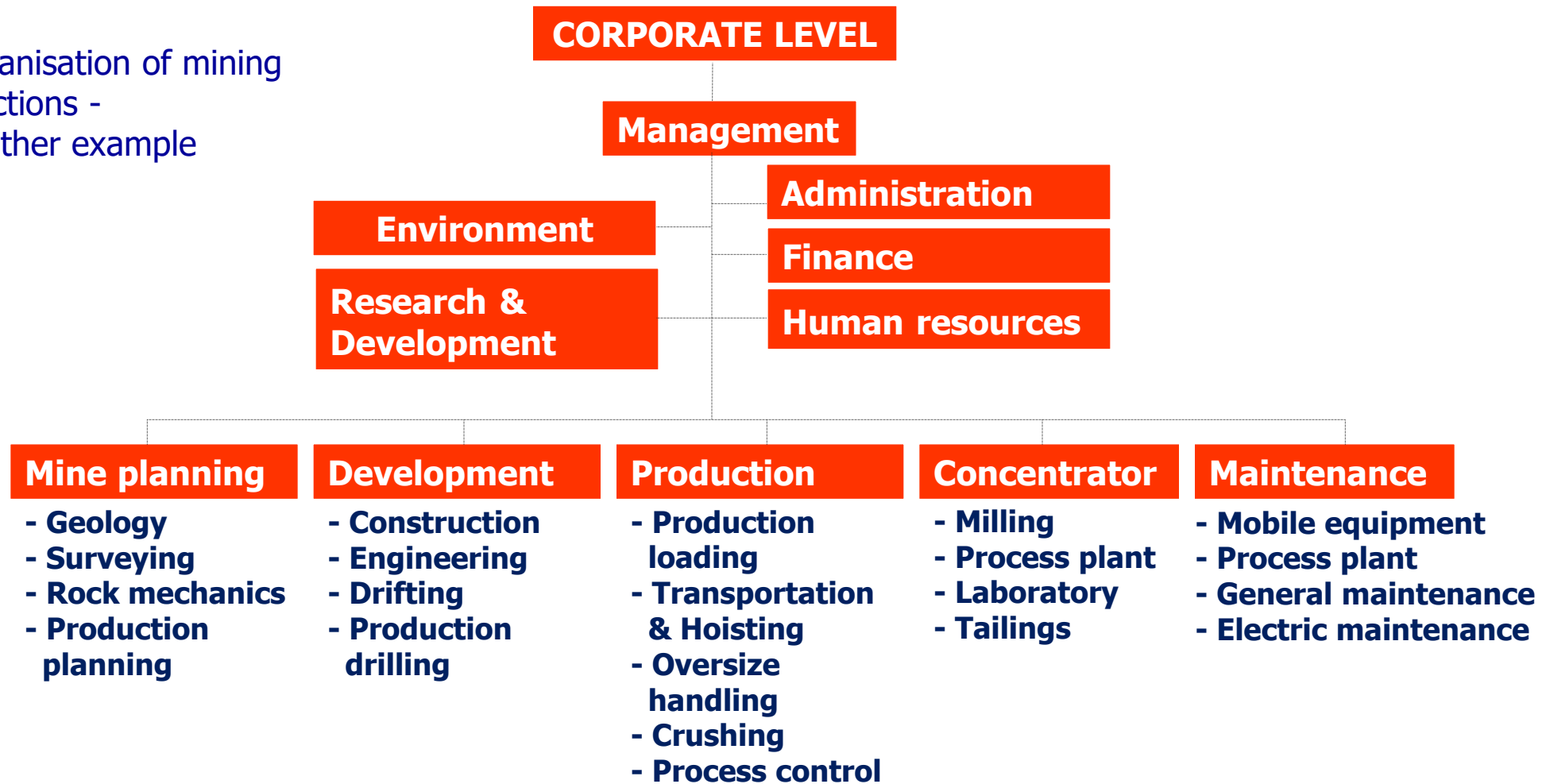
UG MINE OPERATIONS

Organisation of mining functions - Example

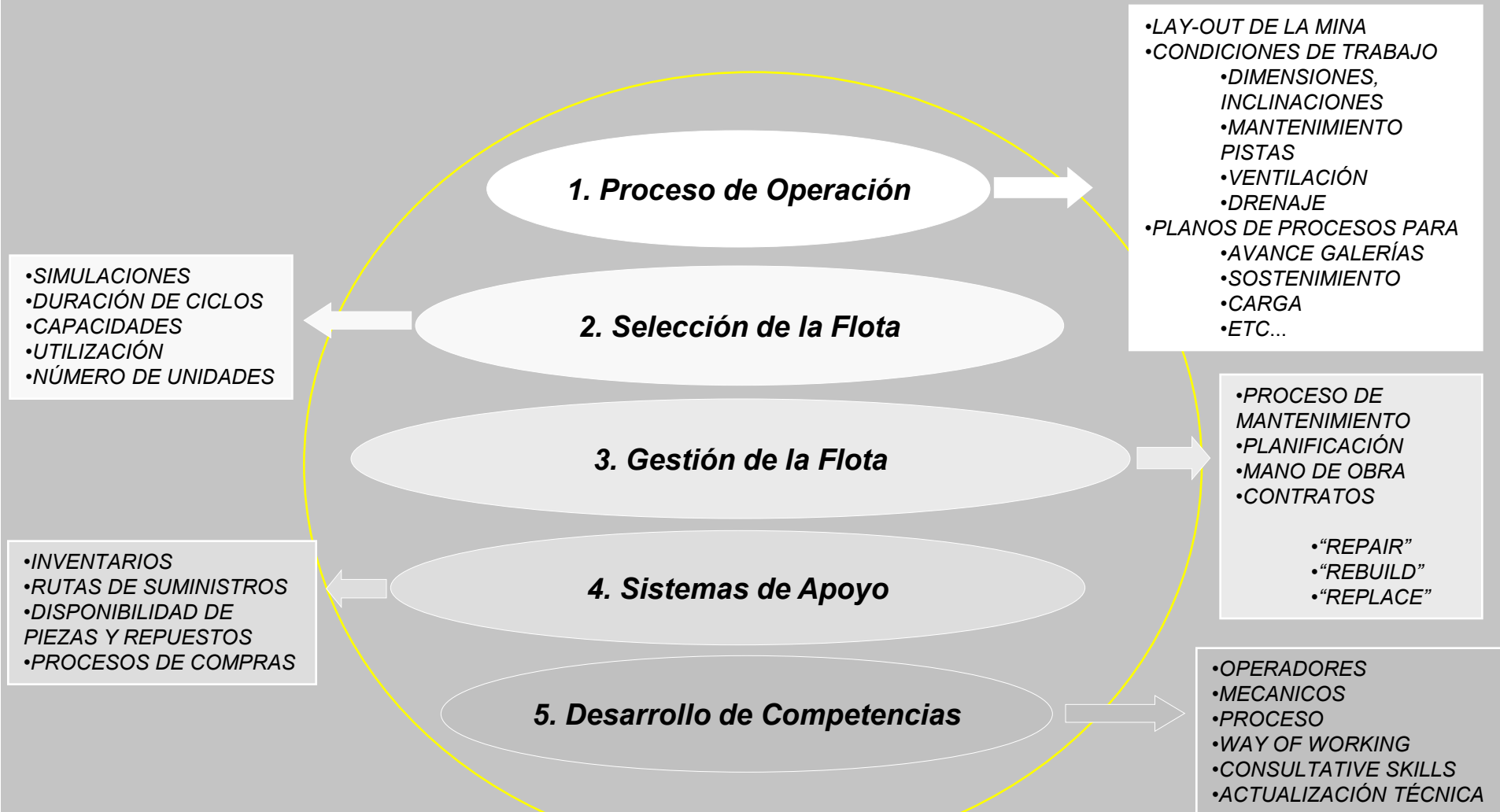


UG MINE OPERATIONS

Organisation of mining
functions -
Another example



Selección de la tecnología y el soporte para una mina

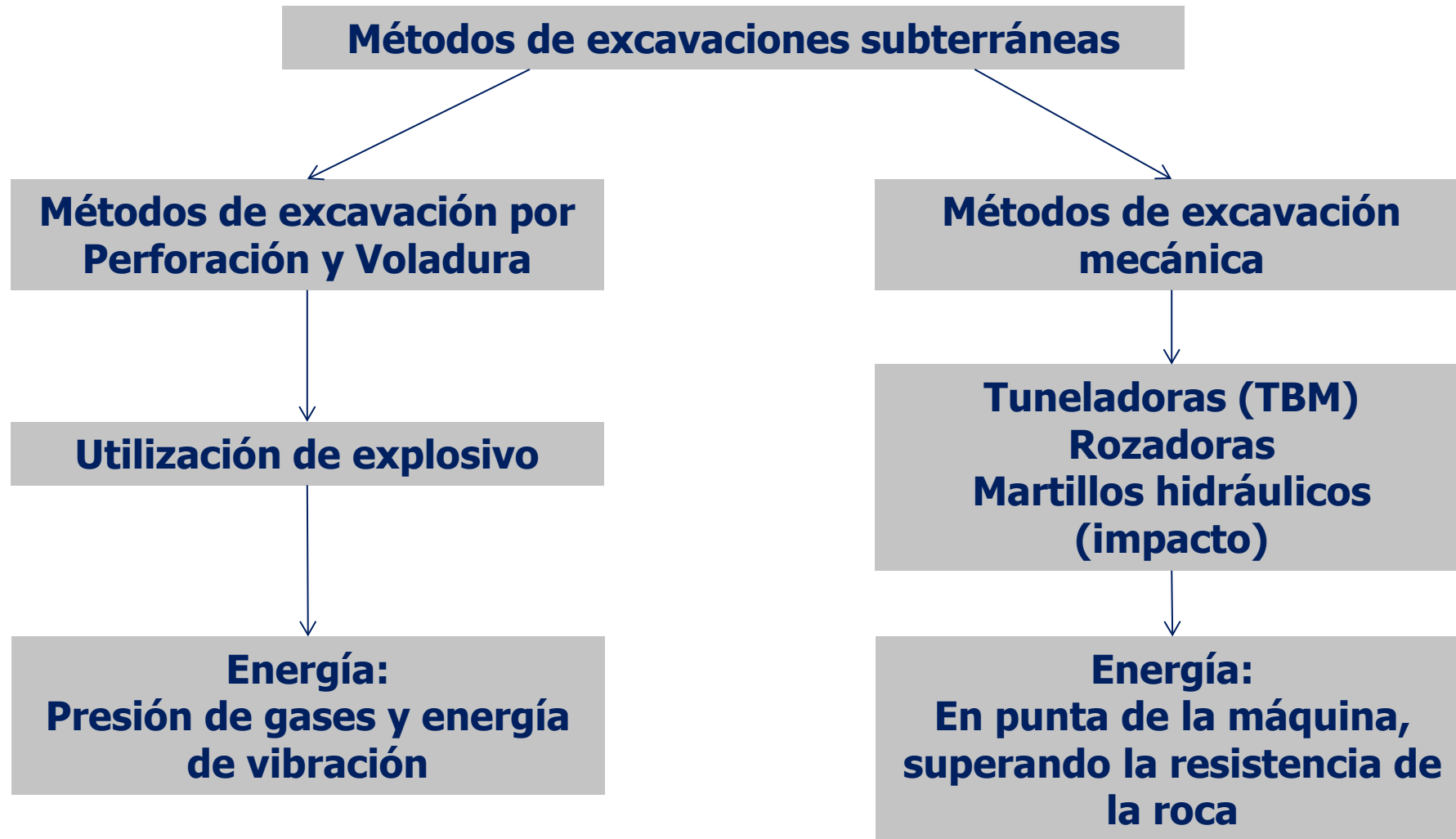


Sistemas de carga

- CÍCLICOS:
 - Cargadoras de cazo (sobre ruedas, cadenas o raíles):
 - De descarga
 - Frontal
 - Lateral
 - Trasera
 - Cargadoras de pozo:
 - Pulpo
 - Bivalva
 - Cargadoras-transportadoras:
 - Cargadoras LHD
 - Scrapers:
 - De cable
- CONTÍNUOS:
 - Cargadoras de bandeja

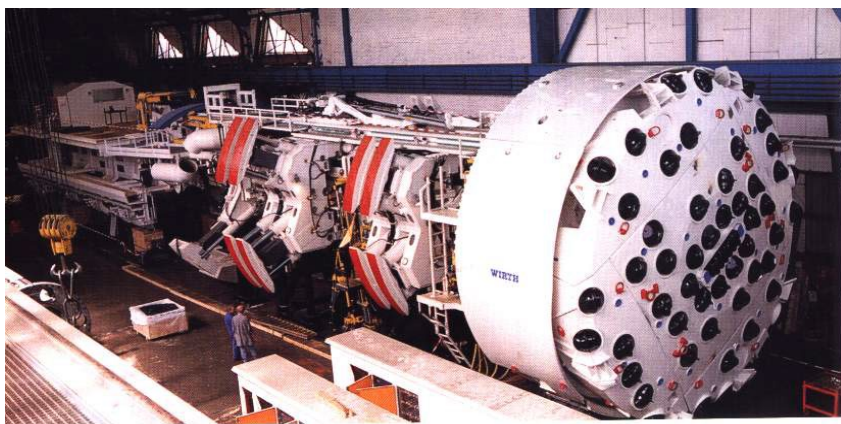
Sistemas de transporte

		<u>Distancia (m)</u>	<u>Pendiente(°)</u>
CÍCLICOS	Tren (vagón normal o lanzadera)	Ilimitada	2 (3)
	Camión (volquete o lanzadera)	100-1500	8 (12)
	Cargadora LHD	100-400	8 (12)
	Scraper	30-90	25 (30)
	Skip (jaula)	< 2500	Vertical
CONTÍNUOS	Transportador blindado/Cintas transportadoras	<300/<8000	17 (20)
	Transporte por tubería (hidráulico o neumático)	Ilimitada	Ilimitada





Perforación y voladura (jumbo)



Arranque mecánico (tuneladora)

Avance en túneles y galerías

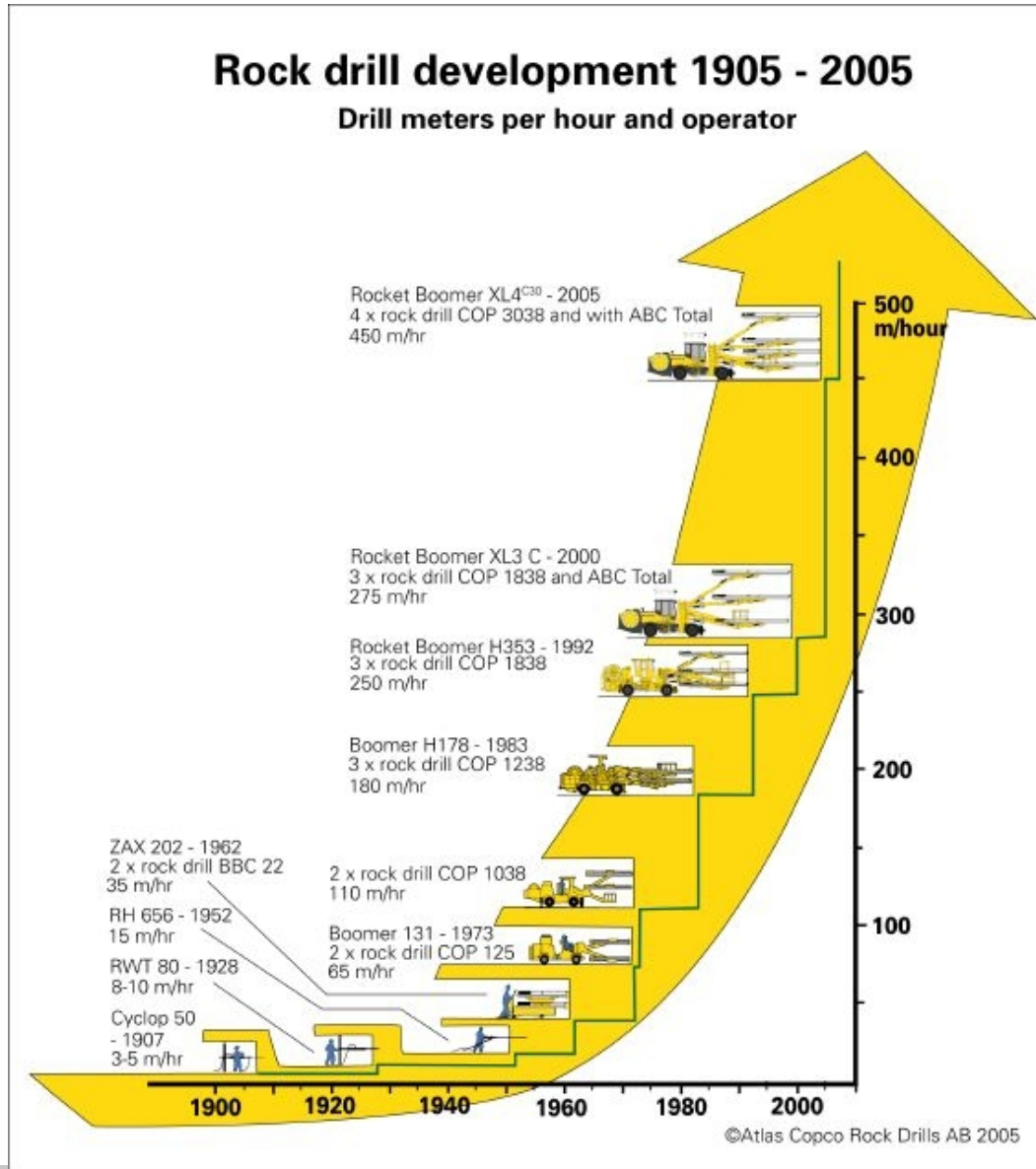


Arranque mecánico (minador)



