

Juan Herrera Herbert

Planning and construction of underground mine infrastructure

Madrid - 2022



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es





Planning and construction of underground mine infrastructure

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

NOTICE

This document has been prepared with an exclusively informative and educational purpose. References to products, brands, manufacturers and standards that may appear in the text are framed within that purpose and have no commercial purpose.

All the ideas that are developed here have a general and educational nature and the scope of use is limited exclusively to the training of UPM students. The response to a particular case will always require a specific analysis in order to determine the suitability of the solution and the risks faced in each case, in addition to the impact on operating costs. Always consult your trusted engineering, consultant, distributor and manufacturer in each case.

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/89349/>

Identificador OAI: [oai:oa.upm.es:89349](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:es:upm-89349)

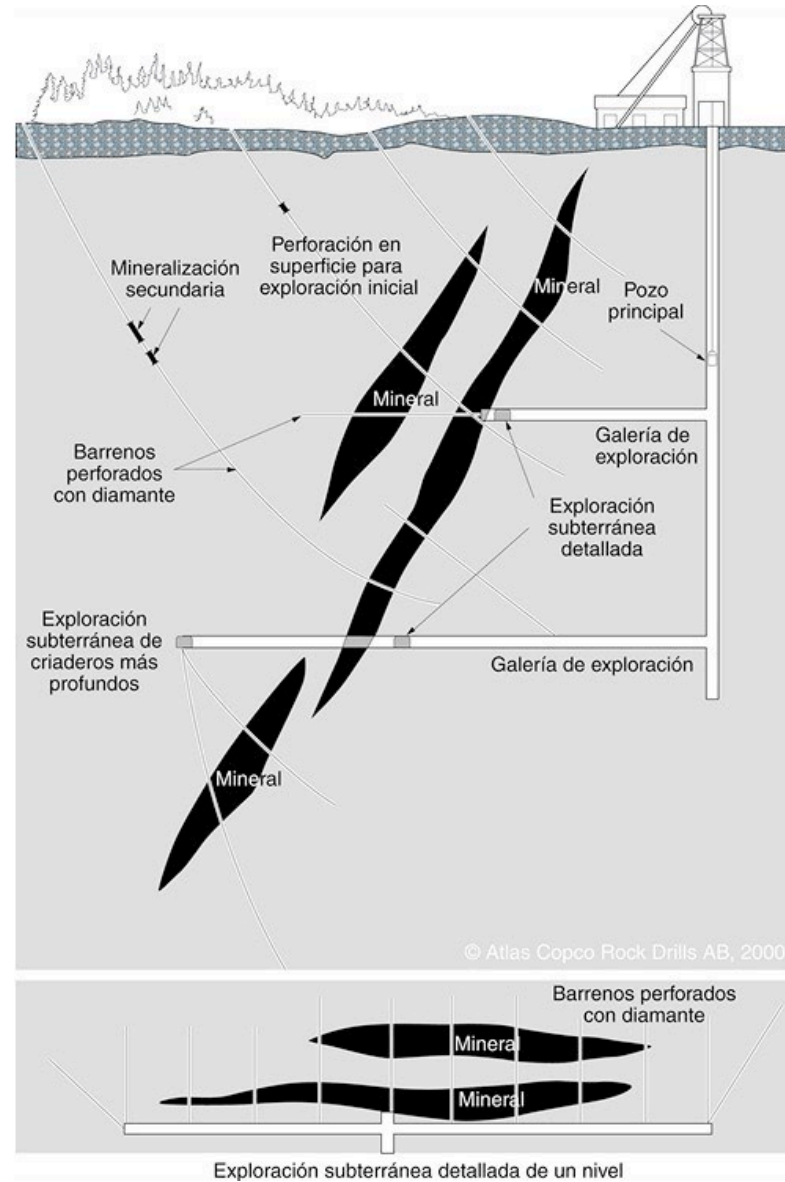


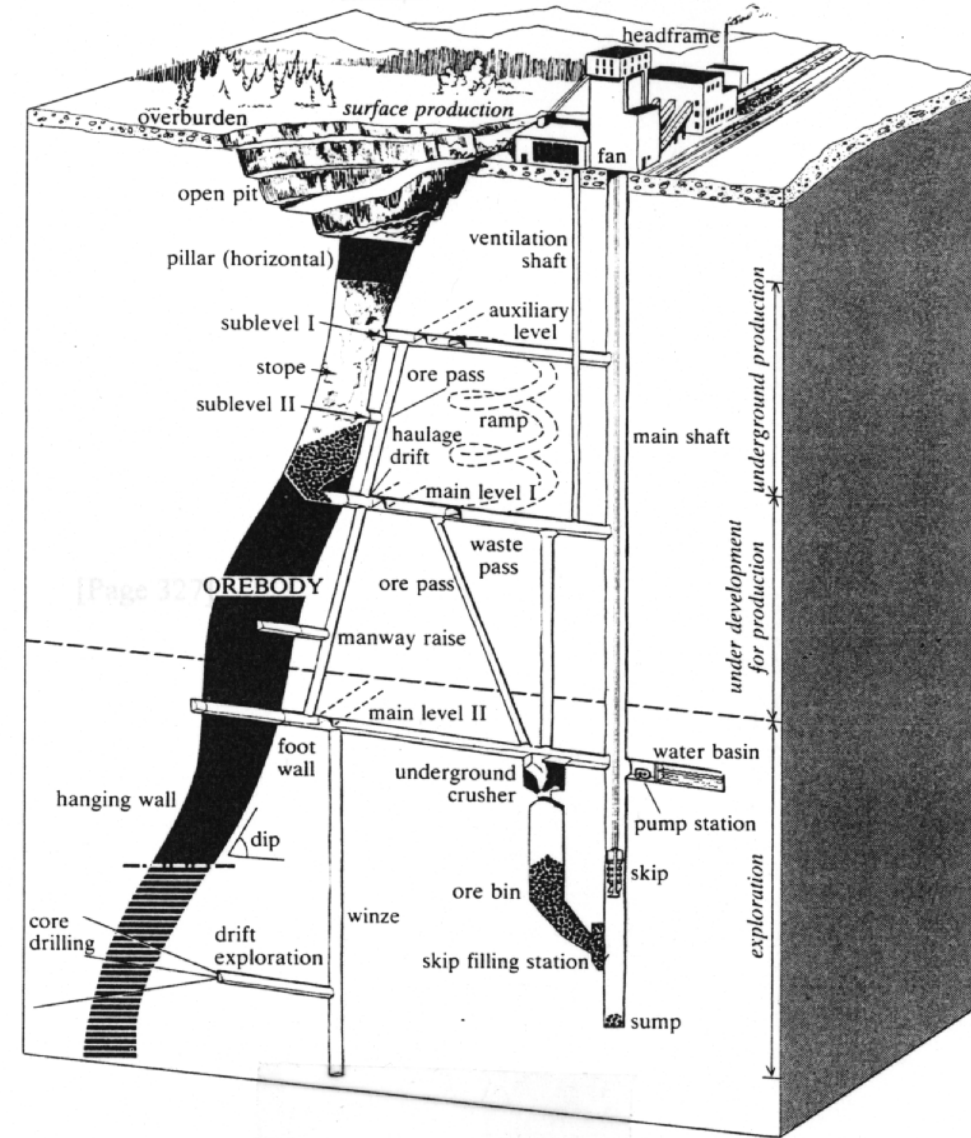
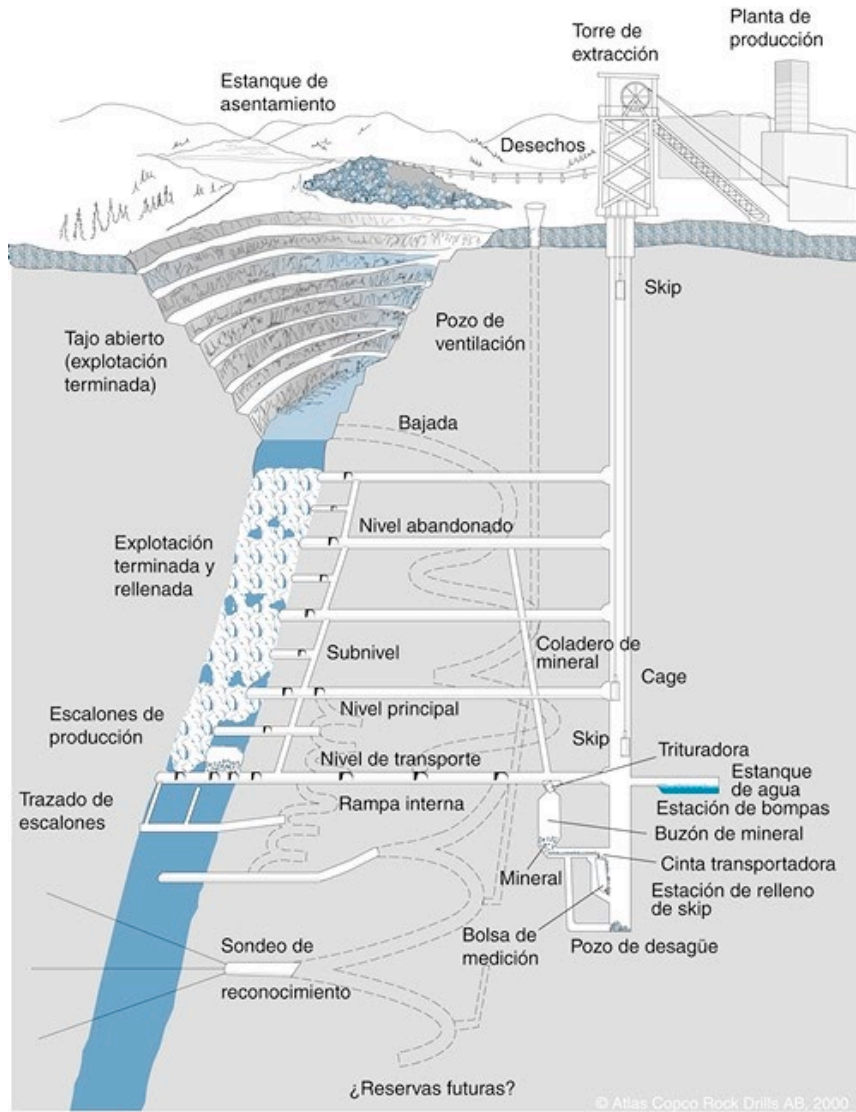
Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

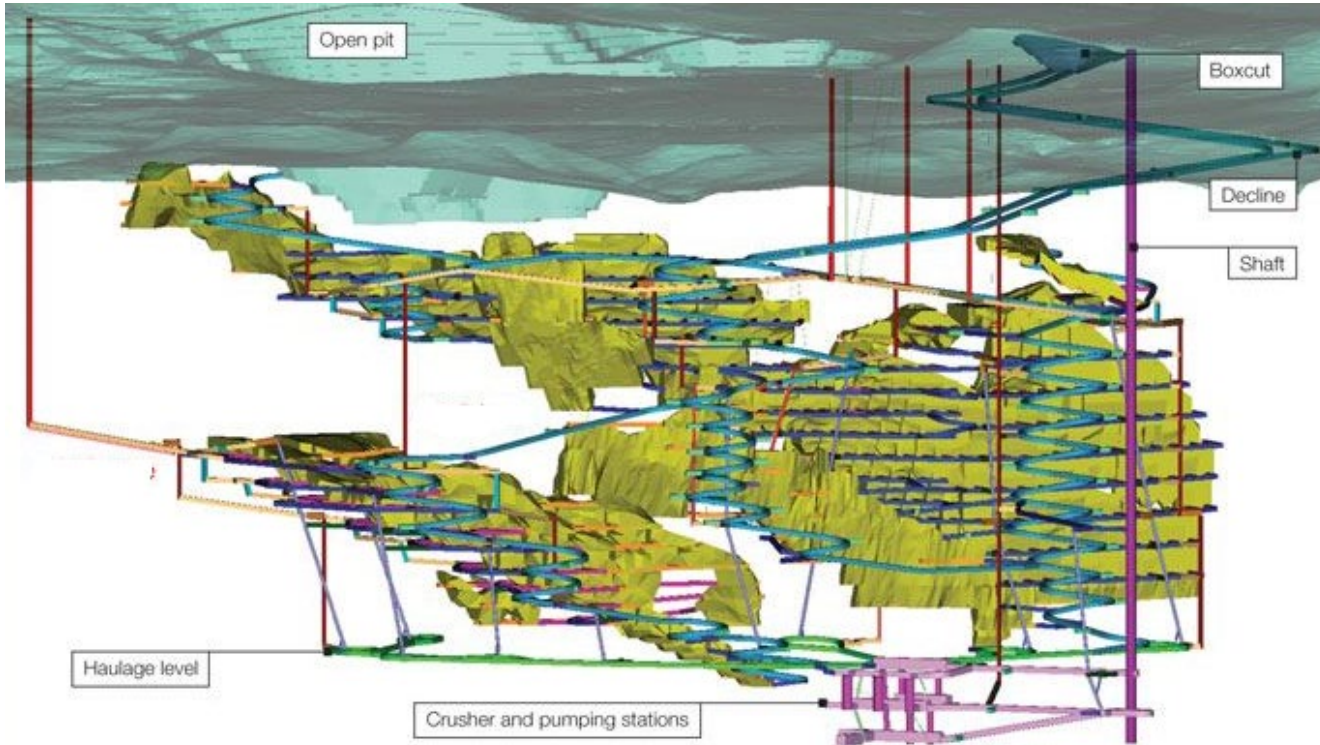
Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)



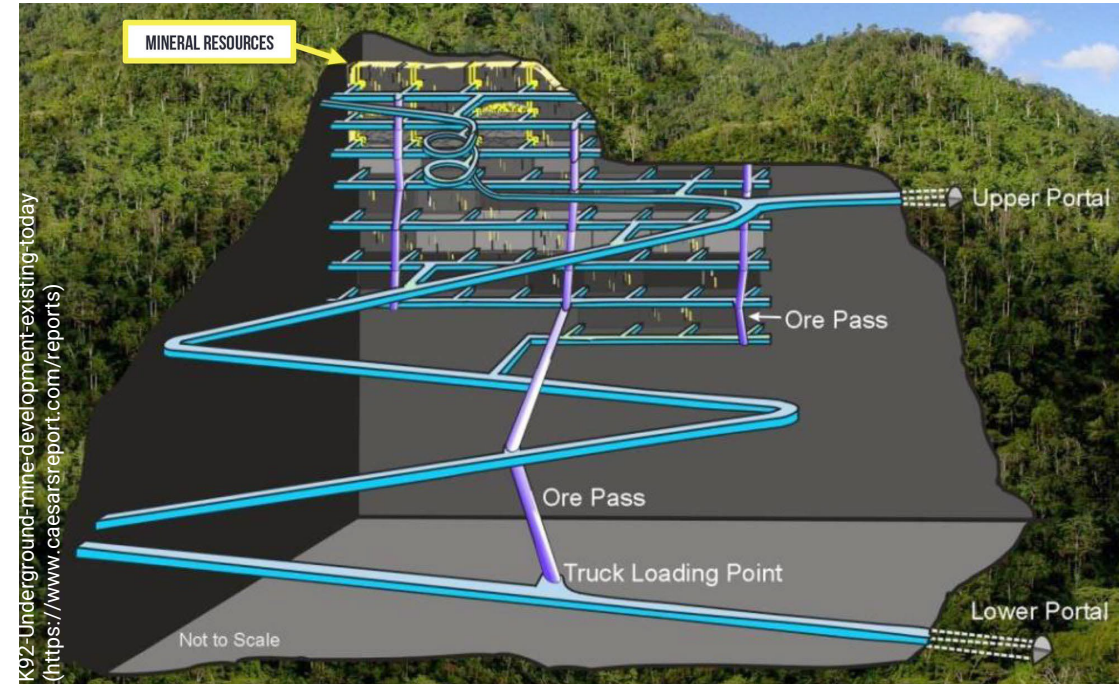
This document has been formatted for viewing and use on electronic devices and to save on paper and toner consumption. Before printing it, think about whether it is necessary to do it.



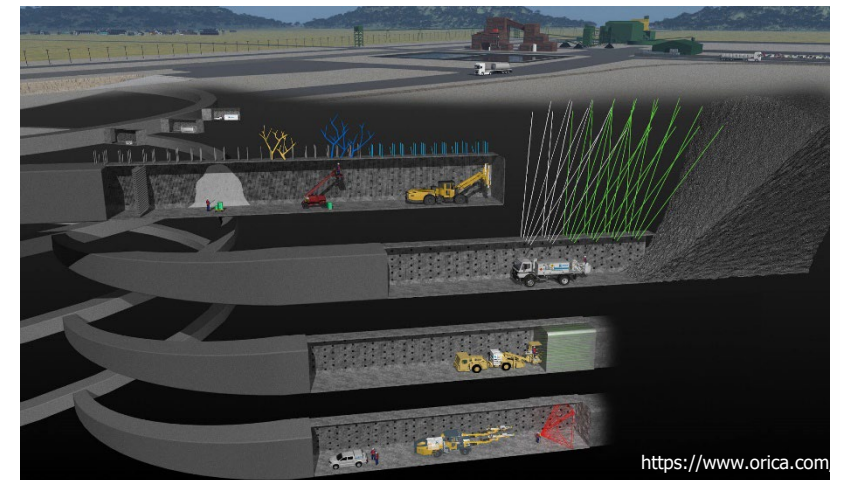




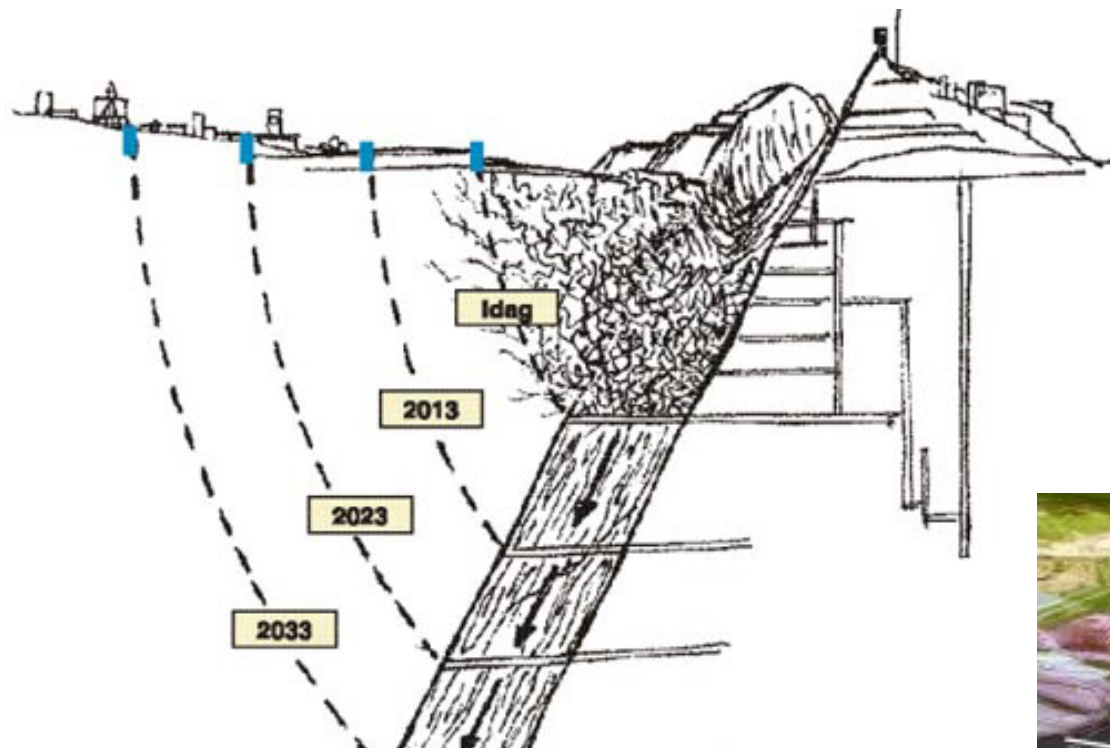
Kibali Mine (<https://im-mining.com/2017>)



Before the operation starts, the whole infrastructure has to be built

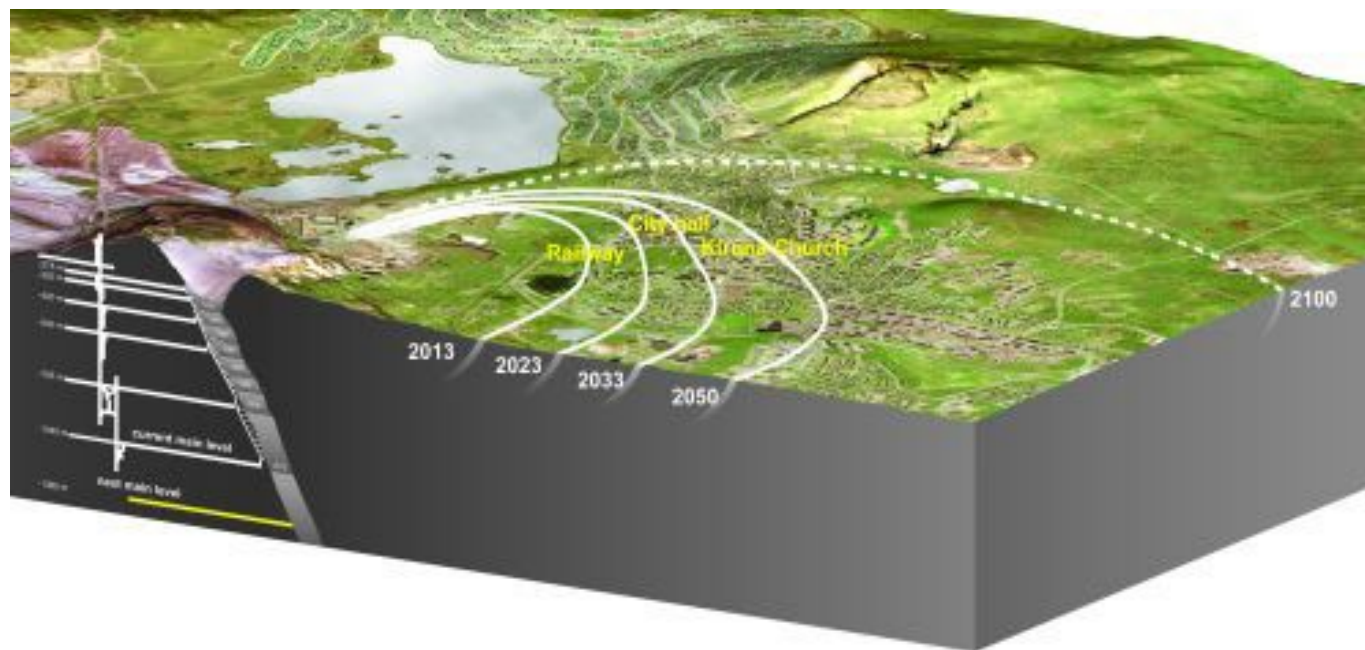


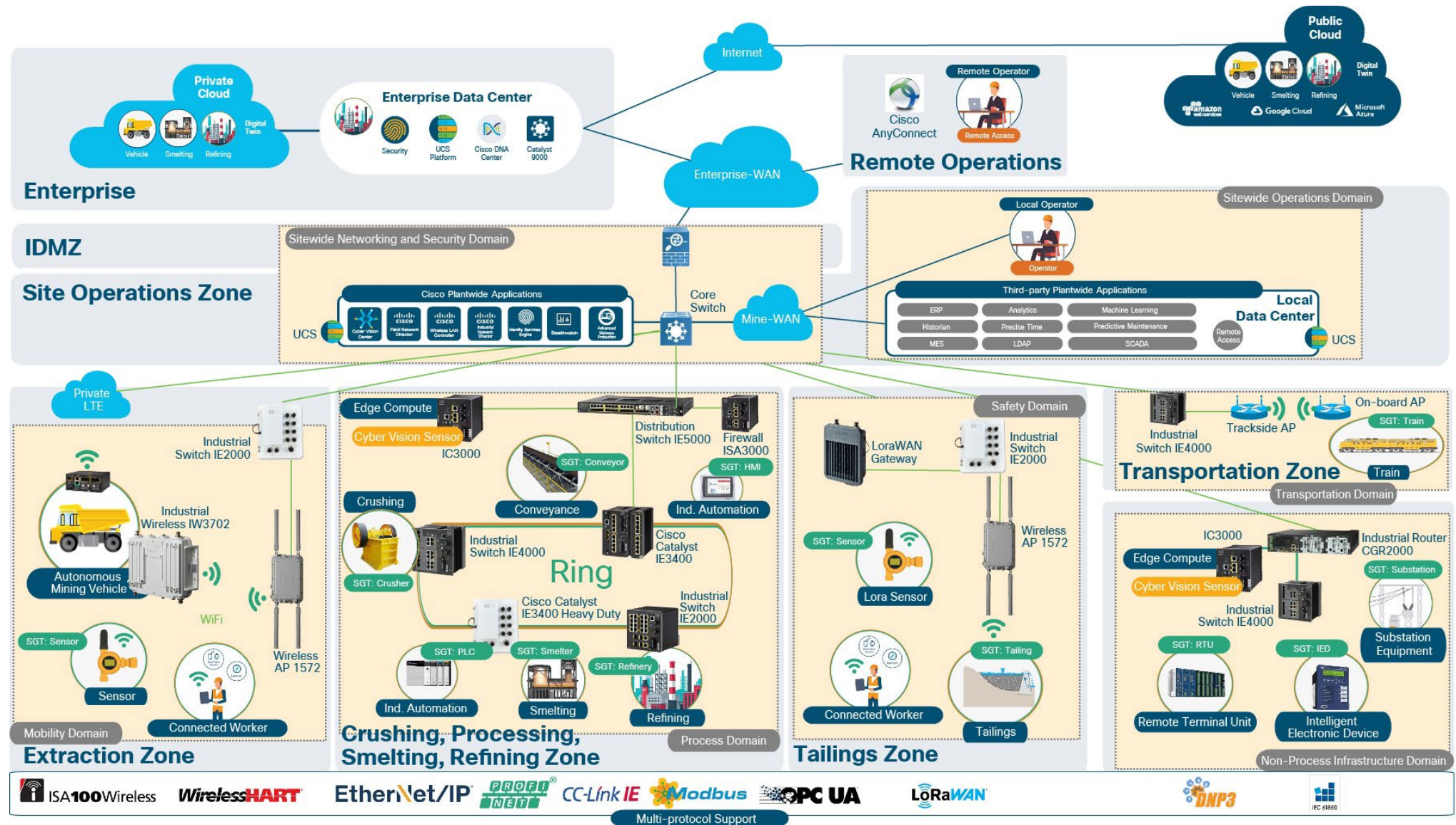
<https://www.orica.com>



The construction of the mine must be compatible with subsequent subsidence and deformation of the ground throughout the life of the mine.