MÉTODOS CONVENCIONALES DE EXCAVACIÓN POR PERFORACIÓN Y VOLADURA

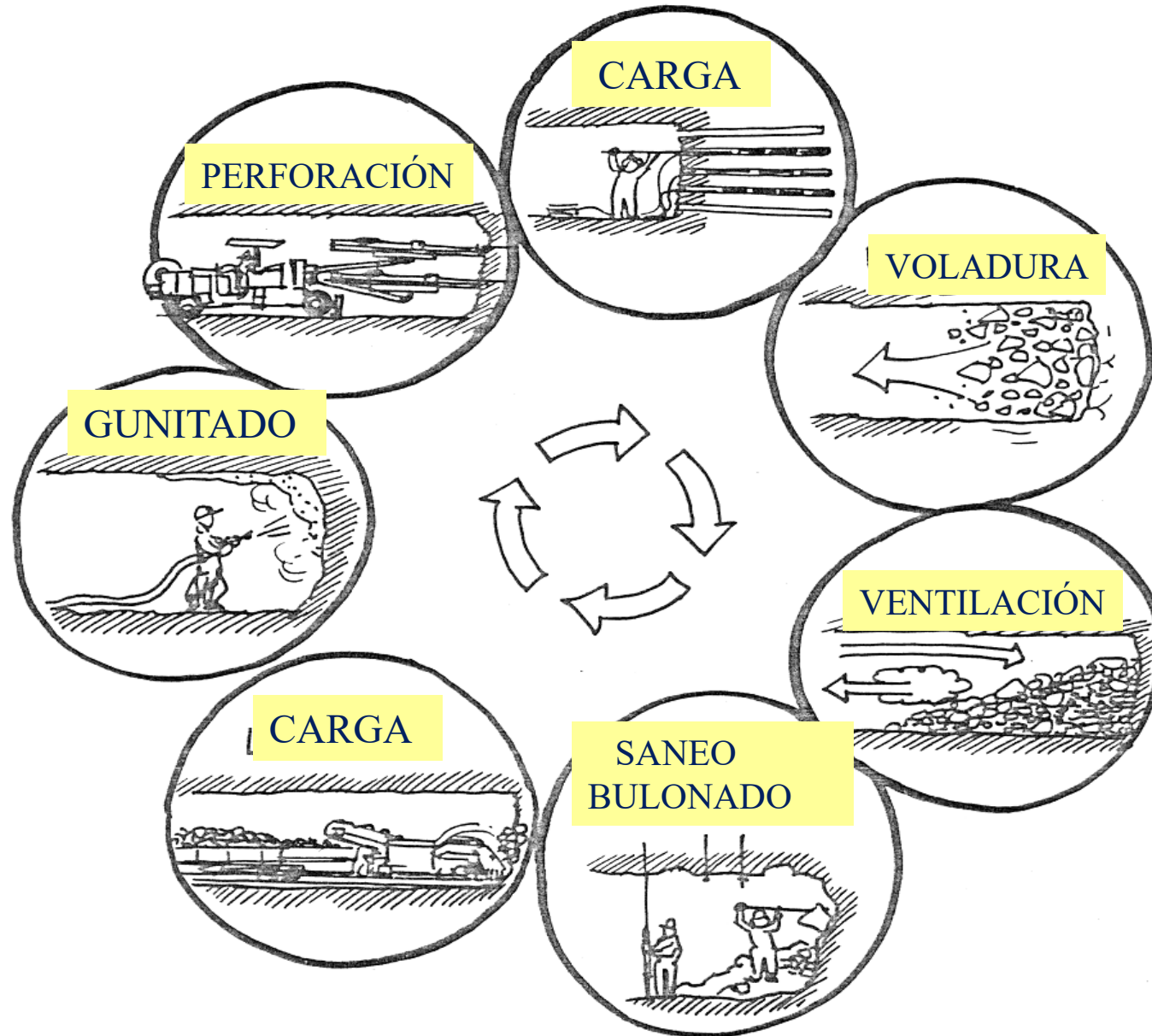
Desarrollo de la perforación en mina

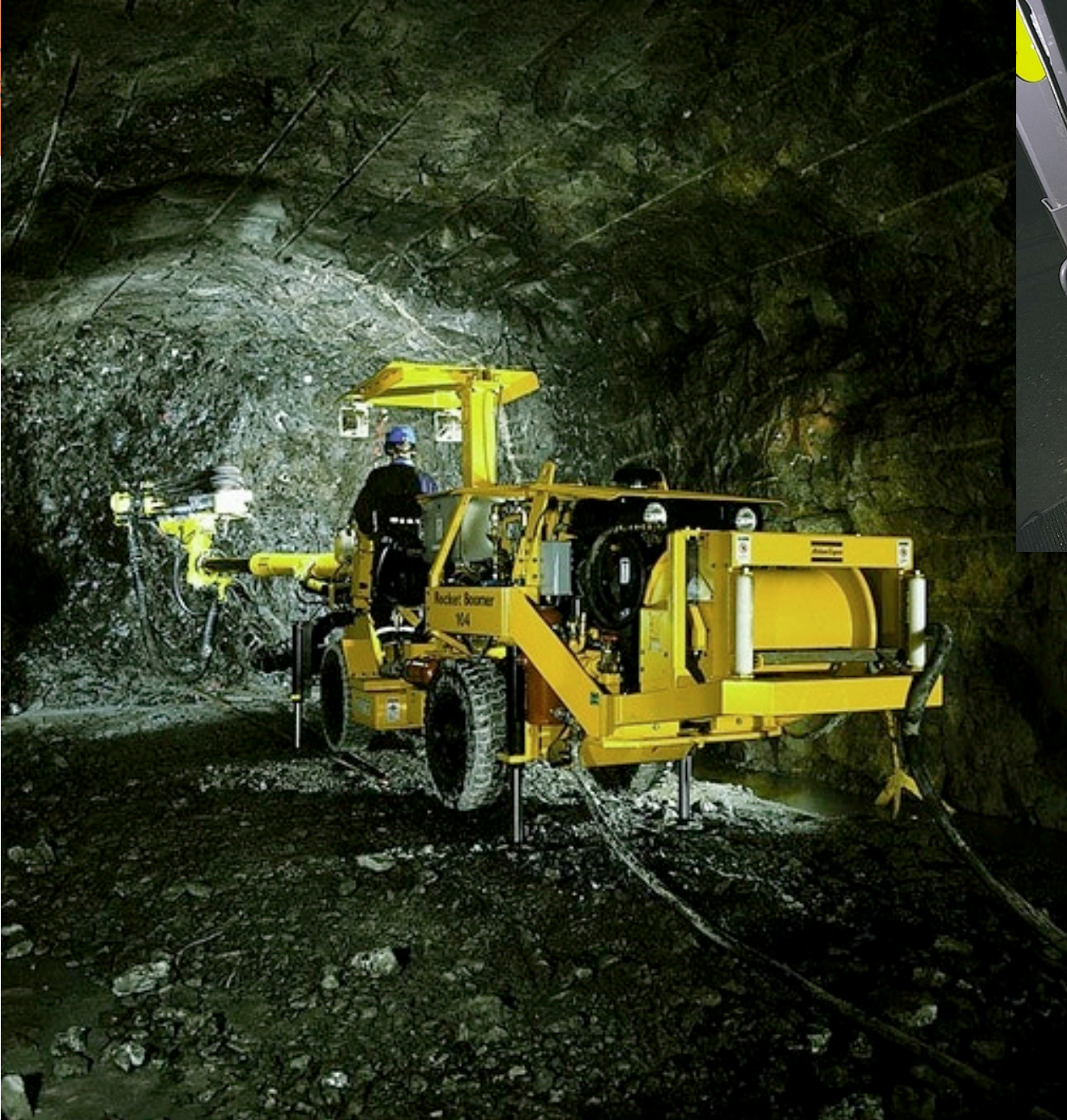


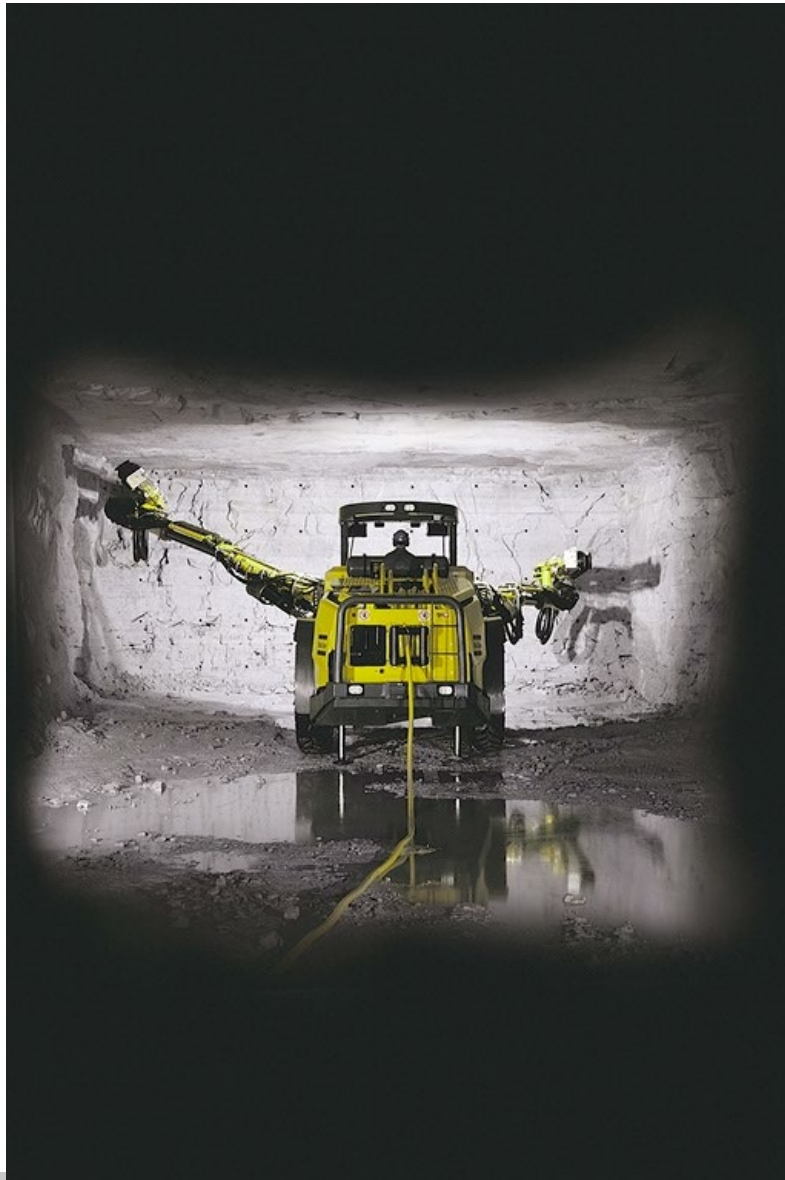
- Es el sistema clásico, que comprende un esquema clásico de trabajos para el avance del frente:
 - Trazado del esquema de perforación y disparo.
 - Instalación del equipo de perforación.
 - Ejecución correcta de la perforación.
 - Carga de explosivos.
 - Disparo de la voladura.
 - Ventilación del espacio.
 - Avance del equipo de limpieza hacia el frente y ejecución del desescombrado.
 - Saneamiento de hastiales y techo.
 - Perfilado de la sección.
 - Colocación del sostenimiento.
 - Control topográfico. Replanteo.
 - Trazado de un nuevo esquema de perforación.

- La velocidad de avance está relacionada con múltiples parámetros y factores, entre los que se encuentran:
 - Las características y resistencia de macizo rocoso,
 - La implementación y acondicionamiento de los equipos que se emplean,
 - La destreza y experiencia del personal del equipo de trabajo (cuadrilla),
 - Las condiciones de seguridad y de ejecución de la obra.
 - El nivel tecnológico.
- El nivel tecnológico actual ha permitido conseguir avances espectaculares, como resultado de los desarrollos y mejoras introducidos.
- No obstante, todavía **el nivel de resultado y la calidad en la ejecución de los avances por perforación y voladura sigue dependiendo fundamentalmente de la formación y experiencia de la cuadrilla** que la lleva a cabo.

Ciclo del túnel













Desarrollo de galerías – Esquema de perforación (Drilling pattern)



- Los principales factores que influyen en el esquema de perforación son:
 - Dimensiones de la galería
 - Geometría de la galería
 - Tamaño del agujero
 - Longitud del barreno
 - Ajuste del barreno al esquema
 - Tipo de corte
 - Condiciones geológicas y mecánicas de la roca
 - Requisitos de calidad finales
 - Tipo de explosivos y sistema de detonación
 - Equipo de perforación

Sección de galería y duración del ciclo de excavación

Tamaño Nominal (anchura por altura)	3.2 x 3.2		5.0 x 5.0		6.75 x 8.75	
	Sin refuerzo	Con refuerzo	Sin refuerzo	Con refuerzo	Sin refuerzo	Con refuerzo
Número de perforaciones	41	41	52	52	81	77
Profundidad (m)	3.0	1.8	3.4	3.0	3.6	3.0
Avance por disparo (m)	2.8	1.7	3.2	2.8	3.4	2.8
Perforación (minutos)	90	60	120	90	150	120
Cargío y disparo (minutos)	60	60	60	60	60	60
Ventilación (minutos)	30	30	30	30	30	30
Limpieza (minutos)	90	75	120	90	140	110
Reforzamiento (Minutos)		90		120		150
Otros Trabajos (min)	30	30	30	30	30	30
Duración del ciclo (minutos)	300	340	360	420	410	500

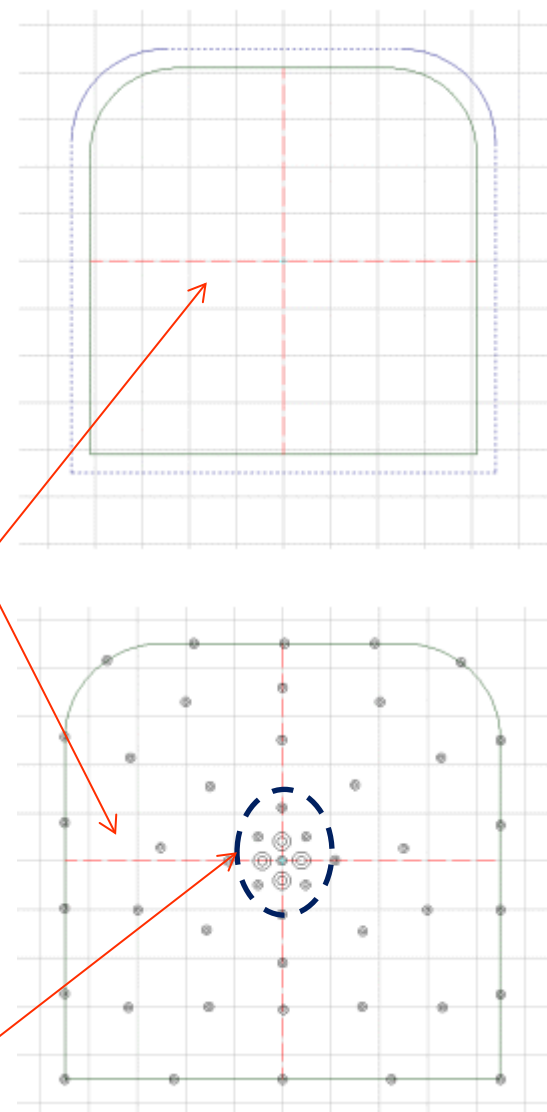
Duración del ciclo de excavación (Método NATM, sección 10 * 13)

Tamaño Nominal (anchura por altura)	ROCA TIPO III		ROCA TIPO II		ROCA TIPO I	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Número de perforaciones	100		100		140	
Profundidad (m)	0.8	1.5	1.5	2.4	2.4	3.0
Avance por disparo (m)	0.6	1.3	1.3	2.2	2.2	2.8
Perforación (minutos)	150	210	150	200	150	180
Cargío y disparo (minutos)	90	100	90	100	90	100
Ventilación (minutos)	30	40	30	40	30	40
Limpieza (minutos)	150	200	200	240	240	300
Reforzamiento (Minutos)	600	690	420	540	400	450
Otros Trabajos (min)	30	30	30	30	30	30
Duración del ciclo (minutos)	1050	1270	920	1150	940	1100
	17h30'	21h10'	15h20'	19h10'	15h40'	18h20'

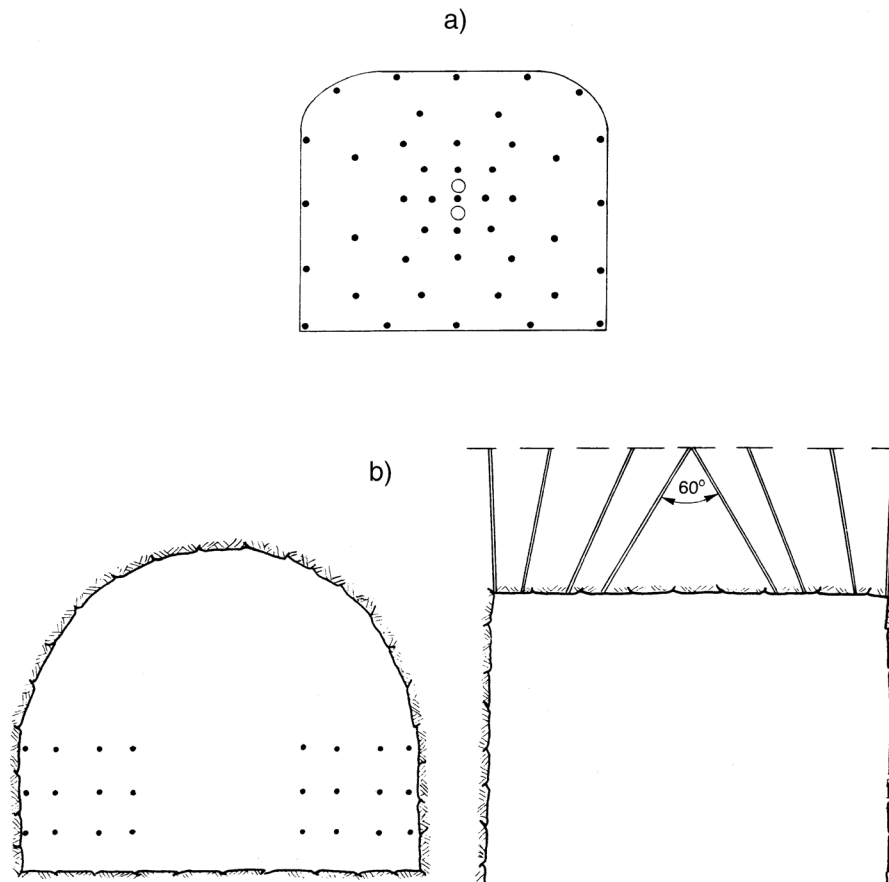


Cuele: Conjunto de barrenos cargados y de barrenos huecos que permiten en su profundidad, crear la cara libre necesaria para que el resto de los barrenos (tiros) puedan ir saliendo (secuencia de disparo)

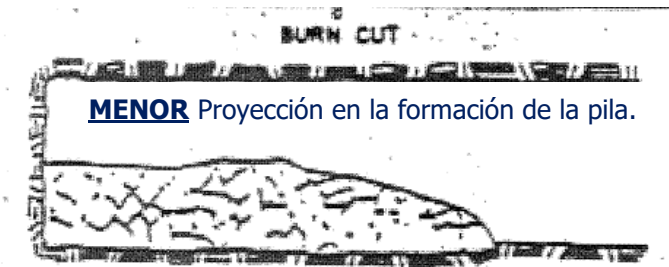
Línea de
GRADIENTE



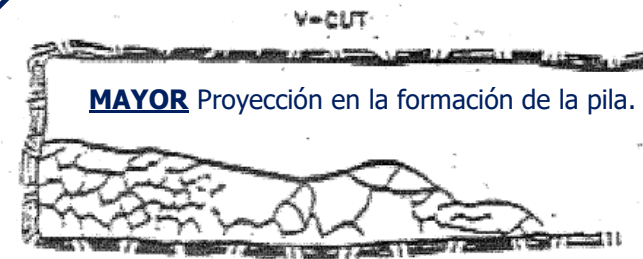
Malla de perforación



Corte paralelo



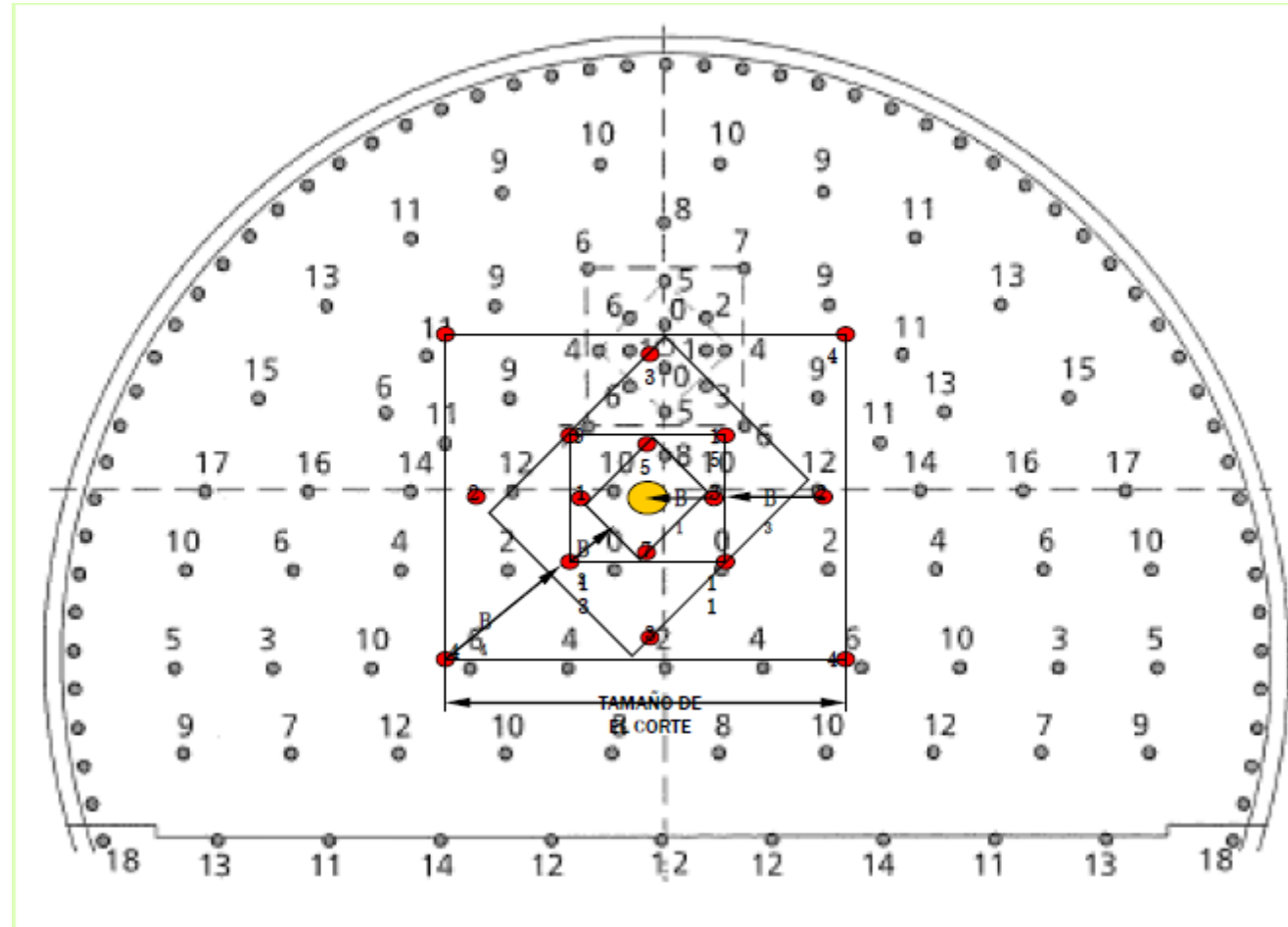
MENOR Proyección en la formación de la pila.



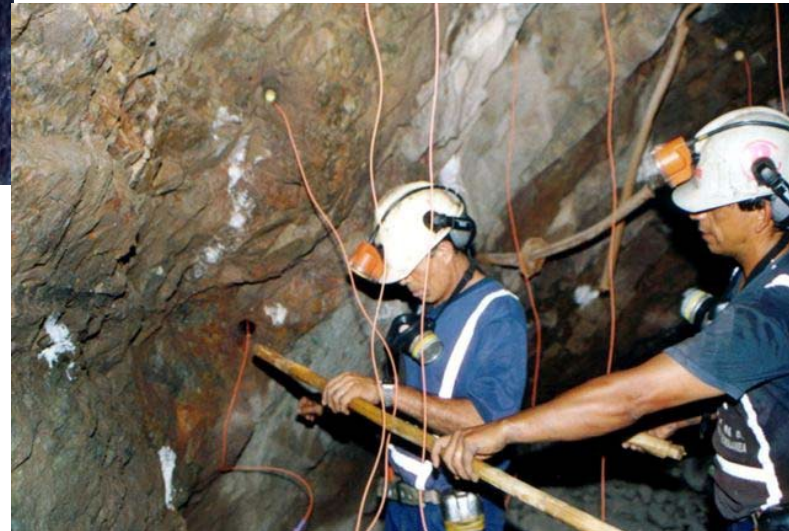
MAYOR Proyección en la formación de la pila.

Corte en V

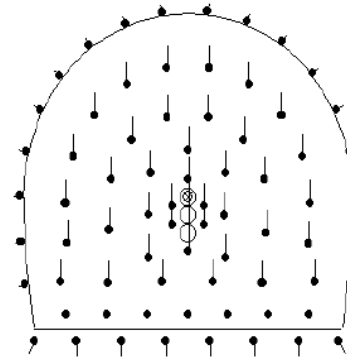
Fragmentation and shape of muckpile
as a function of type of cut.



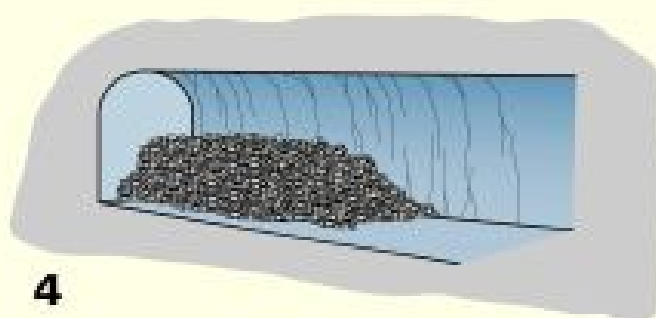
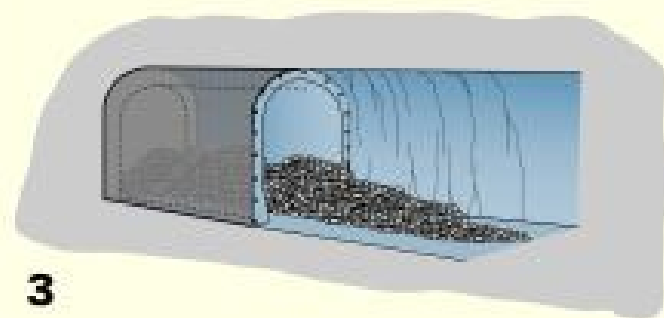
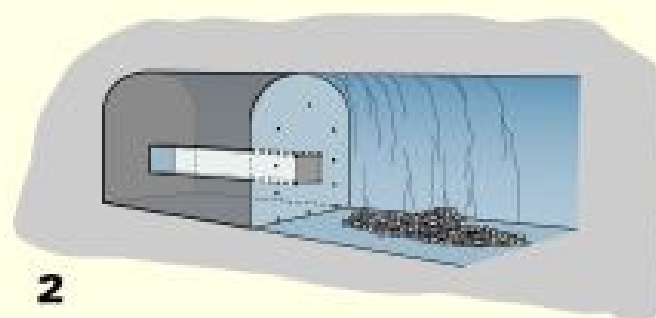
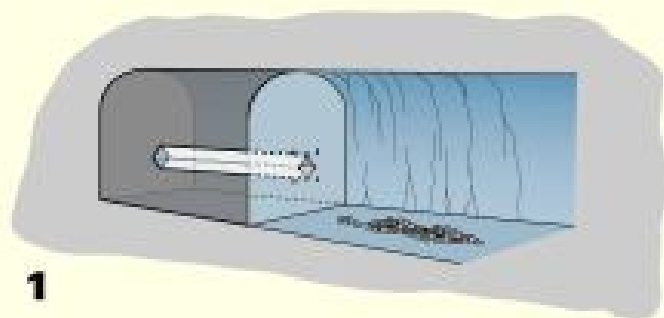
ESQUEMA DE DISPARO O MALLA DE PERFORACION FRENTE COMPLETO



Colocación de los explosivos y definición de la secuencia de disparo



Tunnel blasting









Aspectos importantes

- Perforación y voladura forman un conjunto.
- **El hueco perforado correctamente no sirve de nada si en la fase de voladura este se carga con explosivos de potencia y cantidad equivocadas.**
- **Lo mismo ocurre cuando la carga del explosivo es adecuada pero el barreno o tiro, bien en su profundidad, paralelismo y/o densidad, no es el correcto.**
- Las operaciones de voladura en superficie (cielo abierto) presentan al menos dos caras libres y los barrenos se perforan paralelamente a la cara frontal de alivio, lo que facilita la salida de la voladura.
- En operaciones de excavación de galerías subterráneas, **existe solo una cara y la perforación tiene que ser perpendicular a ella y alineada con el eje de la excavación.**
- **Por tanto es muy difícil de disparar si no se crea el alivio apropiado con barrenos o tiros vacíos y paralelos a los cargados con explosivo.**
- Si no se crea el alivio apropiado cuando detonan los primeros tiros, el resto de la voladura se soplará.

- En los túneles la roca está más confinada que en voladuras a cielo abierto y la segunda cara libre debe ser creada paralela al eje de los tiros por medio de un corte en el frente del túnel que puede ser:
 - Un barreno perforado paralelamente,
 - Un corte en V o
 - Un corte en abanico.
- En general, las voladuras de túneles son en cierto modo sobrecargadas para producir una fragmentación más fina y el efecto de esta sobrecarga se ve disminuido por el confinamiento dado en el túnel.
- Como resultado del confinamiento adicional y la falta de caras libres desarrolladas, el tiempo entre retardos debe ser mayor que los de las voladuras de superficie para permitir el movimiento de la roca y la formación de la cara libre adicional antes de que disparen los barrenos inmediatamente siguientes.



- Una diferencia adicional en las operaciones subterráneas es el hecho de que los parámetros de voladura deben adecuarse a un contorno específico.
- Esto puede resultar totalmente diferente a las voladuras masivas o a las operaciones mineras en superficie, donde el tamaño exacto de cada voladura habitualmente no es crítico.
- Las voladuras subterráneas comprenden: *piqueras*, *chimeneas* y *túneles horizontales* (galerías, rampas y otras).



- Condiciones fundamentales de los barrenos en interior:
 - A. Diámetro.
 - B. Longitud.
 - C. Rectitud.
 - D. Estabilidad.

- Las voladuras en frentes subterráneos son con una sola cara libre y requieren la creación de una segunda cara libre, esta es lograda mediante la apertura del arranque, luego se transformara en una voladuras de banco anular.

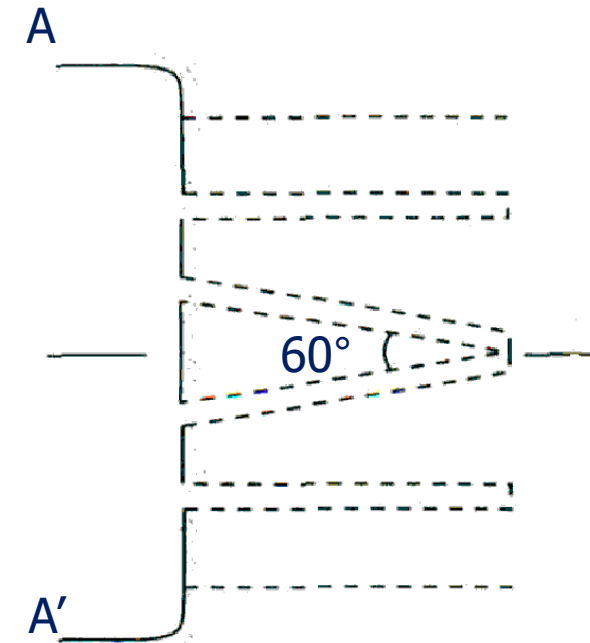
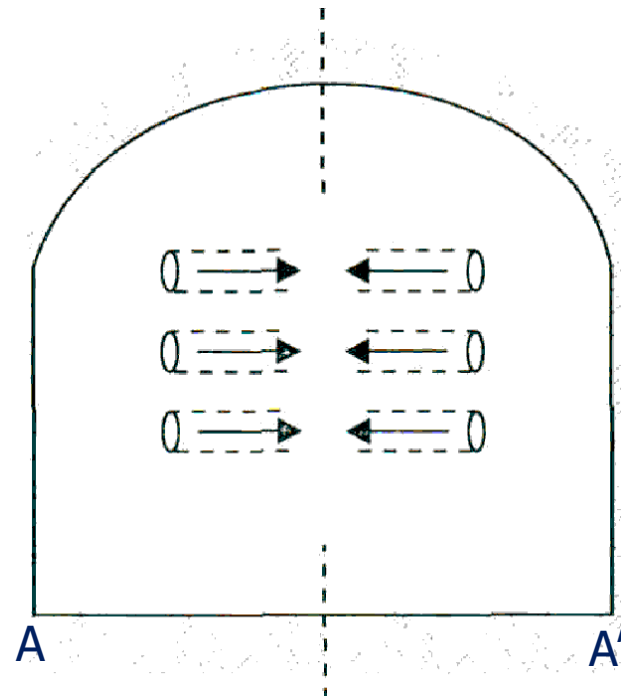
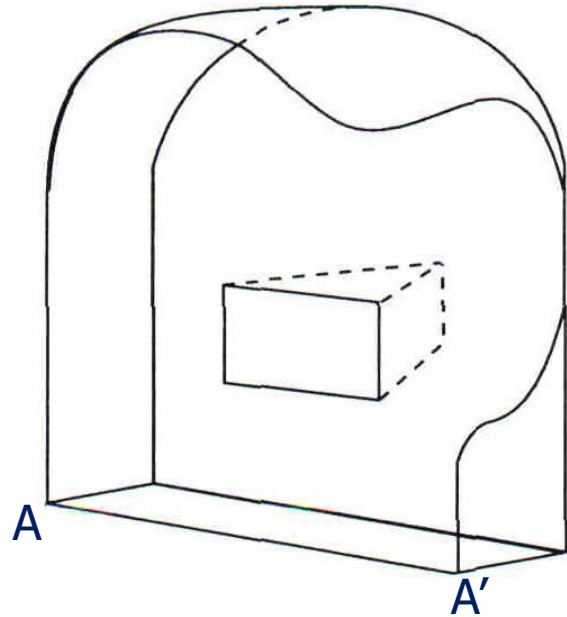
Métodos de corte

- Los tipos de plan de perforación para formar la cara libre o cavidad son dos:
 1. Cortes con tiros en diagonal o en ángulo. Estos a su vez se pueden clasificar en tres grupos:
 - Corte en cuña vertical o abanico
 - Corte en cuña horizontal
 - Corte piramidal.

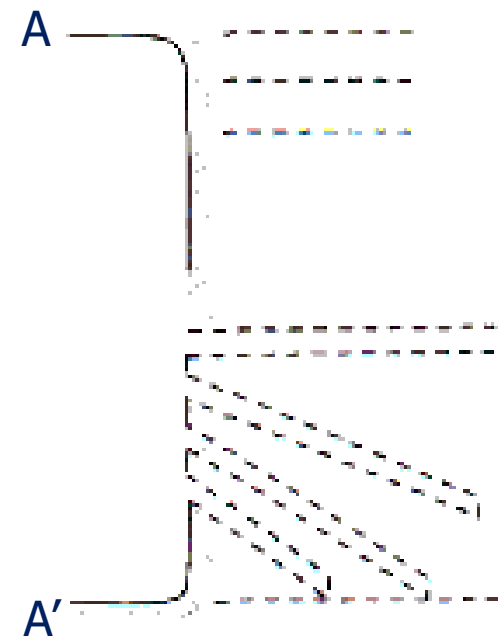
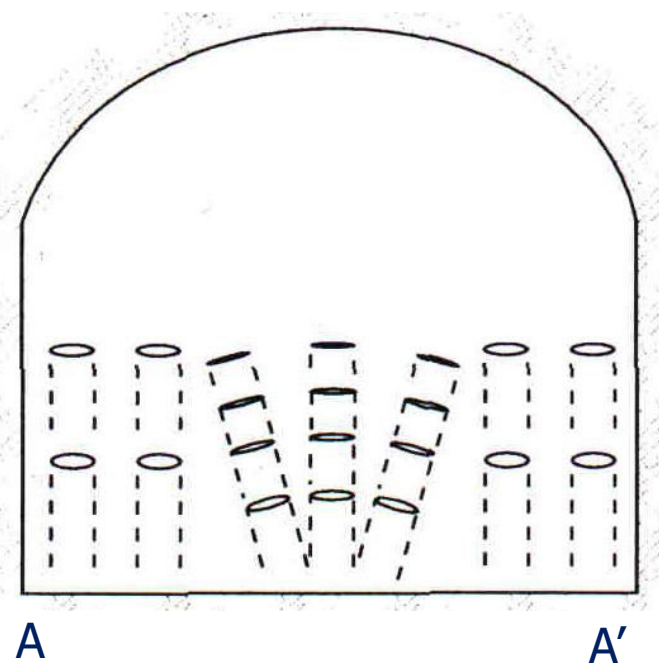
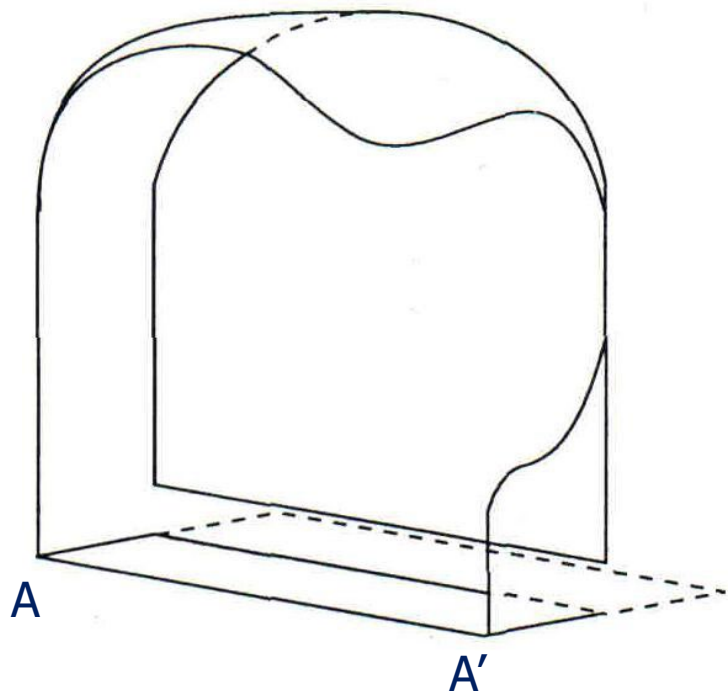
En los tres casos los barrenos están orientados hacia un eje o punto al fondo de la galería a perforar.

2. Cortes con tiros en paralelo:
 - Los jumbos facilitan el alineamiento y dan la suficiente precisión en la ubicación de los barrenos en el frente de voladura.
 - Con maquinas tipo jackleg, este paralelismo depende mucho de la habilidad o experiencia del perforista.
 - Los tipos de cortes mas usando en tiros paralelos:
 - Corte quemado.
 - Corte cilíndrico con barrenos de alivio.
 - Presenta diferentes variantes de acuerdo a la roca y la experiencia lograda.

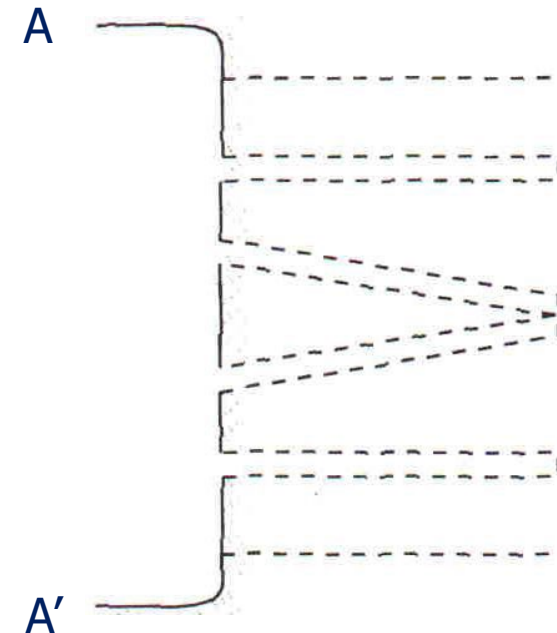
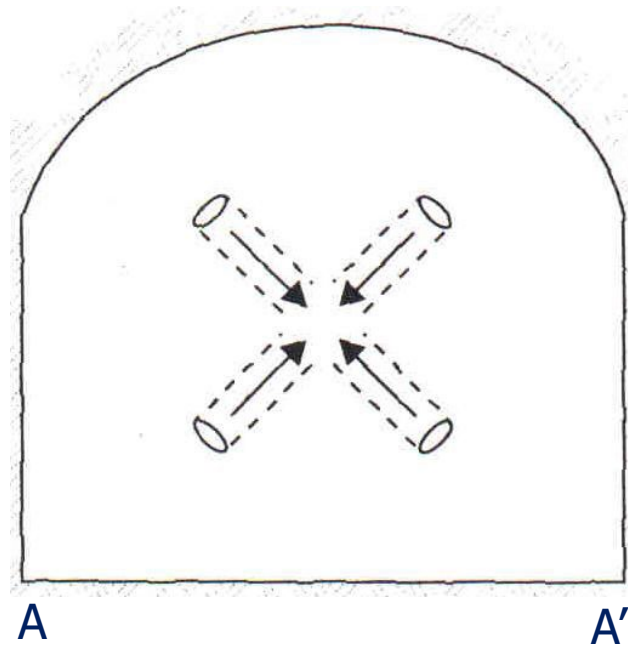
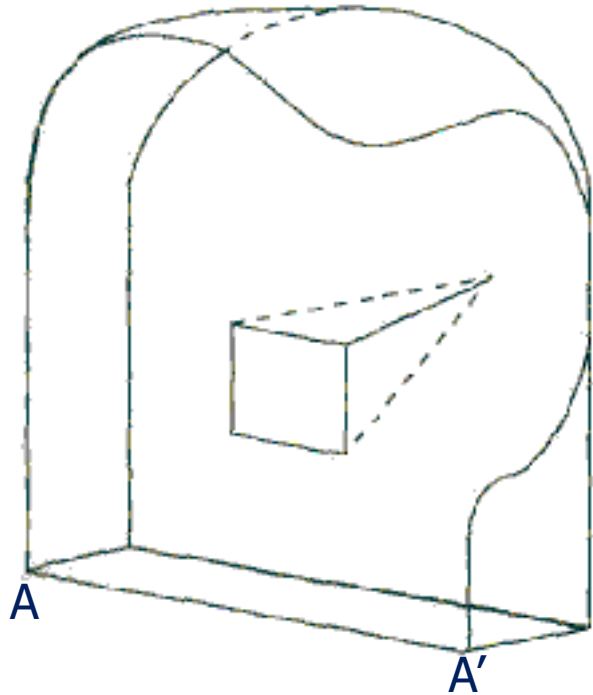
Corte en cuña horizontal



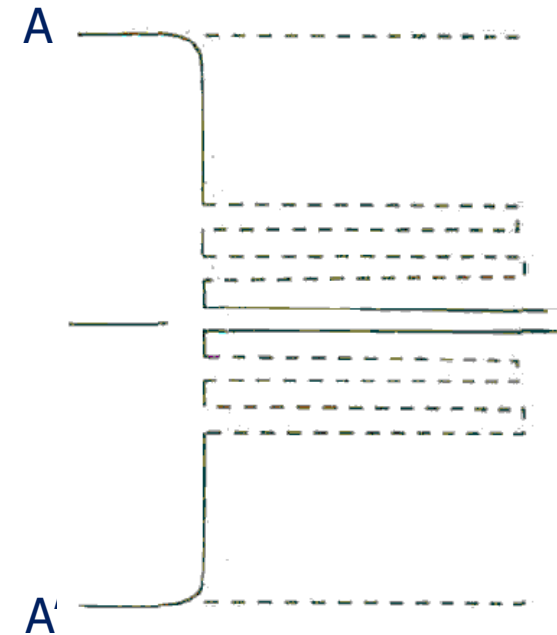
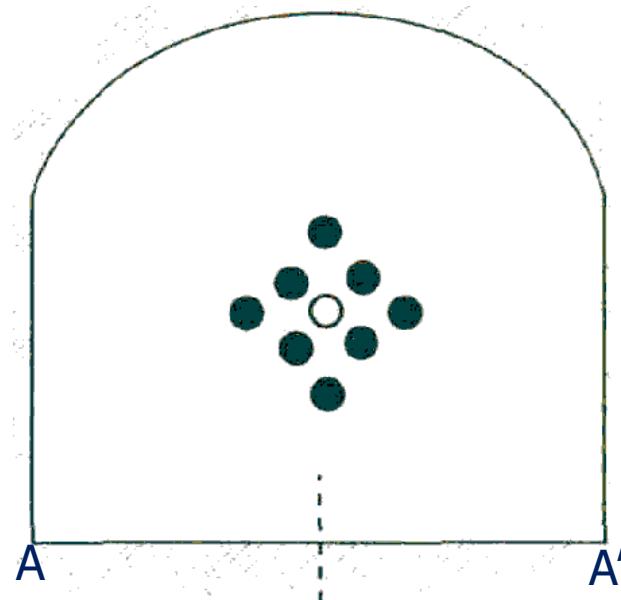
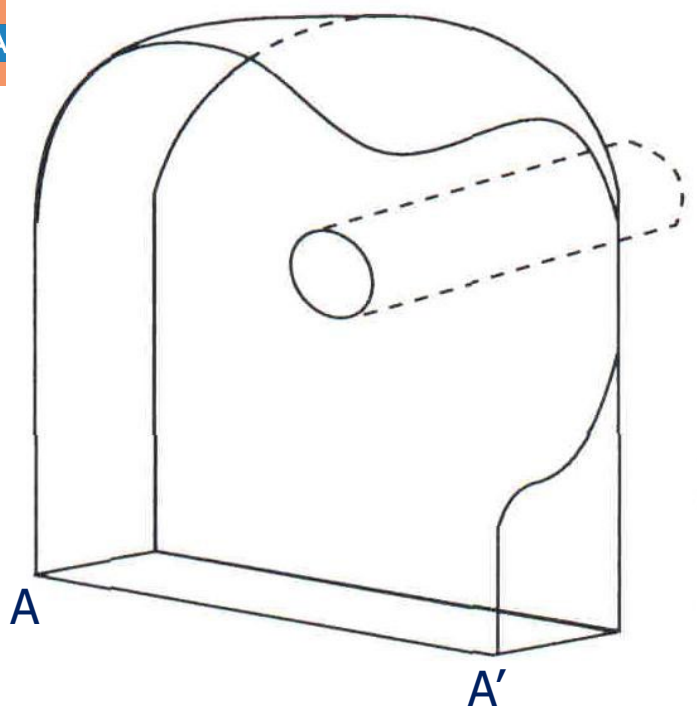
Corte en cuña vertical o abanico



Corte en cuña piramidal



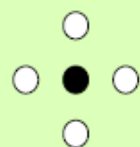
Corte en paralelo



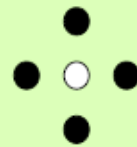
Corte de barrenos paralelos o corte quemado

- El arranque utilizado hoy en día es el corte quemado **con barreno de alivio de mayor diámetro.**
- El término “corte quemado” se origina de un tipo de voladura donde los barrenos son perforados paralelos uno al otro.
- Inicialmente se usaban barrenos llenos y vacíos del mismo diámetro.
 - Más tarde se descubrió que al utilizar barrenos vacíos de mayor diámetro que los cargados, se obtenía un alivio adicional en la malla y reducía la cantidad de barrenos perforados que se necesitaban.
 - Los barrenos grandes y vacíos también permitían un avance adicional por voladura.
- Cuando se combina barrenos de arranque de menor diámetro con barrenos de alivio de mayor diámetro se denomina **corte paralelo.**

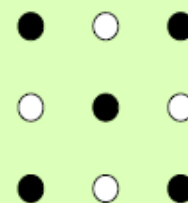
EJEMPLOS DE CORTE QUEMADO



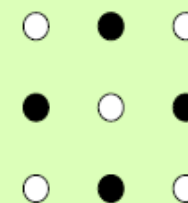
a



b

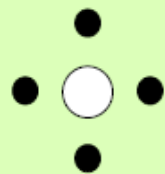


c

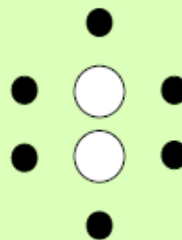


d

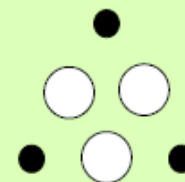
EJEMPLOS PARA LIMITAR EL EFECTO DE SIMPATIA ENTRE LOS TALADROS



a

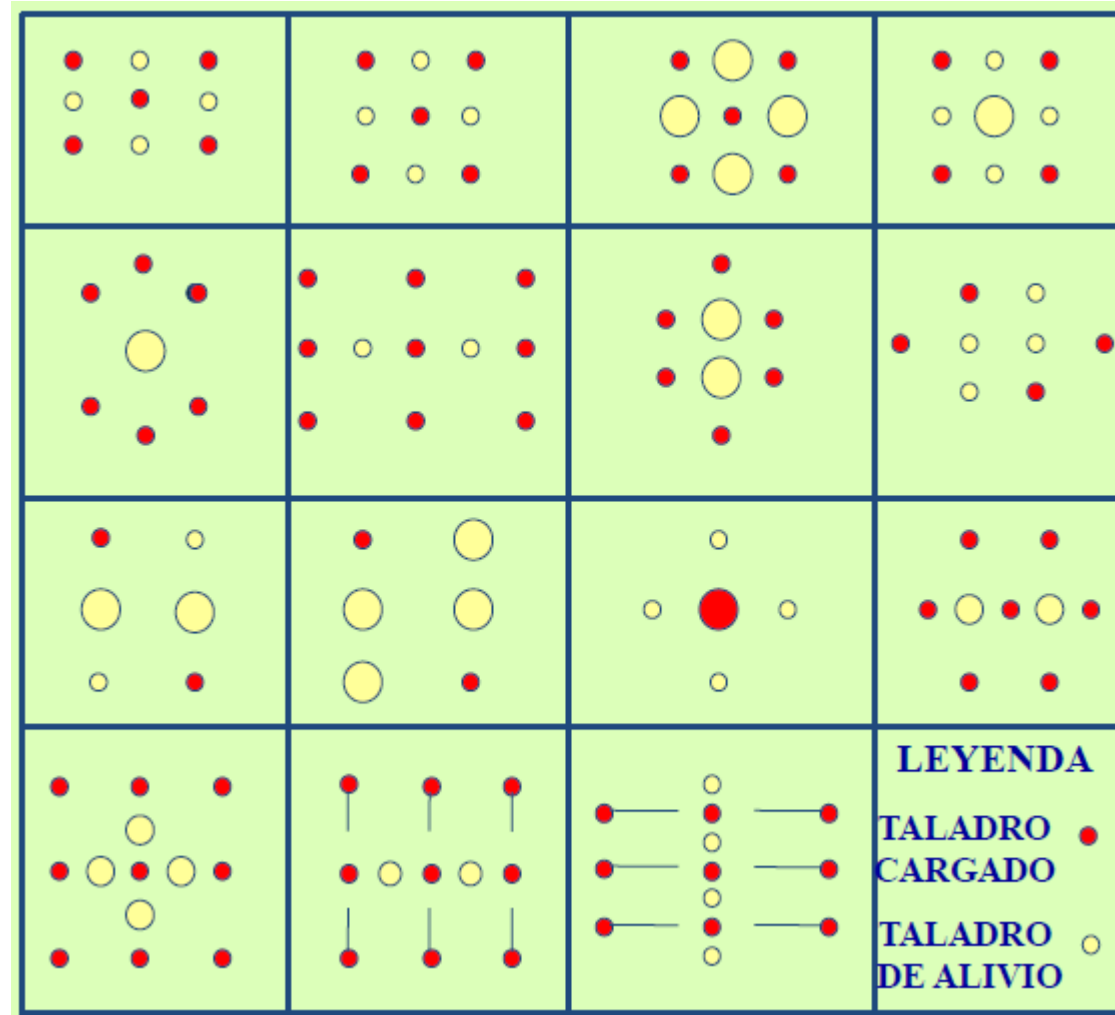


b



c

Esquemas de arranque para túneles



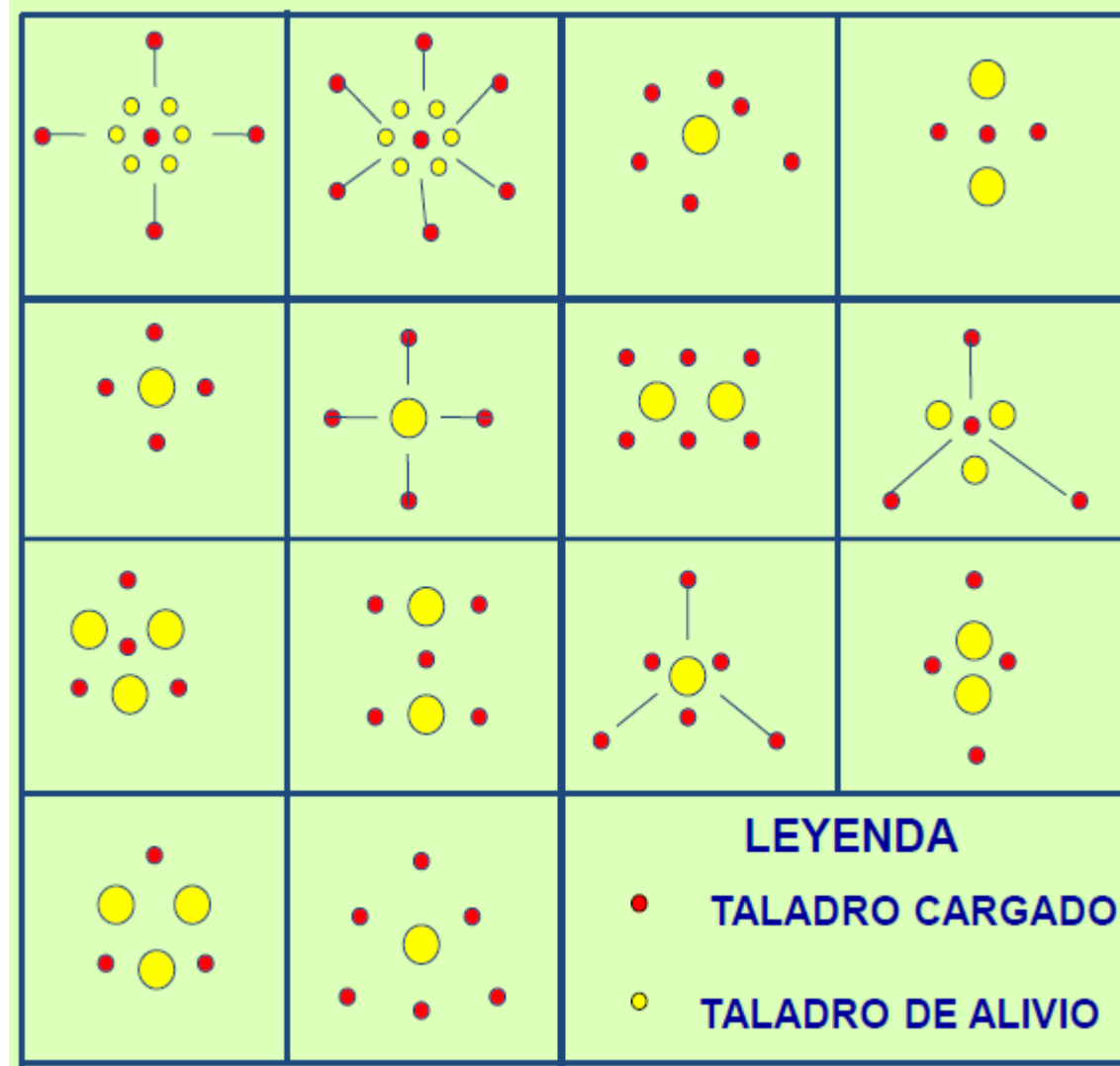
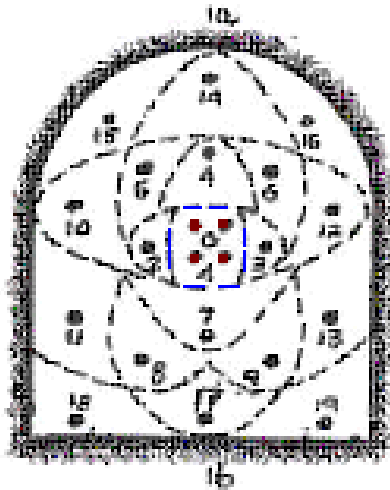
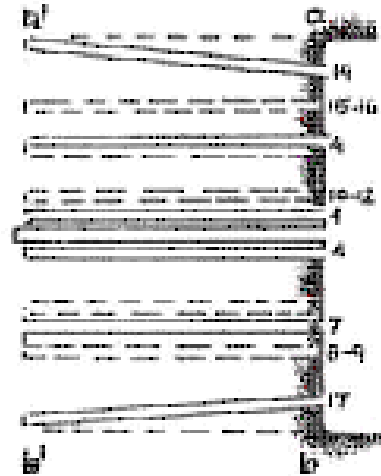