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



INFRASTRUCTURE TO BE CONSTRUCTED

Mine infrastructure

- Main and secondary drifts
- Internal transport networks:
 - Railway
 - Conveyor belts
 - Installations of extraction machines
- Internal communication ramps
- Crushing chambers
- Service facilities:
 - Electrical transformation centers
 - Maintenance workshops
 - Service station
 - Communication centers
- Staff facilities:
 - Rest rooms
 - Changing rooms
 - Offices
- Visitor centers
- Drainage infrastructure and water management
- Ventilation infrastructure
- Backfilling system
- Lighting and illumination
- Control and security

Main and secondary drifts











Grosvenor Coal Mine



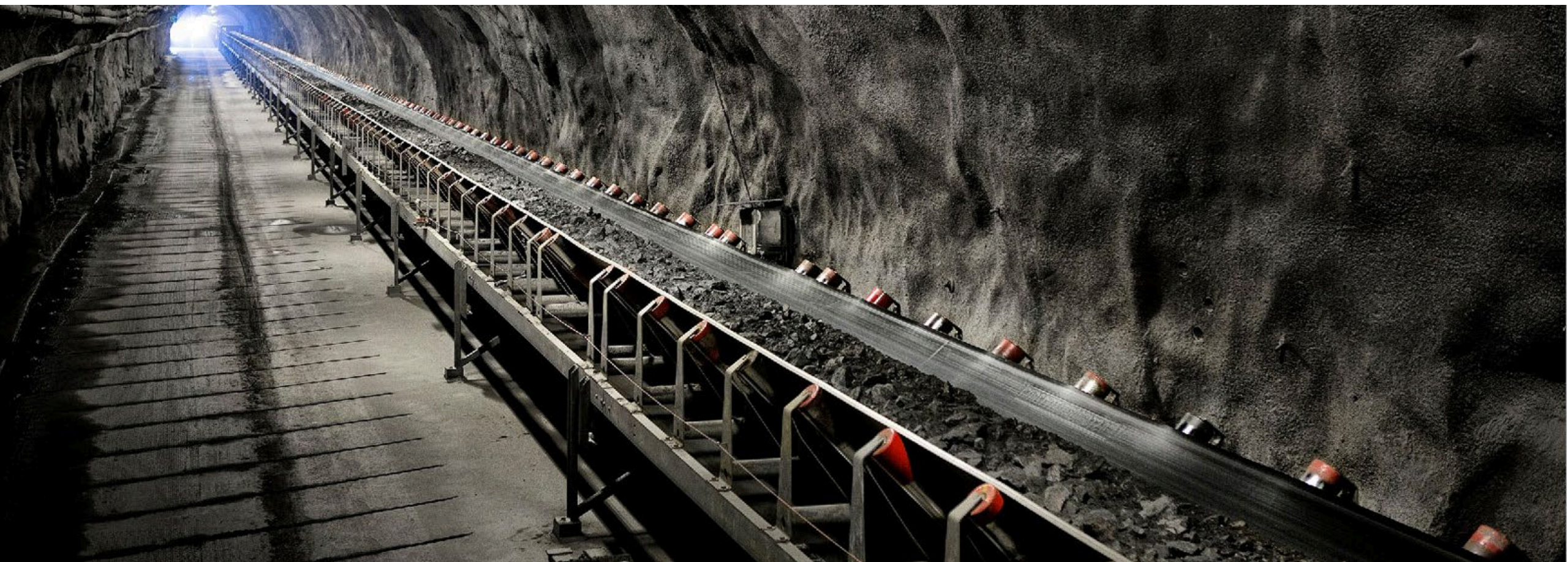
Grosvenor Coal Mine

Internal transport networks: Railway



Galería general de transporte.
Mina de Kiruna (Suecia)

Internal transport networks: conveyor belts





UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

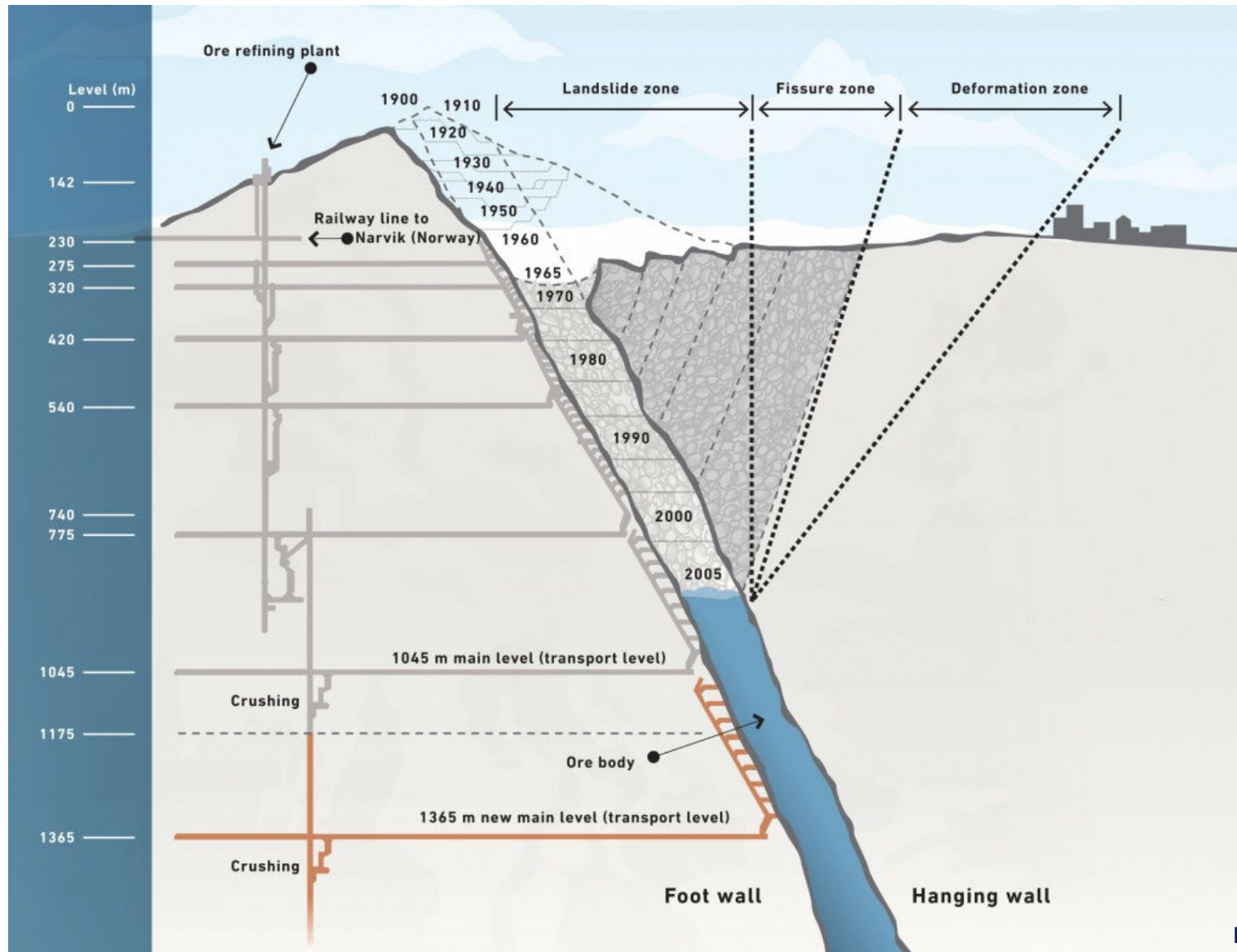
Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



Internal transport networks: internal shafts and extraction machines





Mina de Kiruna (Suecia)

Internal communication ramps





Ore passes and chimneys



Crushing chambers









Service facilities: electrical transformation centers



Service facilities: maintenance workshops





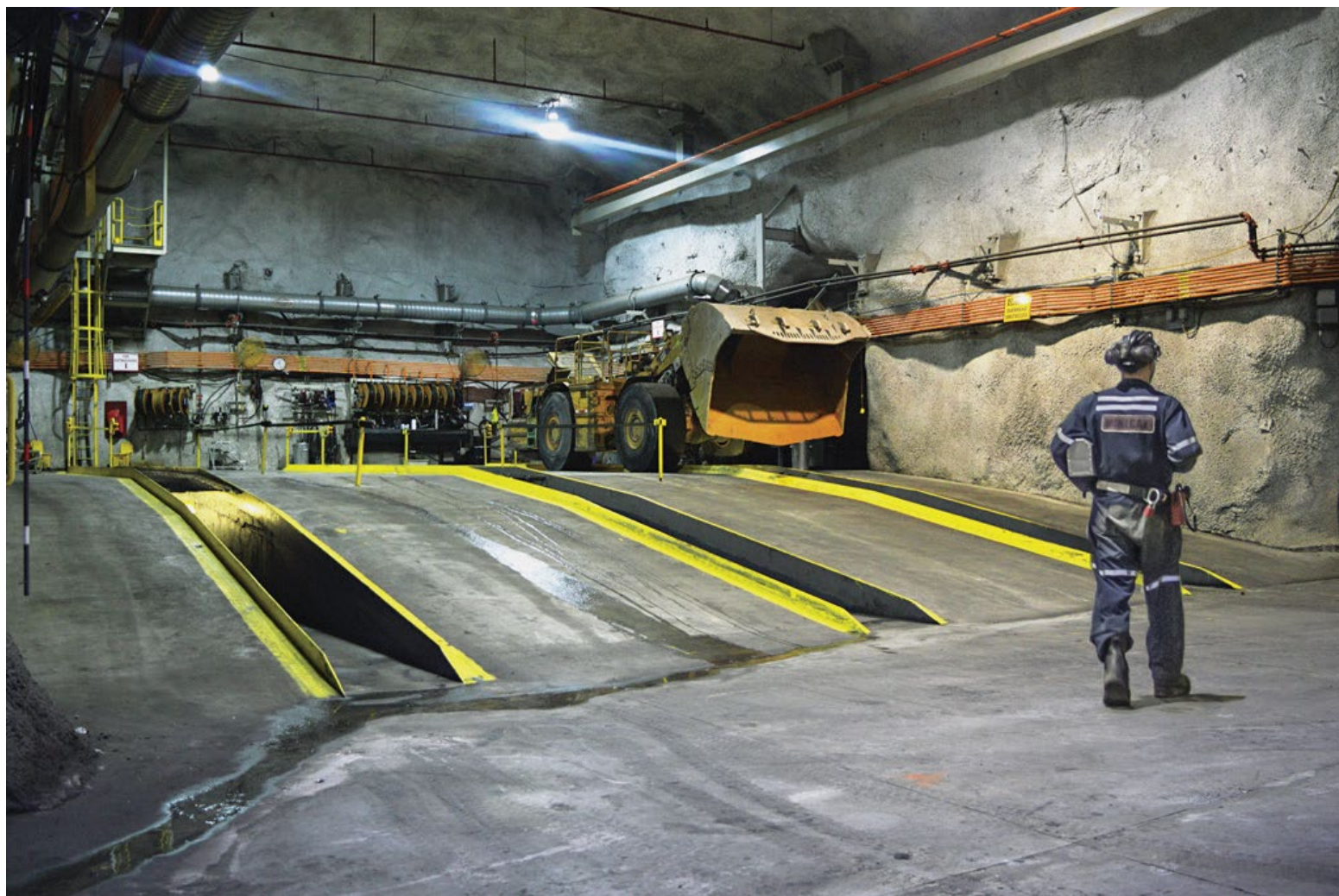




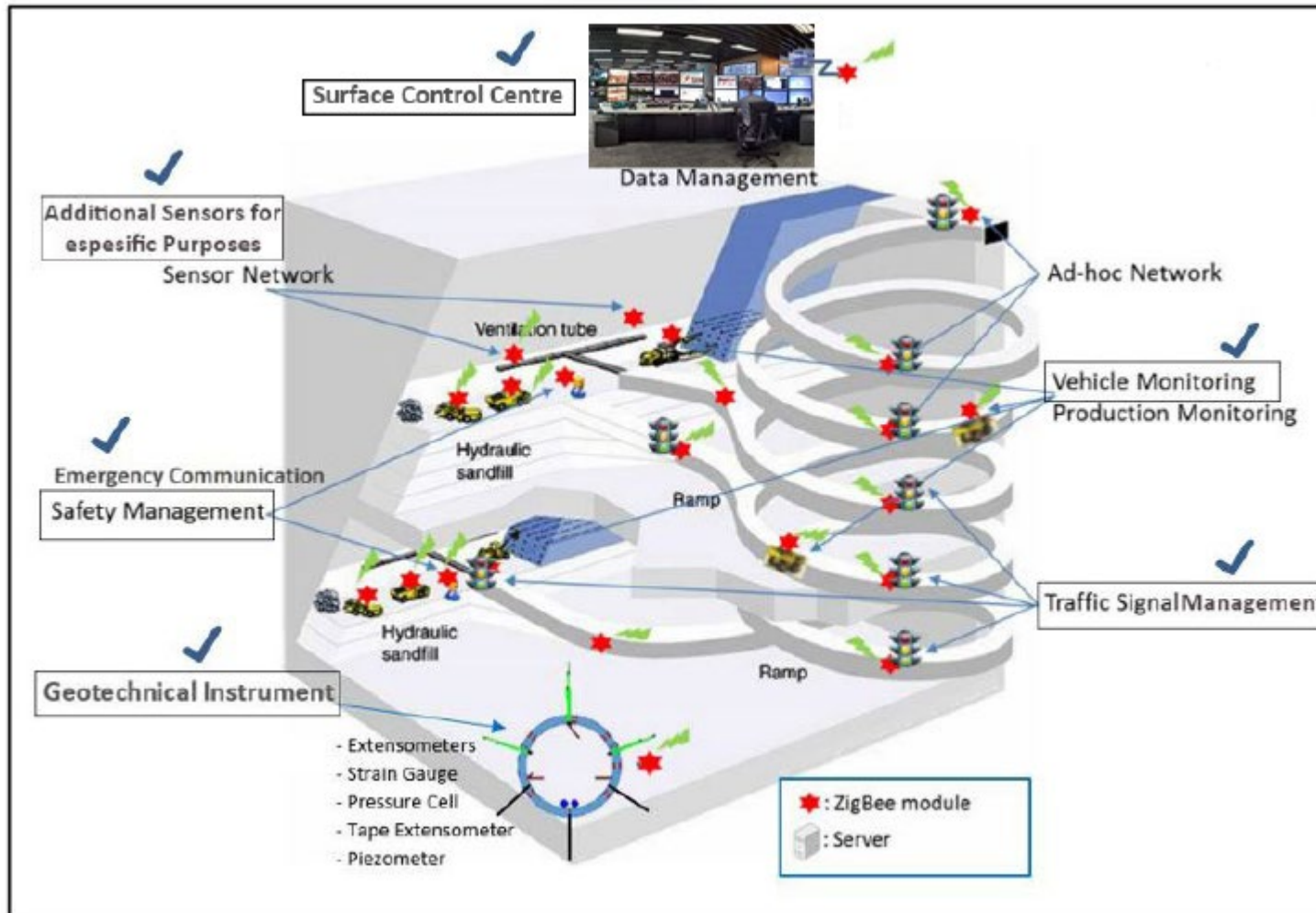




Service facilities: service station



Service facilities: communication centers



Staff facilities: rest rooms



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

Staff facilities: mine offices





The Zurich Google office briefing room is designed like a tunnel.

Visitor centers







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

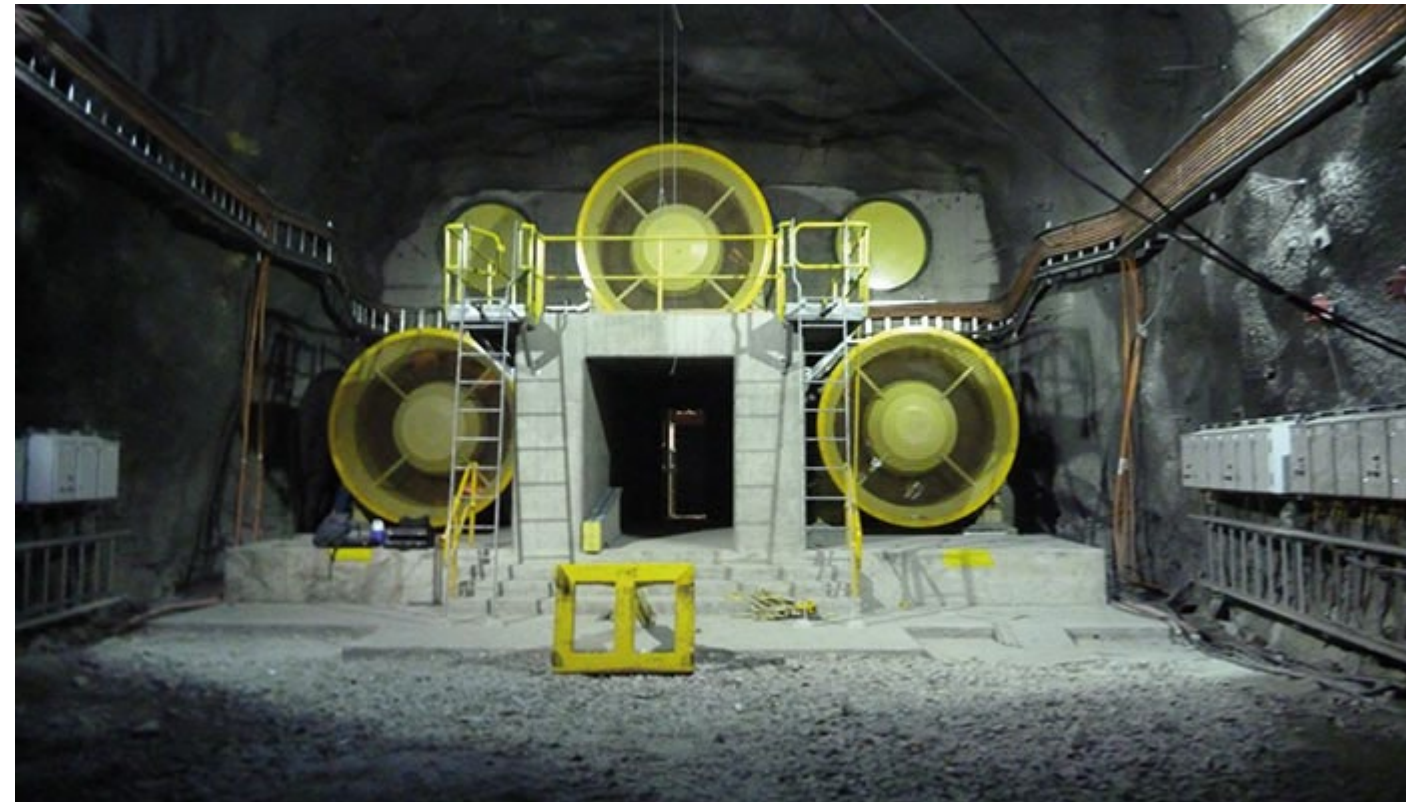


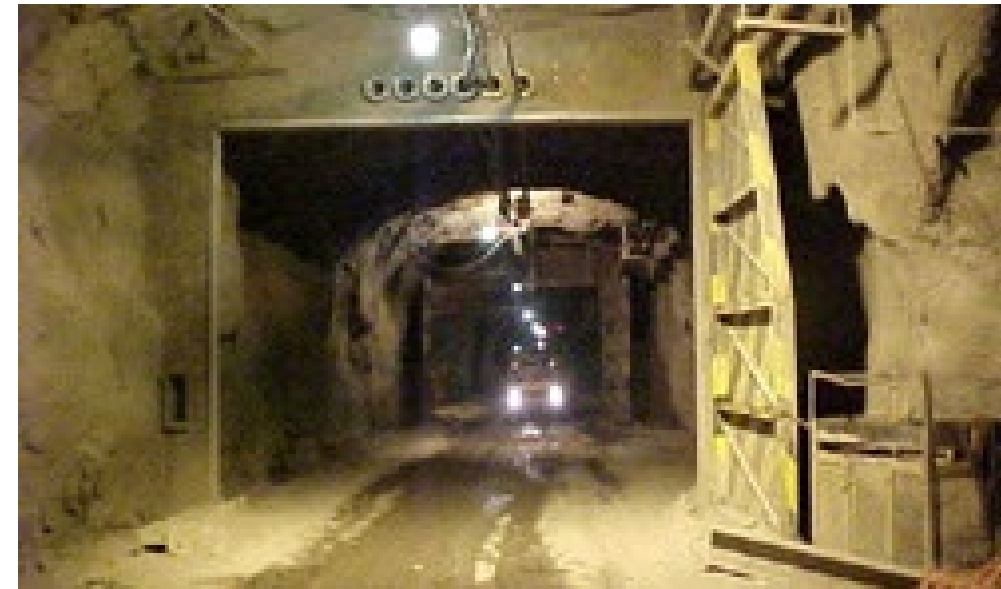
Drainage infrastructure and water management



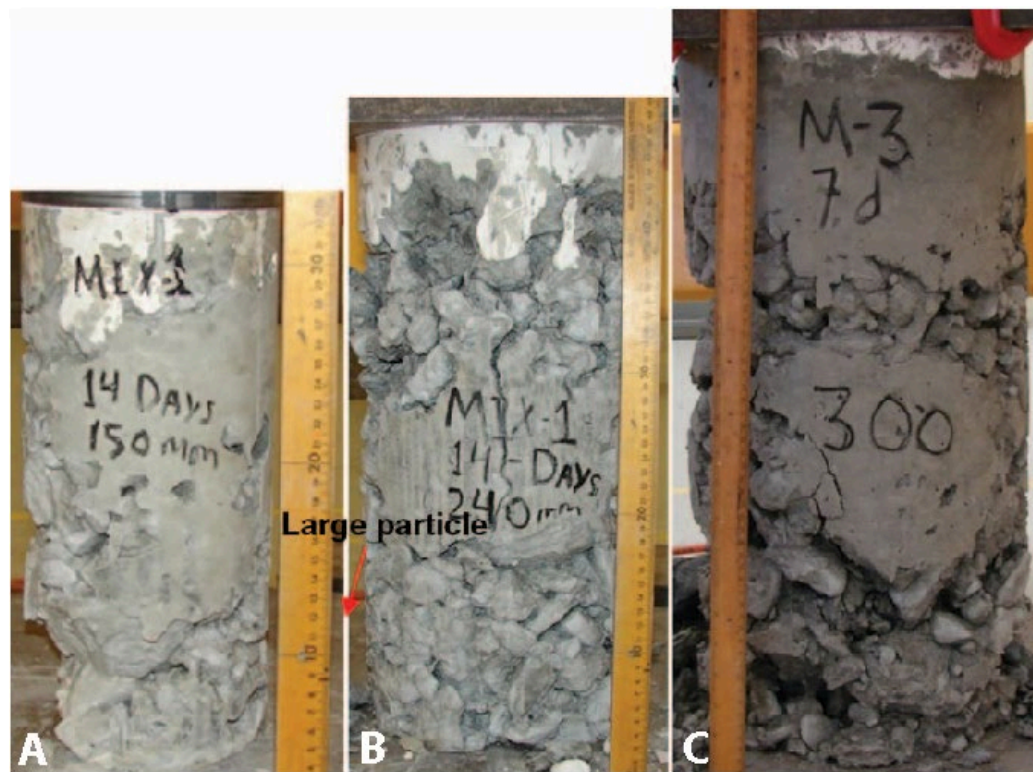


Ventilation infrastructure

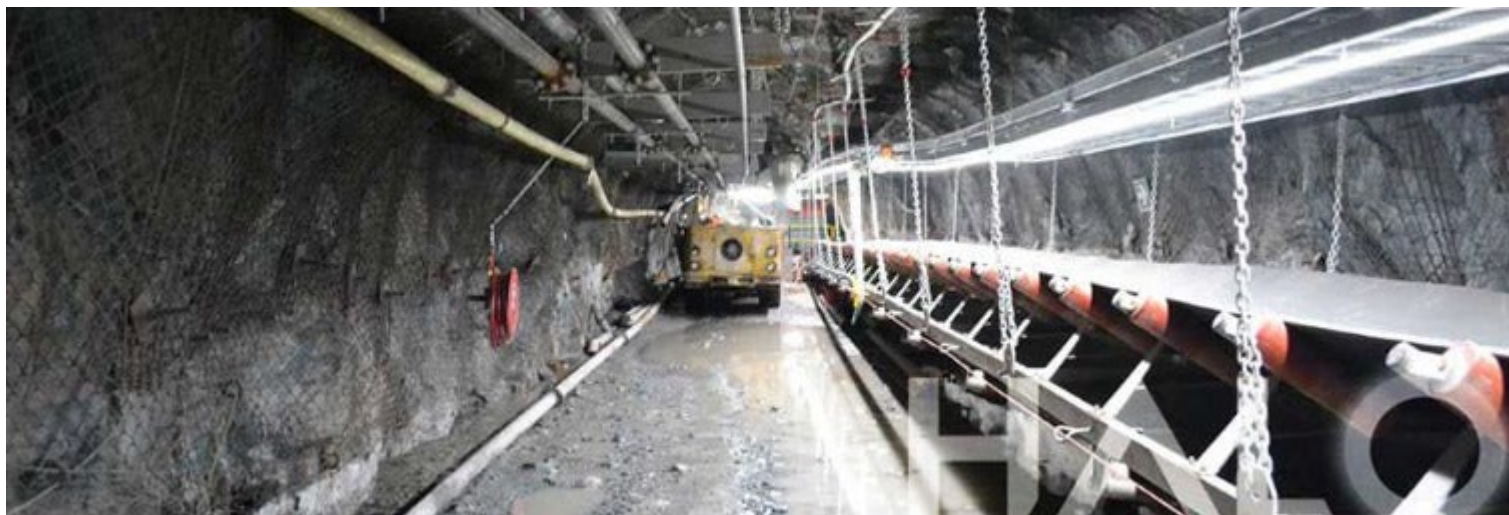




Backfilling system



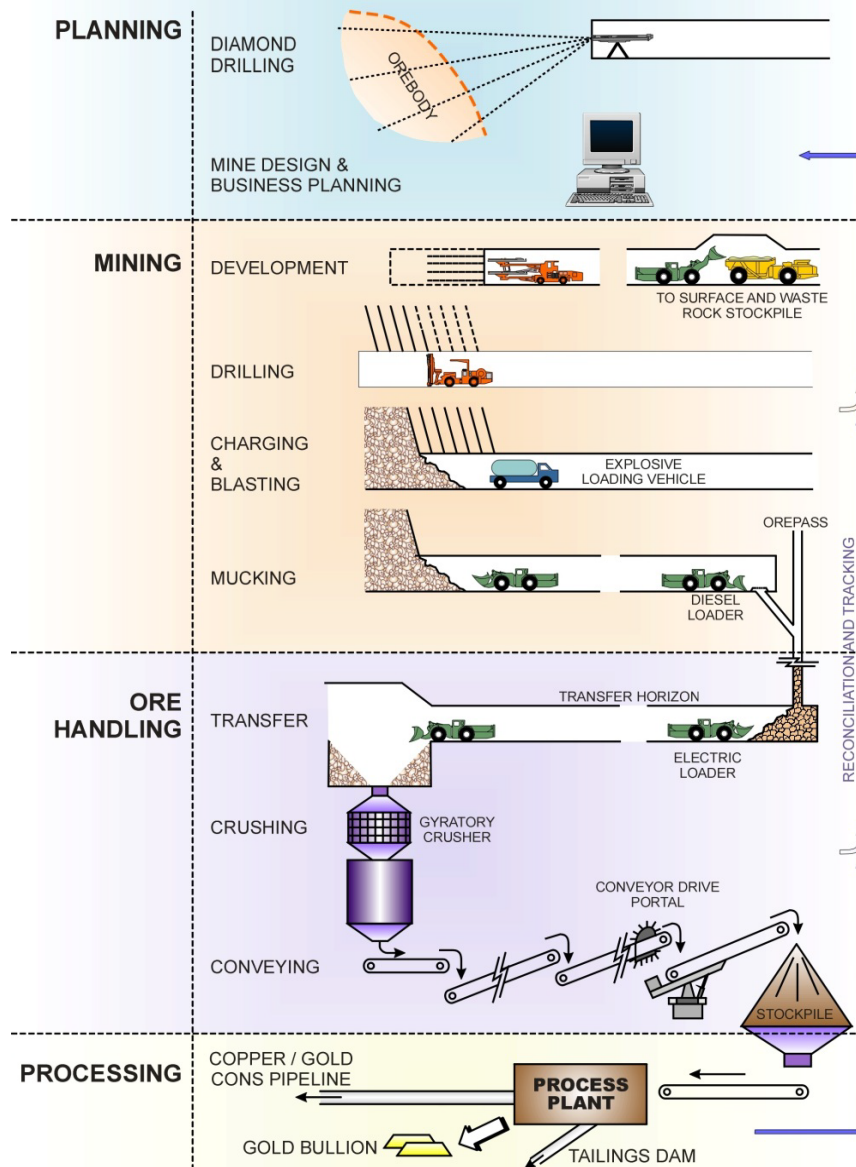
Illumination





Safety and security

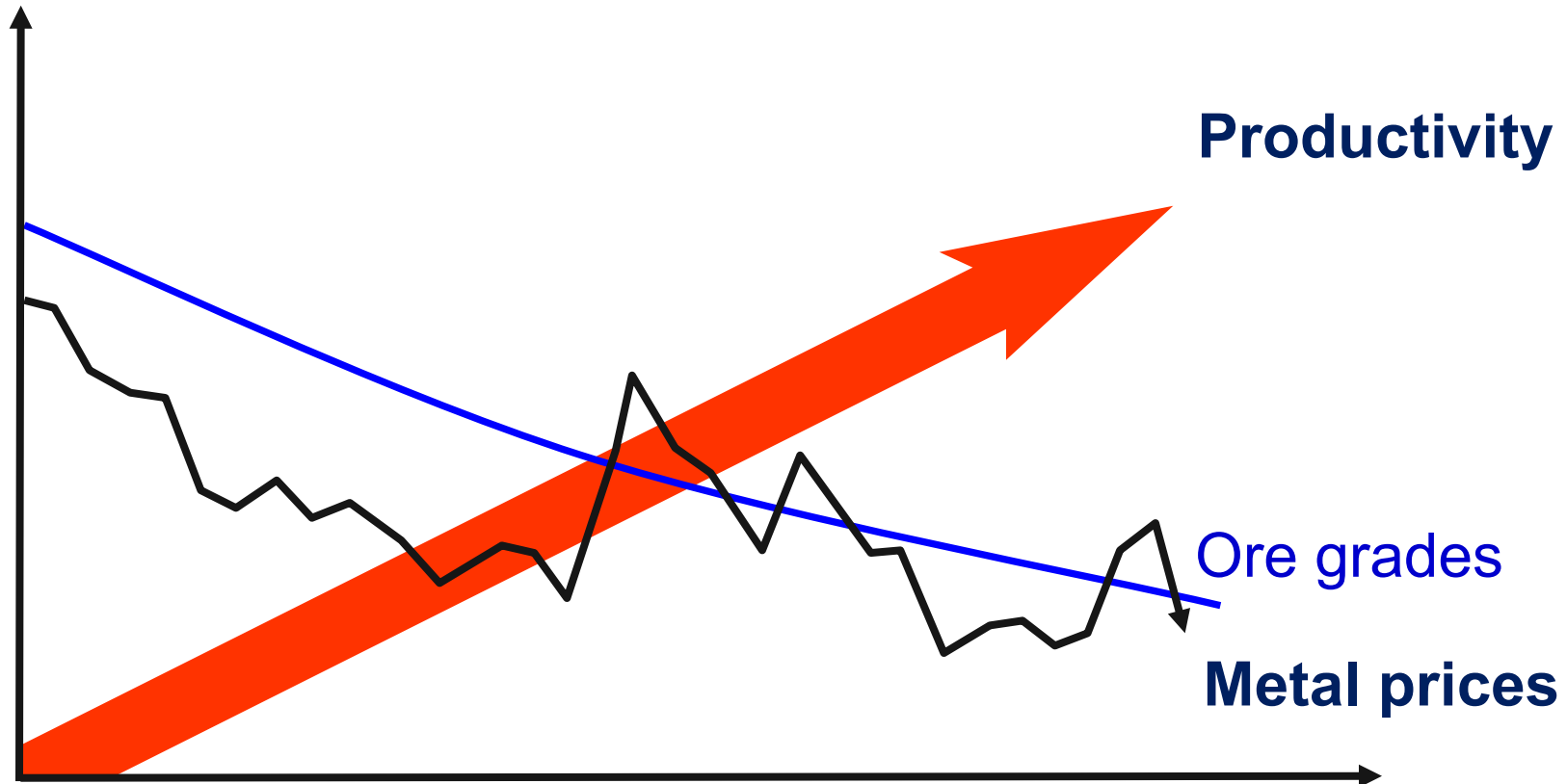




Aspects where efficiency should affect

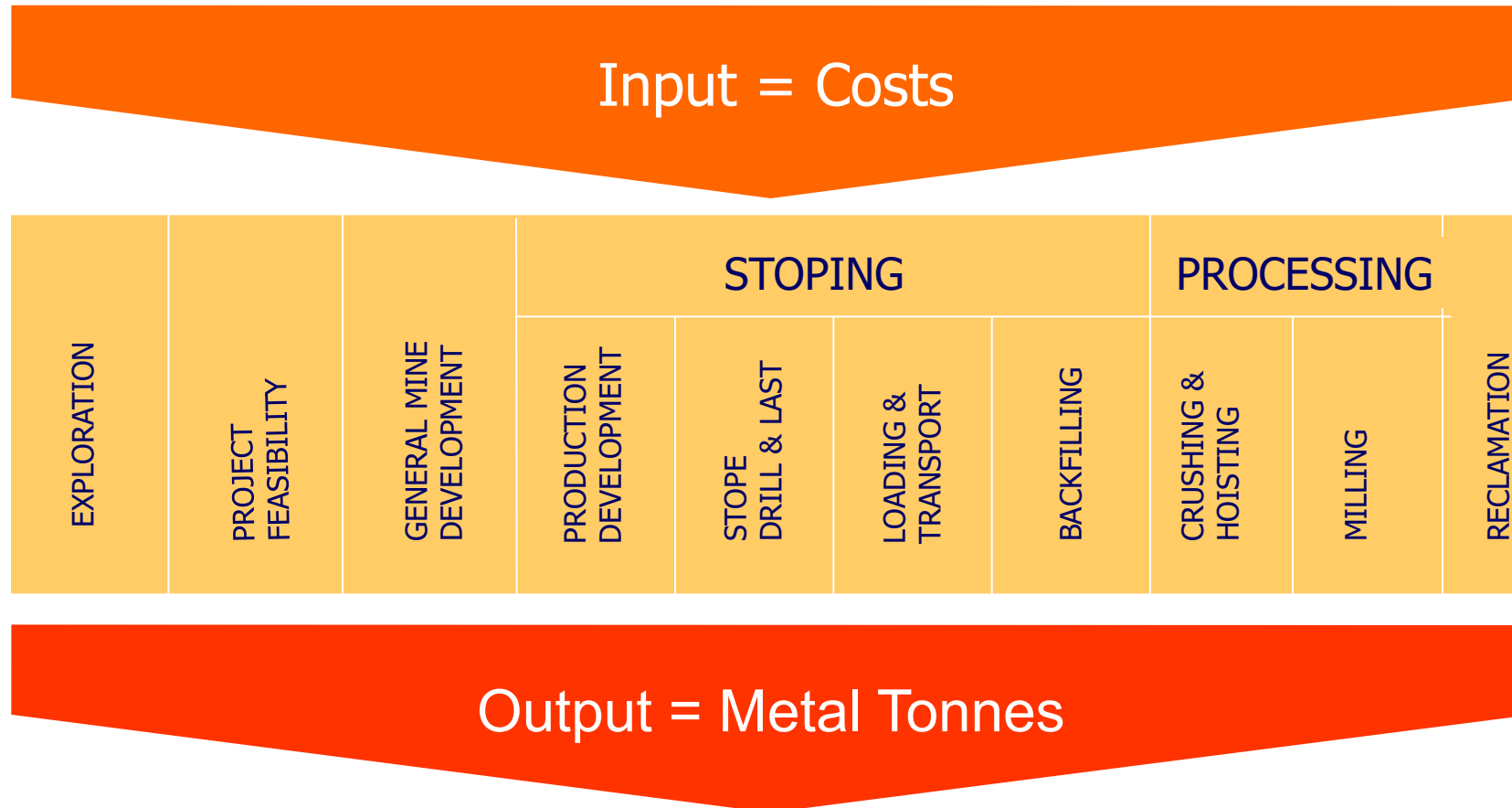
- All underground mining methods include:
 - Development of the infrastructure to reach the ore and preparatory work for the production phase.
 - Extraction of ore and waste rock when necessary.
 - Separation of ore from waste rock by mine design and ore excavation.
 - Loading and transport of the ore to the crusher.
 - Crushing of the ore to a suitable size for later handling.
 - Transportation to the processing plant.