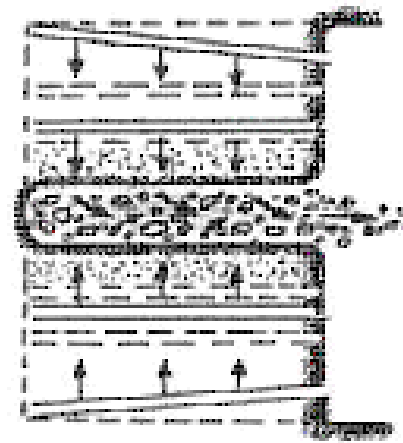
Diagrama de la secuencia de salida de barrenos disparados con retardos



Frente

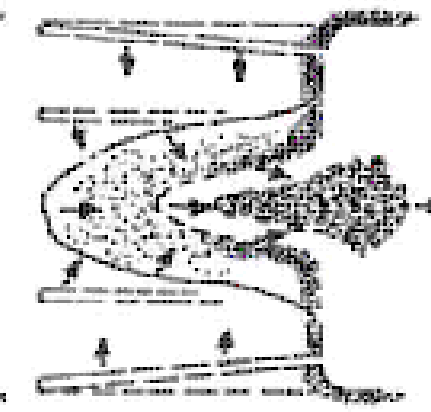
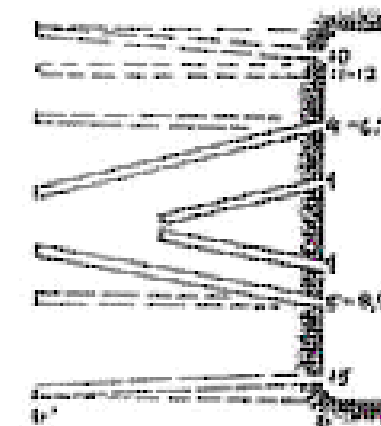
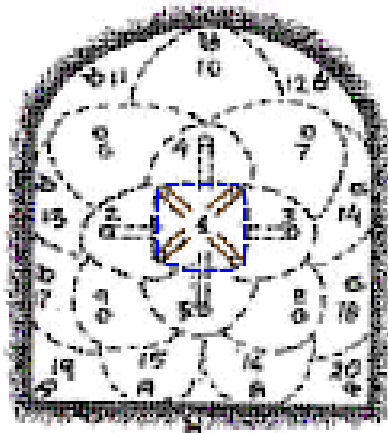


Corte longitudinal



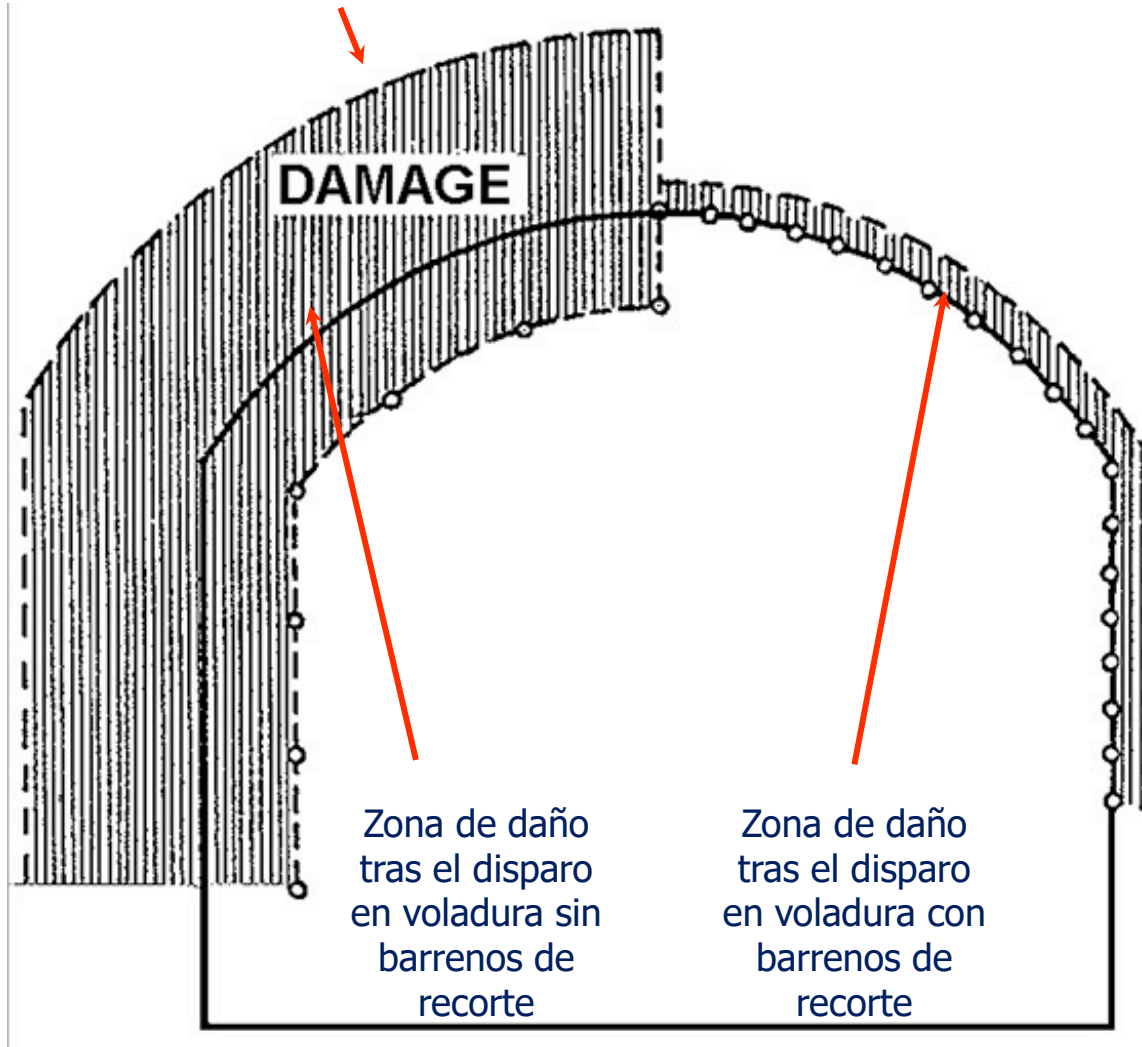
Salida de la voladura

Corte de arranque en paralelo



Corte de arranque en V

Zona de daños después del disparo.
Aproximadamente 1,5 m de influencia



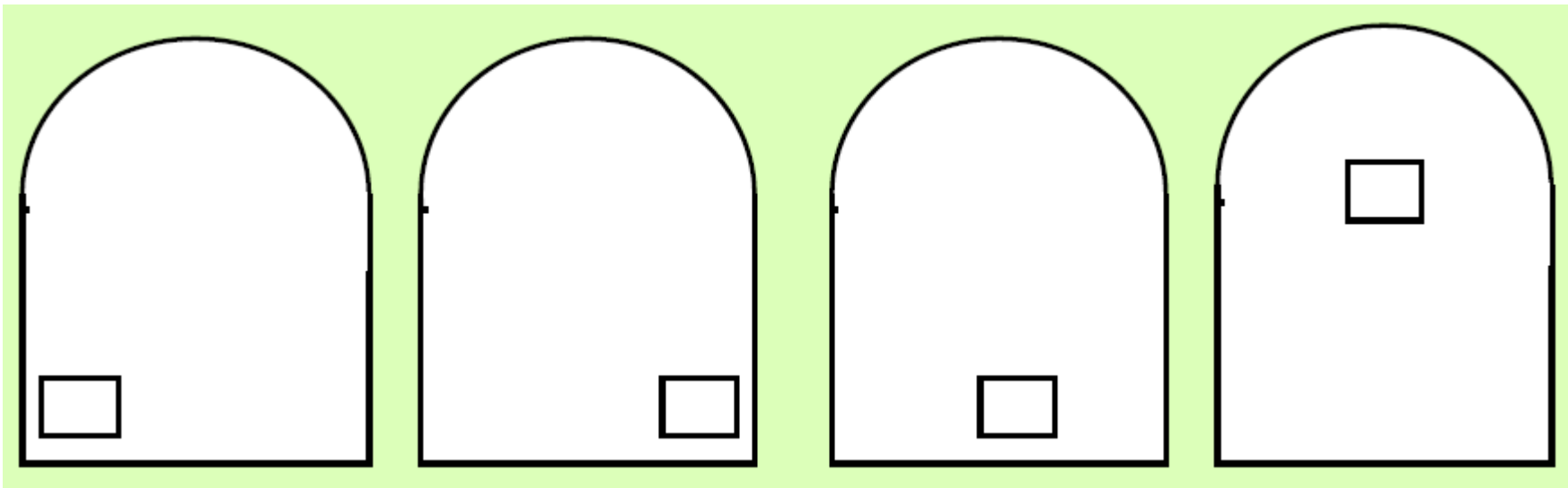
- Los barrenos del perímetro y el techo se perforan comúnmente con espaciamientos cercanos y cargas ligeras.
- También pueden detonarse como voladura de recorte para proveer un contorno que requiera poco esfuerzo (cargas desacopladas).
- La figura muestra la extensión de las zonas de daño si se utilizan voladuras de recorte o si se utilizan métodos de voladura de producción en los perímetros.

Corte paralelo

- En términos generales es importante recordar:
 - **Las voladuras realizadas en excavación de túneles son, en cierto modo, sobrecargadas** con el fin de producir una **fragmentación más fina**.
 - Los efectos desastrosos del sobrecargado de los barrenos se disminuyen por el confinamiento de la roca en el túnel.
 - Como resultado del confinamiento adicional y la falta de caras libres desarrolladas, el **tiempo entre retardos debe ser mayor** que los de las voladuras equivalentes de superficie para permitir el movimiento de la roca y la formación de la cara libre adicional antes de que disparen los barrenos subsiguientes.
 - Este incremento en el tiempo de retardo es esencial para permitir que las voladuras de túneles funcionen apropiadamente.
 - Se escogen los **detonadores con retardos de milisegundos** que permitan **al menos de 75 a 150 milisegundos** entre disparos de barrenos.

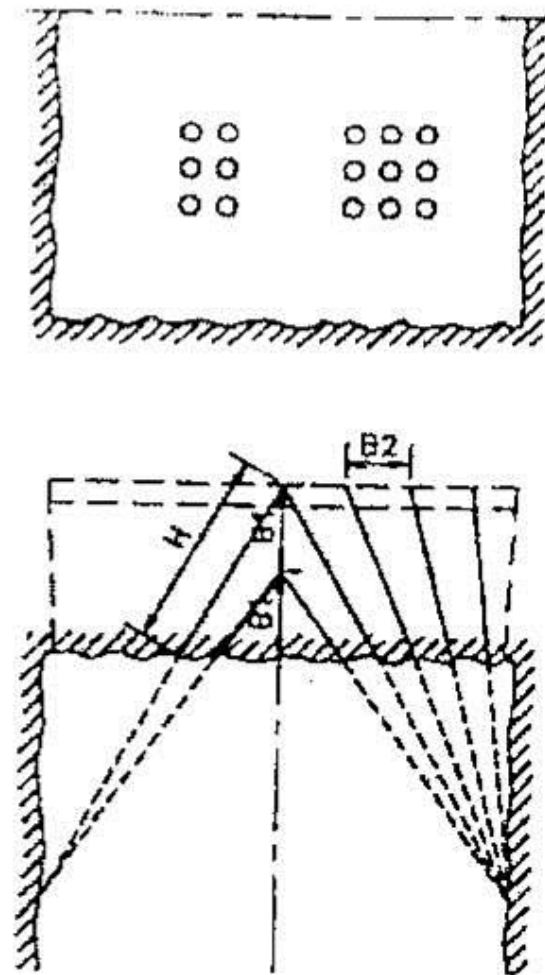
- Si los barrenos de arranque rompen un volumen mayor del que puede caber dentro del cráter creado previamente, el corte se “congela” lo que significa que se bloquea por la roca que no puede ser expulsada.
- Si esto ocurre, el alivio paralelo al eje de los barrenos se pierde y los barrenos no podrán romper adecuadamente.
- Los barrenos empezarán a dejar de operar adecuadamente, fisurando solamente la roca adyacente pero sin permitir que se produzca la fragmentación en la última etapa.
- Por tanto:
 - En el corte mismo, las distancias deben ser diseñadas y perforadas con precisión.
 - El tiempo de retardo debe ser suficientemente lento para permitir que la roca empiece a ser expulsada del frente antes de que se disparen los barrenos subsecuentes.

- Los barrenos del corte pueden localizarse en cualquier lugar en la cara del túnel. Sin embargo, la posición del corte o arranque influenciará sobre la proyección de lanzamiento del material arrancado.
 - Si los barrenos de corte se colocan cerca de la pared, la plantilla requerirá menos barrenos pero la roca fragmentada no será desplazada tan lejos dentro del túnel.
 - El corte se alterna del lado derecho al izquierdo del túnel para asegurar que no se perforarán las cañas remanentes de la voladura anterior.

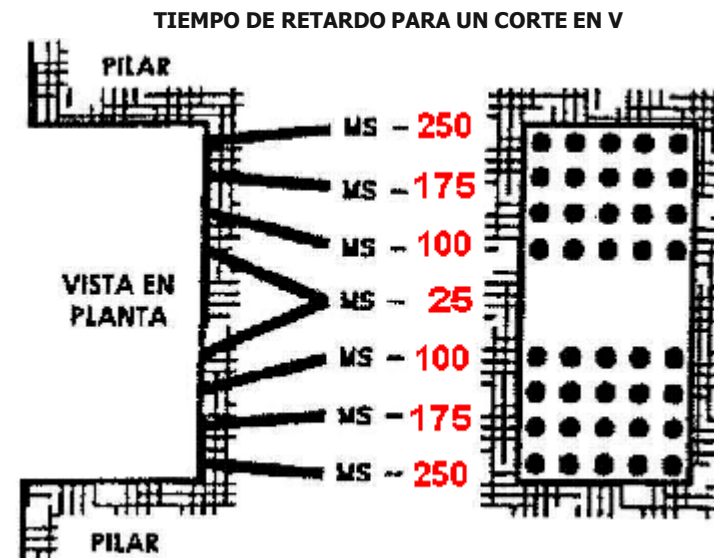
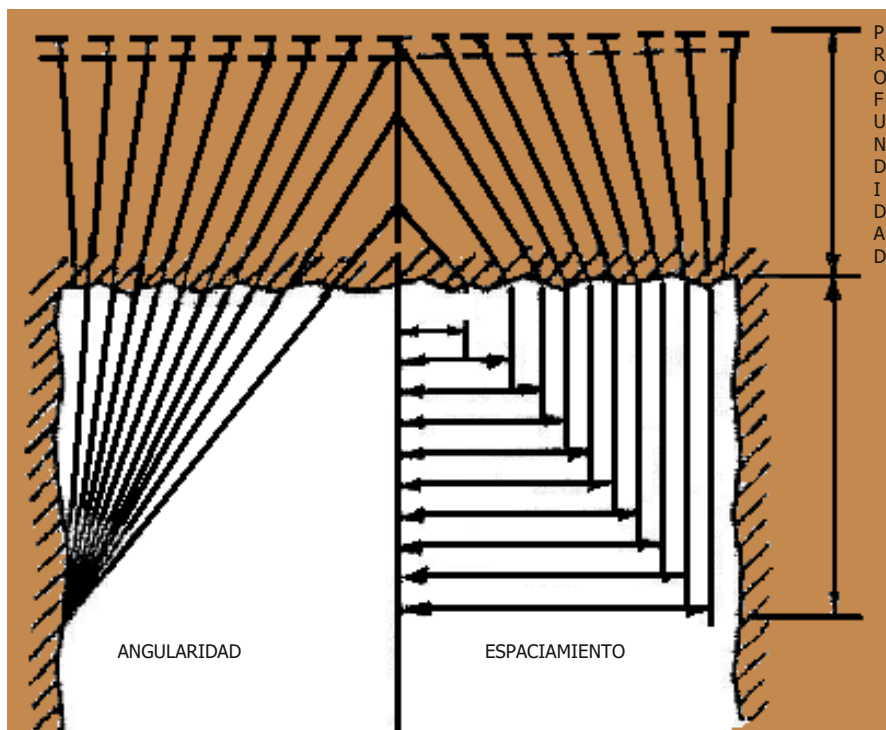


Corte en V

- Es el arranque realizado utilizando barrenos perforados en ángulo.
- Se diferencia porque se perforan menos barrenos y se logra un avance menor por voladura.
- Además, el avance por voladura queda limitado también por el ancho de la galería y, por tanto, a mayor anchura, mayor avance.
- El ángulo de la V no debe ser agudo y no debe ser menor a 60° .
- Los ángulos más agudos requieren cargas con más energía para la distancia de piedra utilizada.
- Cada cuña en V debe ser disparada en el mismo periodo de retardo usando detonadores de milisegundos para garantizar la tolerancia mínima entre cada segmento de la V en el momento del disparo.

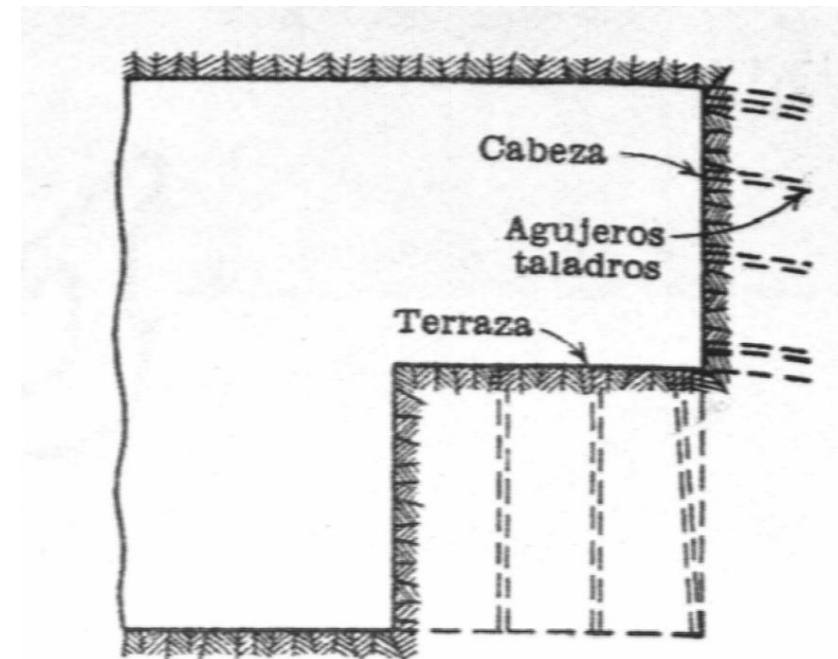
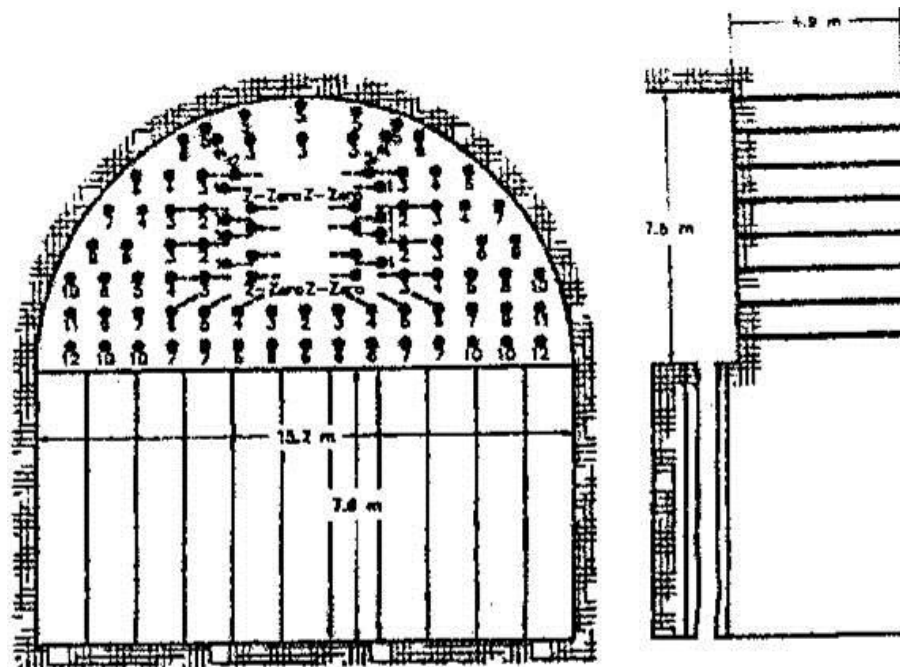


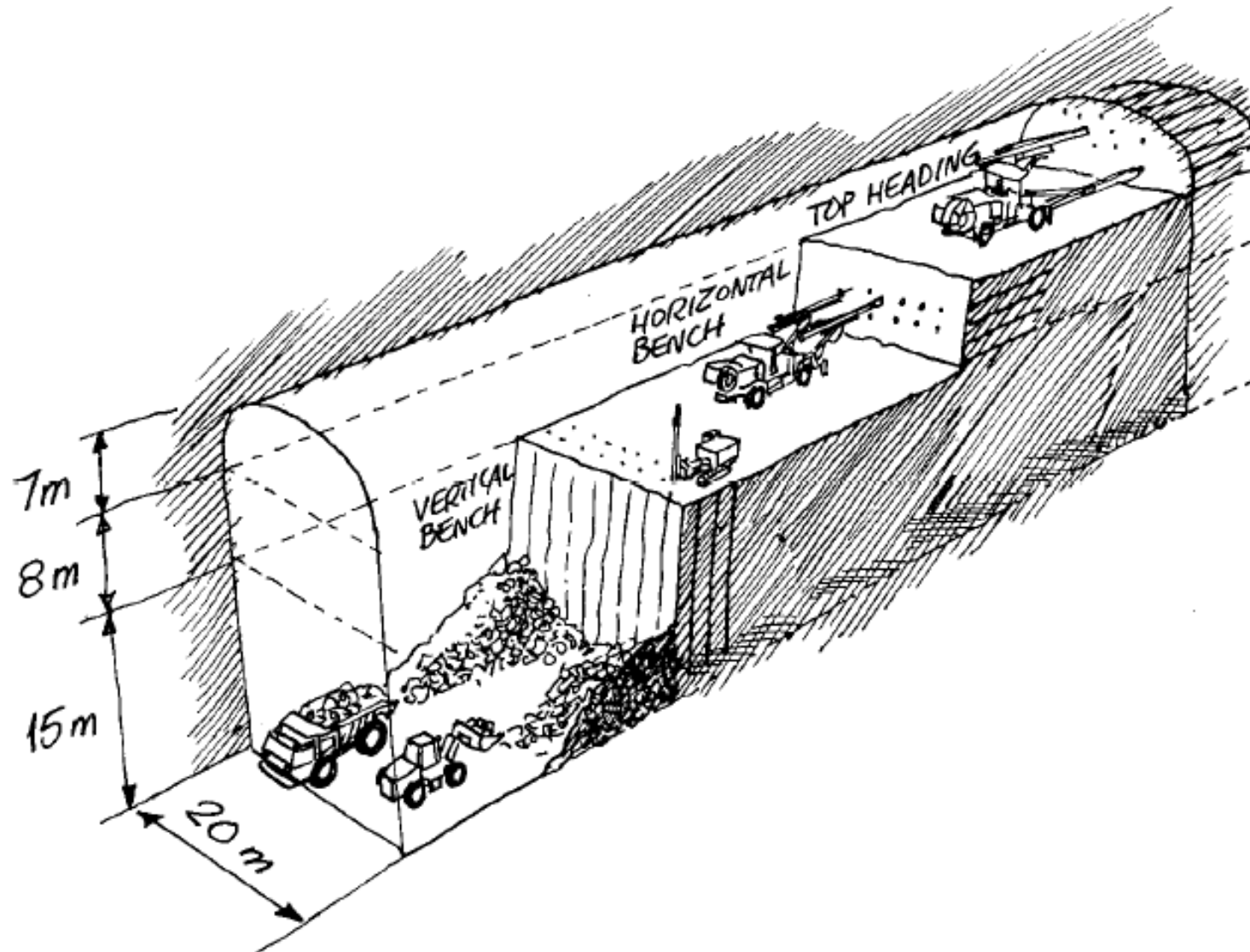
- El tiempo de retardo entre V's adyacentes debe ser de por lo menos 75 milisegundos (mínimo).
- La distribución básica de las V's se muestra en la figura.



Método de túnel y banco (o de terrazas)

- Es una combinación de voladura subterránea de túnel y una voladura de banco a cielo abierto para excavaciones de grandes dimensiones.
- La sección del túnel se excava por delante del banco para mantener un piso de trabajo. Cualquiera de los cortes y trazo de voladuras de túnel se pueden utilizar para excavar la sección superior.

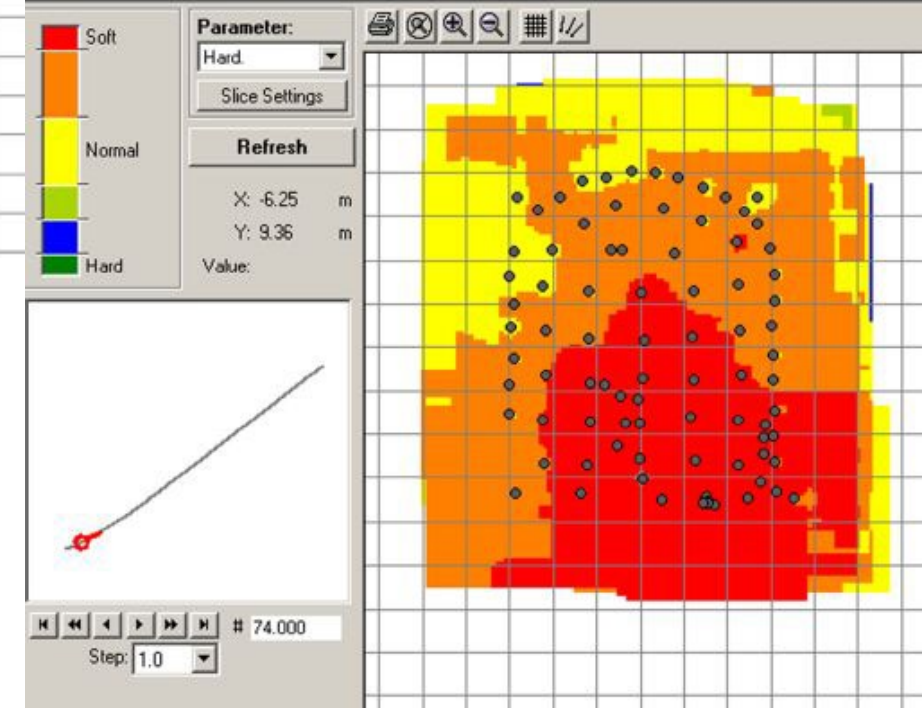
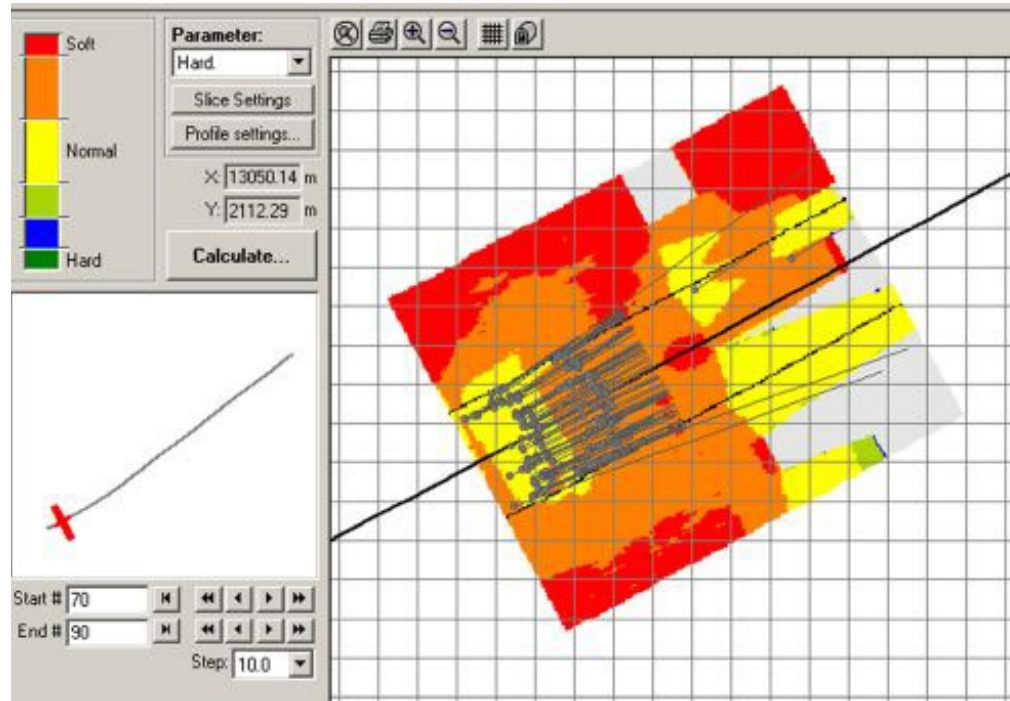




Calidad del desarrollo

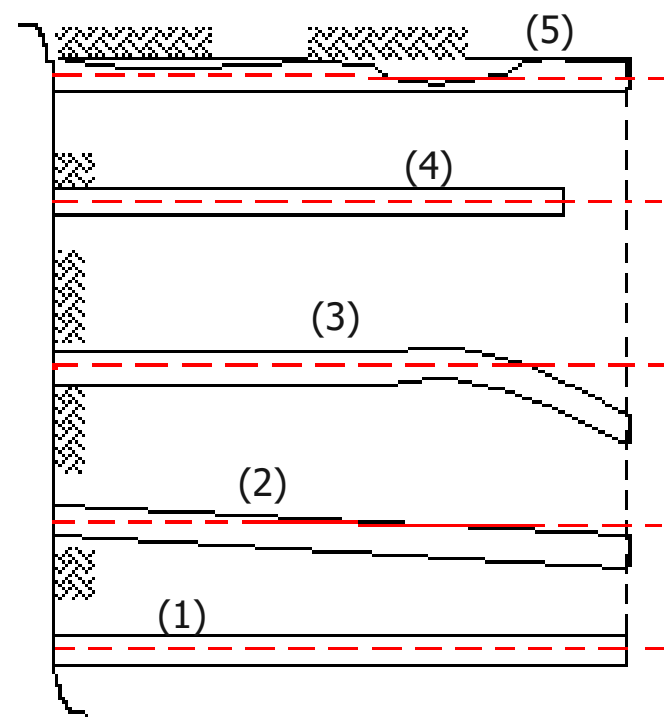
- Calidad del desarrollo de galerías
 - Emplazamiento correcto
 - Calidad del perfil
 - Sobrefracturación / Insuficiencia
 - Minimización de daños de la voladura.
- Precisión de la perforación. Instrumentación
 - Permite minimizar la sobrefracturación reduciendo las necesidades de carga y transporte y consecuentemente reducir los costes de extracción por pozo o rampa del escombro del desarrollo.
 - Incremento de la seguridad y reducción de las necesidades de refuerzo
 - En el piso de las galerías:
 - Mejores condiciones de rodadura
 - Mejora y facilidad de la carga
 - Se facilita y se consigue una perforación de producción más precisa en los subniveles.
 - Reducción de las necesidades de actuación en los frentes





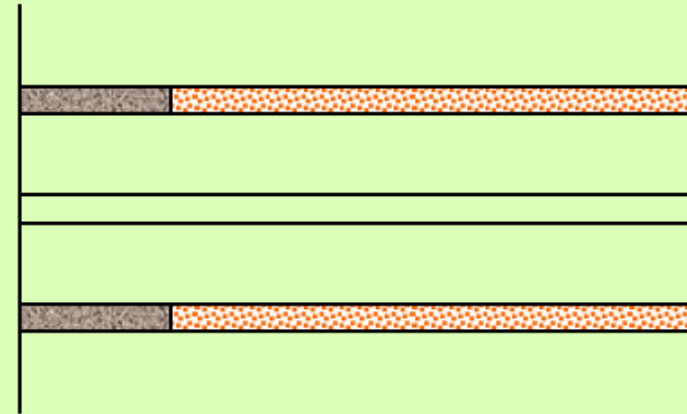
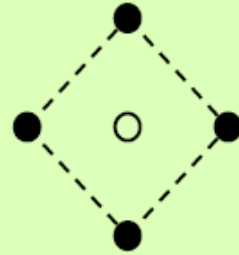
Calidad de la perforación

- Influye hasta en un 75 % en los fallos o errores de la voladura.
- Hecho un diseño de perforación, se pueden cometer errores como son:
 - (1) Error de Replanteo.
 - (2) Error de Inclinación y Dirección.
 - (3) Error de Desviación.
 - (4) Error de Profundidad.
 - (5) Barrenos estrechos, perdidos u omitidos.
- Resultados de una mala calidad de perforación
 - Mala fragmentación.
 - Inadecuado rendimiento del explosivo.
 - Sobre excavaciones.
 - Voladura fallida.
 - Formación de callos o repechos

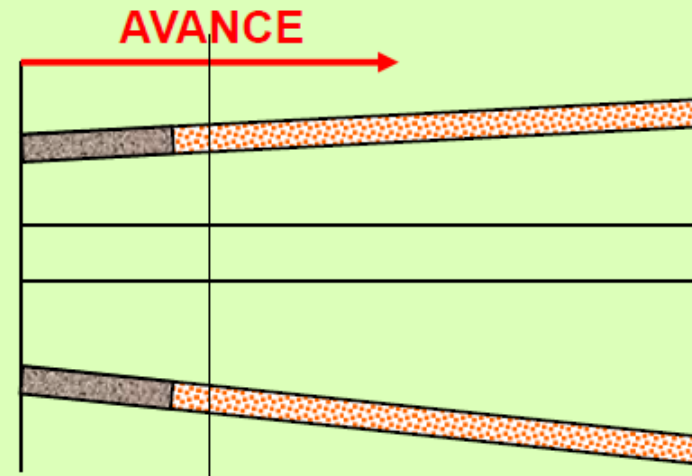
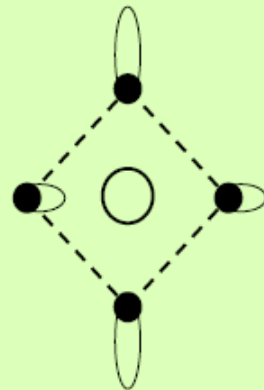


Errores debidos a la perforación

HUECO DE ALIVIO DE DIÁMETRO MUY PEQUEÑO

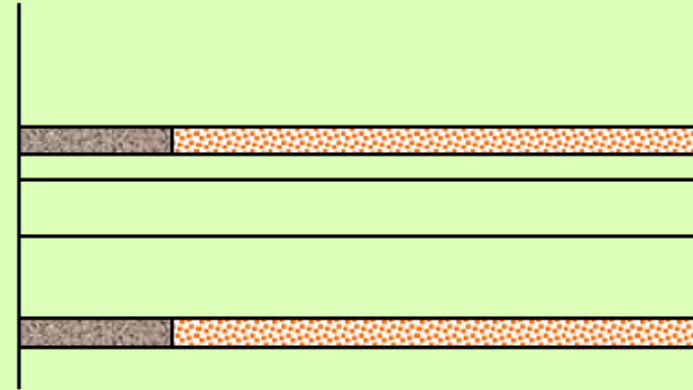
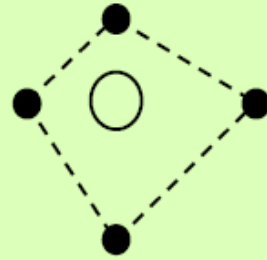


DESVIACIONES EN EL PARALELISMO

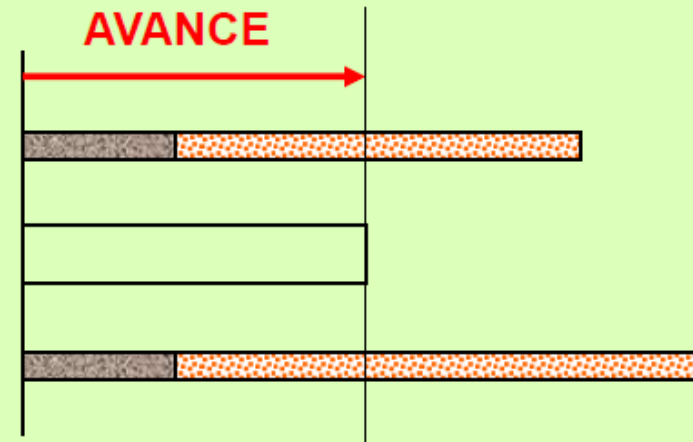
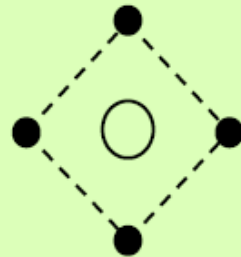


Errores debidos a la perforación

ESPACIAMIENTOS IRREGULARES ENTRE TALADROS

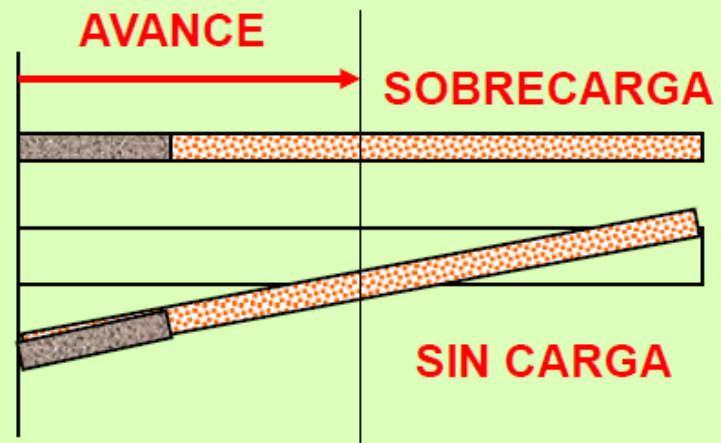
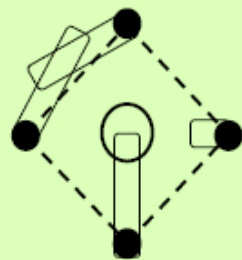


IRREGULAR LONGITUD DE LOS TALADROS

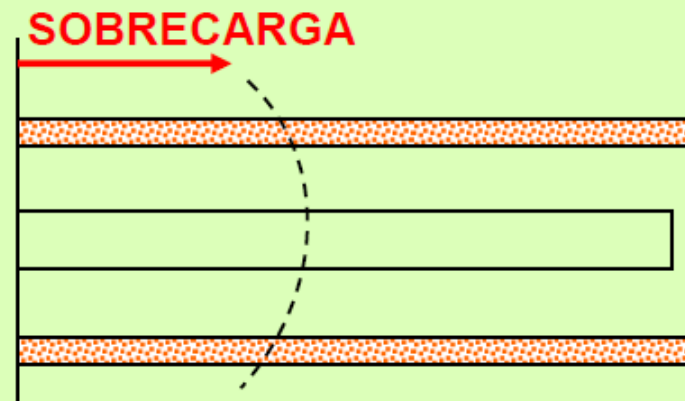
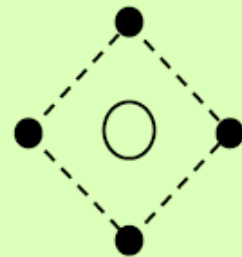


Errores debidos a la perforación

INTERSECCIÓN ENTRE TALADROS



SOBRECARGA (EXCESIVA DENSIDAD DE CARGA)

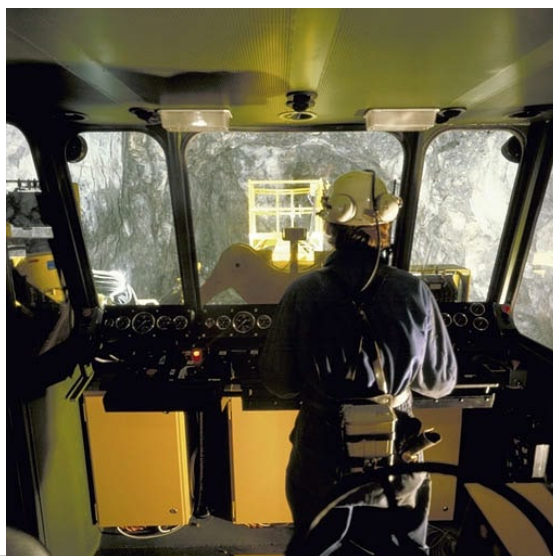


Factores que influyen en la selección del explosivo



■ Variables controlables en la voladura (Parte PERFORACIÓN)

- Diámetro de perforación
- Longitud de perforación
- Distribución de barrenos (malla de perforación)
- Radio espaciamento / piedra
- Angularidad y/o paralelismo
- Sobreperforación
- Longitud del retacado
- Tipo de material inerte para el retacado
- Caras libres disponibles
- Tipo de corte o arranque
- Dirección de salida de los tiros
- Altura de banco
- Profundidad de avance (en subsuelo)
- Configuración del disparo
- Dimensión de la voladura





■ Variables controlables en la voladura (Parte CARGA Y ENCENDIDO DE LA PEGA)

- Tipo de explosivo
- Propiedades:
 - Densidad
 - Velocidad
 - Sensibilidad
 - Potencia explosiva o potencia rompedora (brisanca, en inglés)
 - Simpatía,
 - Etc.
- Energía disponible
- Método de carga y cebado
- Acoplamiento barreno / explosivo
- Longitud de columna de explosivo
- Distribución de carga (a columna completa o con cargas espaciadas)
- Factor de carga (kg/m^3)
- Distribución del explosivo:
 - Carga de fondo
 - Carga de columna (tipos y densidades)
- Sistema de iniciación
- Secuencia de encendidos



■ Variables No discrecionales pero sí controlables

- Geología
- Tipo de roca
- Propiedades geomecánicas:
 - Resistencia a la rotura.
 - Propiedades elásticas de la roca
- Frecuencia de fracturas. Grado de fisuramiento
- Orientación de estructuras
- Presencia y condiciones de Agua
- Condiciones climáticas
- Oquedades, cavernas, etc.
- Condiciones del terreno
- Otros.













Consecuencias de fallos o errores en la ejecución de las voladuras

- Fragmentación irregular : excavabilidad y acarreo lentos (ciclo de carga deficiente).
- Generación excesiva de bolos: Necesidad de acudir a voladuras secundarias (riesgo y coste negativo).
- Dilución del mineral: pérdida de valor económico.
- Sobreexcavación: sostenimiento adicional (elementos e instalación).
- Proceso metalúrgica: sobre coste de trituración y conminución (consumo de energía y desgaste de protecciones).





Desescombrado





POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

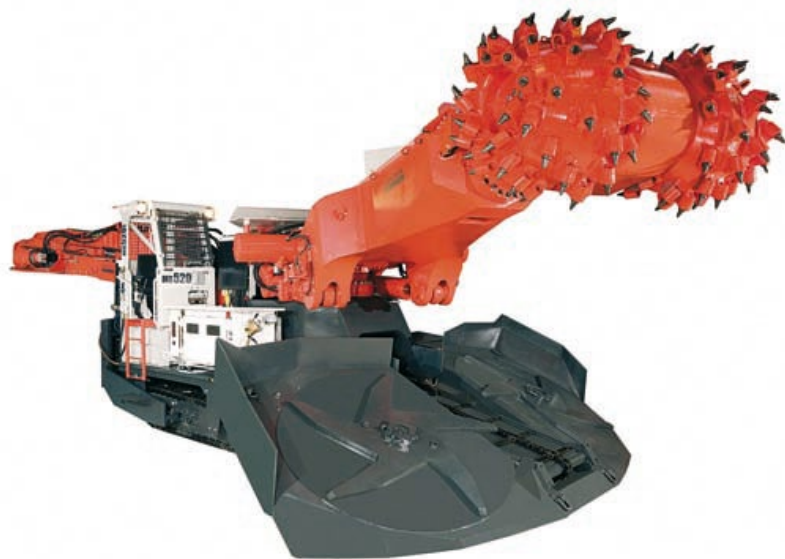
Opening minds, creating opportunities



MÉTODOS DE EXCAVACIÓN POR MEDIOS DE ARRANQUE MECÁNICO

Minadores

- Básicamente, los minadores son máquinas excavadoras que realizan su trabajo mediante una cabeza giratoria, provista de herramientas de corte que inciden sobre la roca, y que va montada sobre un brazo monobloque o articulado; y un sistema de recogida y transporte del material que lo evacua desde el frente de arranque hacia la parte trasera de la máquina. Todo el conjunto va montado sobre un chasis móvil de orugas.