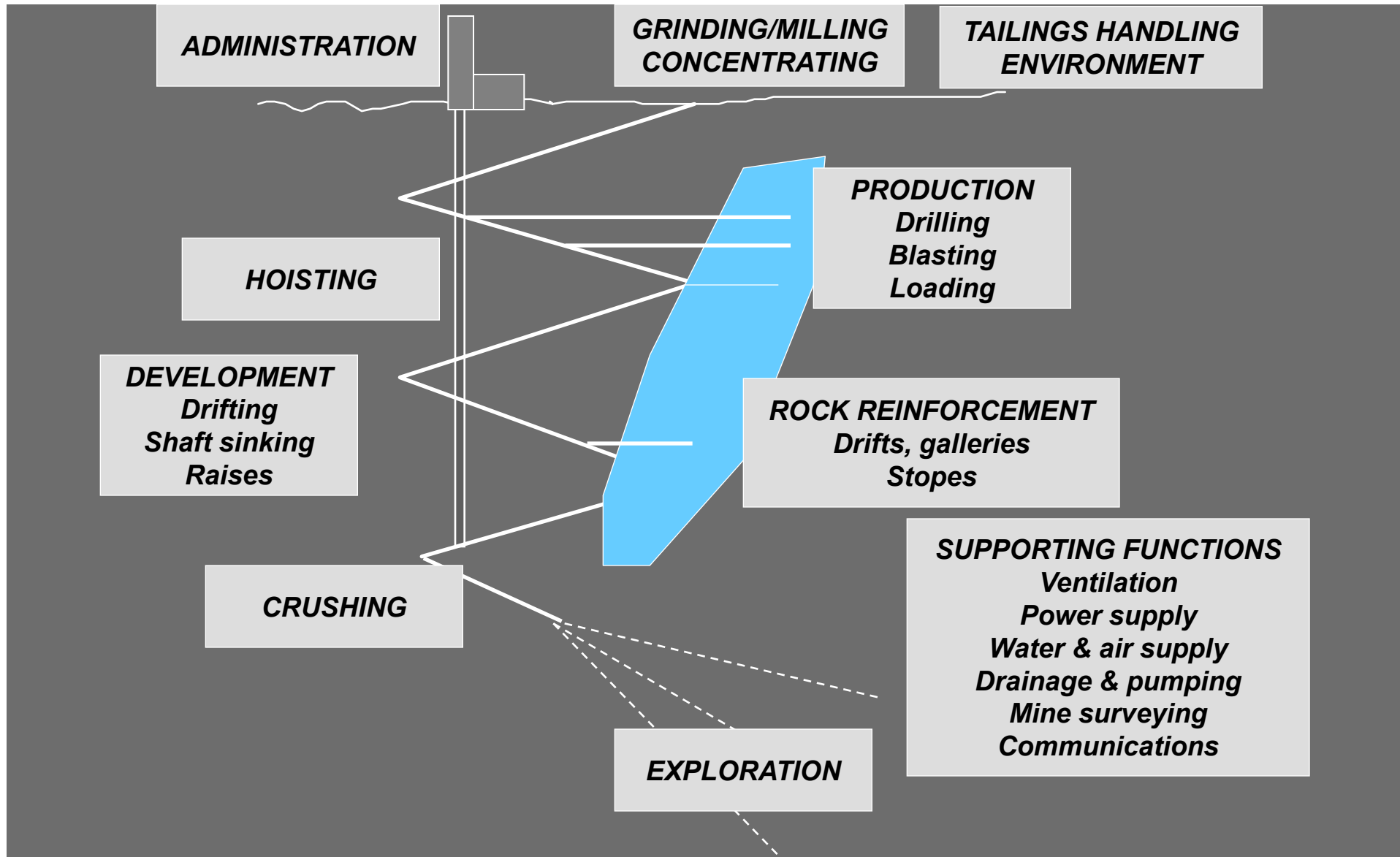
Driving force in mining industry = Need for productivity improvement





UG Mine Value Chain

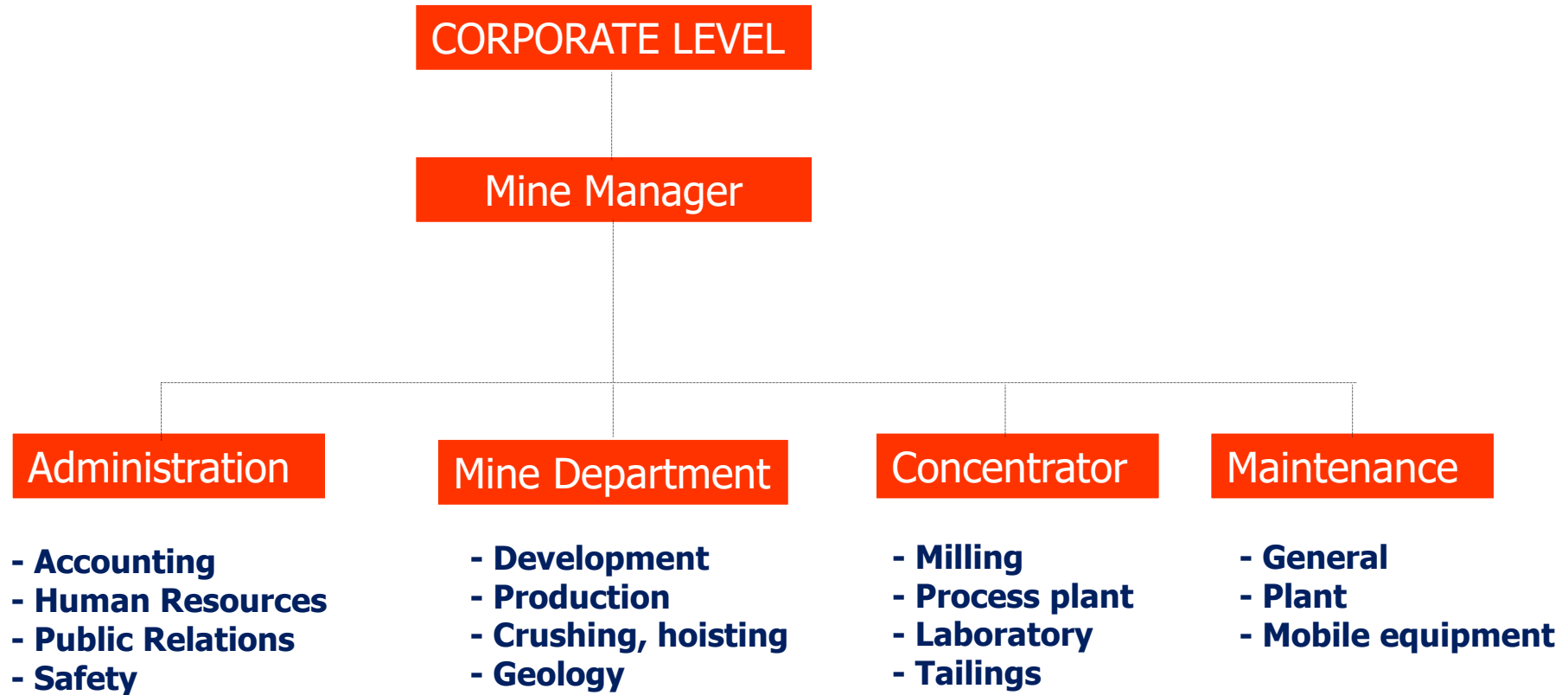






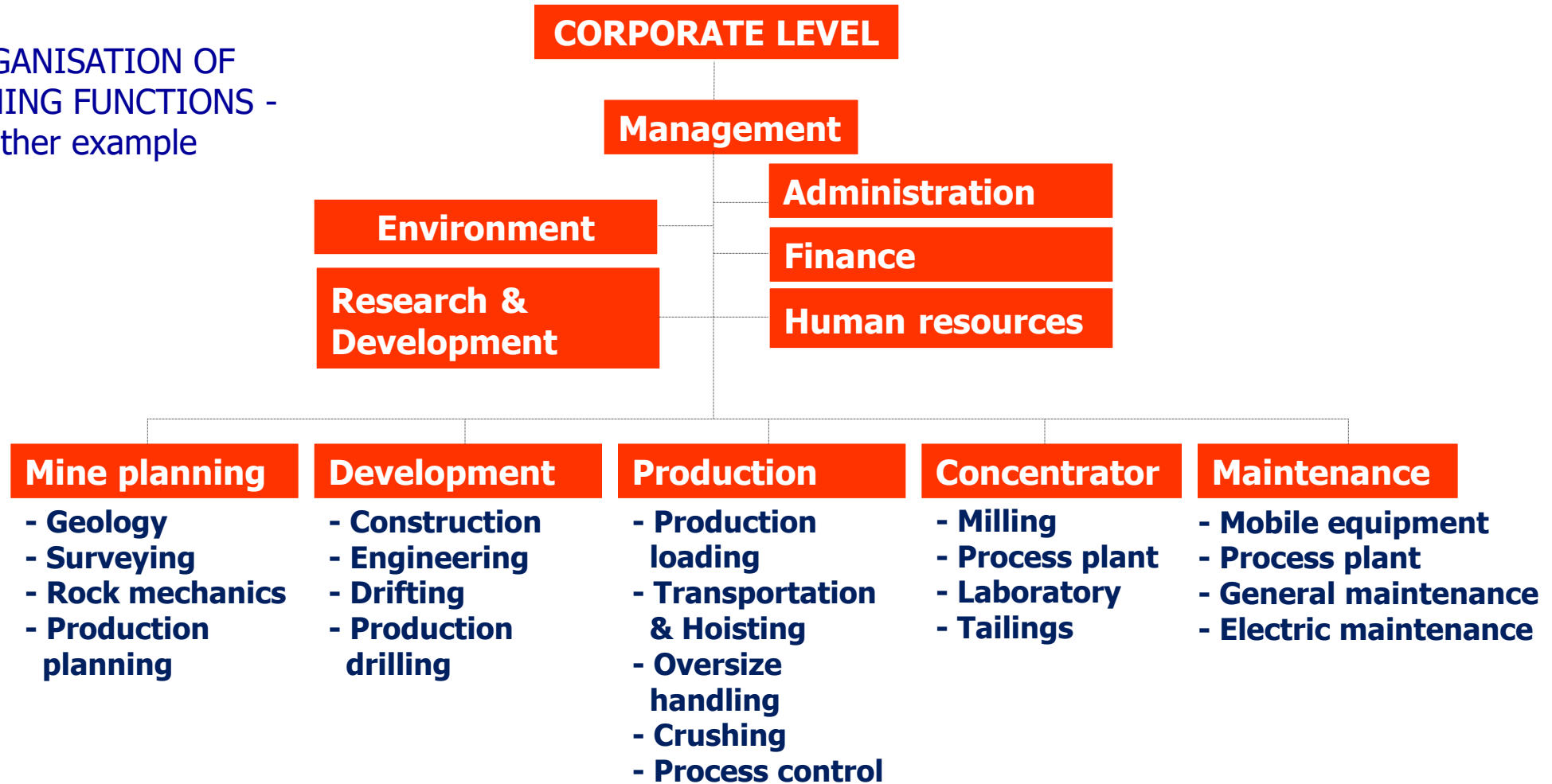
UG MINE OPERATIONS

ORGANISATION OF MINING FUNCTIONS - Example



UG MINE OPERATIONS

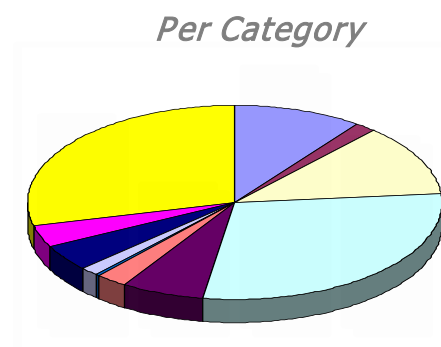
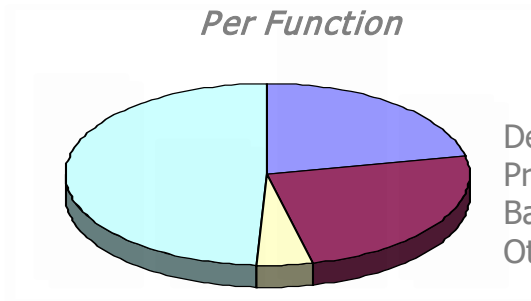
ORGANISATION OF
MINING FUNCTIONS -
Another example



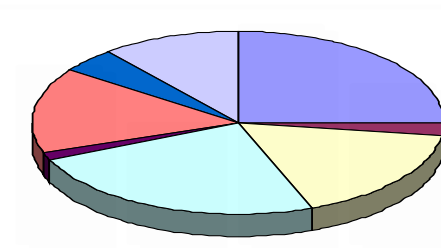
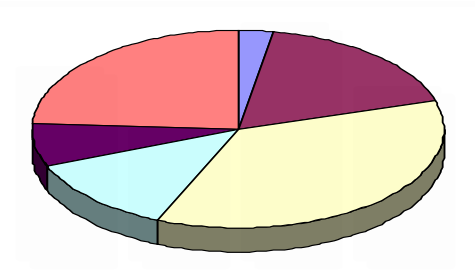
■ *Cost distribution examples*

– Example 1:

- Underground sublevel stoping operation
- Production volume appr 1Mt/a



Mine: Total Operating Cost 18.2 USD/t



Concentrator: Total Operating Cost 7.2 USD/t

UG MINE OPERATIONS

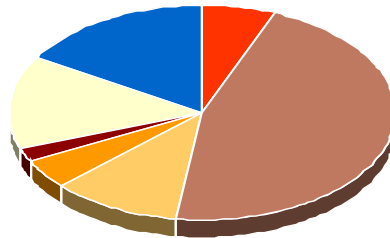
■ Cost distribution examples

– Example 2:

- Underground room and pillar operation
- Production volume appr 0.6 Mt/a

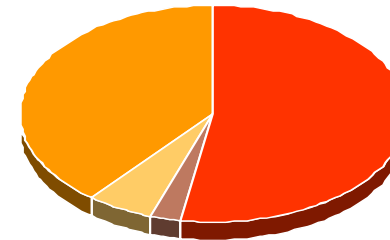
UG MINE OPERATIONS

Per Function



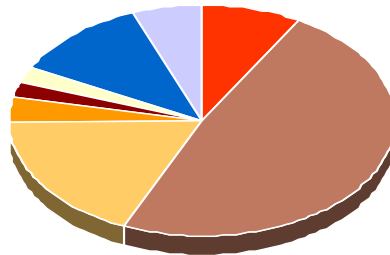
Development	6 %
Production	46 %
Haul & Hoist	11 %
Ventilation & Dewatering	4 %
UG Crushing	2 %
UG Services	14 %
UG Administration	16 %

Per Category

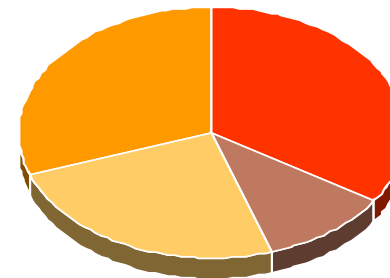


Labor	53 %
Fuel	3 %
Electricity	5 %
Other	39 %

Mine: Total Operating Cost 18.0 USD/t



Crushing	8 %
Grinding	45 %
Flotation	17 %
Thickening & Filtration	3 %
Tailings disp.	2 %
Mill Services	9 %
Mill Administration	11 %
Stockpiles	6 %

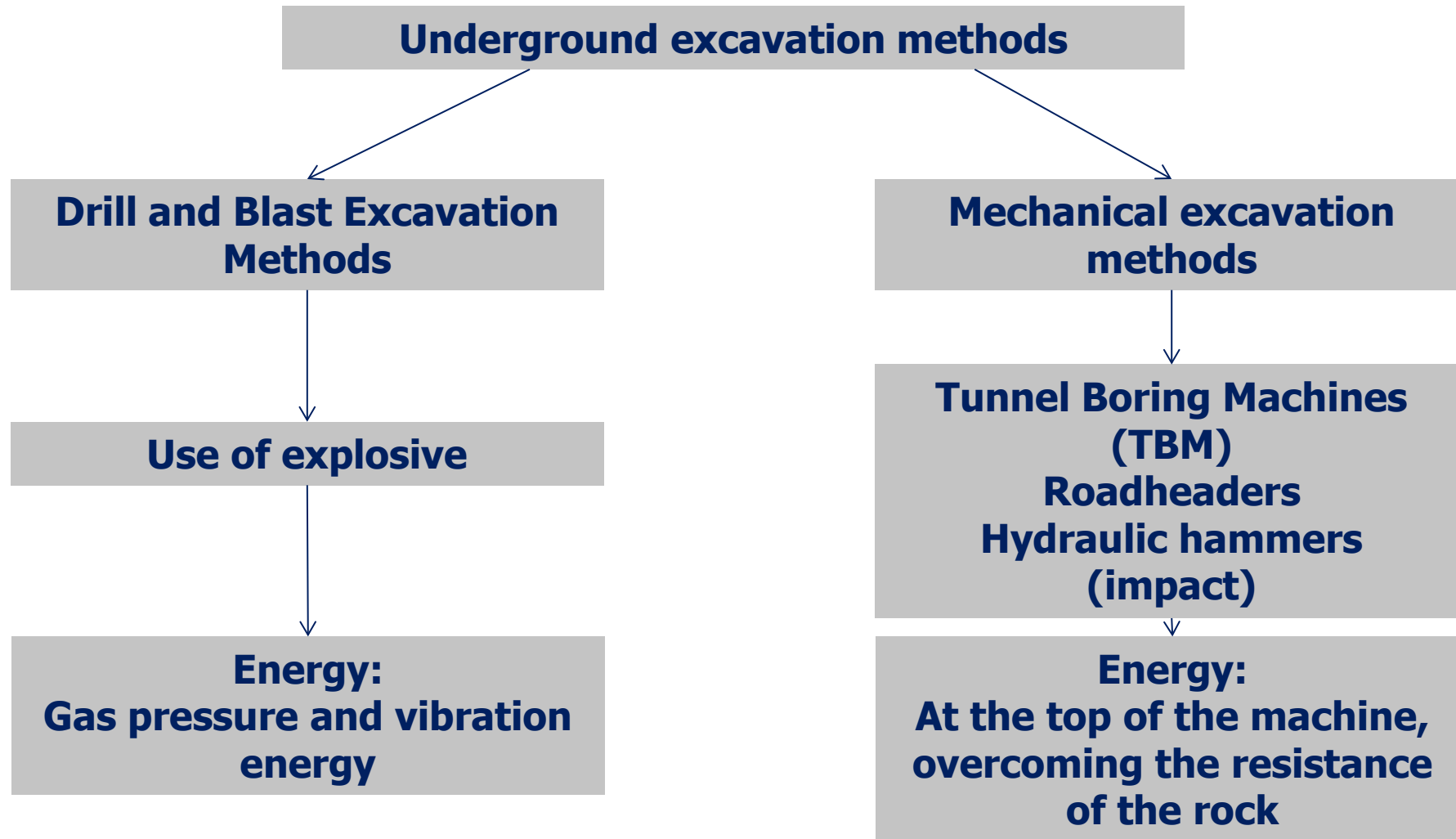


Labor	34 %
Reagents	11 %
Electricity	24 %
Other	30 %

Concentrator: Total Operating Cost 12.2 USD/t

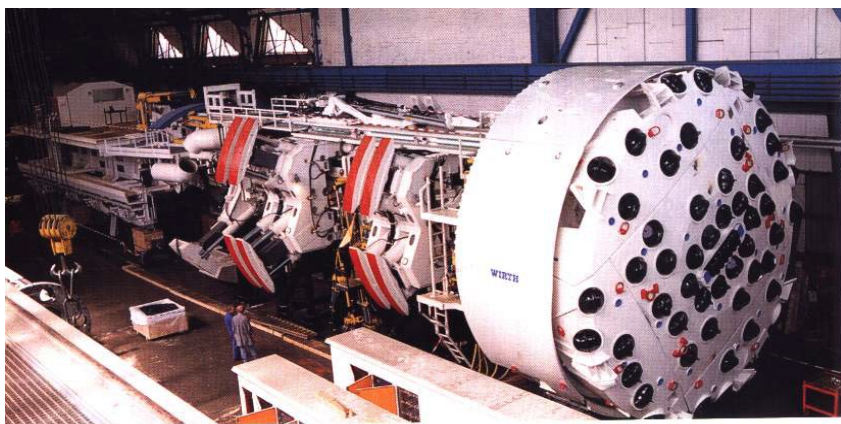
Preparation of extraction areas







Jumbo



TBM

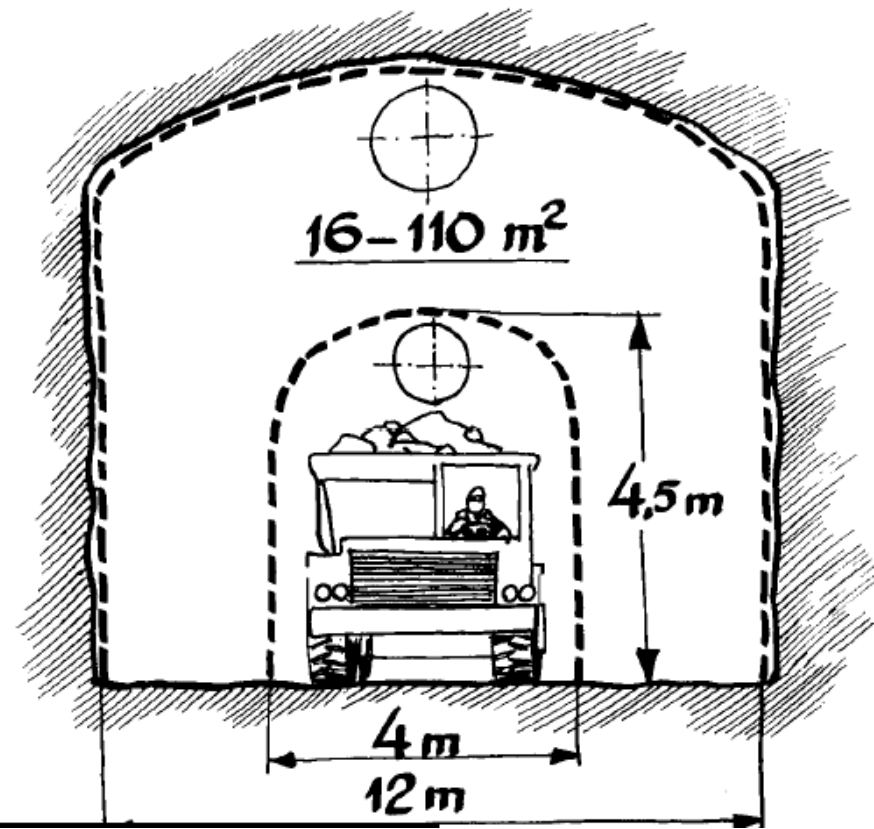
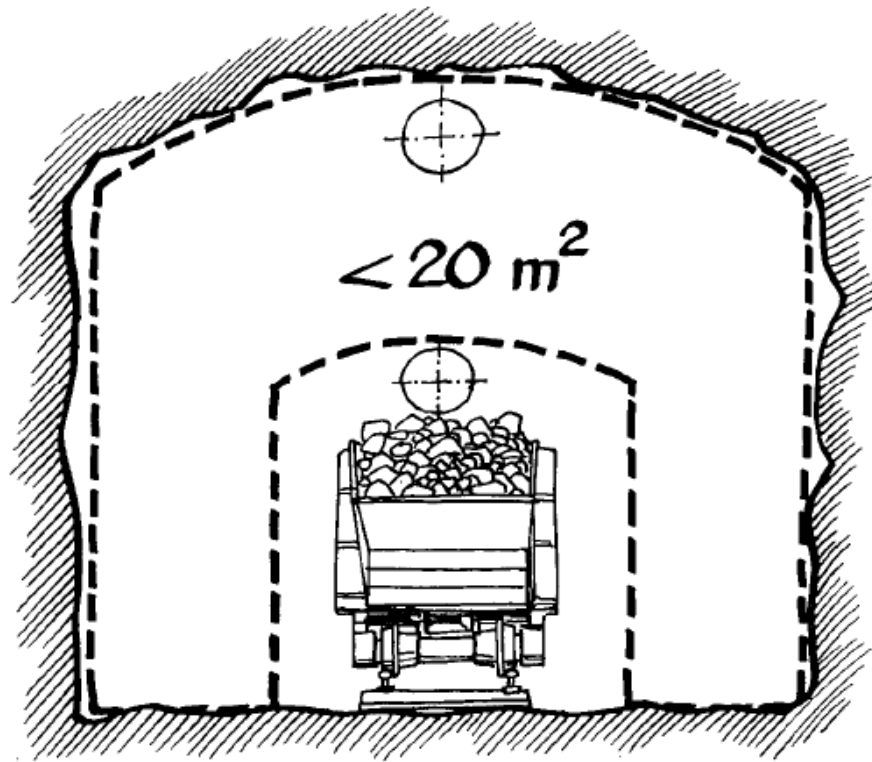
Excavation of drifts and tunnels



Mechanical excavation (roadheader)

Rampas

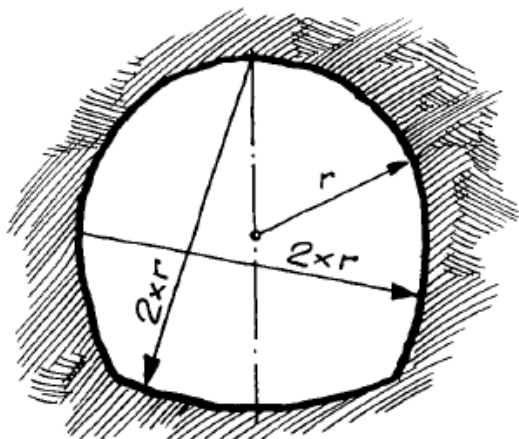
- Ramps (ascending or descending)
 - They connect the different levels to each other or, where appropriate, these with the surface.
- Main access ramp:
 - Excavated outside the mineralized body, normally at the footwall, and at a sufficient distance to avoid damage to it due to the excavation and extraction of the ore, but close enough to minimize the length of the horizontal galleries at the production and haulage levels.
 - It is typically designed for longer term use than production drifts.
 - Where possible, it should be located in competent rock and with roof support for a long operating life.
 - The minimum dimensions are 4.5 x 4.5 m when rail-mounted equipment is not used, and no less than 6.0 x 6.0 m is usual when trucks are used and auxiliary installations must be located (ventilation, electricity supply, water supply, signaling, etc. .).
 - The slope can normally be between 1:10 and 1:7, which is suitable for most equipment, including loaded trucks. Steeper slopes should never exceed 1:5 and should only be used in very short connecting sections between two nearby levels.