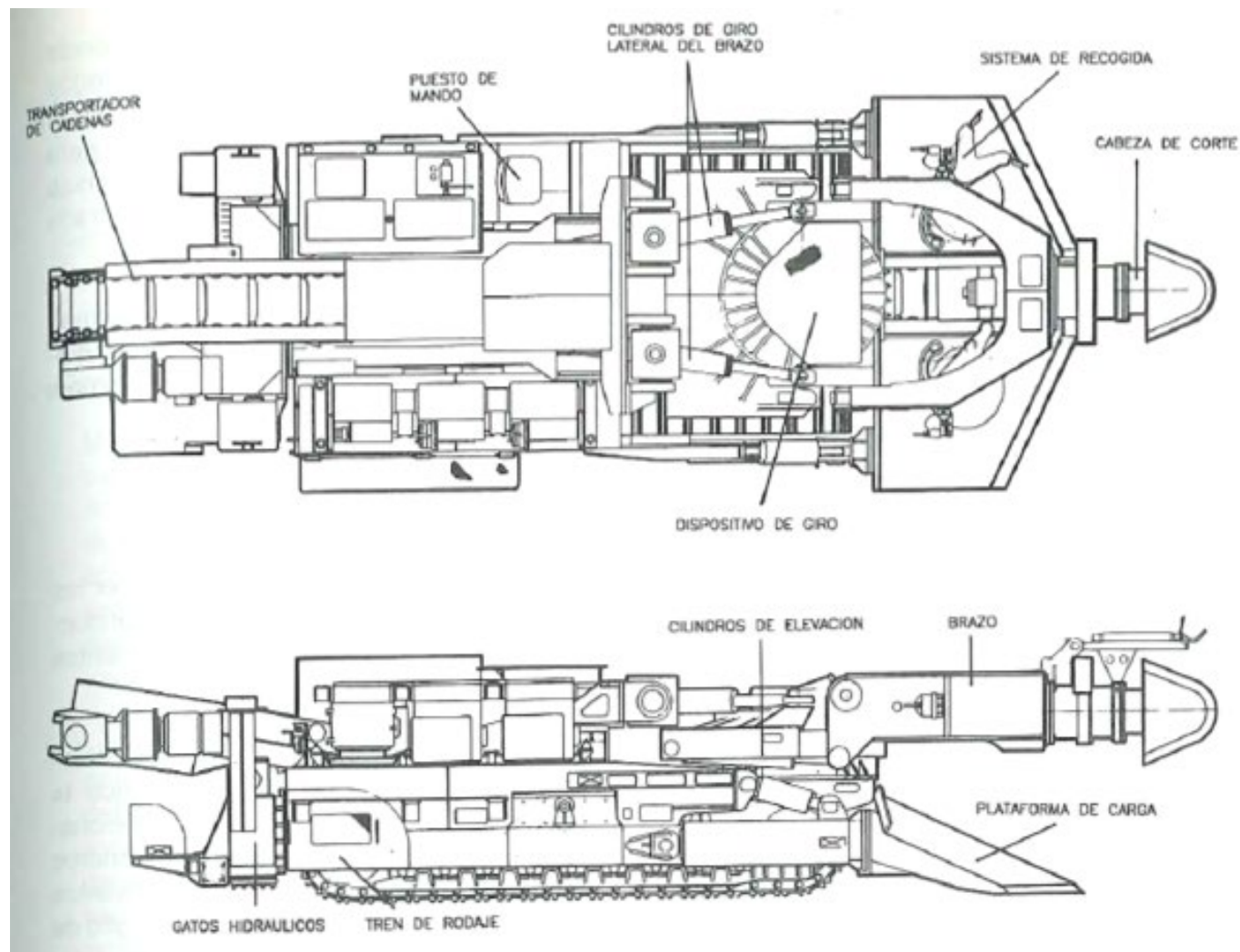
- Frente a las máquinas integrales de excavación (tuneladoras), los minadores presentan las siguientes ventajas:
 - Flexibilidad y maniobrabilidad (pueden efectuar distintas secciones, cambios de trazado, excavaciones transversales a la principal, etc.).
 - No se precisan grandes espacios para el montaje y desmontaje cuando finalizan la obra.
 - Son más accesibles para el mantenimiento en el frente que una tuneladora.
 - Menor coste de capital.
 - El frente queda ventilado más rápidamente.
- Si se comparan las excavaciones con minadores con el sistema clásico de perforación y voladura, las ventajas más notables son:
 - Admite una mecanización mayor.
 - Perfilado exacto de la sección de excavación.
 - Menor afección a la roca remanente, ya que no es agrietada por las voladuras.
 - Ausencia de vibraciones generadas por la detonación de explosivos.
 - Menores necesidades de sostenimiento frente al uso de explosivos.
 - Mejor adaptación a la construcción por fases.



- Hoy en día la excavación de túneles con minadores se realiza generalmente en:
 - Terrenos de resistencia media-blanda y obras de longitudes pequeñas, inferiores a los dos kilómetros.
 - Donde no son rentables los sistemas a sección completa por la reducida dimensión de los proyectos.
 - En zonas de rocas medias-duras, en competencia con la perforación y voladura, cuando existen restricciones ambientales que impiden la aplicación de ese método.



Elementos constituyentes de un minador



Tipos de minadores

- Minadores de brazo



Tipos de minadores

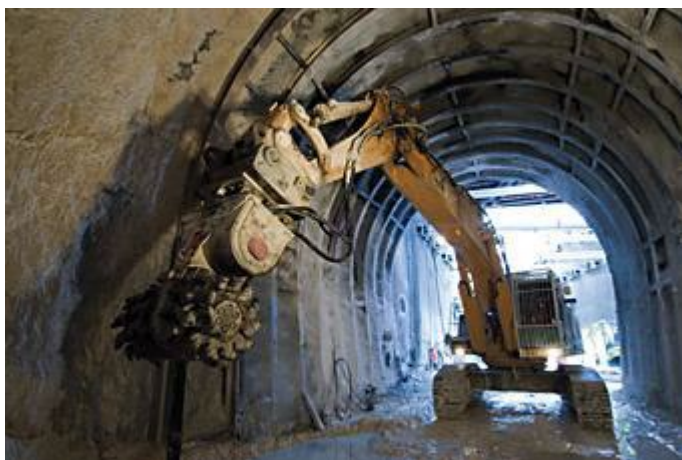
- Minadores de tambor



Tipos de minadores

- Equipos especiales



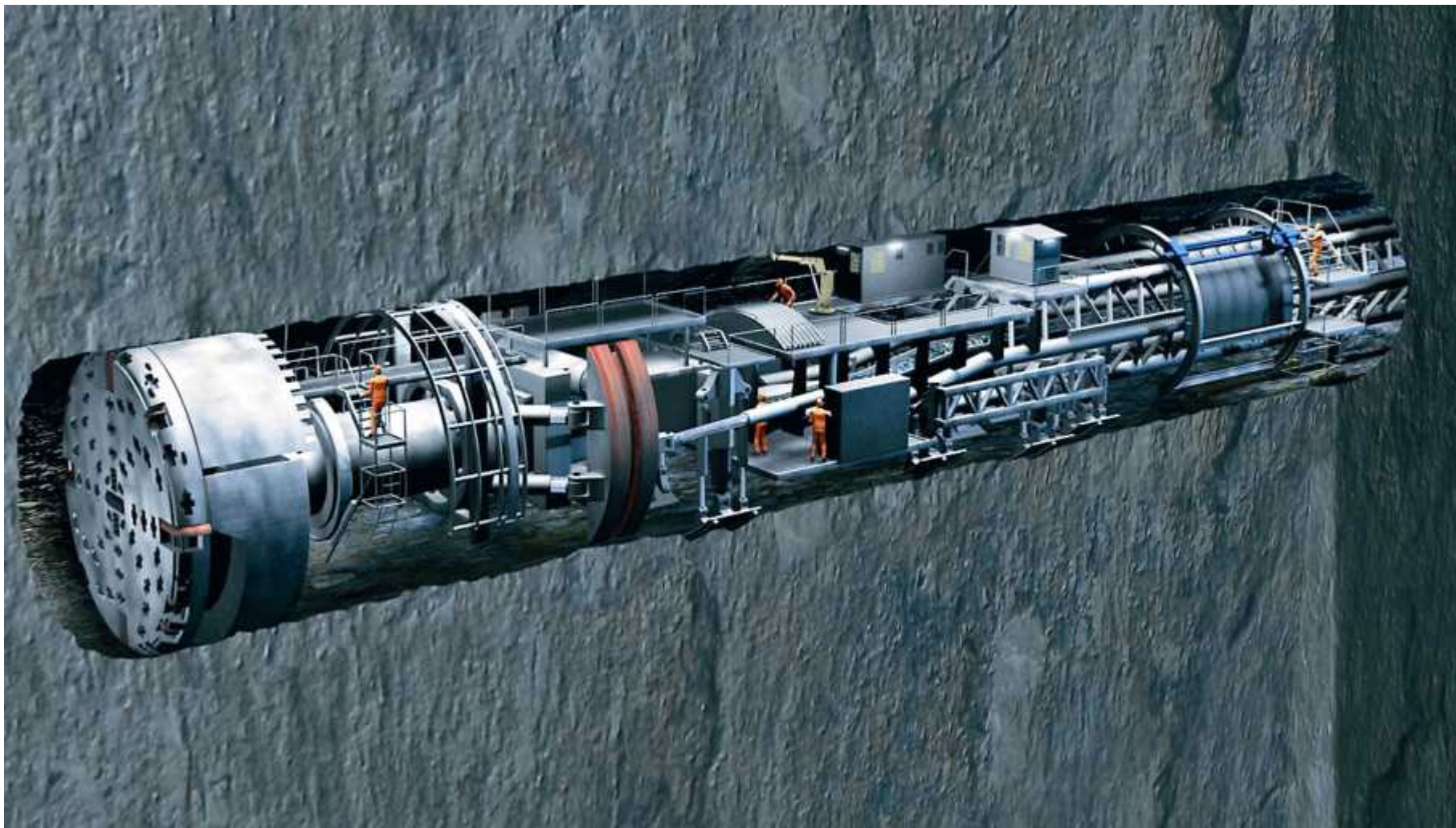


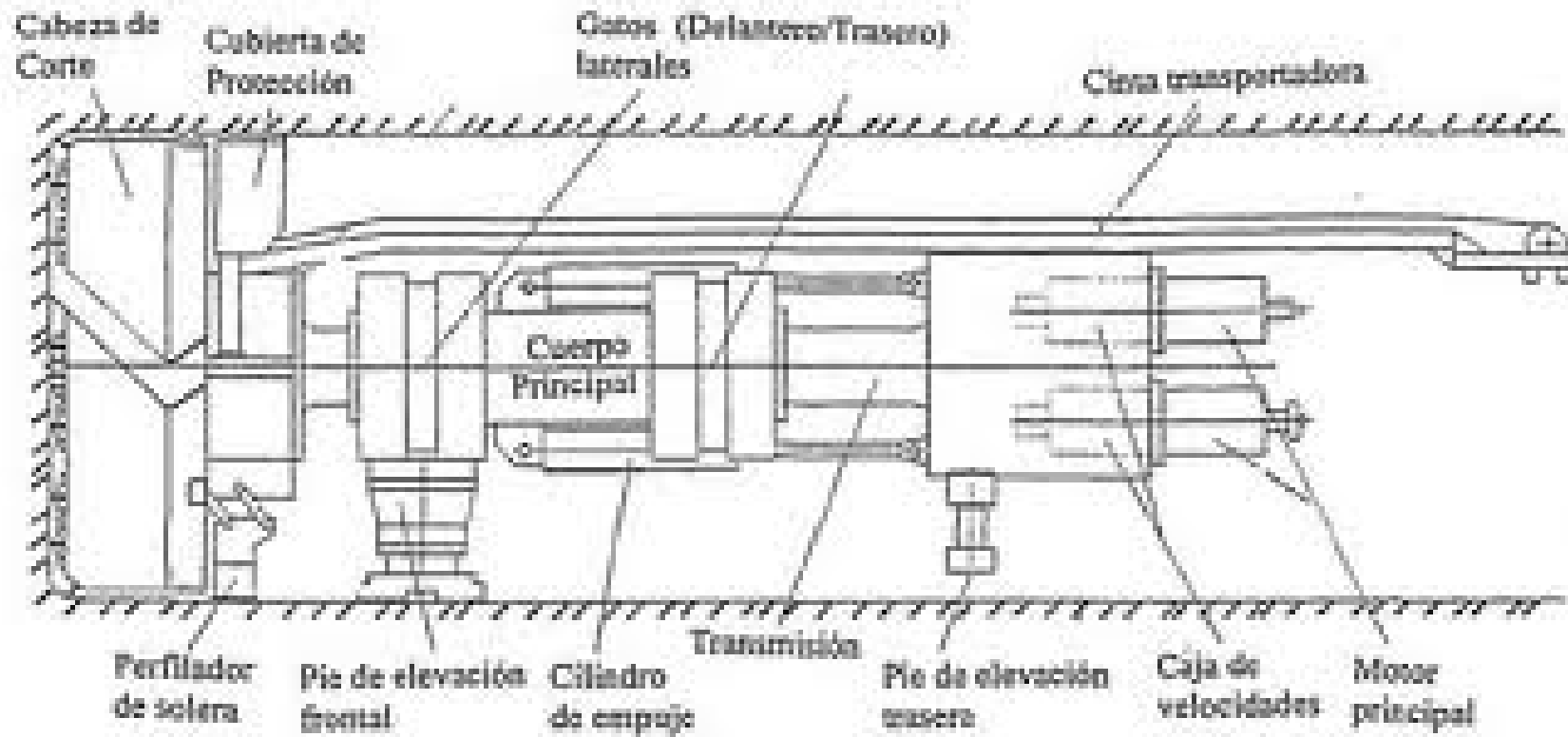
Máquinas tuneladoras

- Entre los aspectos generales que tiene consigo un túnel excavado mediante TBM, se encuentran:
 - El túnel será circular.
 - La inversión de capital en equipamiento de construcción de túneles será más alta que para los túneles construidos mediante perforación y voladura.
 - Los costes de transporte de la TBM al emplazamiento y el ensamblado de la máquina deben ser cuidadosamente evaluados.
 - Los posibles cambios de dirección en el alineamiento del túnel deben ser compatibilizados con los requerimientos de la TBM y sus servicios, entre los que destacan:
 - Largo del back up
 - Radio de curvatura mínimo de la máquina.
 - Diseño de la banda transportadora (si procede)
 - Disponibilidad de agua
 - Fuente de energía
 - Etc.
 - Al igual que para las galerías y túneles excavados mediante perforación y voladura, las pendientes son gobernadas por el equipamiento de apoyo de la TBM
 - Hay otras consideraciones gobernadas por la geología que influirán en el diseño de la máquina. Por ello, **cada proyecto es único y todas las variables que inciden en él deben ser analizadas con mucho detenimiento.**

Capacidades

	Minería	
	Excavación convencional	Excavación continua
Tasa Extracción:	0,5 t/m ² -día	3-4 t/m ² -día
Productividad:	50 t/h-día	200 t/h-día
Coste Operación:	3,5 US\$/Ton	2,0 - 2,2 US\$/Ton
Producción:	200.000 t/day	400.000 t/day





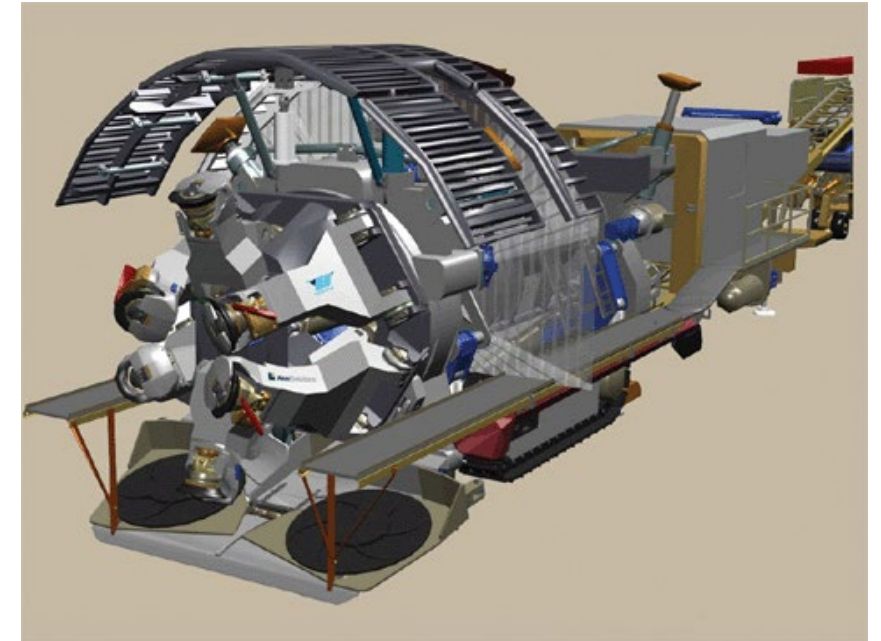
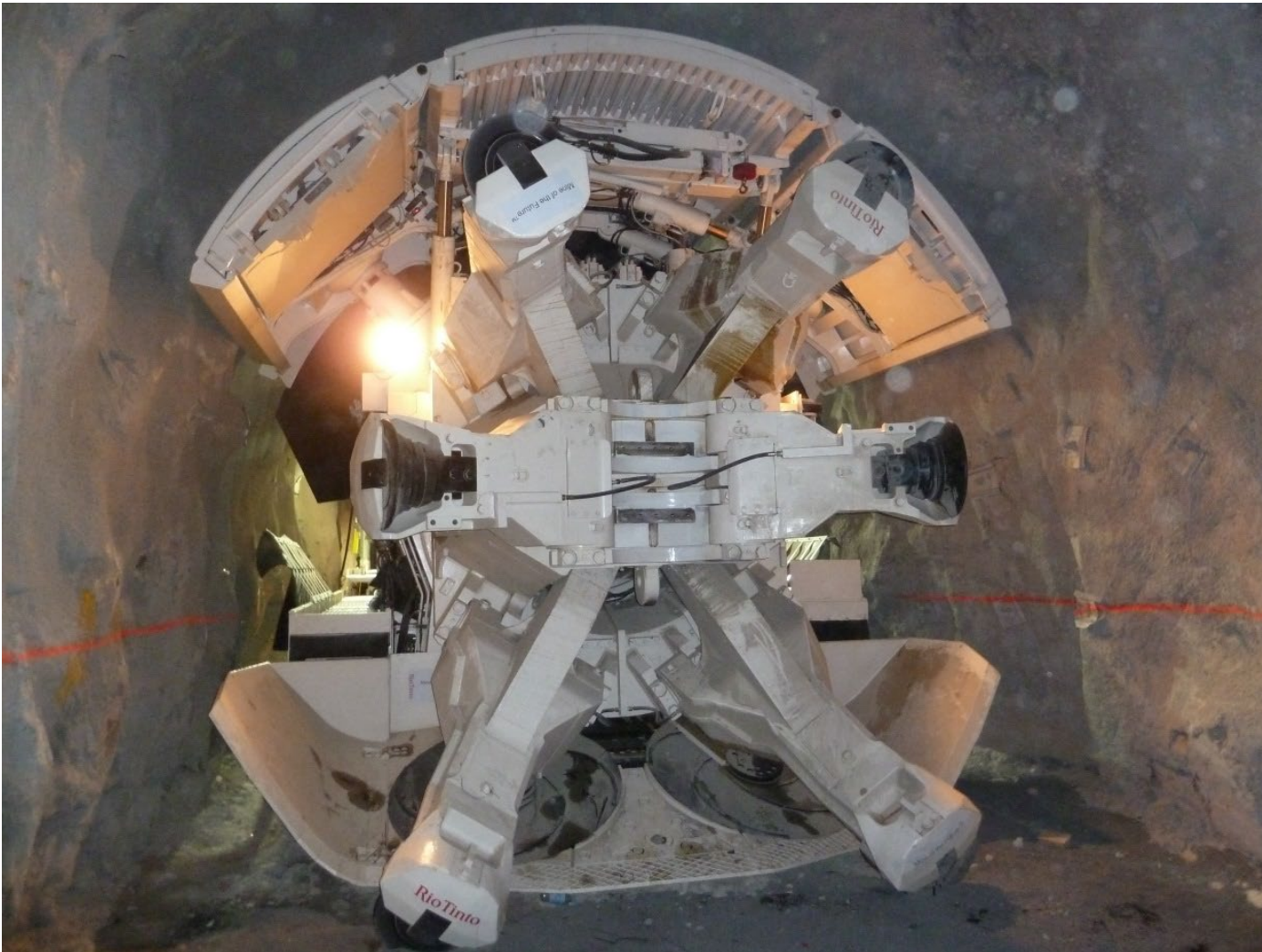


Grosvenor Coal Mine tunnel boring machine





Northparkes mine



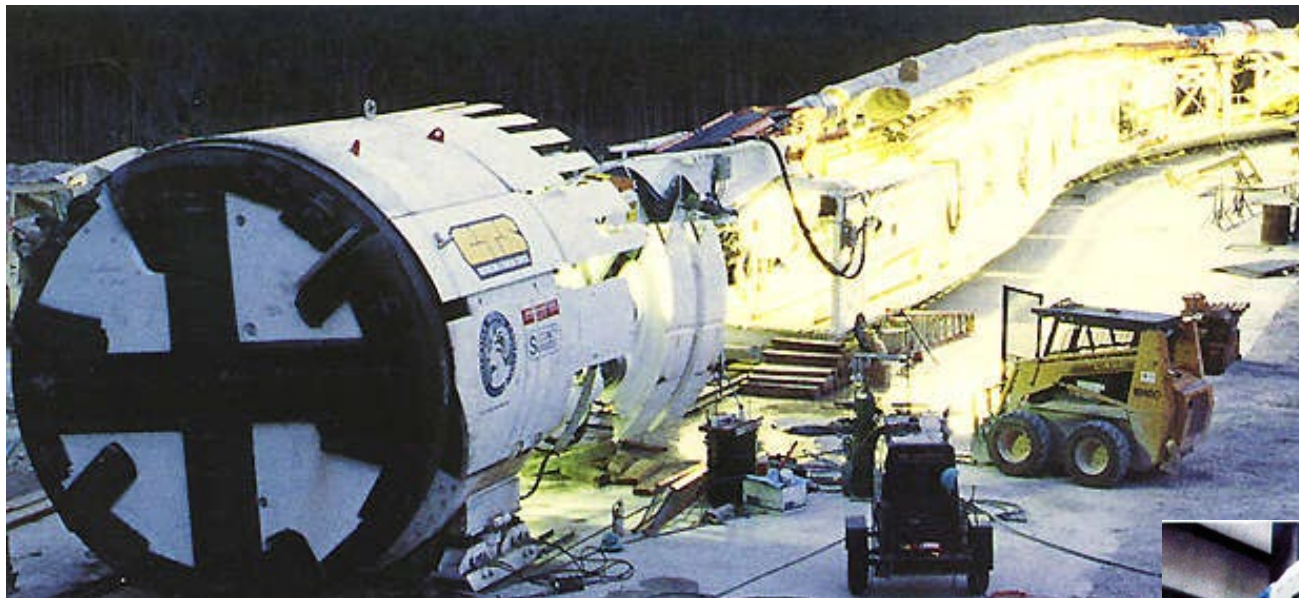
Fuente: <http://www.theengineer.co.uk/>





La Mobile Tunnel Miner (MTM) desarrollada para túneles en roca dura.

Stillwater mine (EE.UU.)





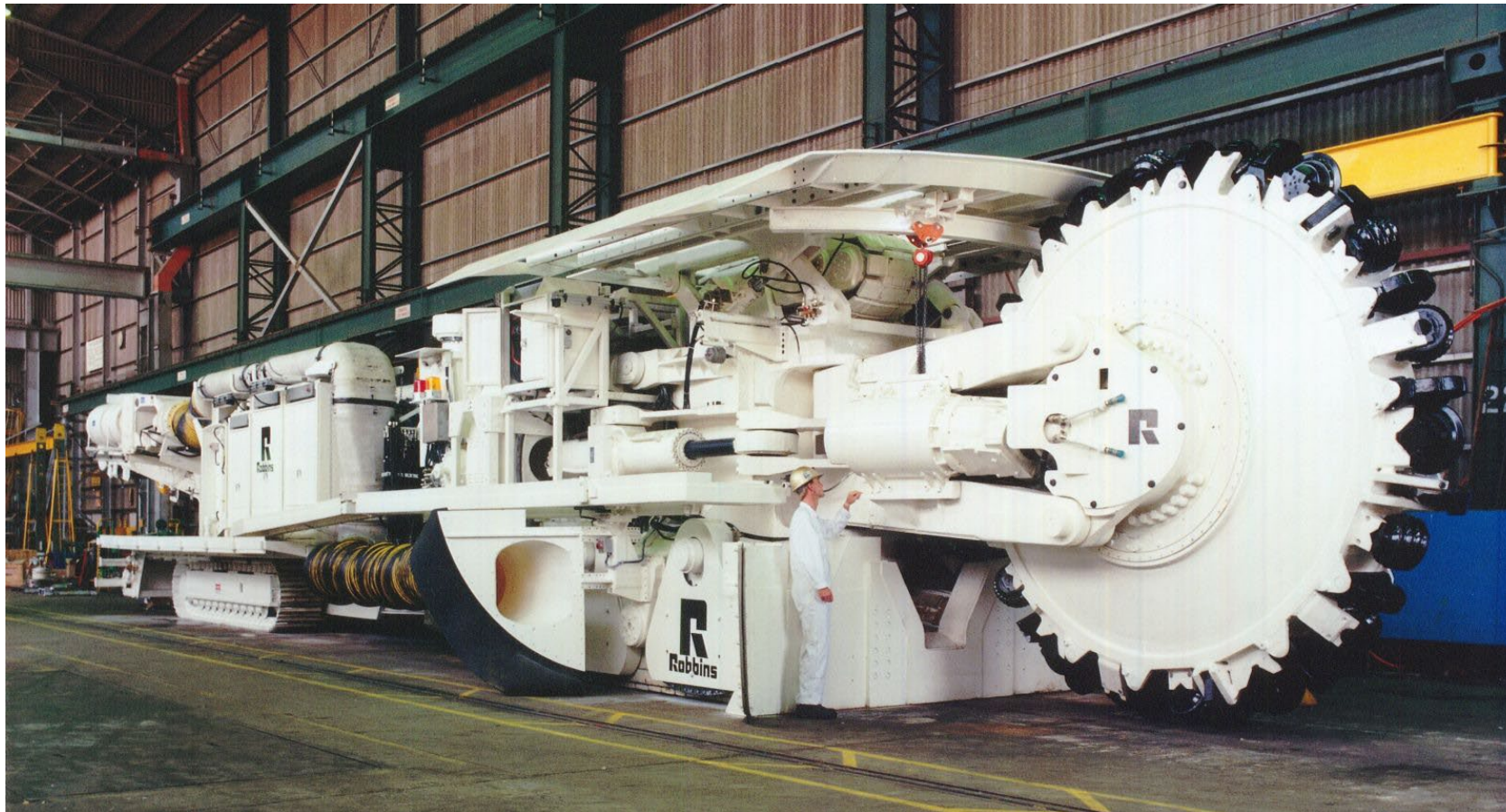
Unidades de diámetro reducido



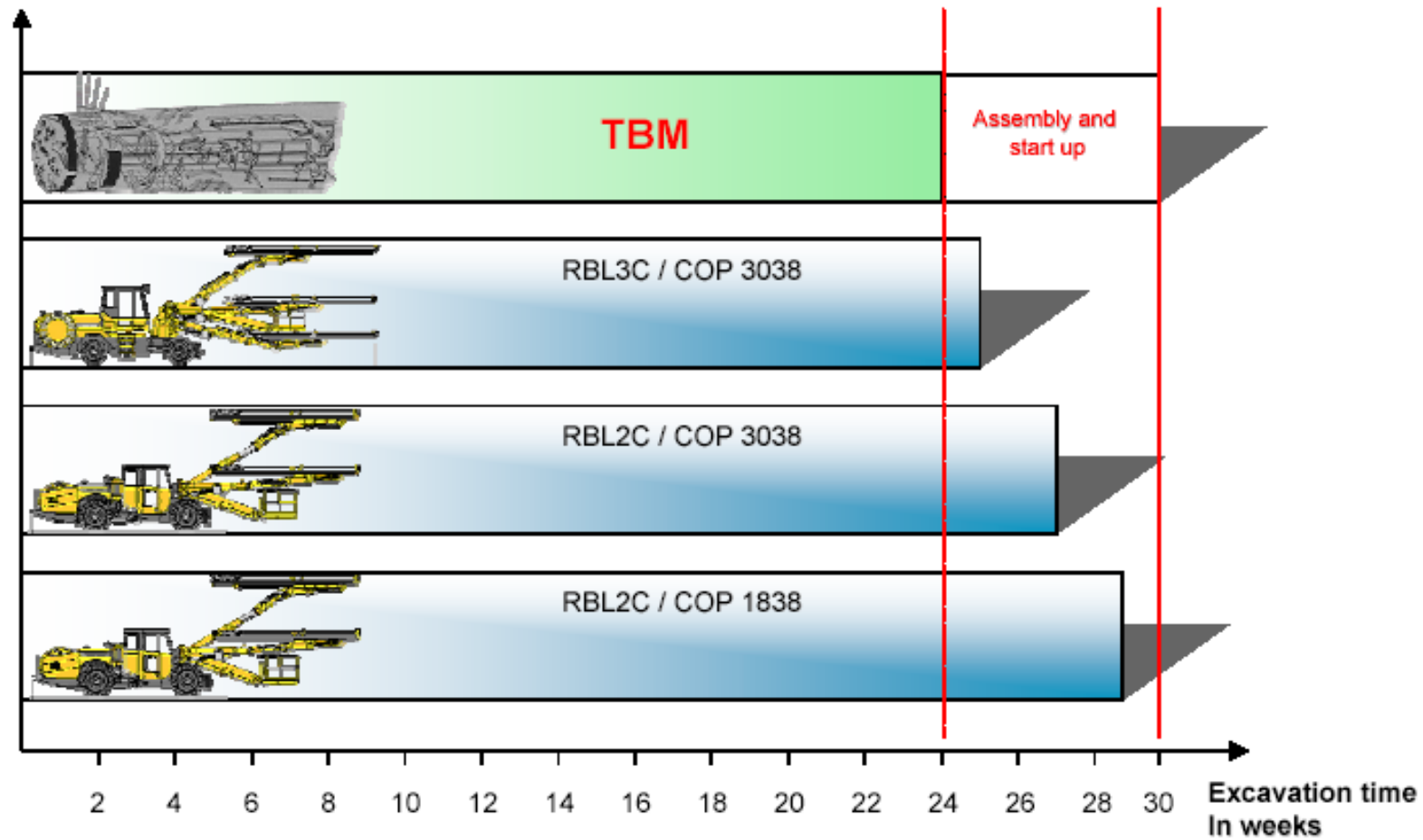
Atlas Copco Tunnel Boring System











Túnel de 9 x 9 m @ 10 km



Excavación con martillo hidráulico





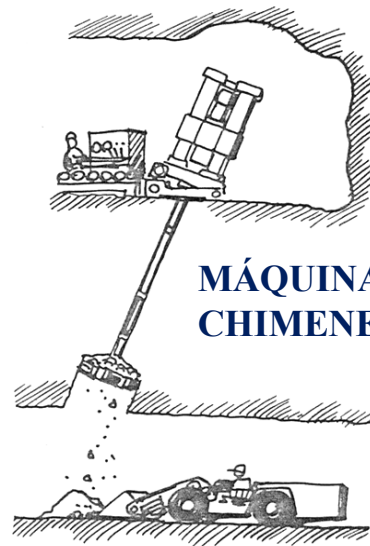




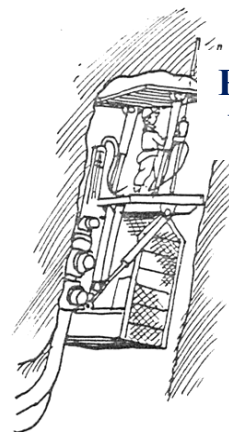
PERFORACIÓN DE CHIMENEAS Y POZOS PIQUERAS

Perforación de chimeneas

Tiros cortos
ascendentes



MÁQUINA DE
CHIMENEAS



PERFORACIÓN
Y VOLADURA



Tiros largos
descendentes
(<30-40m)



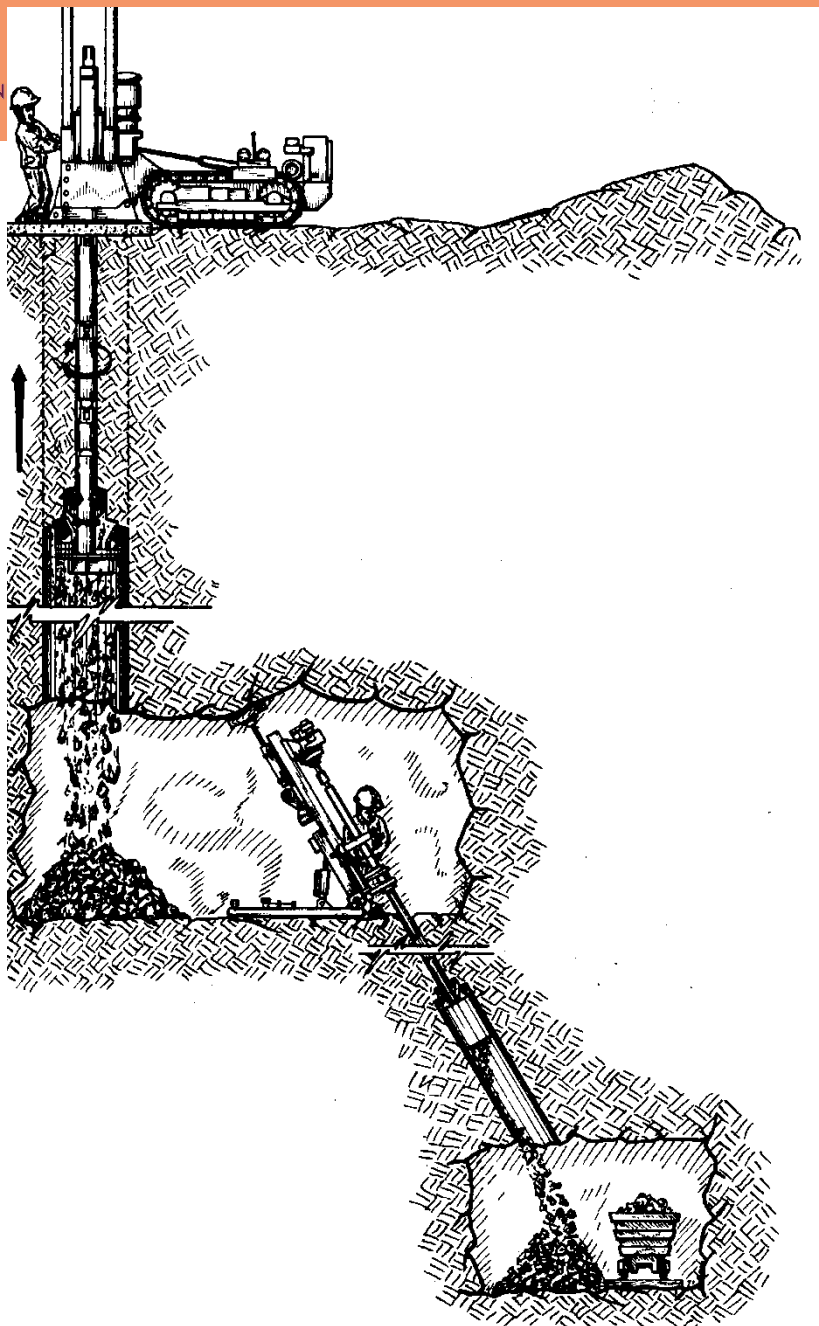
Problemática

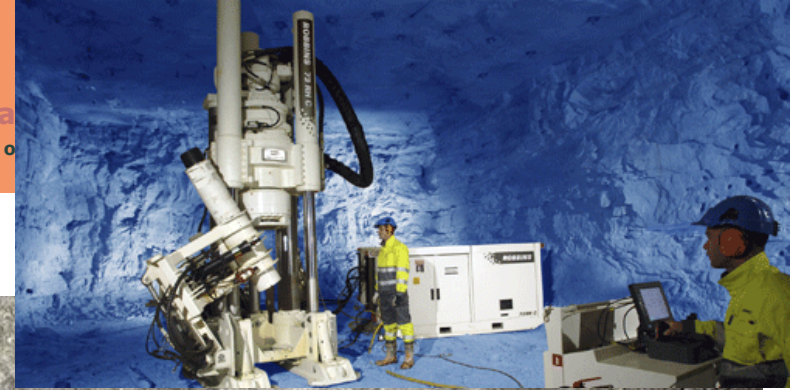




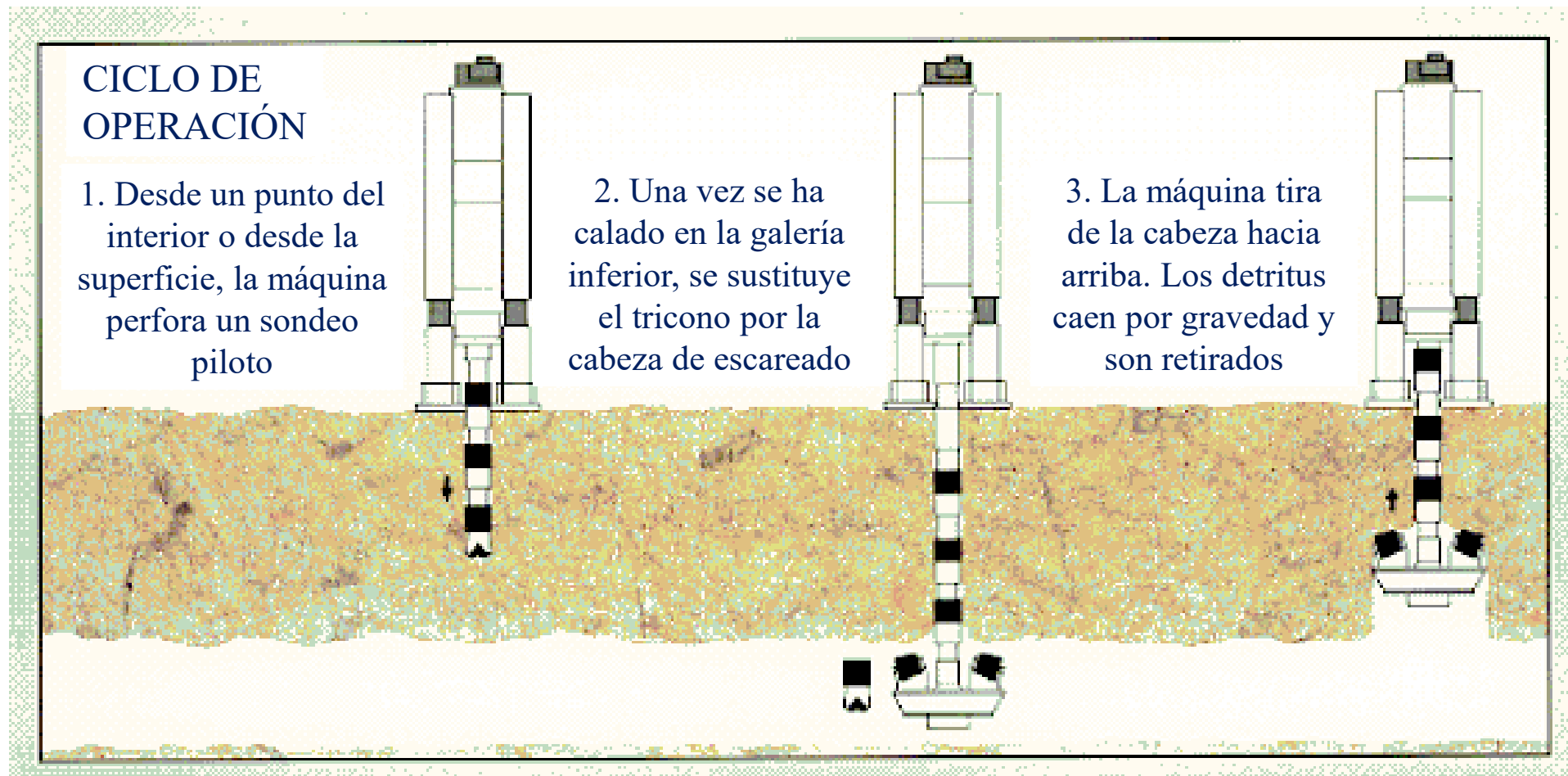
Métodos turbo-rotary y con corona

- Comúnmente conocido como Raise Boring
- El turbo-rotary utiliza turbinas en el fondo junto a triconos transmitiéndose una gran potencia con motores.
- El de corona utiliza una corona de 3 a 4 m de diámetro con 12 triconos en su borde y saca un testigo central cada 5 m de profundización.



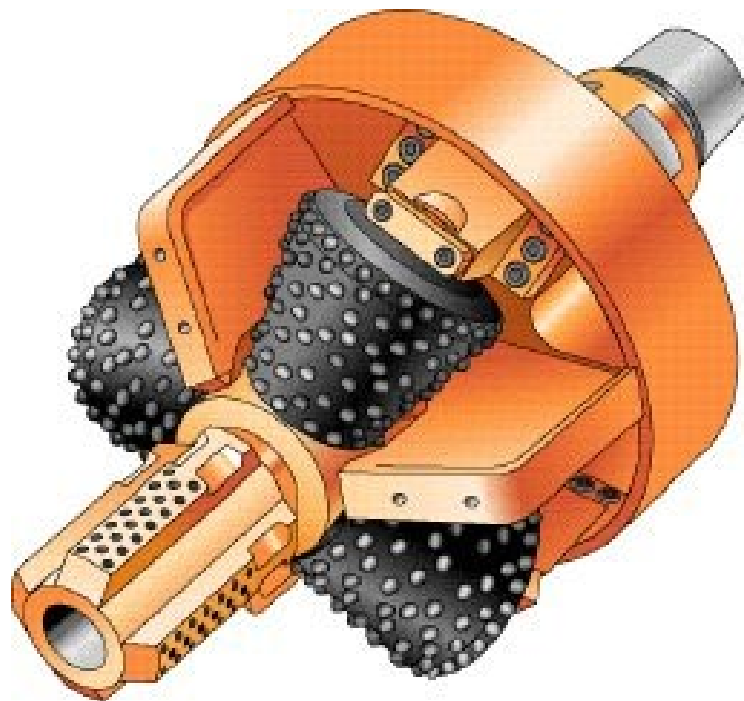


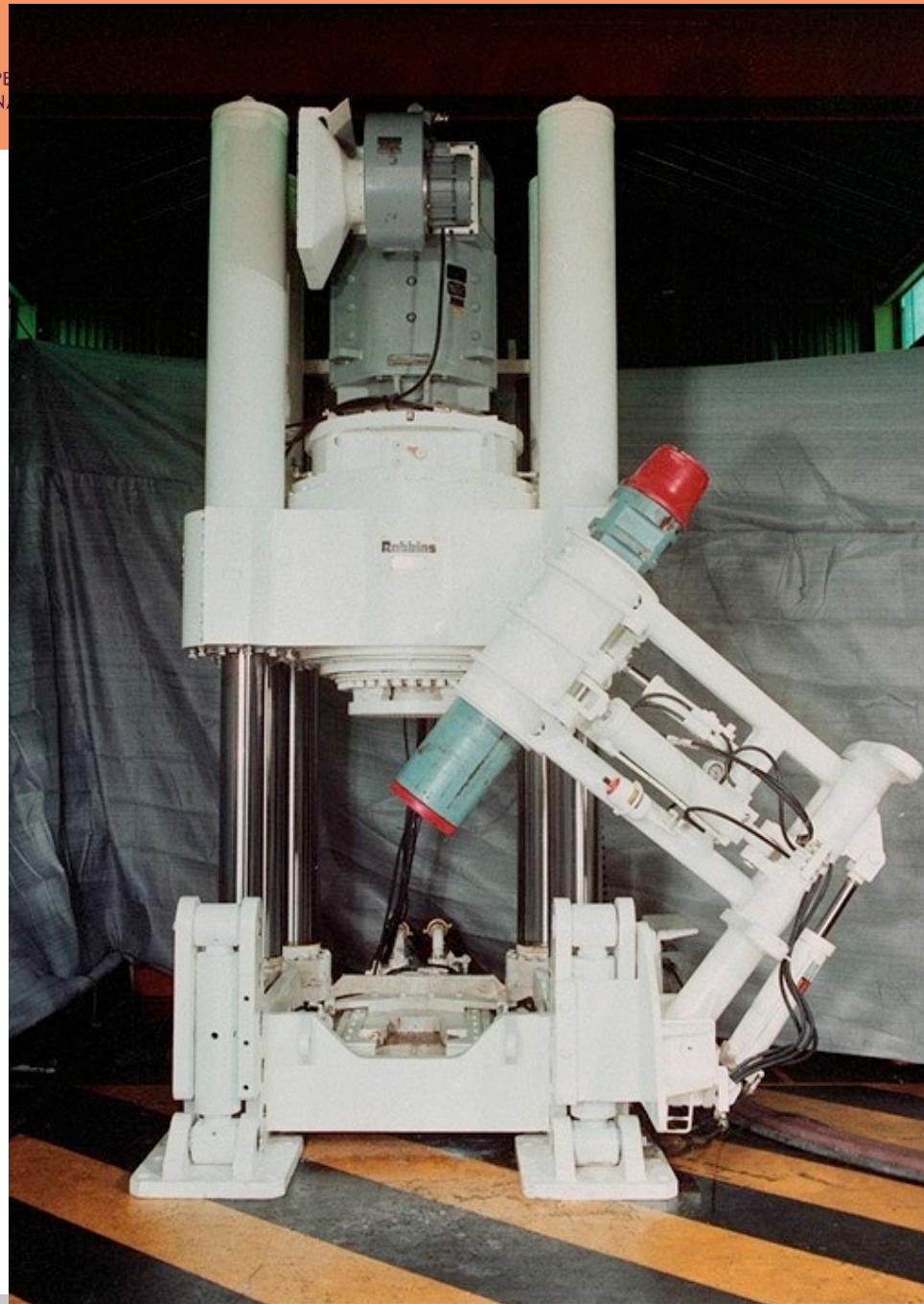
Perforación de chimeneas con Raise Borer