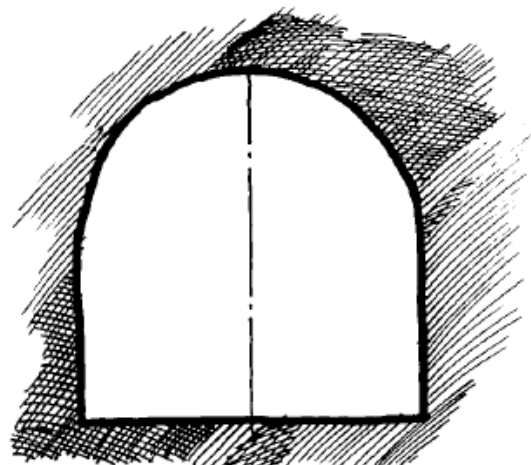
Excavation of level drifts and extraction areas

- main levels:
 - They are often first excavated as exploration drifts and later converted into main loading and hauling drifts.
 - The vertical distance between main haul levels is normally between 50 and 100 m, reaching up to 200 m in some cases.
- Production areas development:
 - Cross-cuts for production areas.
 - Sublevels
 - Loading and transport galleries, accesses to the pits.
 - Others: ventilation, evacuation and rescue, drainage, etc..
- Drift dimensions:
 - They are determined by the conditions of the rock and the selection of equipment to excavate the drifts, loading and transport of materials.
 - Sufficient space must be considered for ventilation ducts, service lines, etc.
 - In mechanized mining, dimensions between 3.5 x 3.5 m and 5.0 x 5.0 m are common.

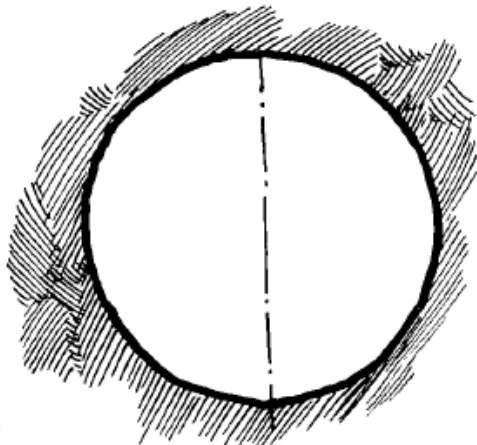
Drifts sections



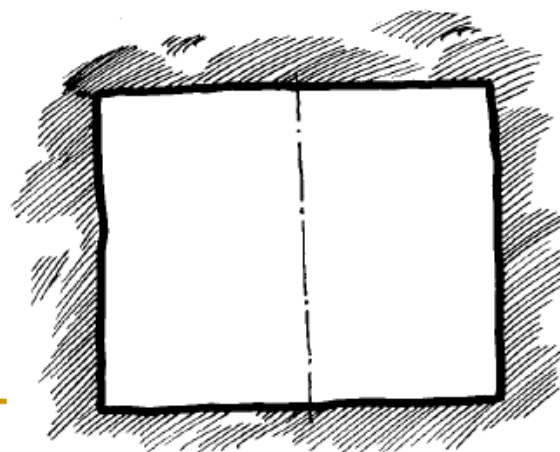
HORSESHOE-SHAPED



D-SHAPED



CIRCULAR



RECTANGULAR

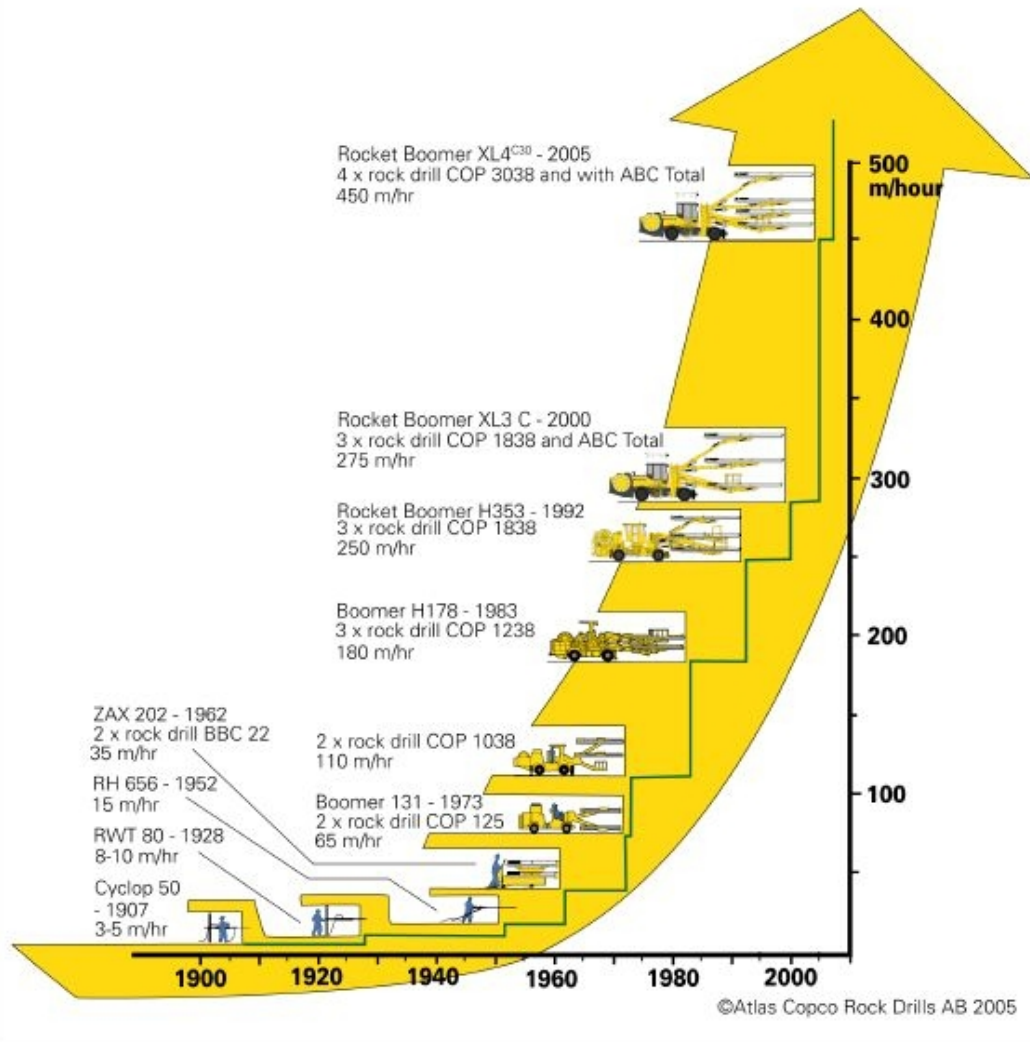




MÉTODOS CONVENCIONALES DE EXCAVACIÓN POR PERFORACIÓN Y VOLADURA

Rock drill development 1905 - 2005

Drill meters per hour and operator

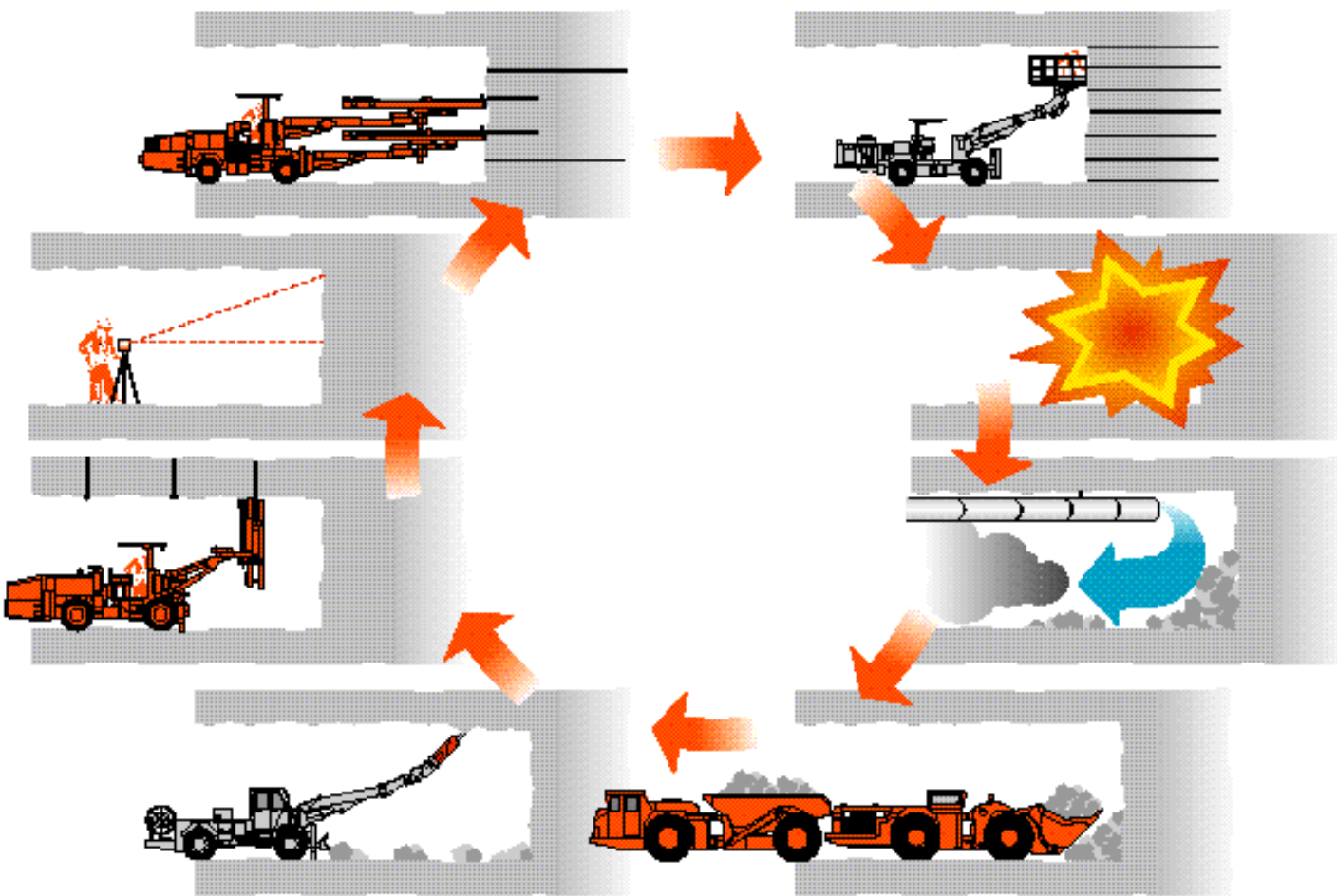


Desarrollo de la perforación en mina

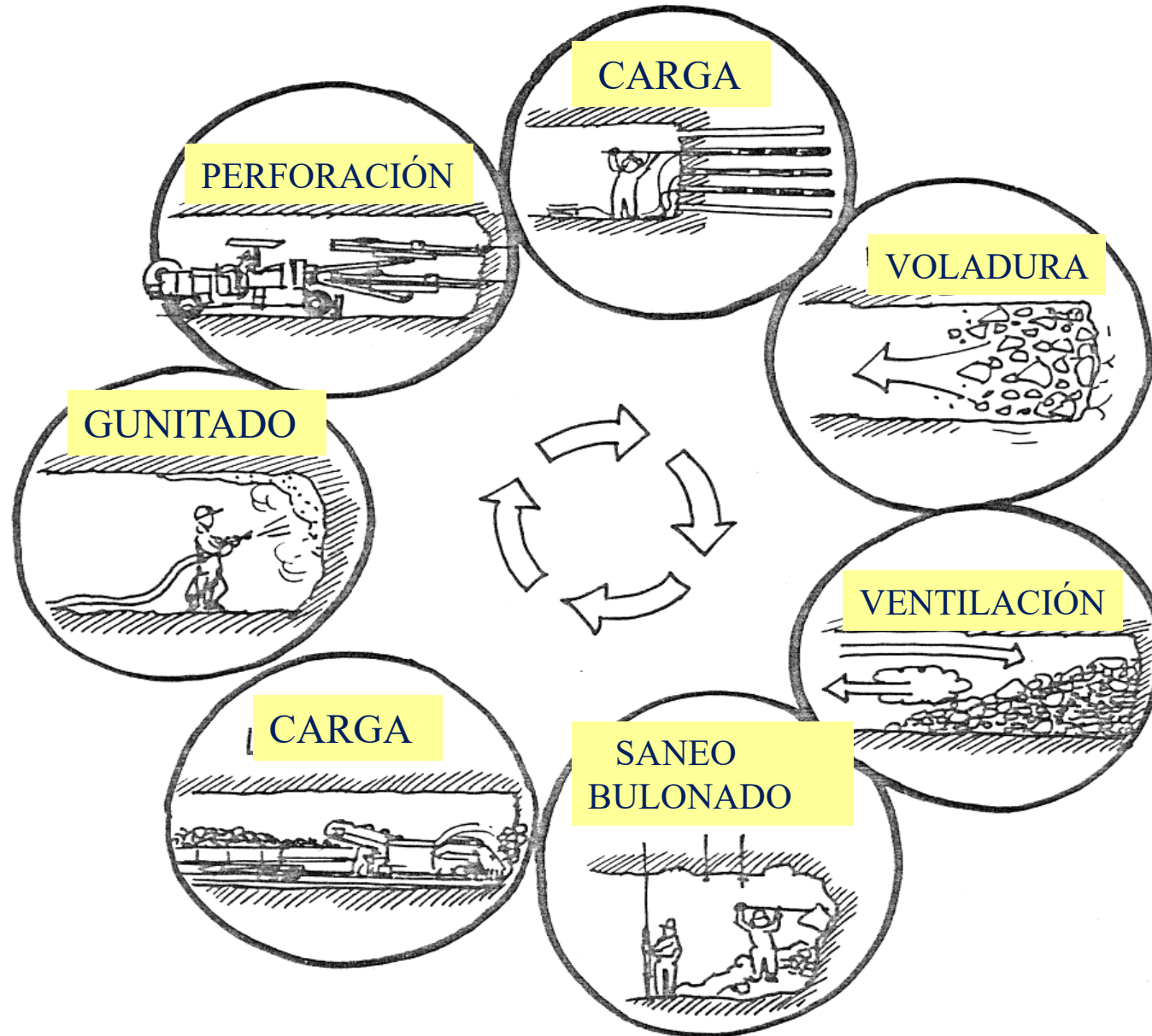
- Es el sistema clásico, que comprende un esquema clásico de trabajos para el avance del frente:
 - Trazado del esquema de perforación y disparo.
 - Instalación del equipo de perforación.
 - Ejecución correcta de la perforación.
 - Carga de explosivos.
 - Disparo de la voladura.
 - Ventilación del espacio.
 - 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 de perforación y voladura



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

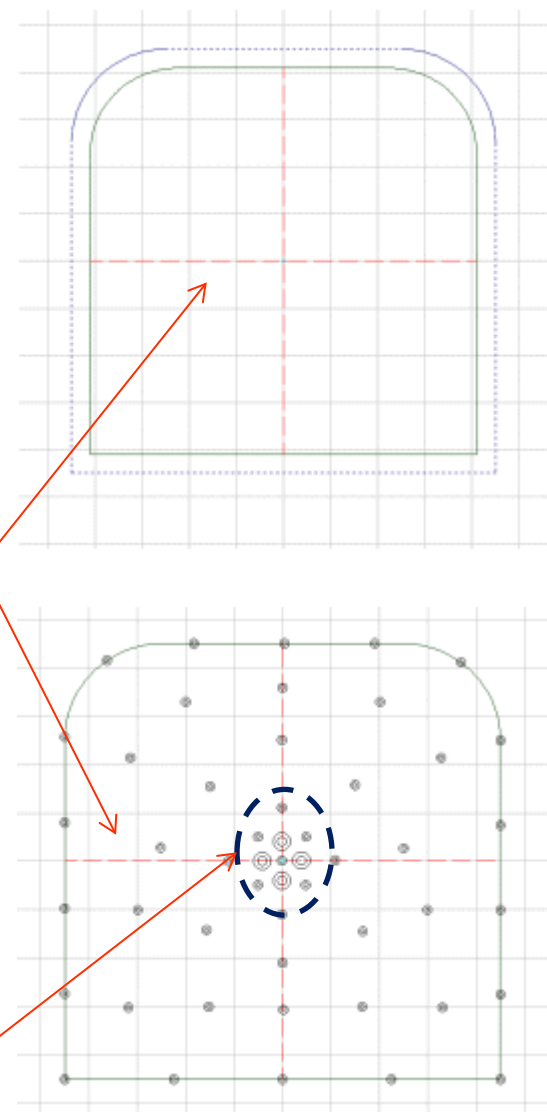
Duración del ciclo de excavación (Método NATM, sección 10 * 13)

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'

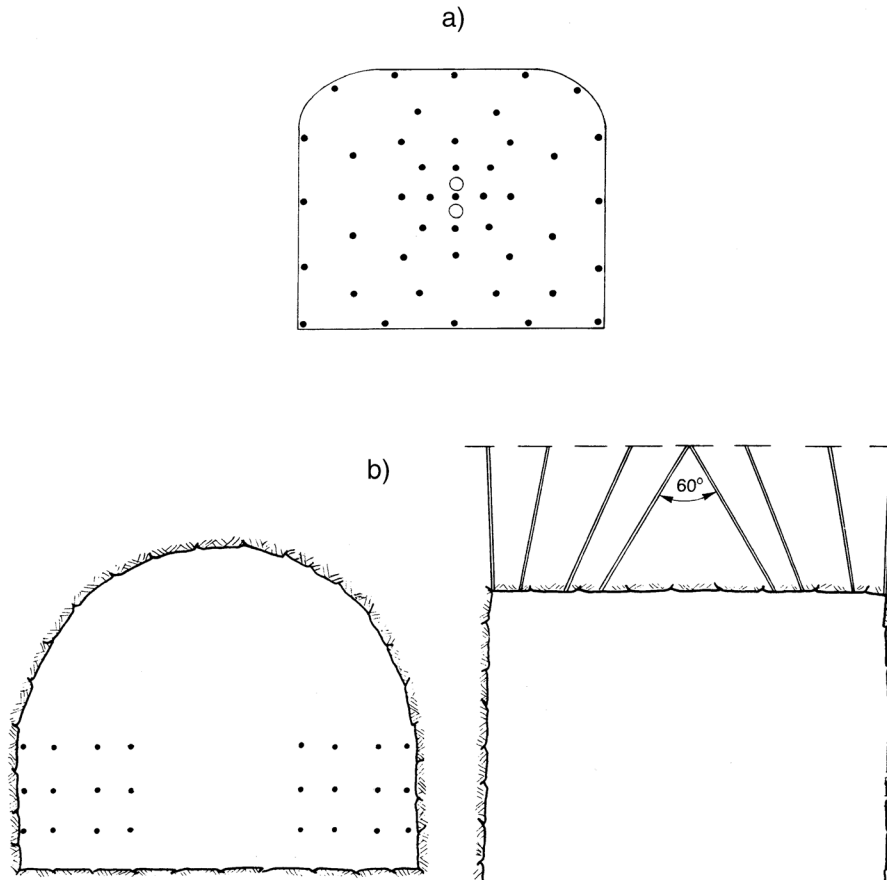


Cuele: Conjunto de barrenos cargados y de barrenos huecos que permiten en su profundidad, crear la cara libre necesaria para que el resto de los barrenos (tiros) puedan ir saliendo (secuencia de disparo)

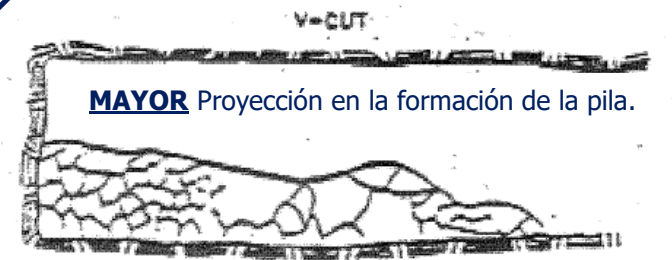
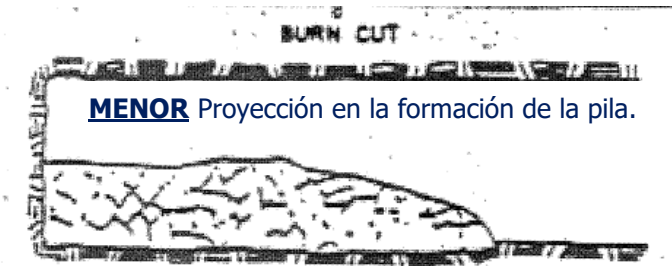
Línea de
GRADIENTE



Malla de perforación

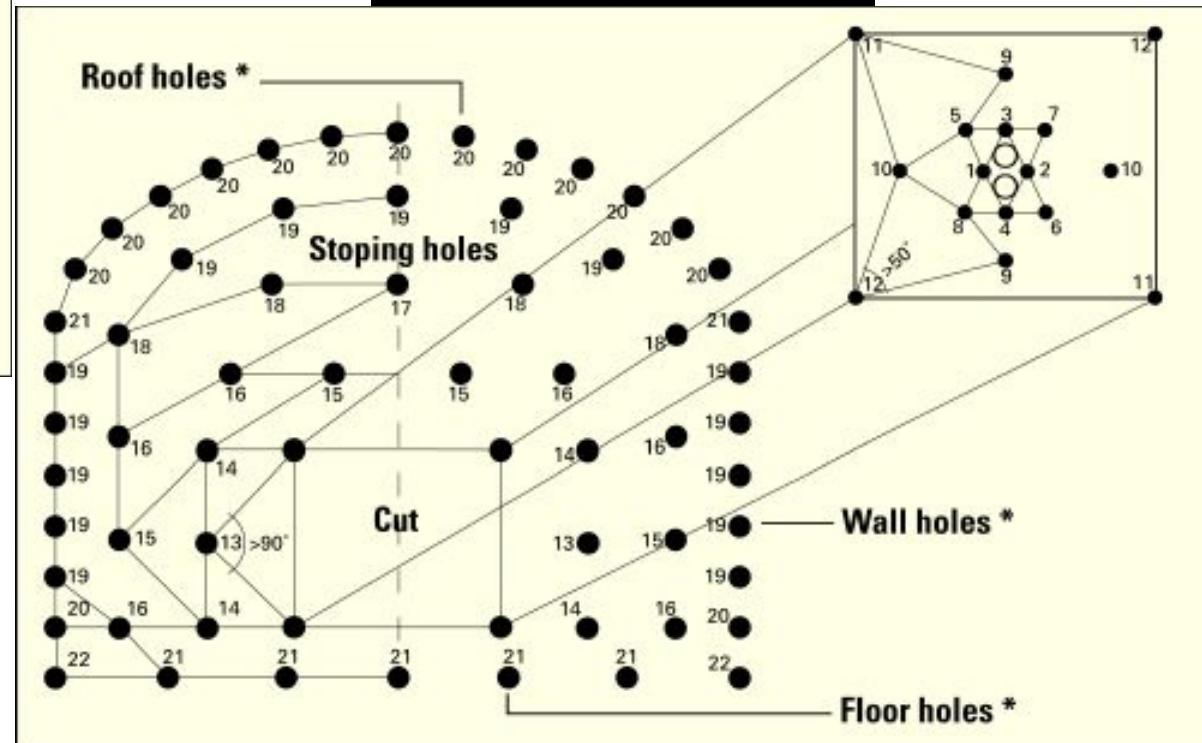
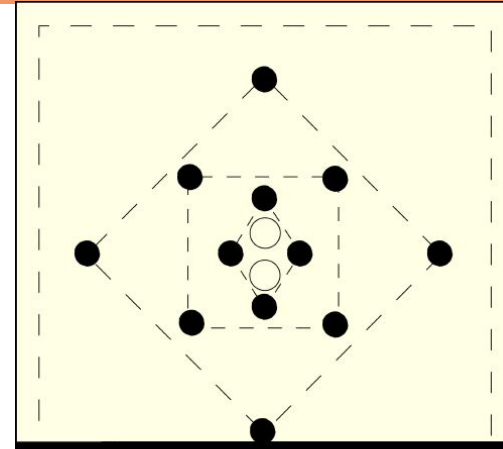
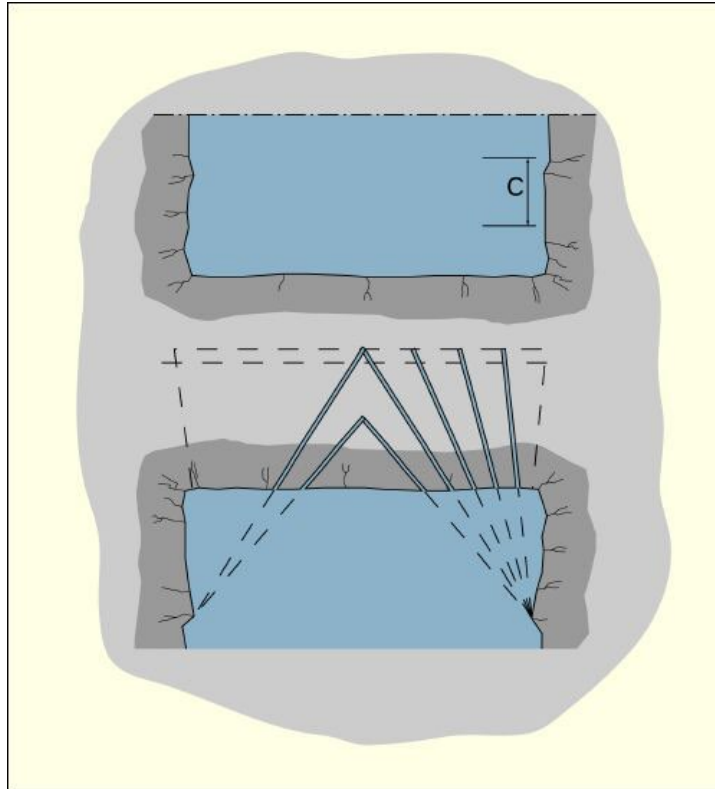


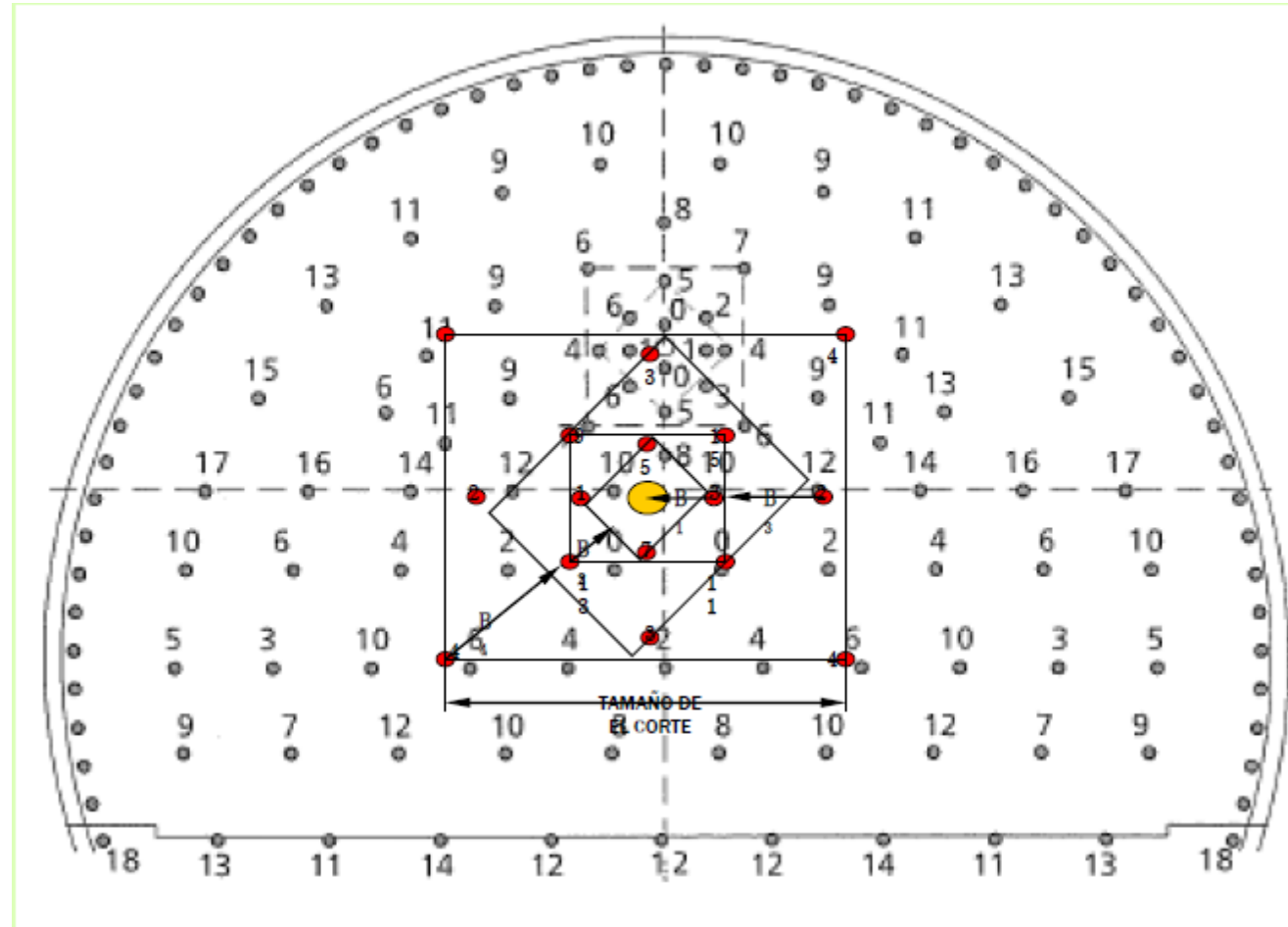
Corte paralelo



Corte en V

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

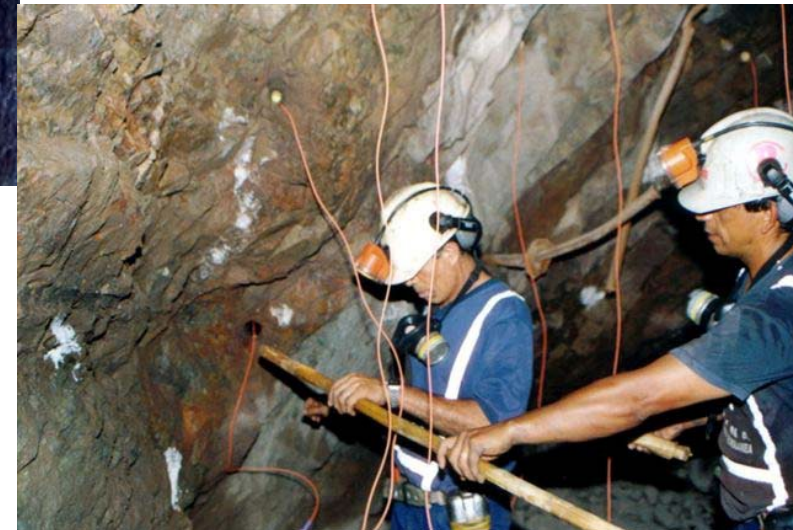
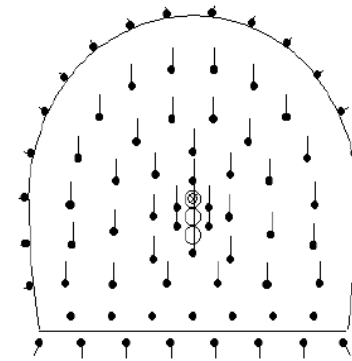




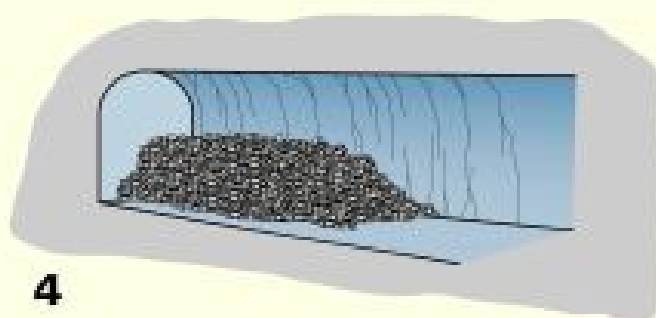
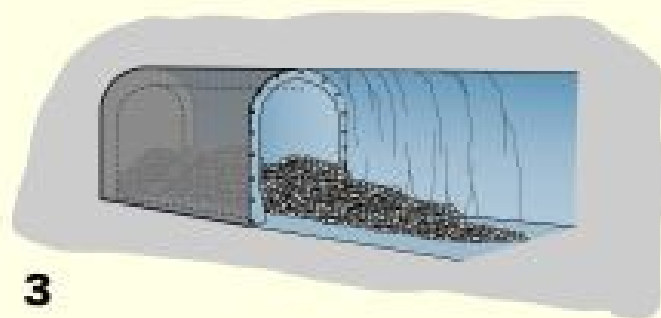
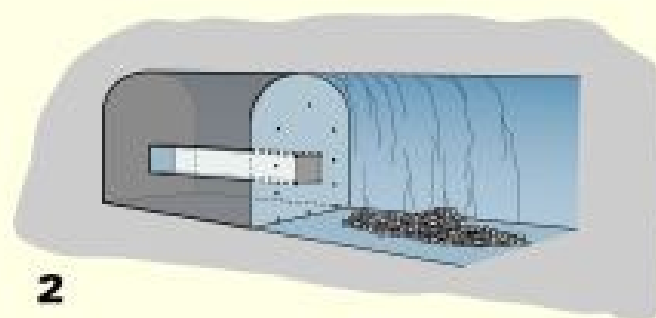
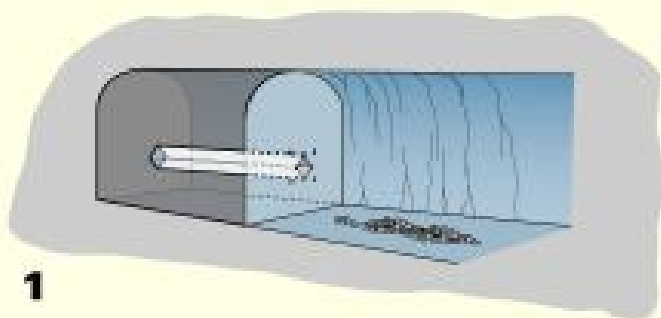
ESQUEMA DE DISPARO O MALLA DE PERFORACION FRENTE COMPLETO



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 barrenos 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.

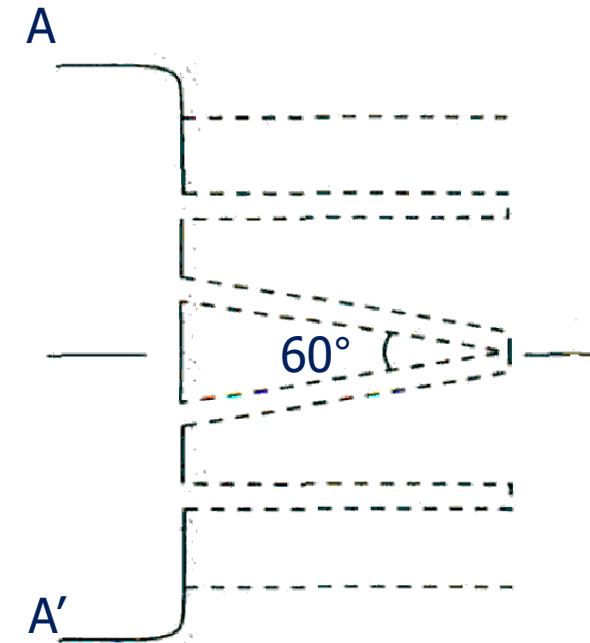
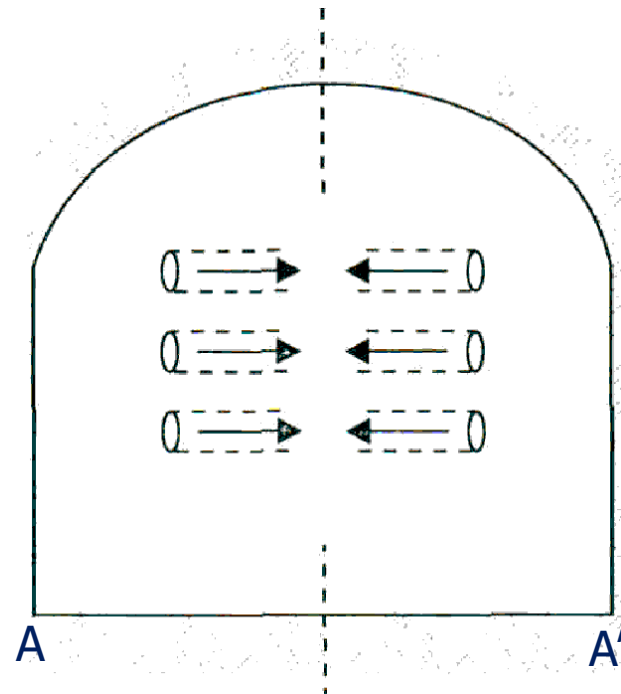
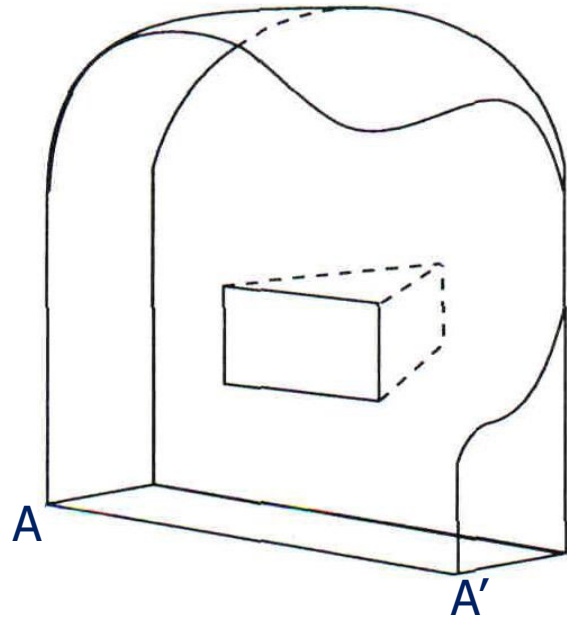
Métodos de corte

- 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.

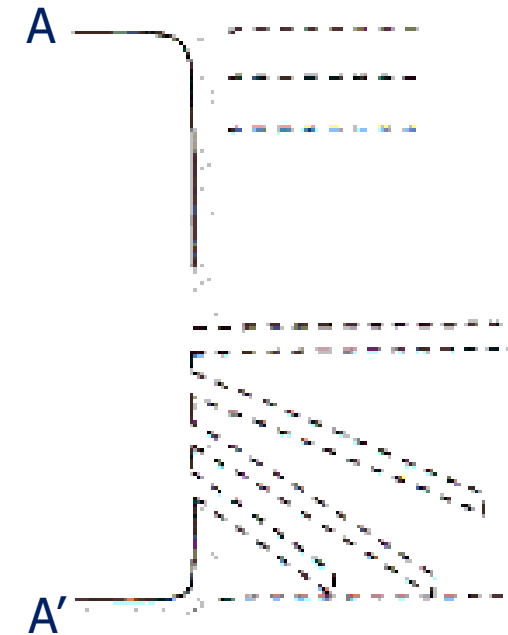
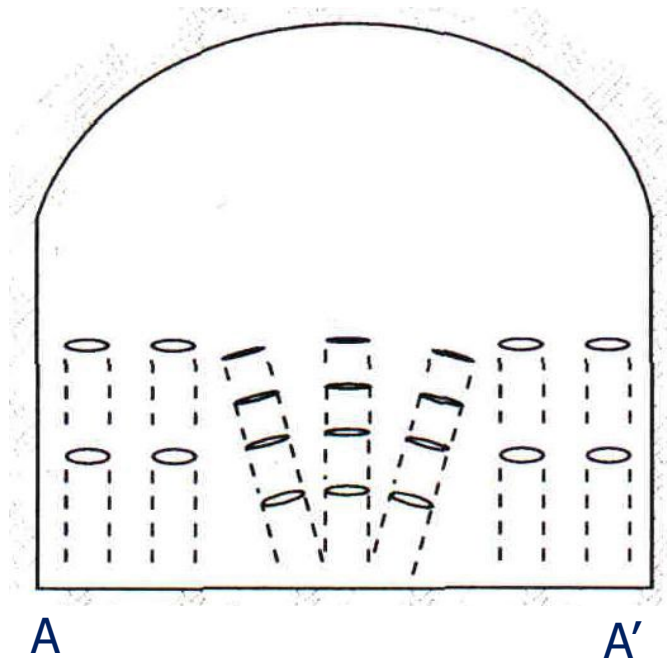
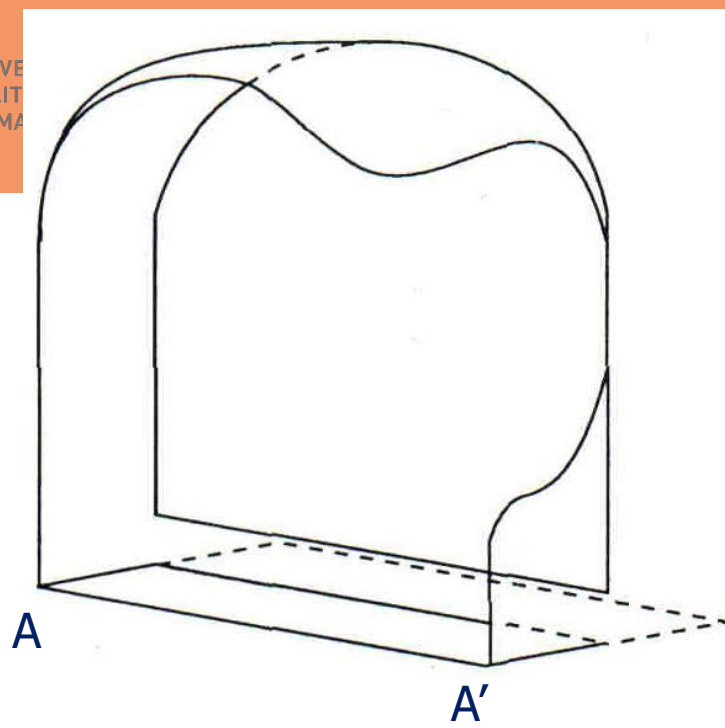
En los tres casos los barrenos están orientados hacia un eje o punto al fondo de la galería a perforar.

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.

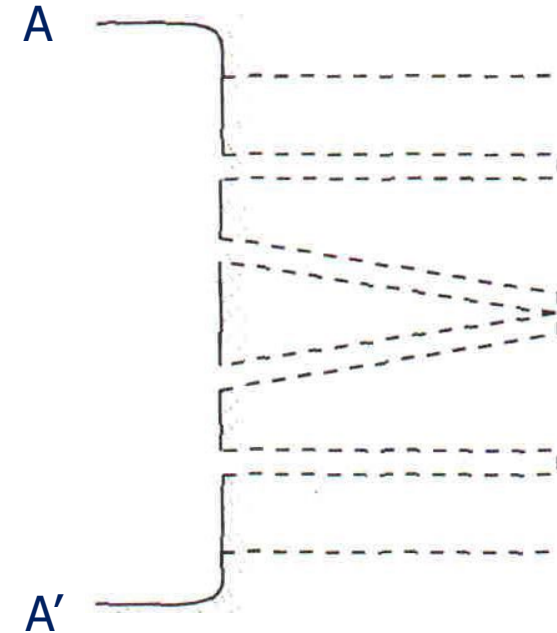
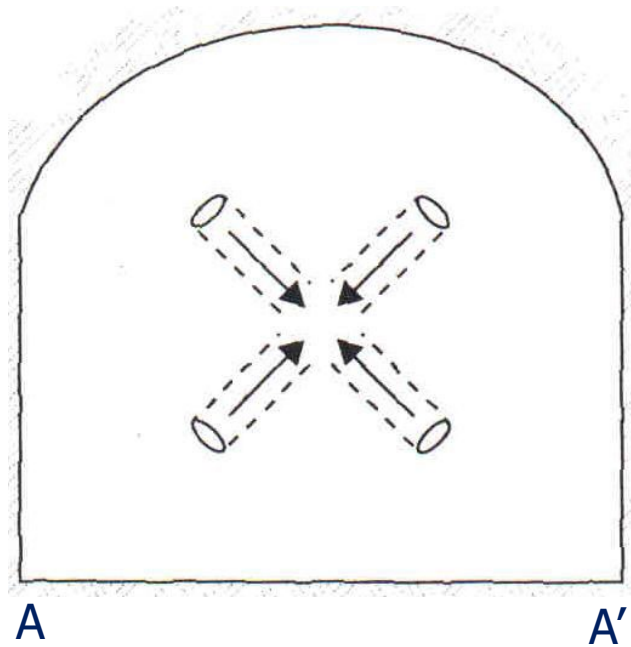
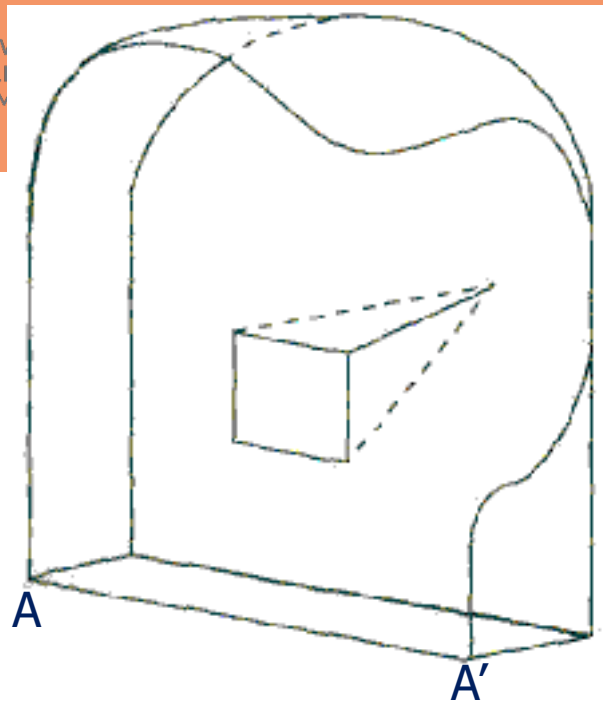
Corte en cuña horizontal



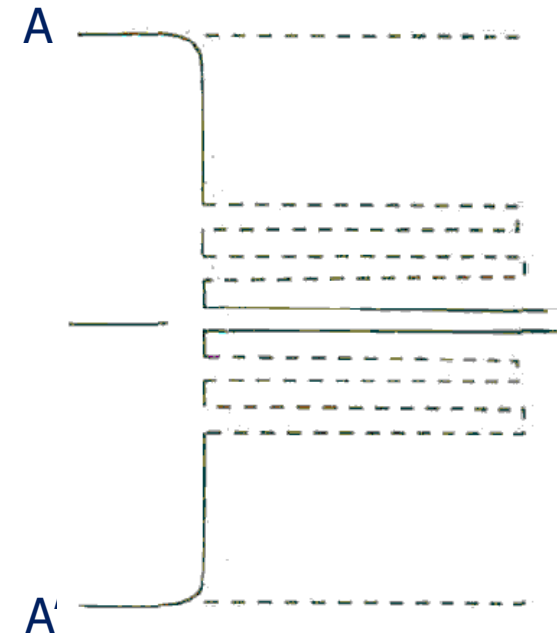
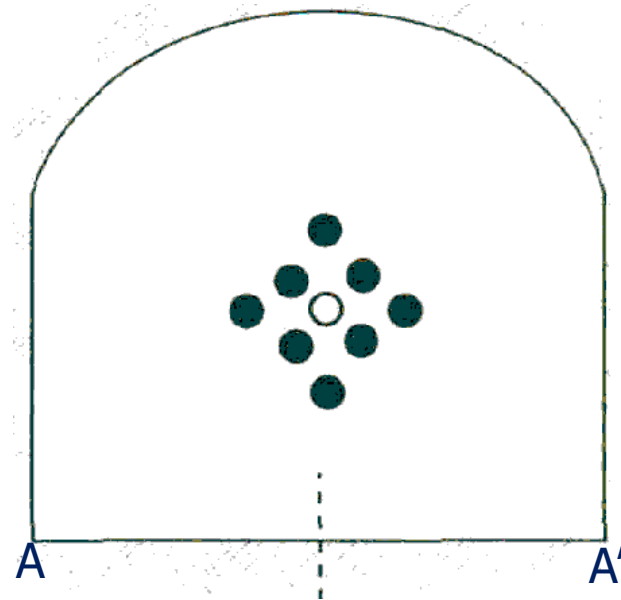
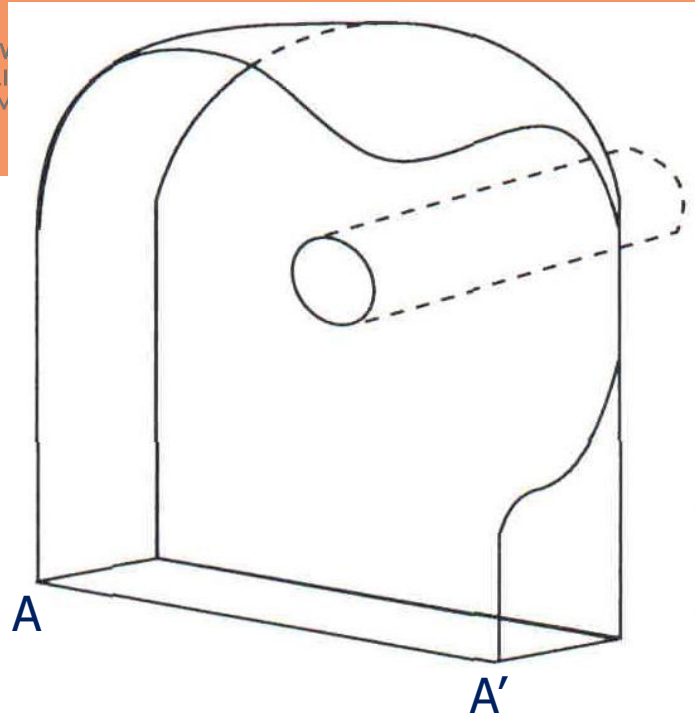
Corte en cuña vertical o abanico



Corte en cuña piramidal



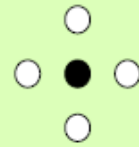
Corte en paralelo



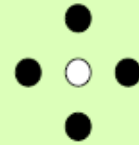
Corte de barrenos paralelos o corte quemado

- 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.**

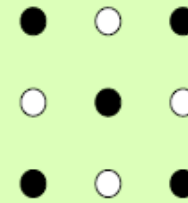
EJEMPLOS DE CORTE QUEMADO



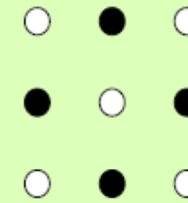
a



b

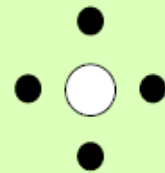


c

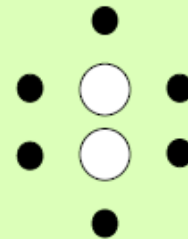


d

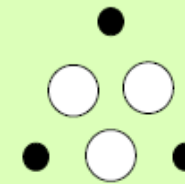
EJEMPLOS PARA LIMITAR EL EFECTO DE SIMPATIA ENTRE LOS TALADROS



a

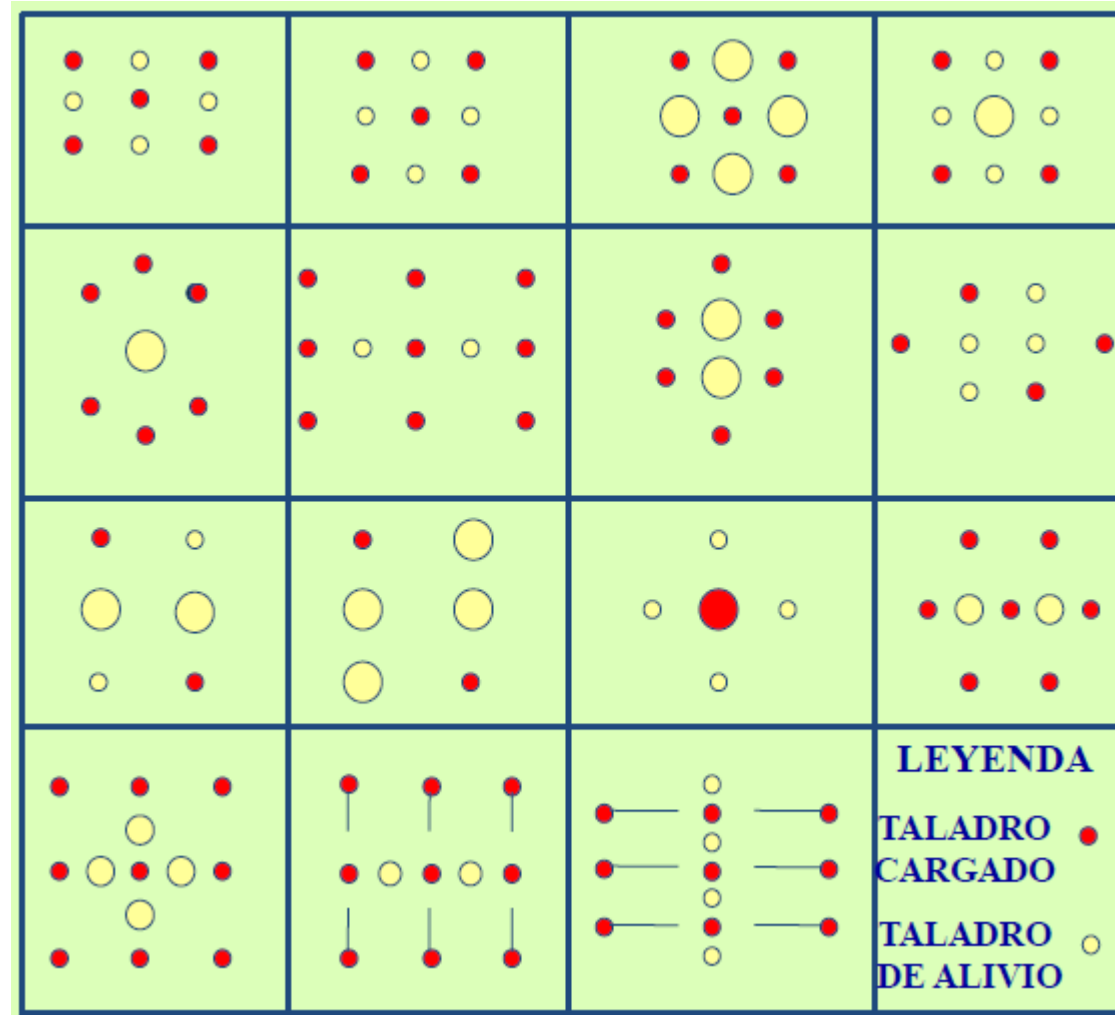


b



c

Esquemas de arranque para túneles



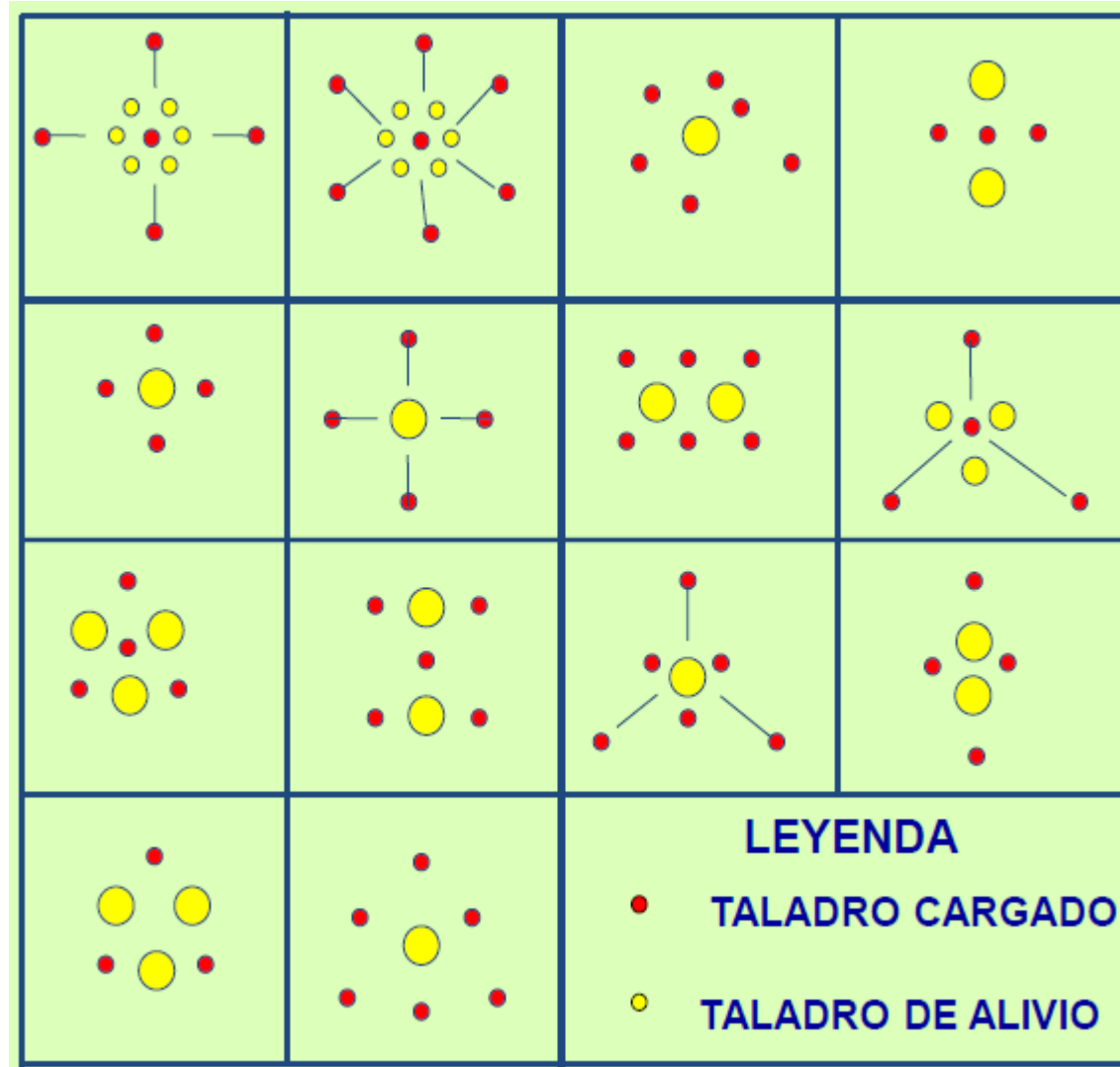
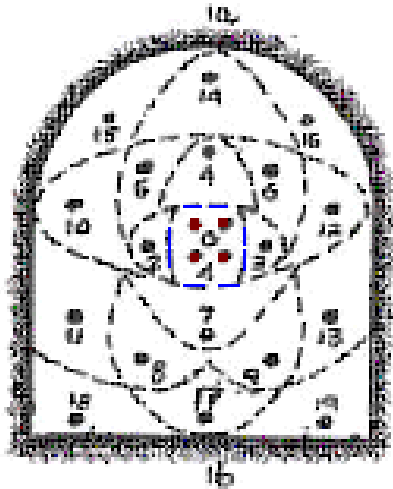
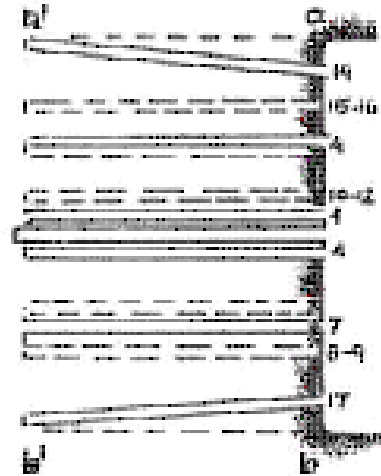