Technology Innovative Lab
Opening minds, creating opportunities





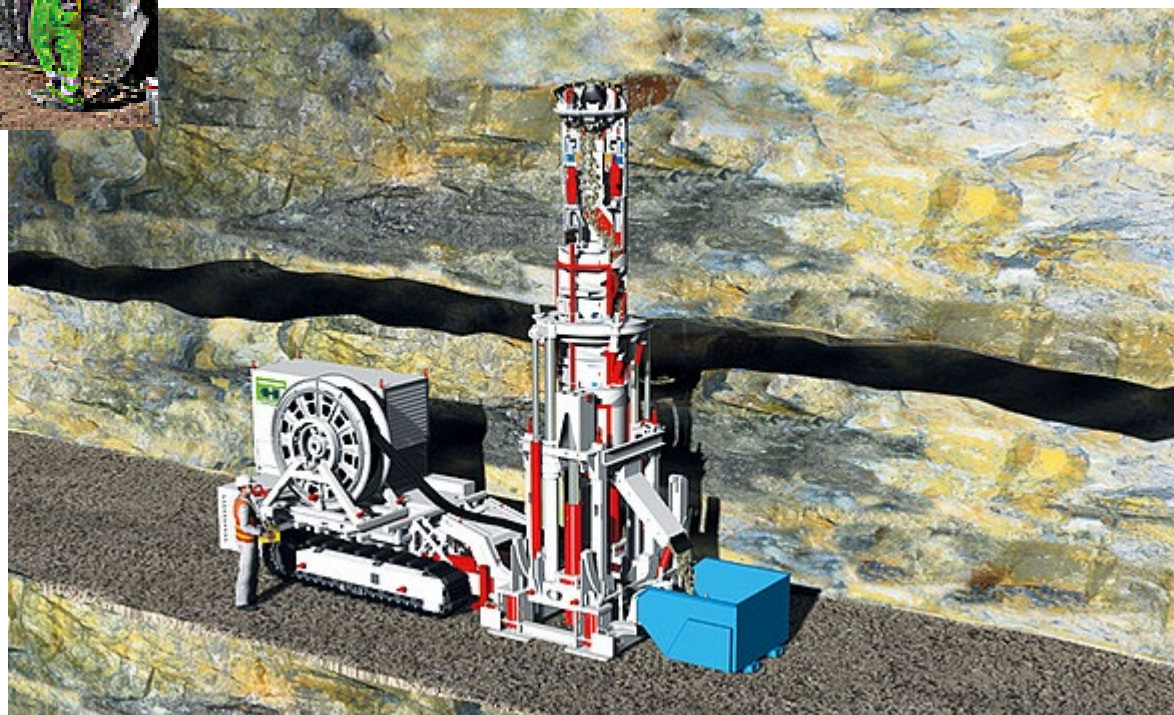


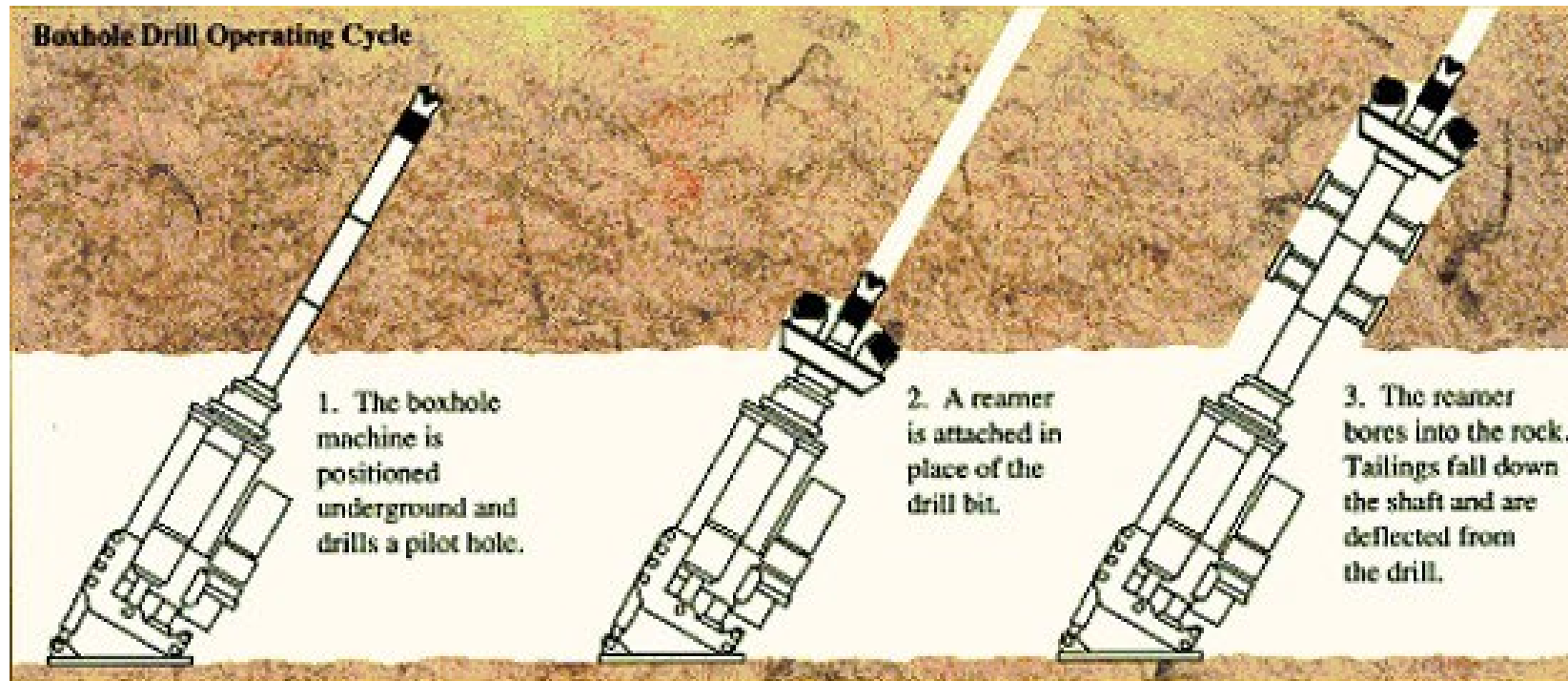




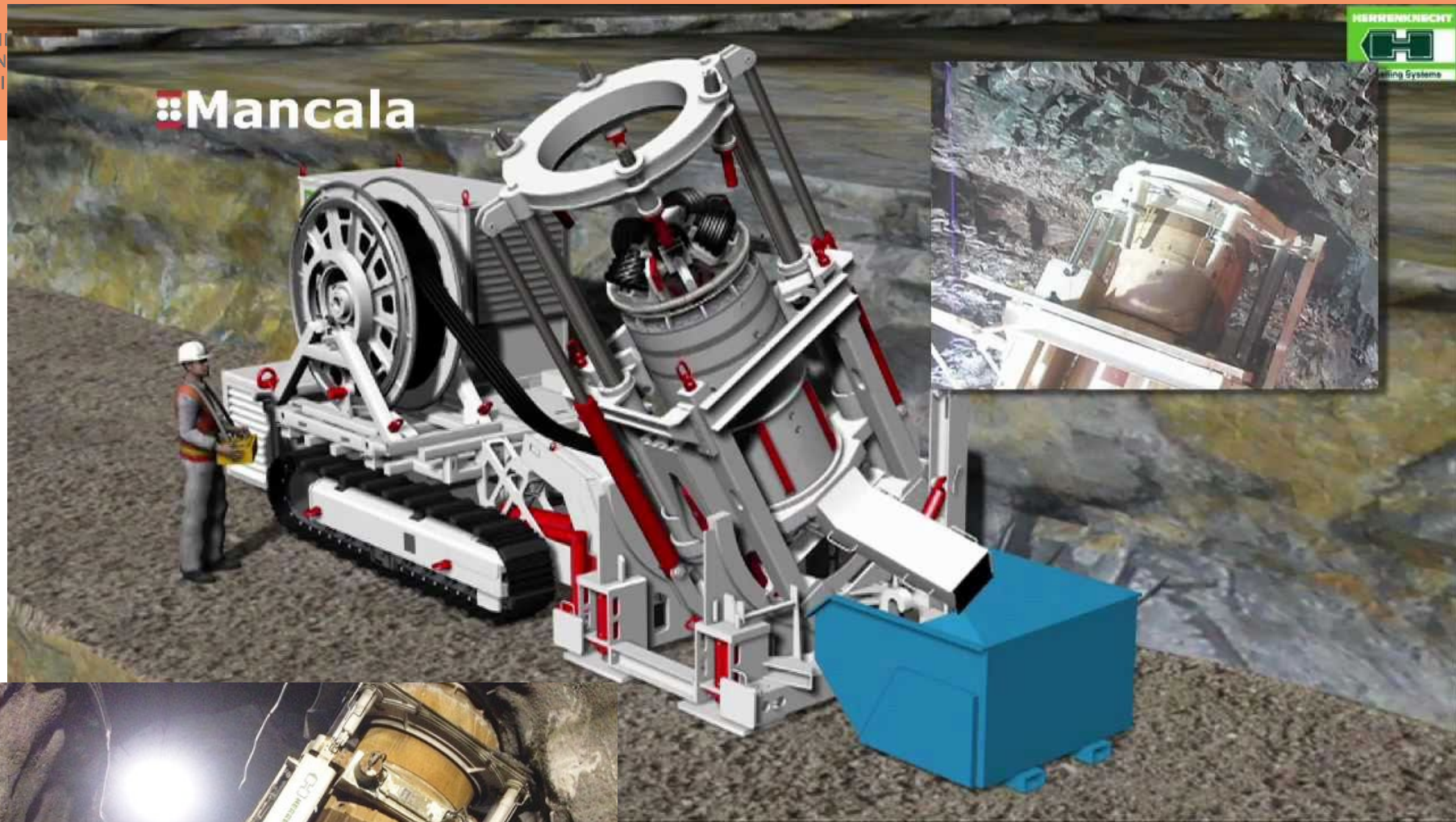


Boxhole Boring Machine (BBM)

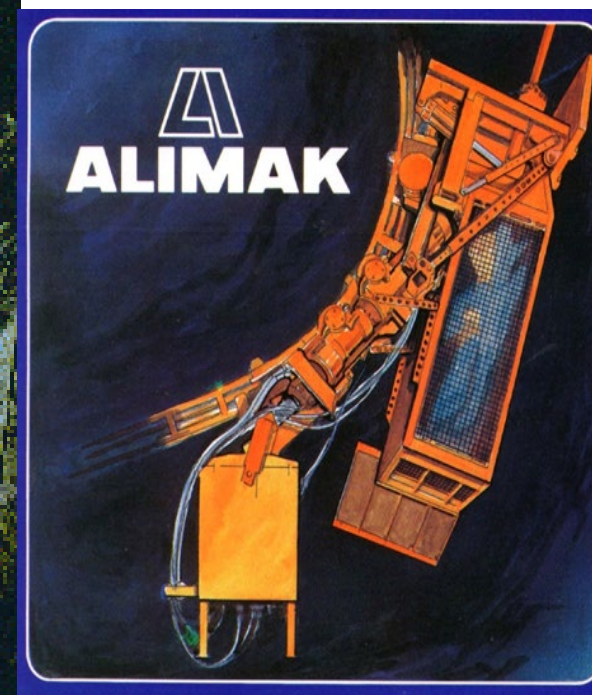


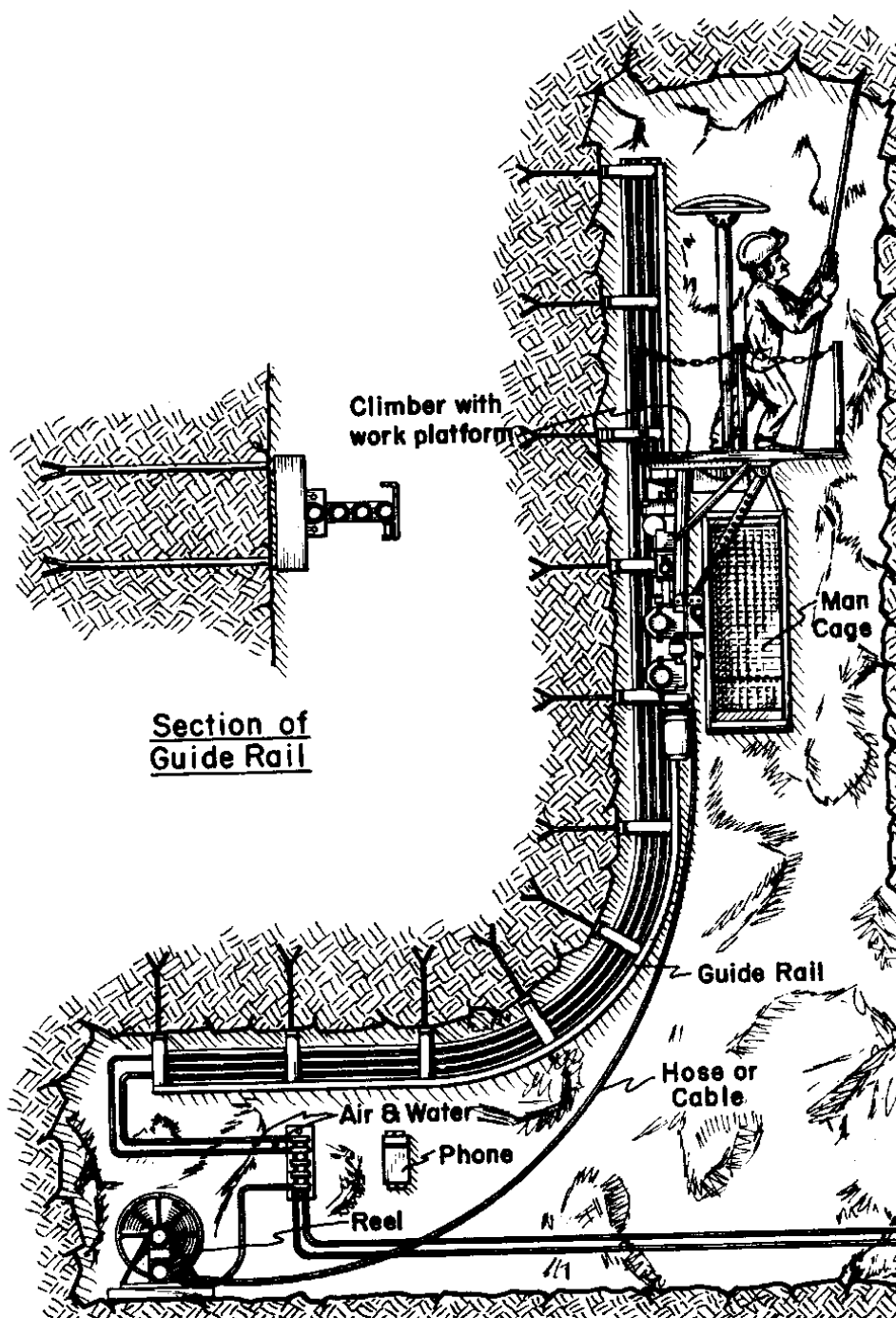


Mancala



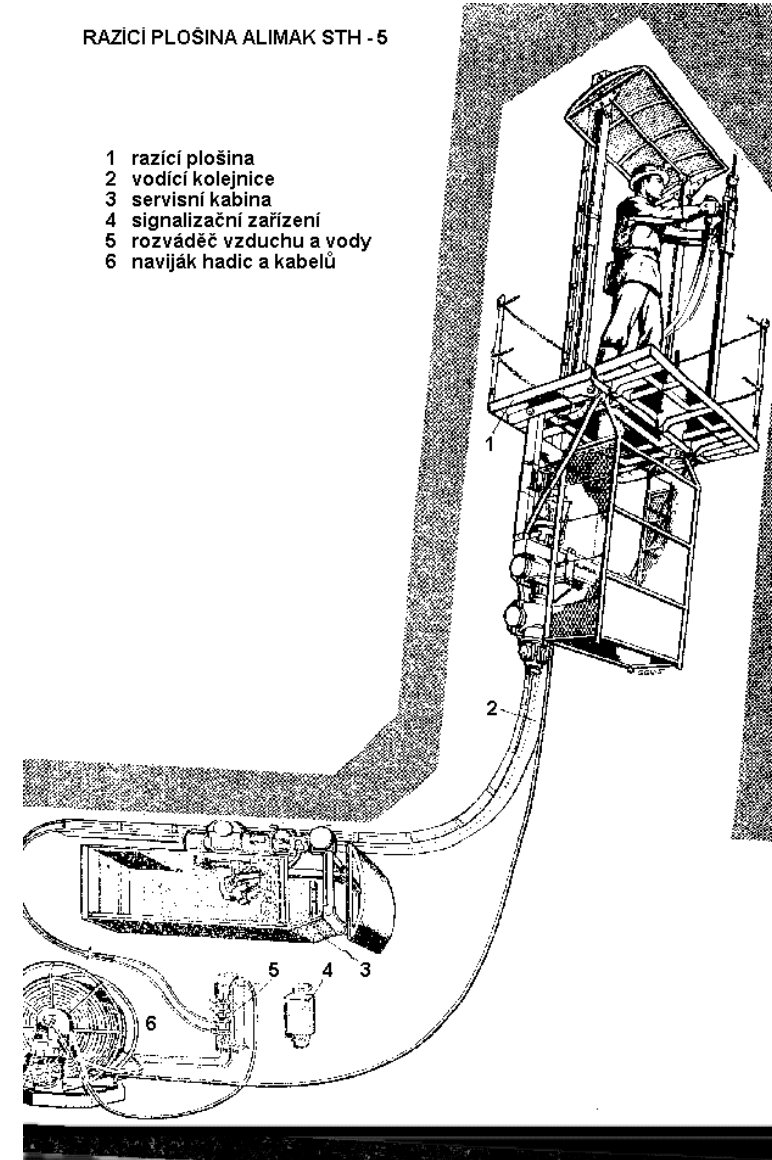
Métodos ALIMAK





RAZICI PLOŠINA ALIMAK STH - 5

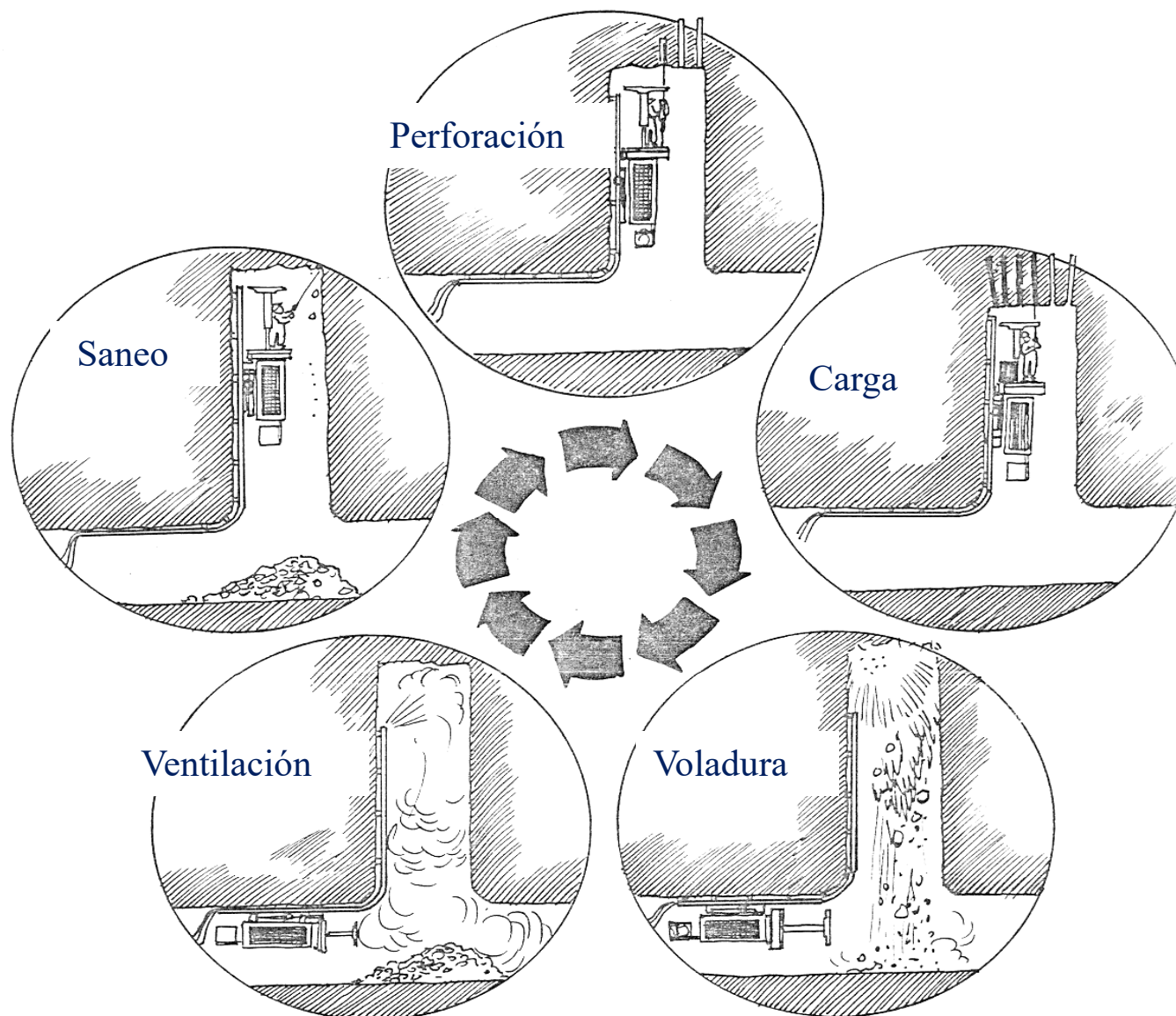
- 1 razici plošina
- 2 vodící kolejnice
- 3 servisní kabina
- 4 signalizační zařízení
- 5 rozváděč vzduchu a vody
- 6 naviják hadic a kabelů

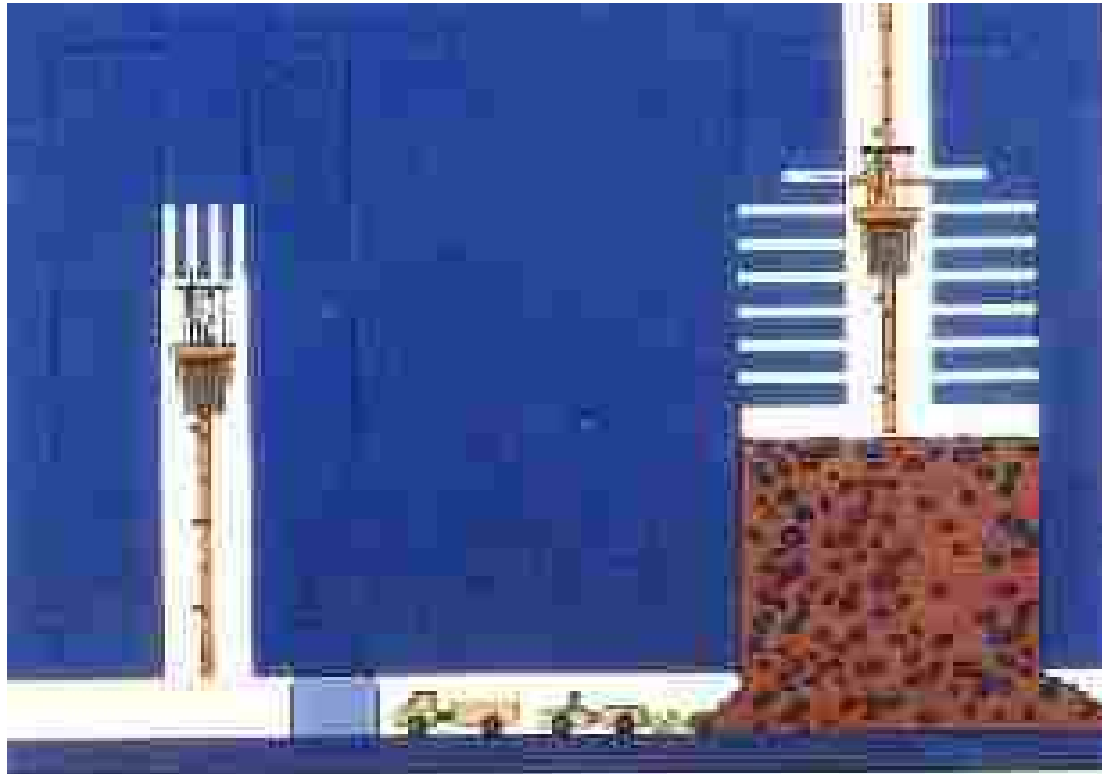


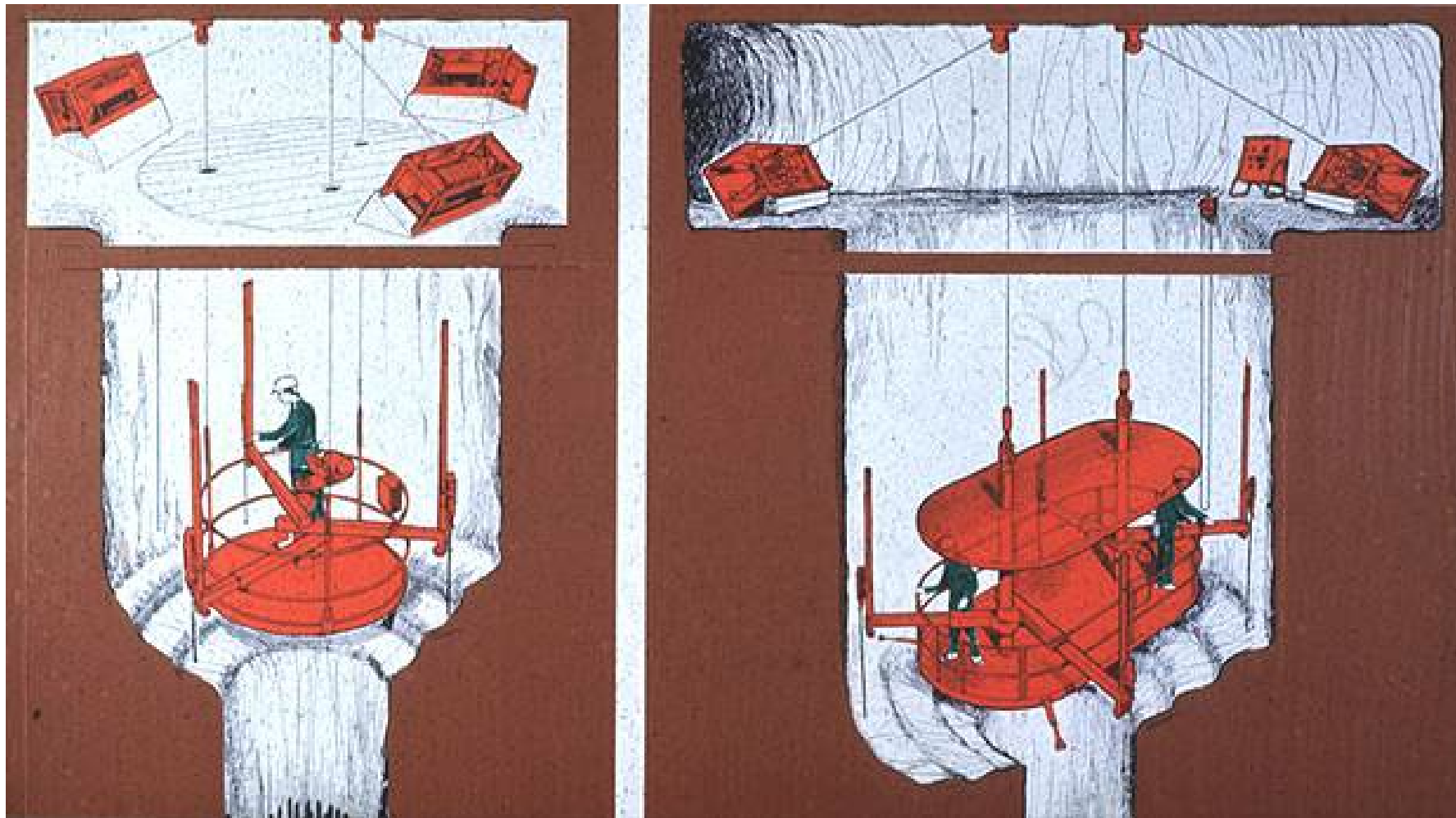


og
min











POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



UG MINING METHODS



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



Dudas y preguntas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING
MINING TECHNOLOGIES LABORATORY