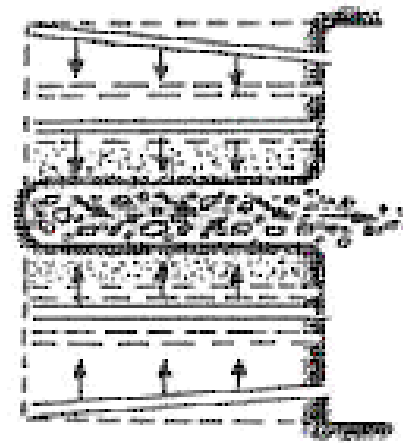
Diagrama de la secuencia de salida de barrenos disparados con retardos



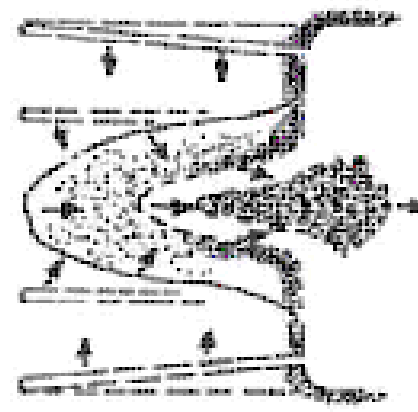
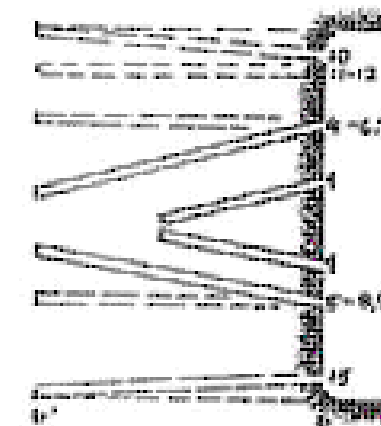
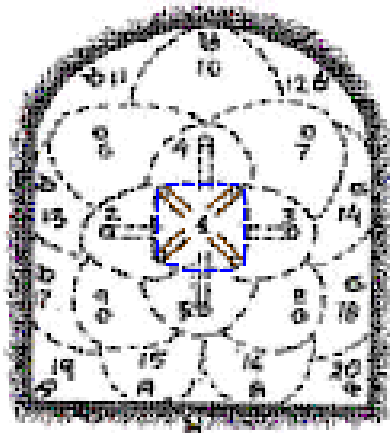
Frente



Corte longitudinal

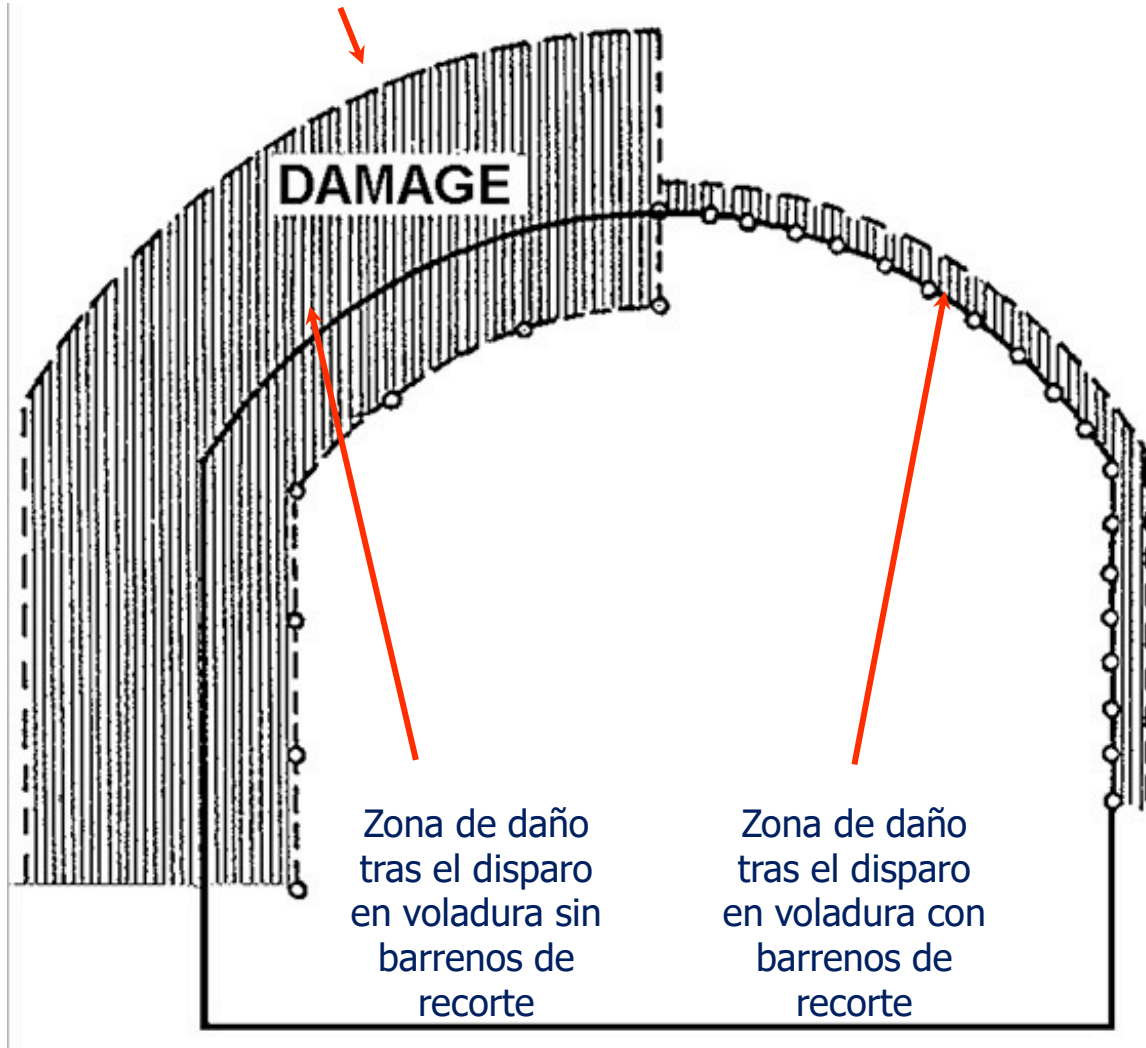


Corte de arranque en paralelo



Corte de arranque en V

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



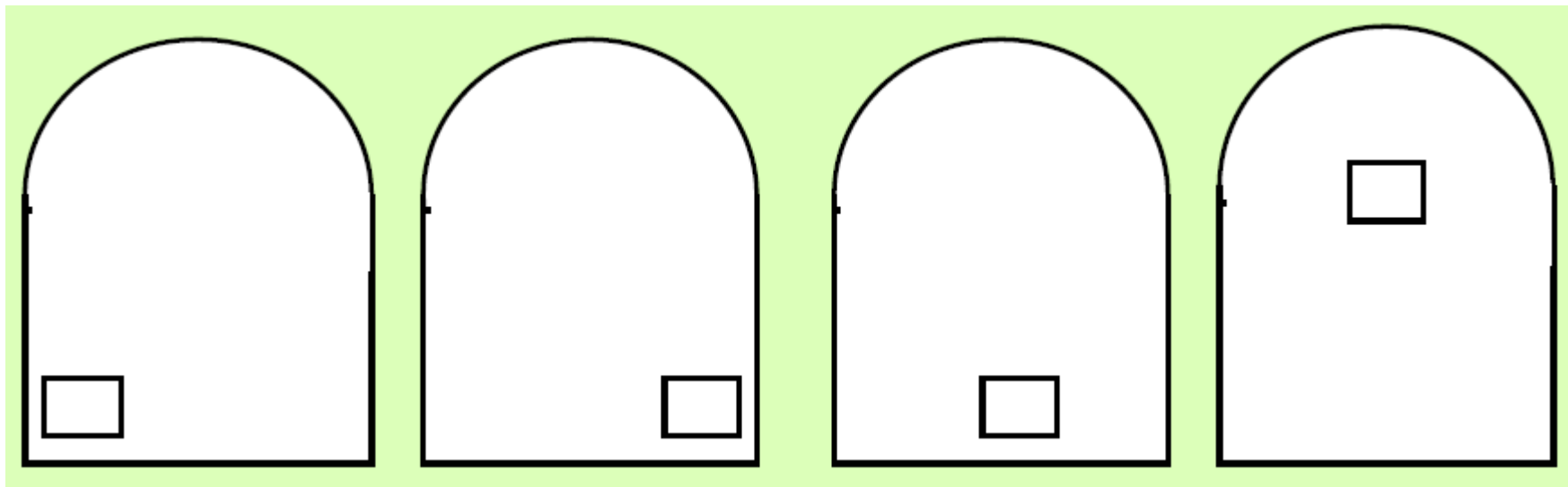
- Los barrenos del perímetro y el techo se perforan comúnmente con espaciamientos cercanos y cargas ligeras.
- También pueden detonarse como voladura de recorte para proveer un contorno que requiera poco esfuerzo (cargas desacopladas).
- La figura muestra la extensión de las zonas de daño si se utilizan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

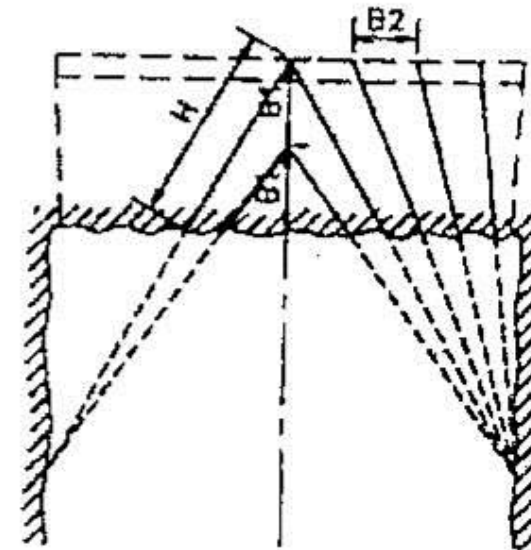
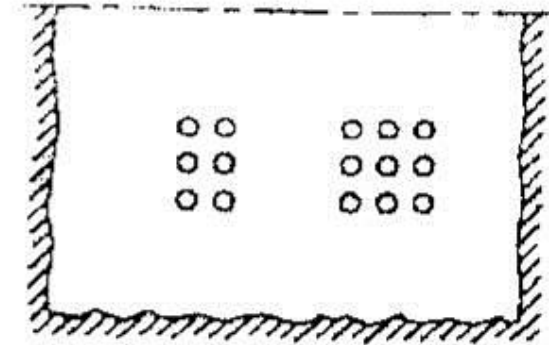
- Si los barrenos de arranque rompen un volumen mayor del que puede caber dentro del cráter creado previamente, el corte se “congela” lo que significa que se bloquea por la roca que no puede ser expulsada.
- Si esto ocurre, el alivio paralelo al eje de los barrenos se pierde y los barrenos no podrán 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.

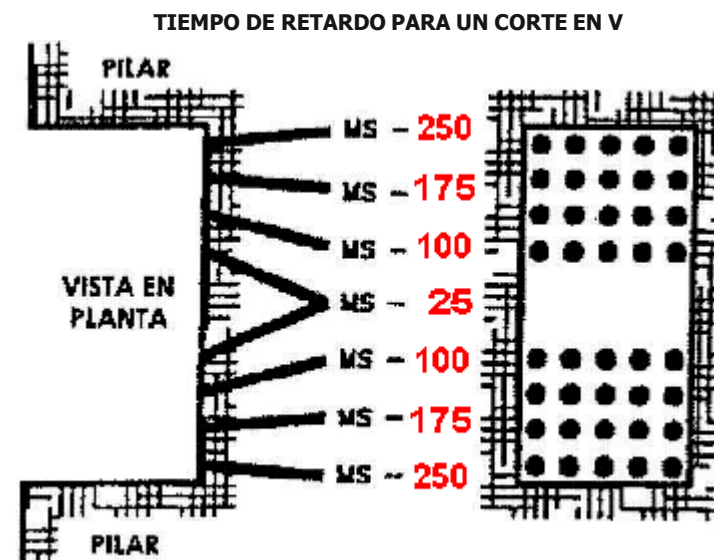
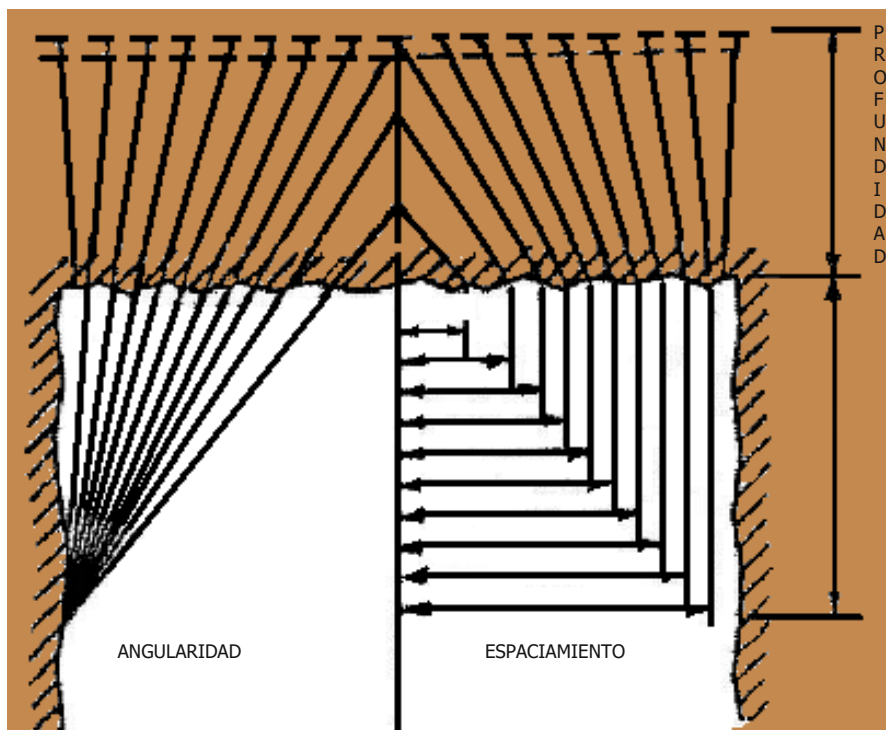


Corte en V

- 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.

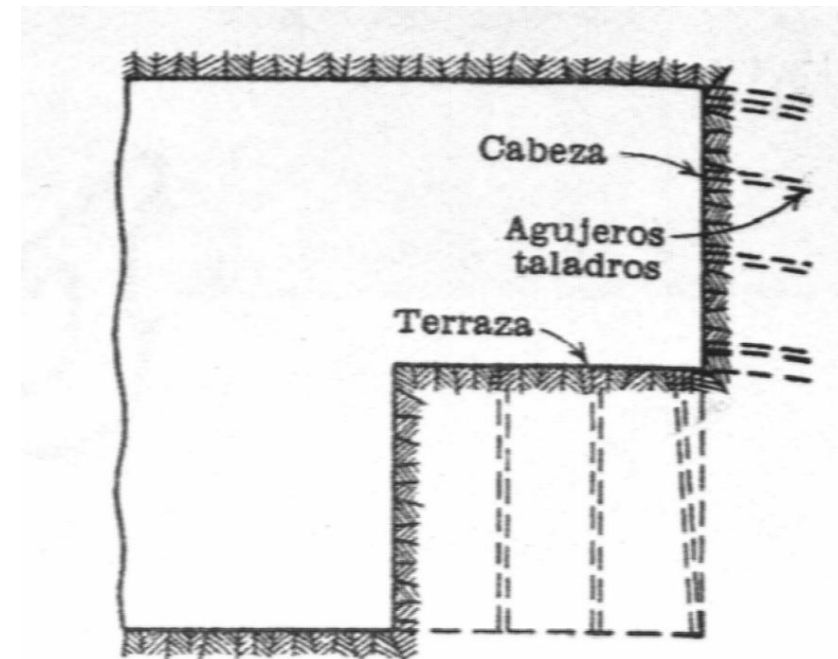
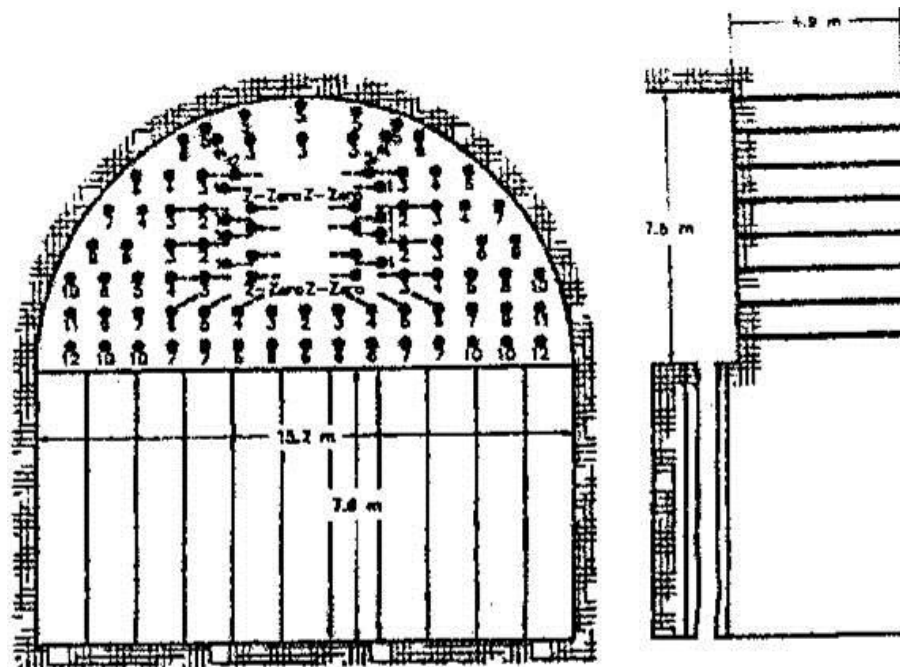


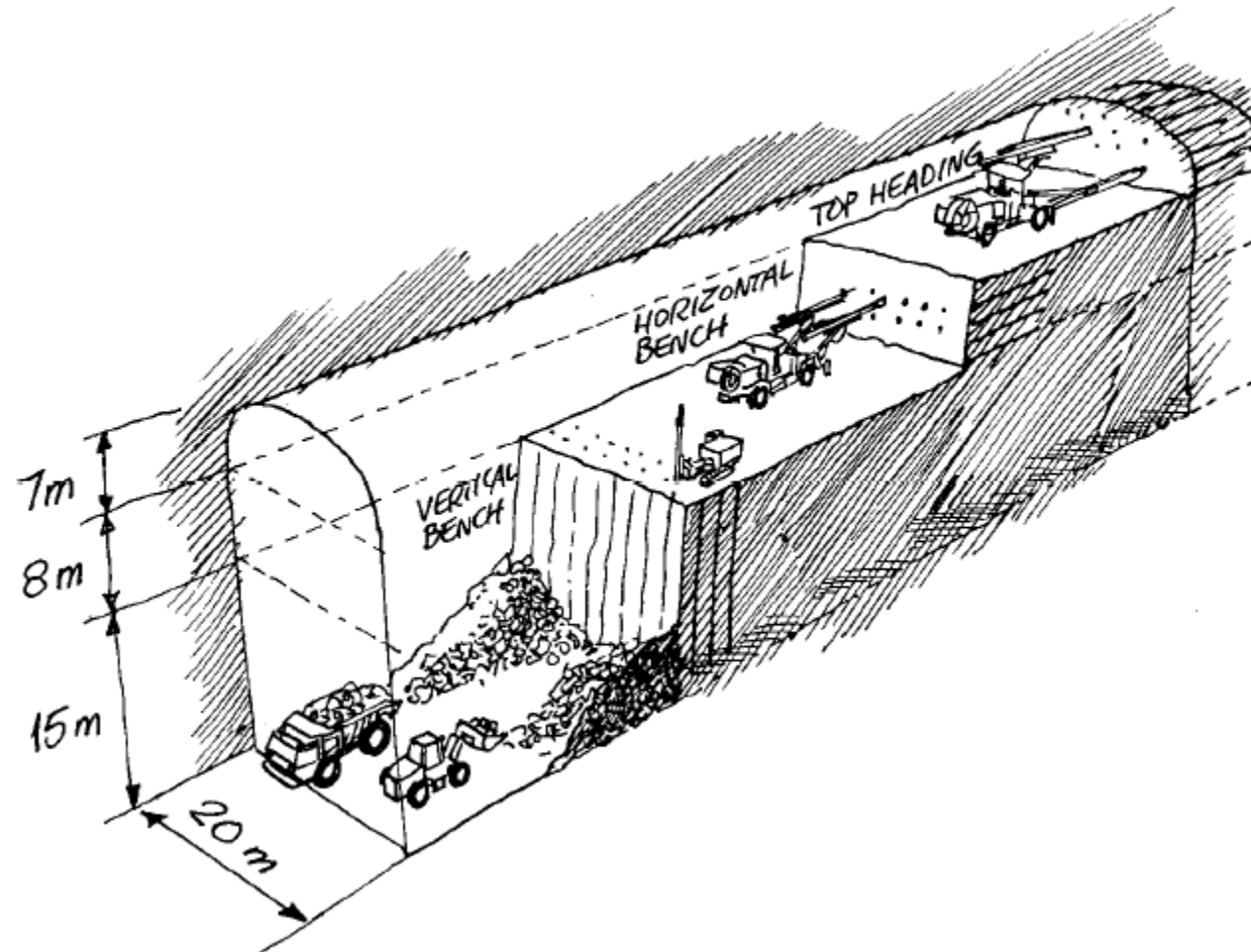
- El tiempo de retardo entre V's adyacentes debe ser de por lo menos 75 milisegundos (mínimo).
- La distribución básica de las V's se muestra en la figura.



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.



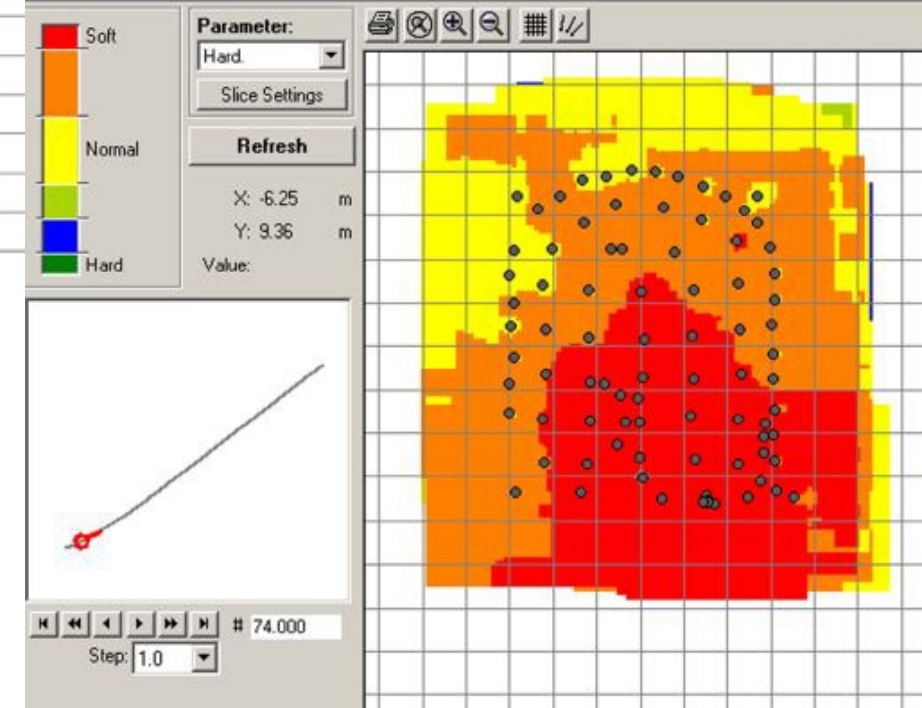
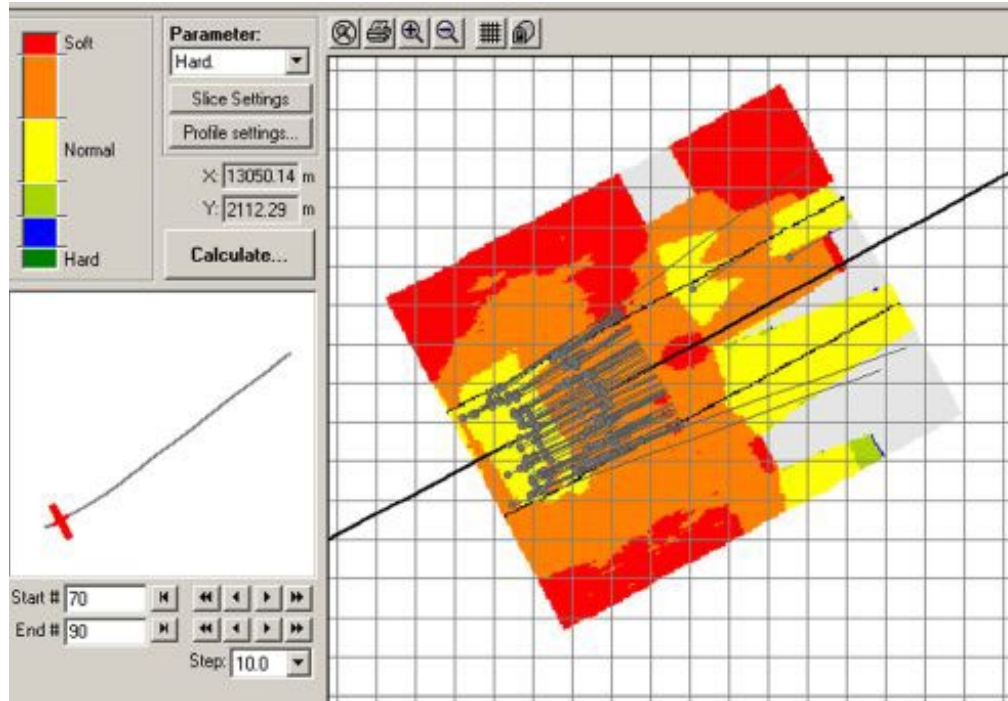


- Calidad del desarrollo de galerías
 - Emplazamiento correcto
 - Calidad del perfil
 - Sobrefracturación / Insuficiencia
 - Minimización de daños de la voladura.

- 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

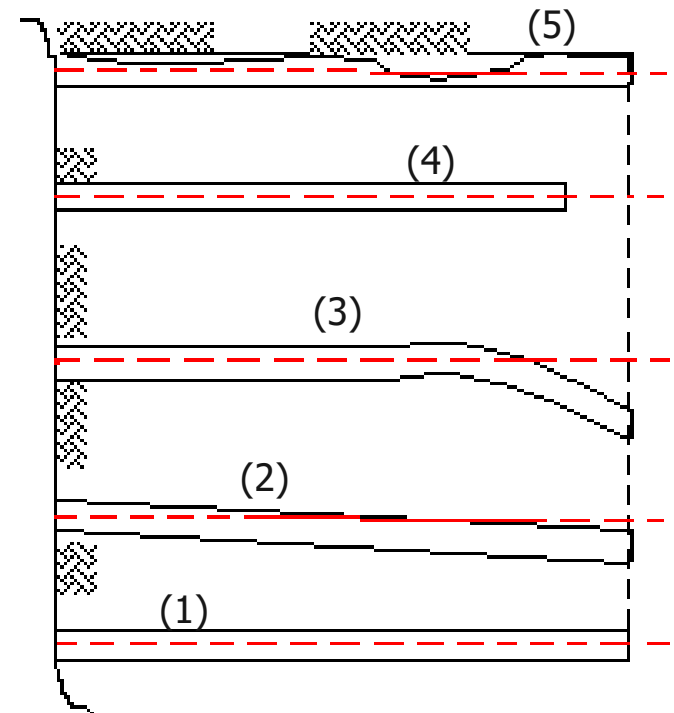
Calidad del desarrollo





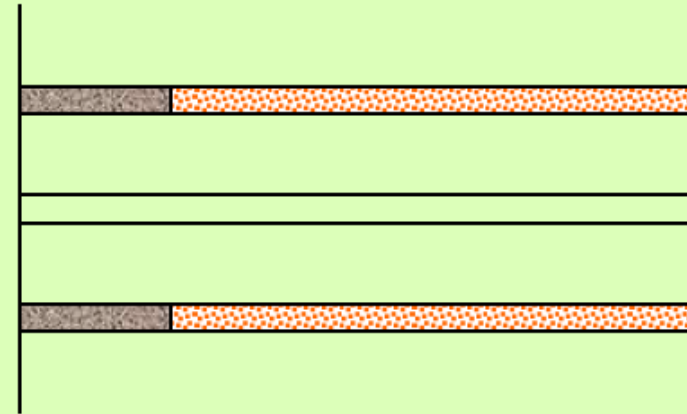
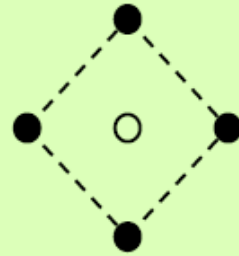
Calidad de la perforación

- 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

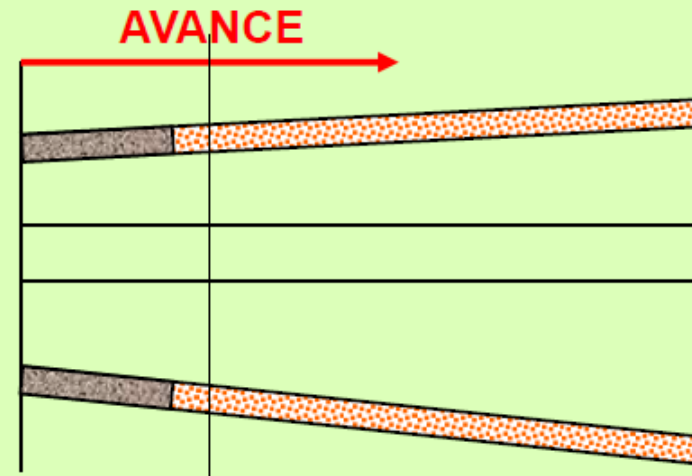
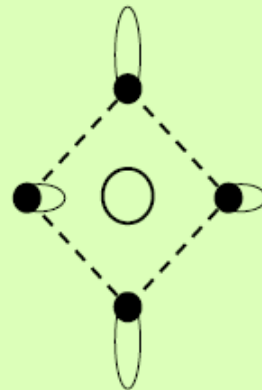


Errores debidos a la perforación

HUECO DE ALIVIO DE DIÁMETRO MUY PEQUEÑO

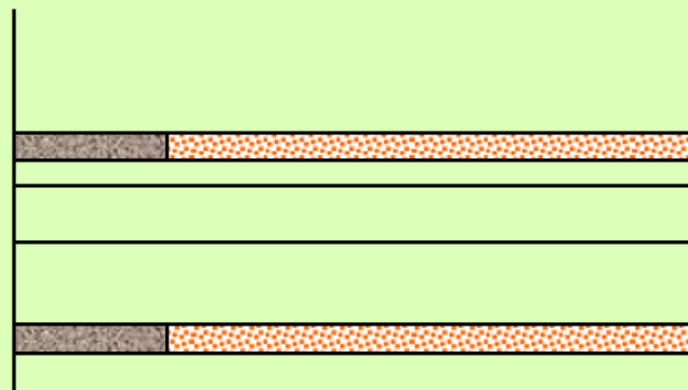
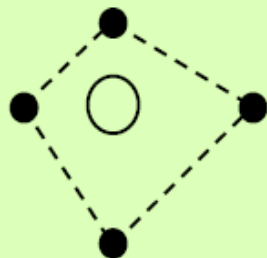


DESVIACIONES EN EL PARALELISMO

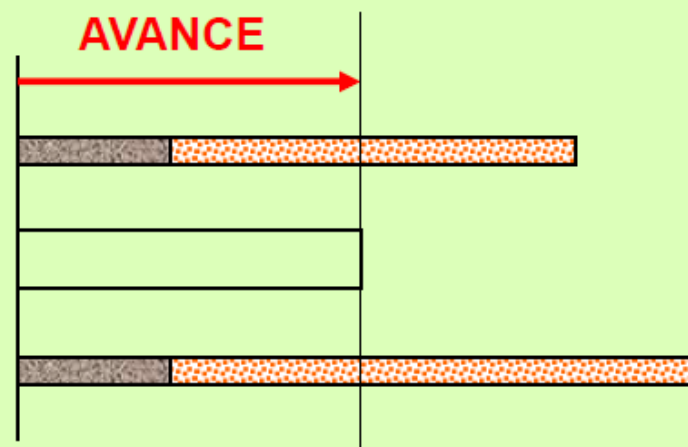


Errores debidos a la perforación

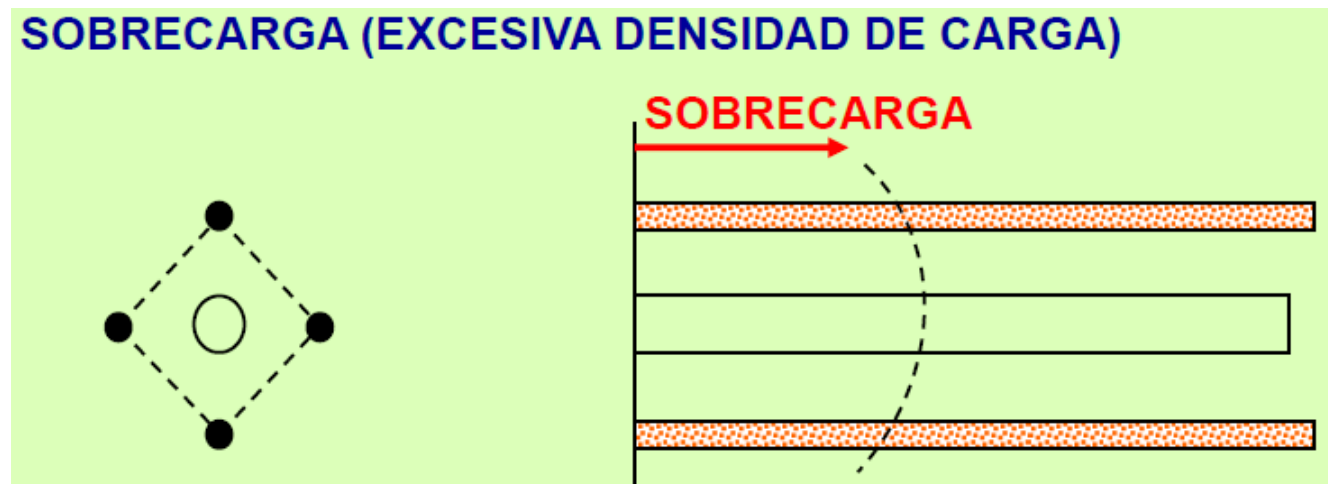
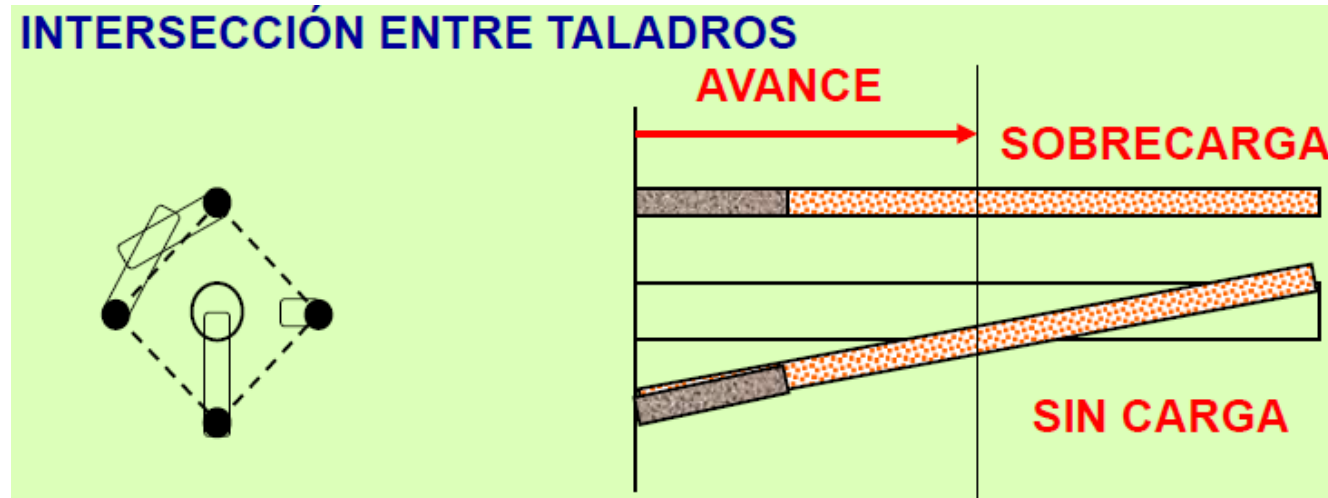
ESPACIAMIENTOS IRREGULARES ENTRE TALADROS



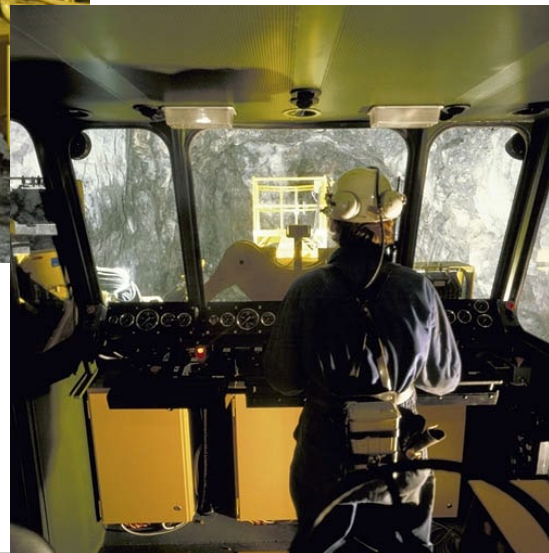
IRREGULAR LONGITUD DE LOS TALADROS



Errores debidos a la perforación



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

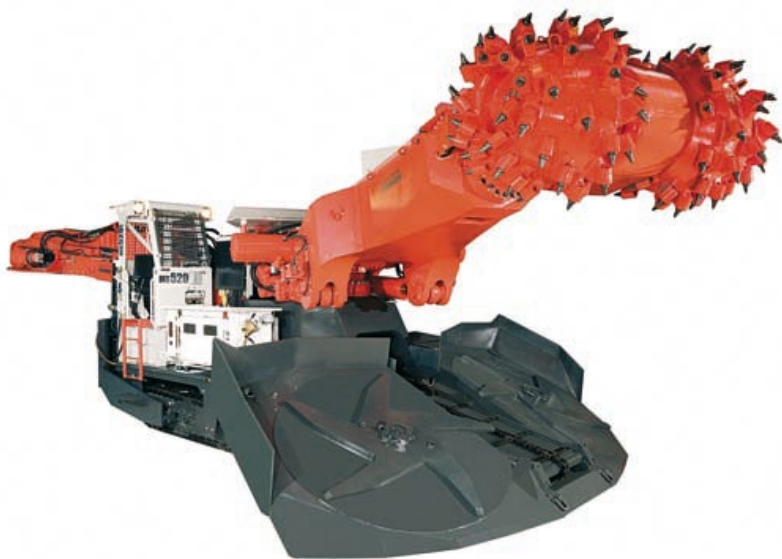




MÉTODOS DE EXCAVACIÓN POR MEDIOS DE ARRANQUE MECÁNICO

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.



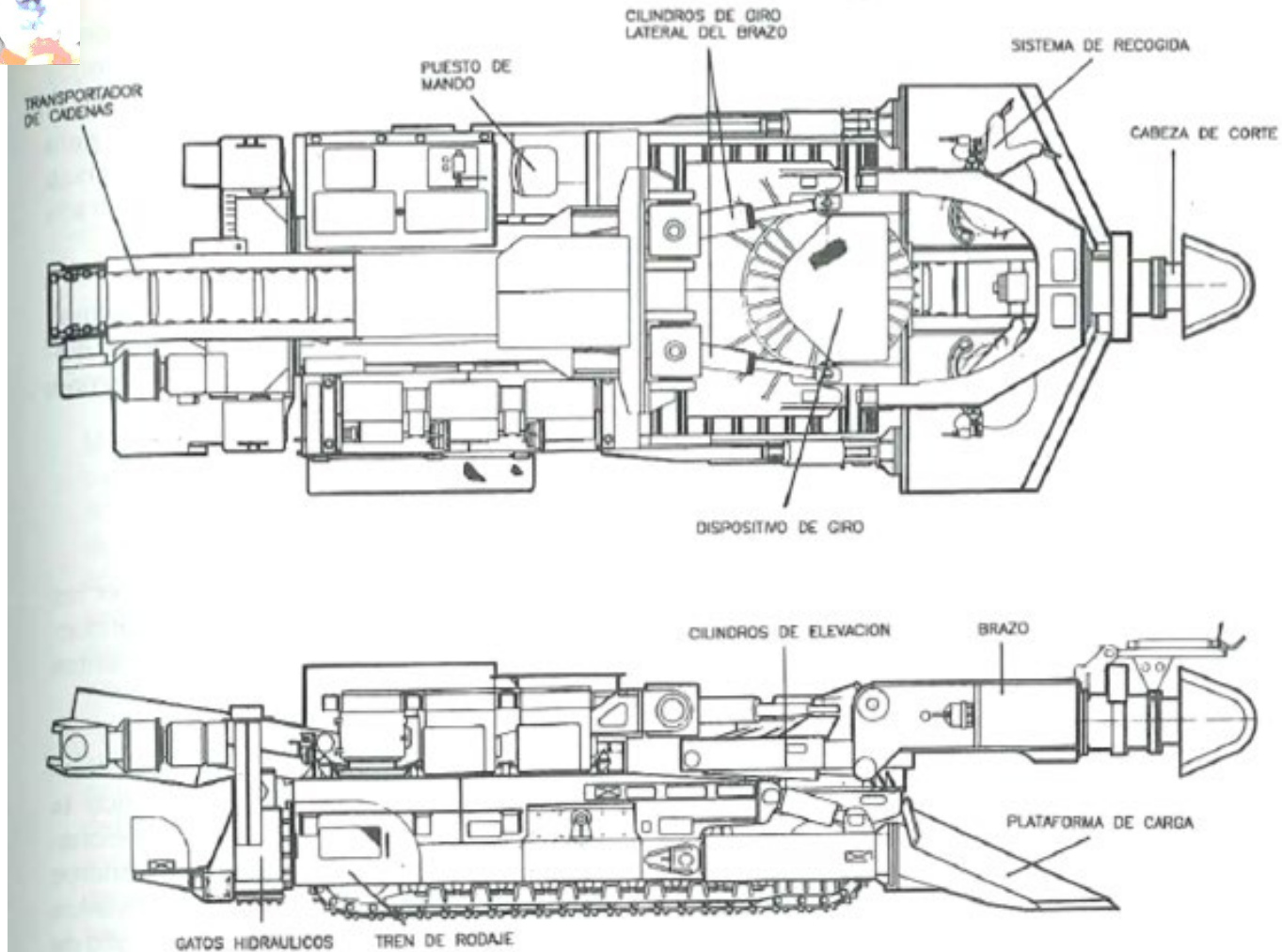
- Frente a las máquinas integrales de excavación (tuneladoras), los minadores presentan las siguientes ventajas:
 - Flexibilidad y maniobrabilidad (pueden efectuar distintas secciones, cambios de trazado, excavaciones transversales a la principal, etc.).
 - No se precisan grandes espacios para el montaje 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.

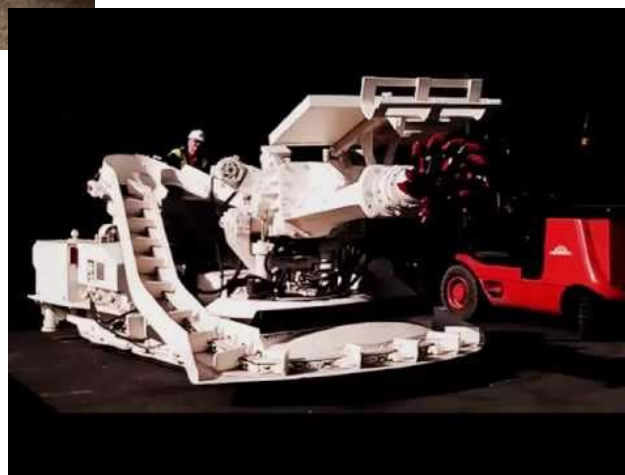


Elementos constituyentes de un minador



Tipos de minadores

- Minadores de brazo



Tipos de minadores

- Minadores de tambor



Tipos de minadores

- Equipos especiales



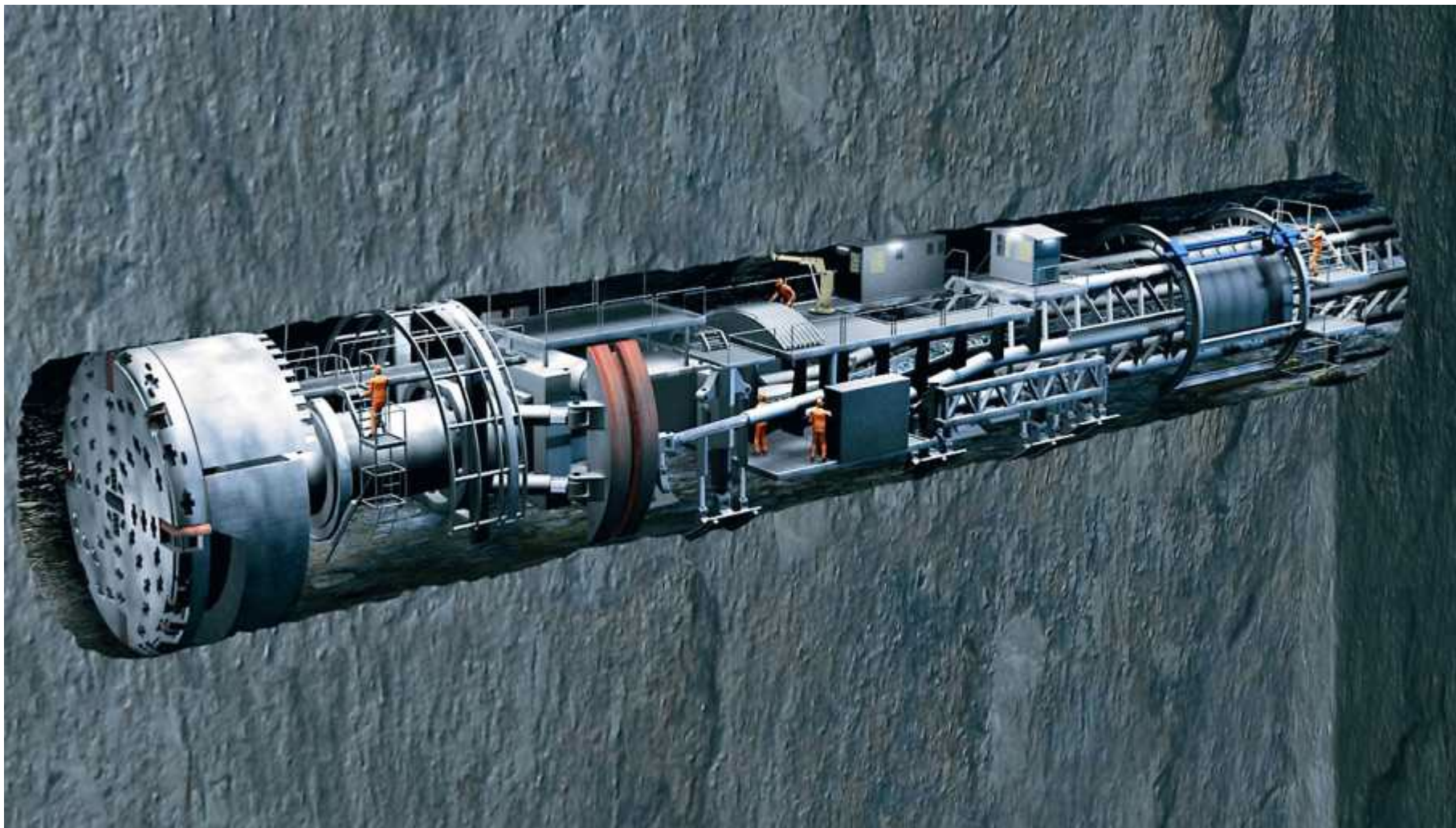


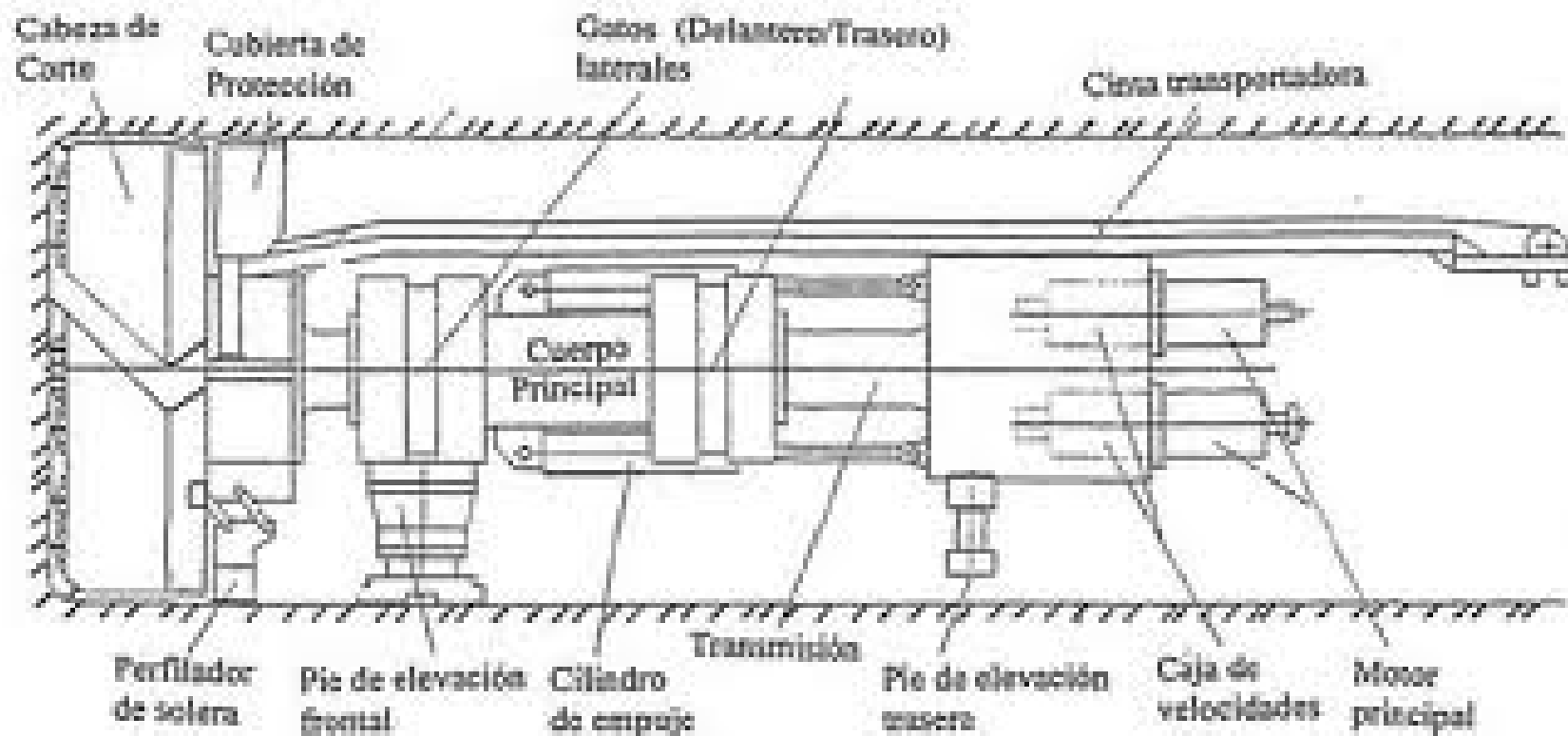
Máquinas tuneladoras

- 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



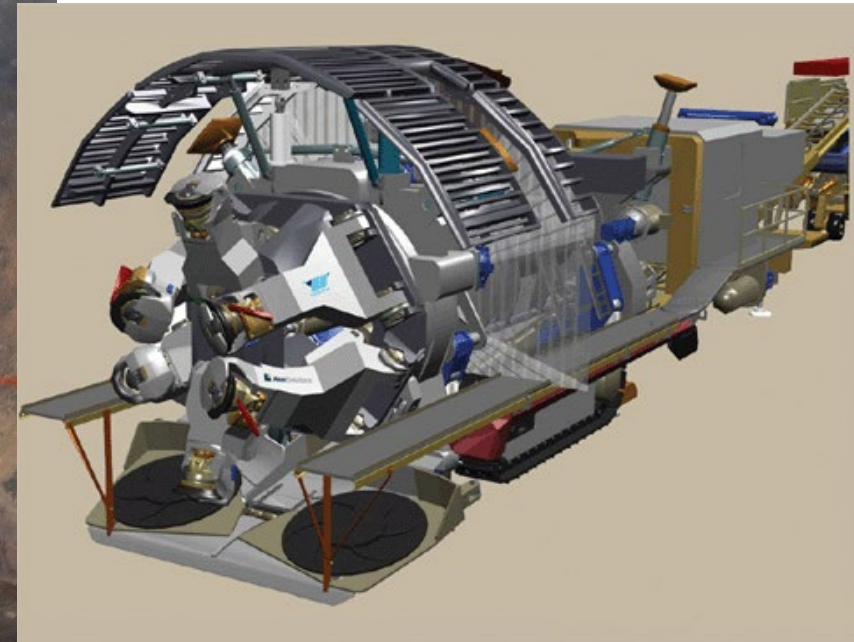
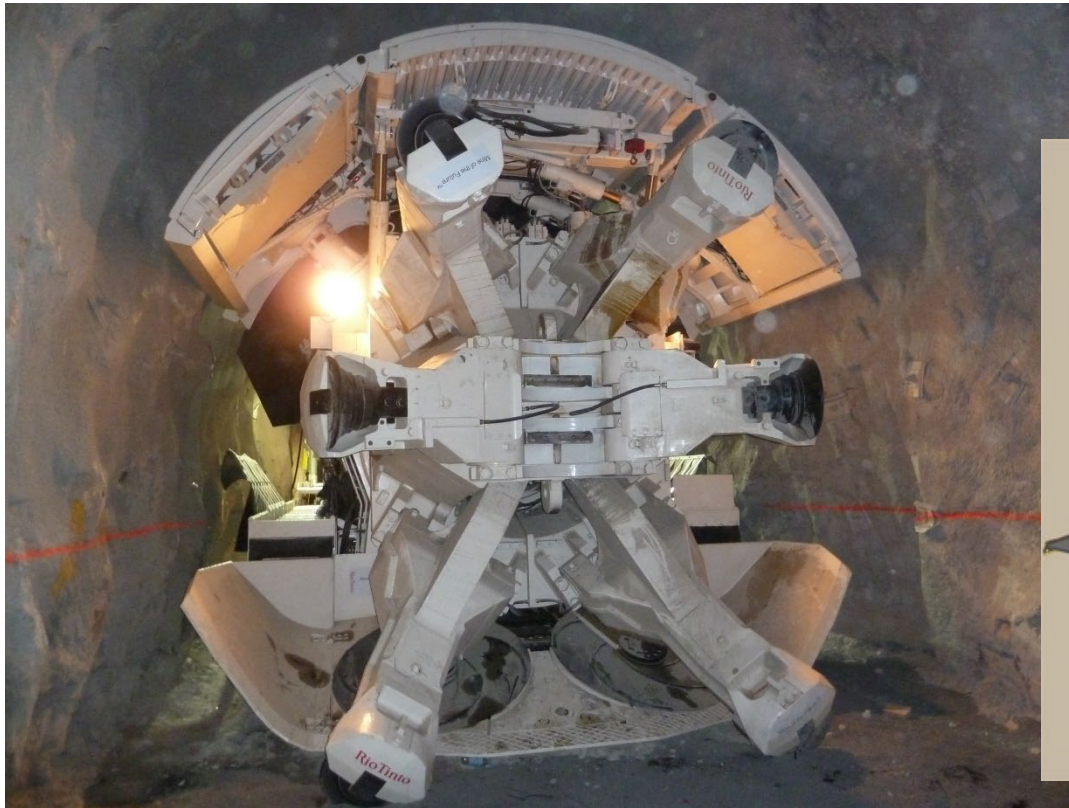




Grosvenor Coal Mine tunnel boring machine







Northparkes mine

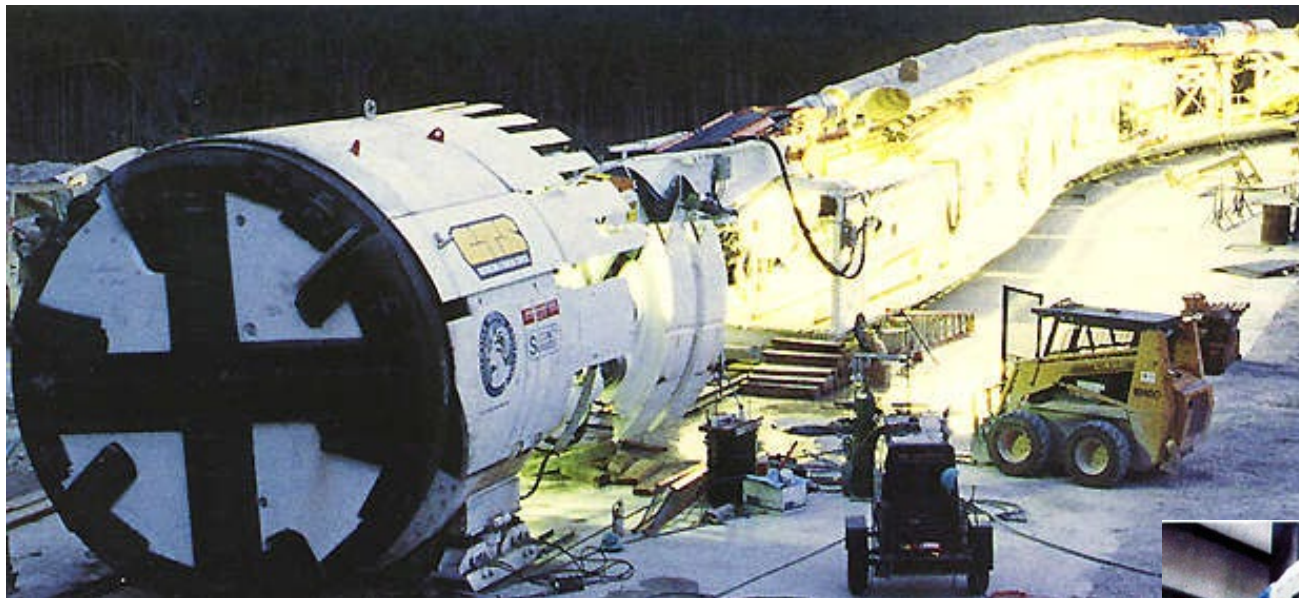
Fuente: <http://www.theengineer.co.uk/>





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

Stillwater mine (EE.UU.)



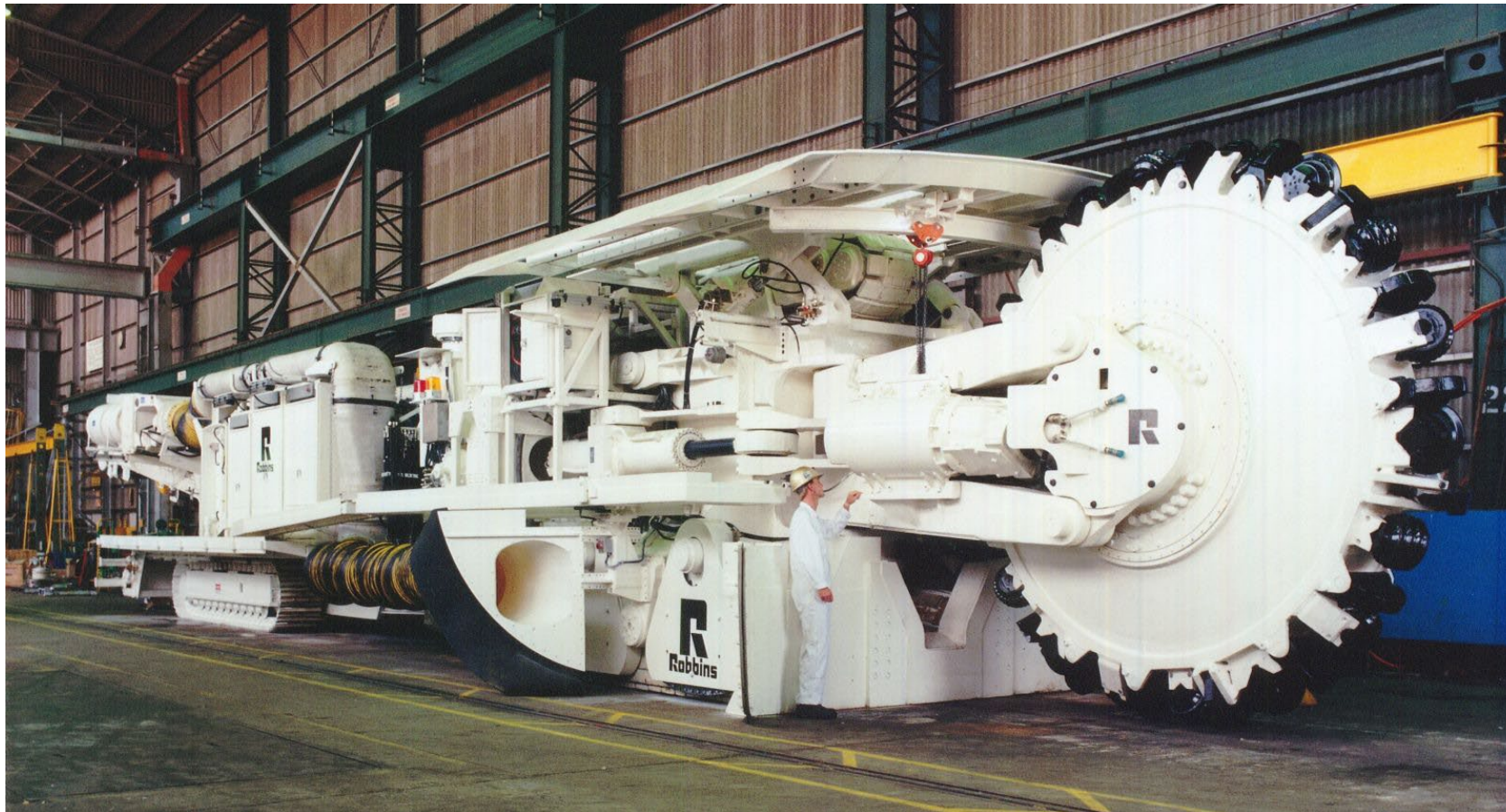
Unidades de diámetro reducido



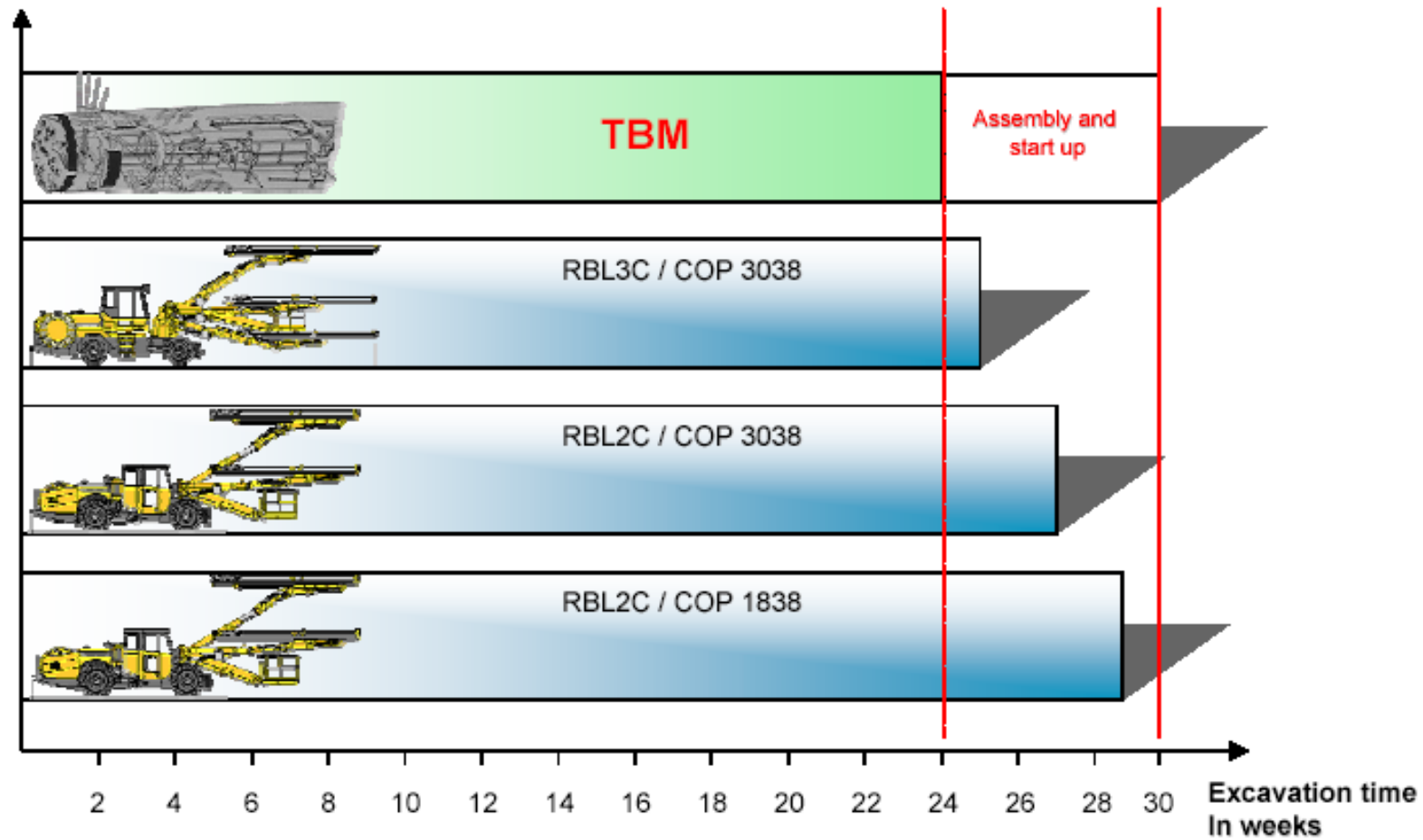
Atlas Copco Tunnel Boring System











Túnel de 9 x 9 m @ 10 km



Excavación con martillo hidráulico









POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

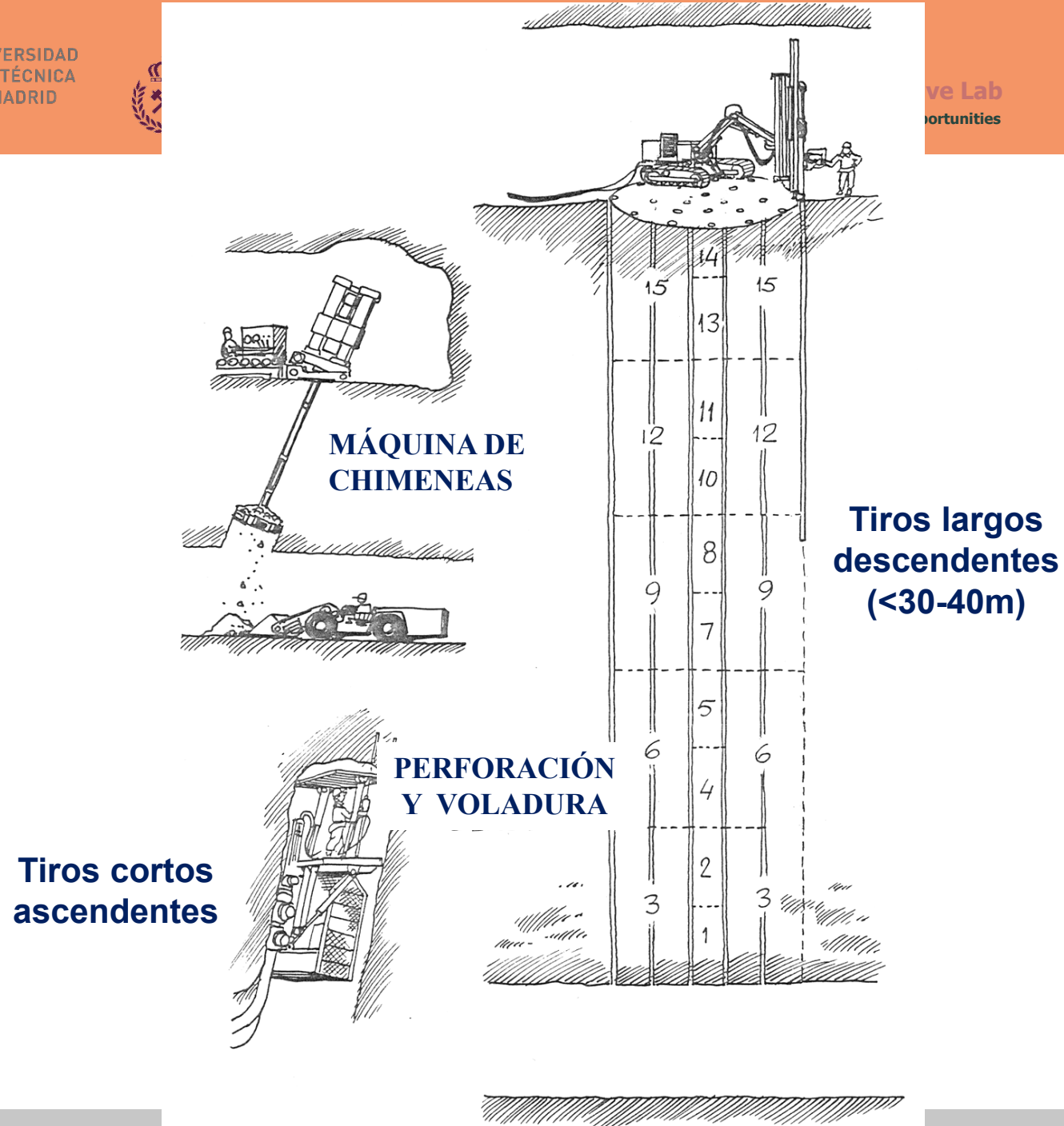
Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



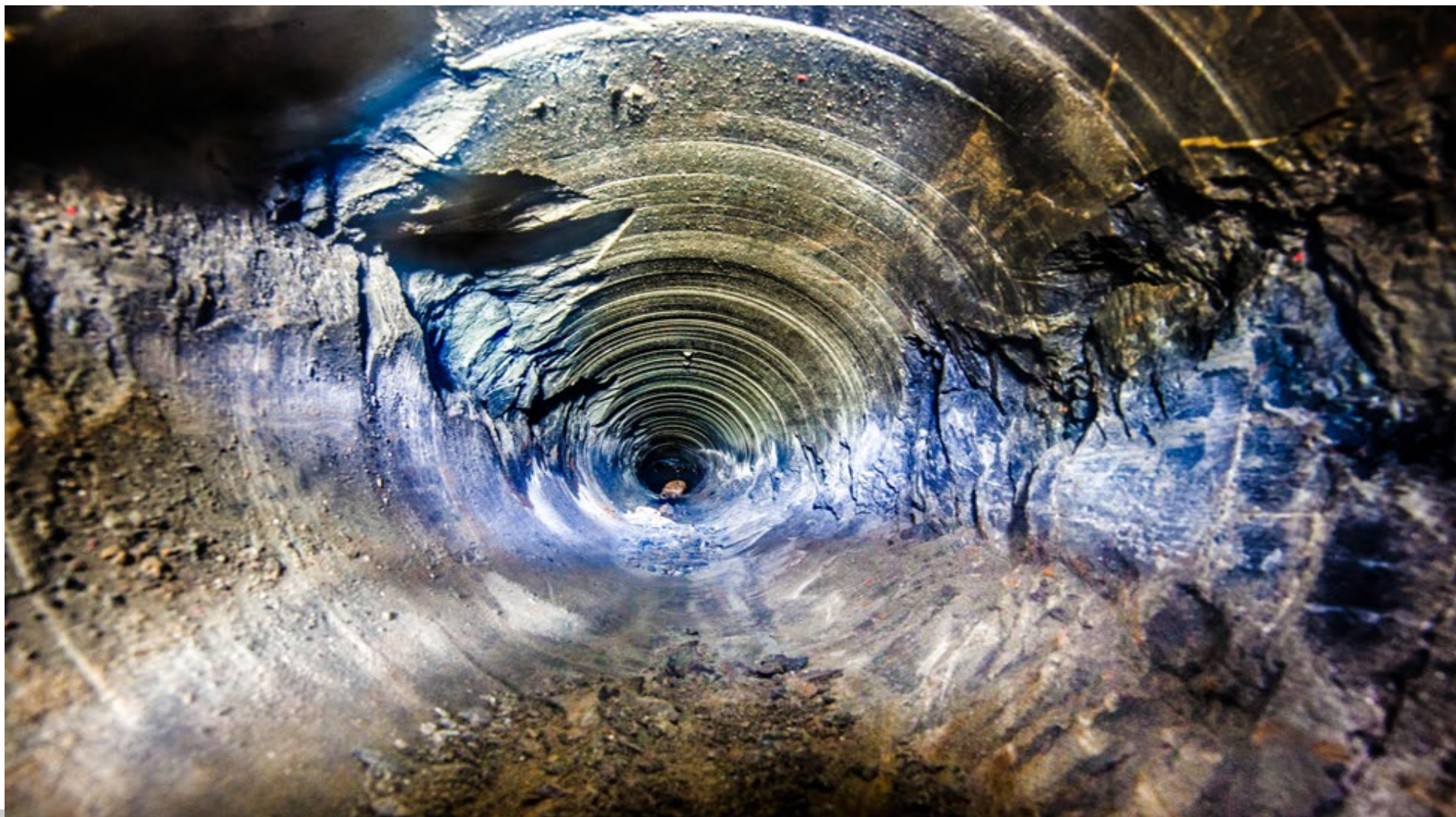
PERFORACIÓN DE CHIMENEAS Y POZOS PIQUERAS

Perforación de chimeneas





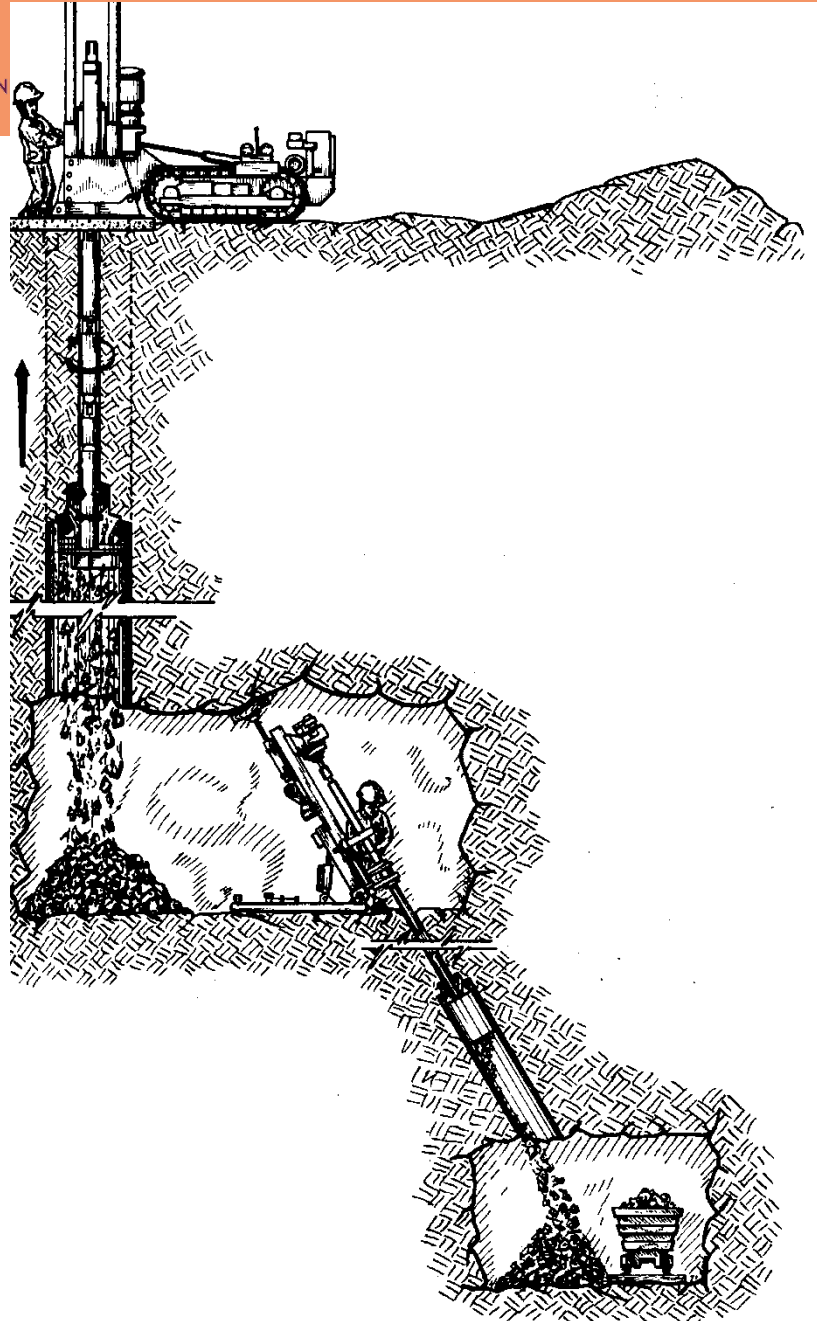
Problemática

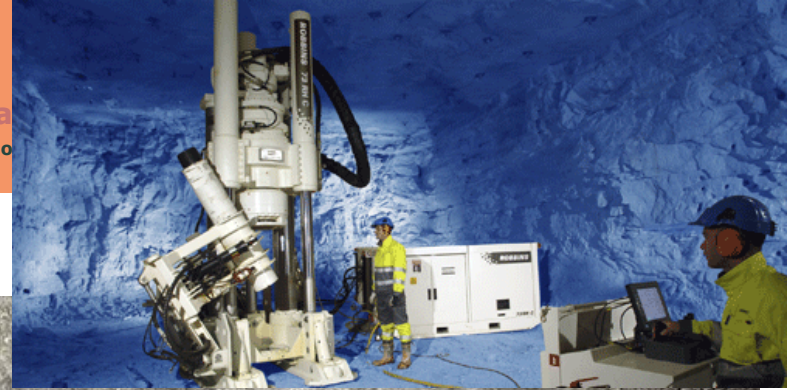




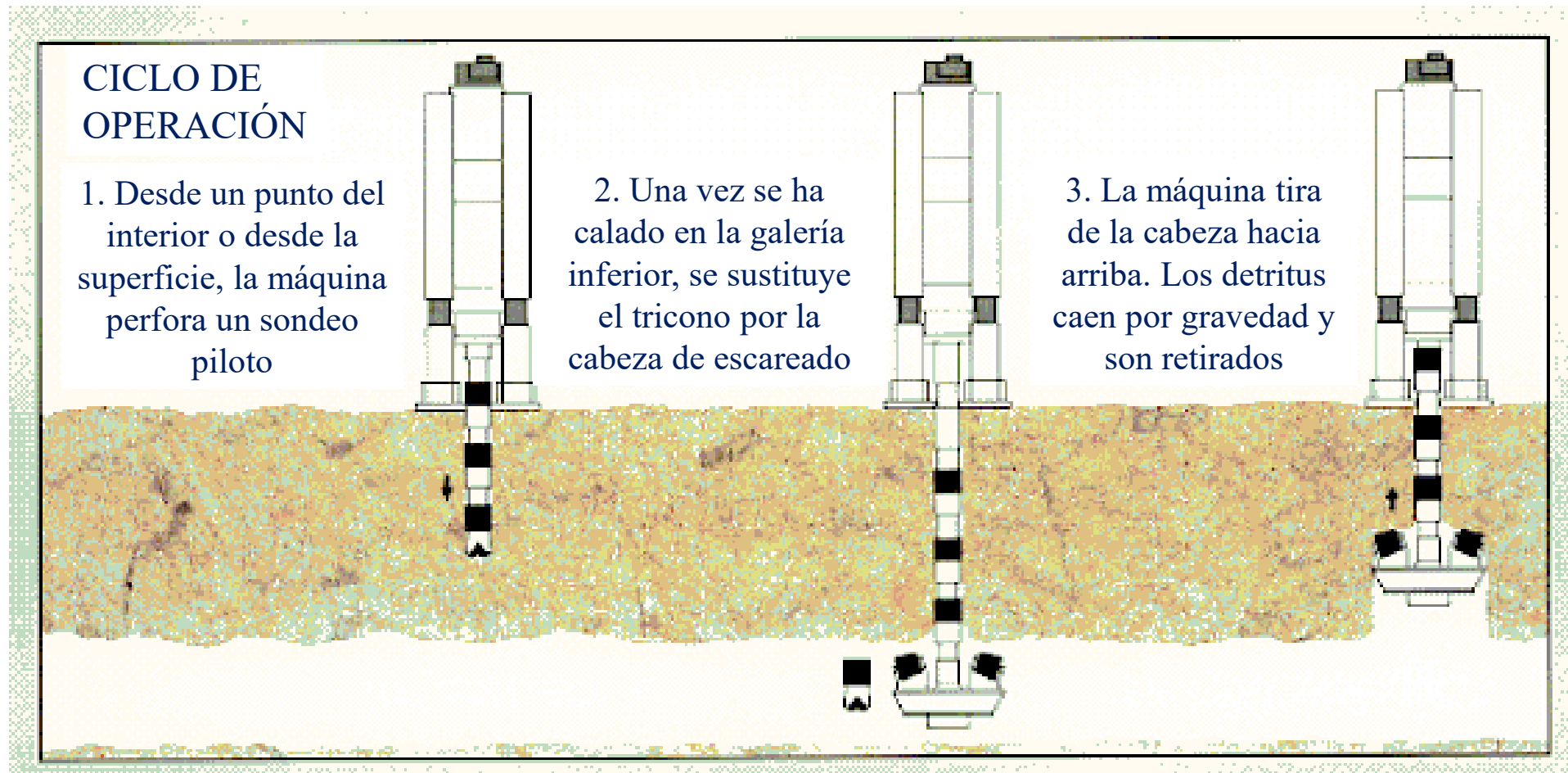
Métodos turbo-rotary y con corona

- 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.



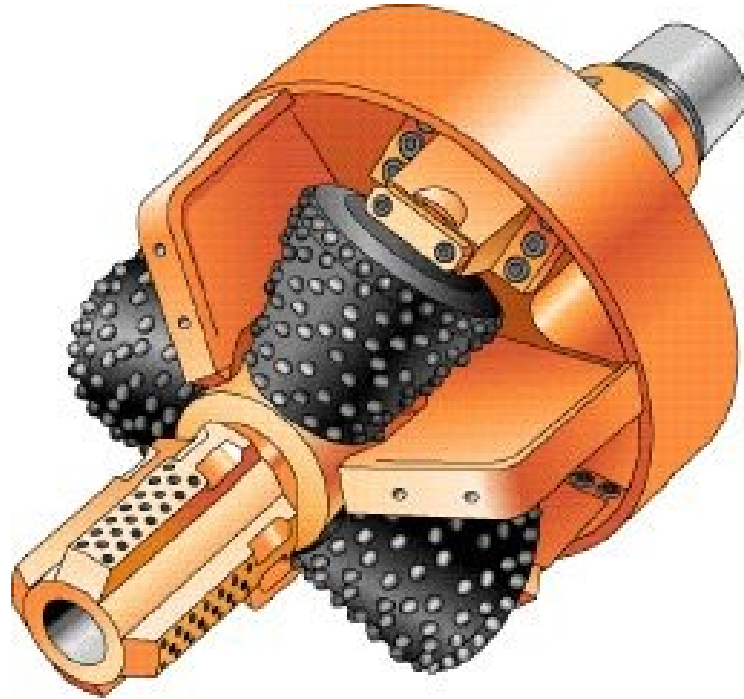


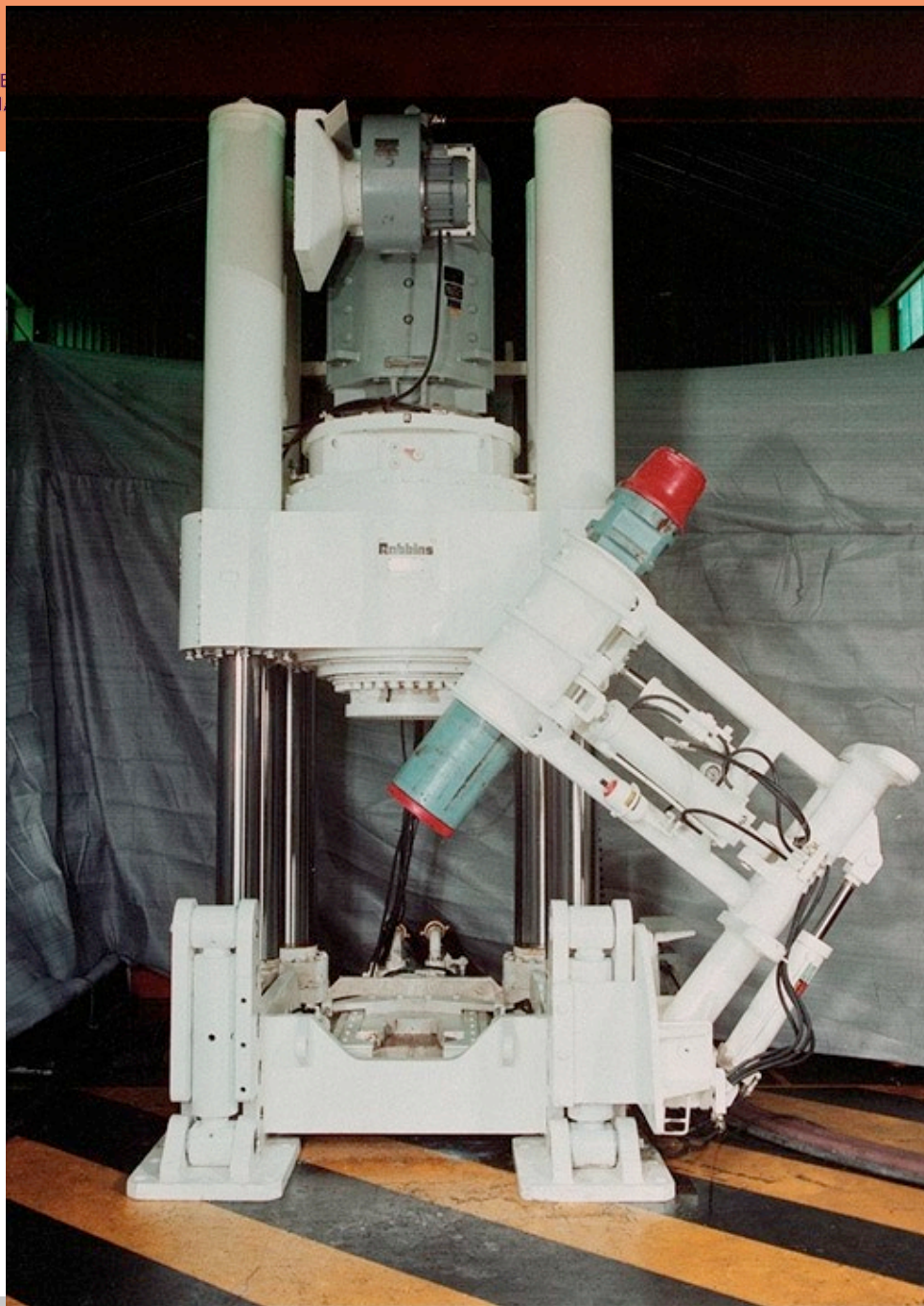
Perforación de chimeneas con Raise Borer



Technology Innovative Lab
Opening minds, creating opportunities







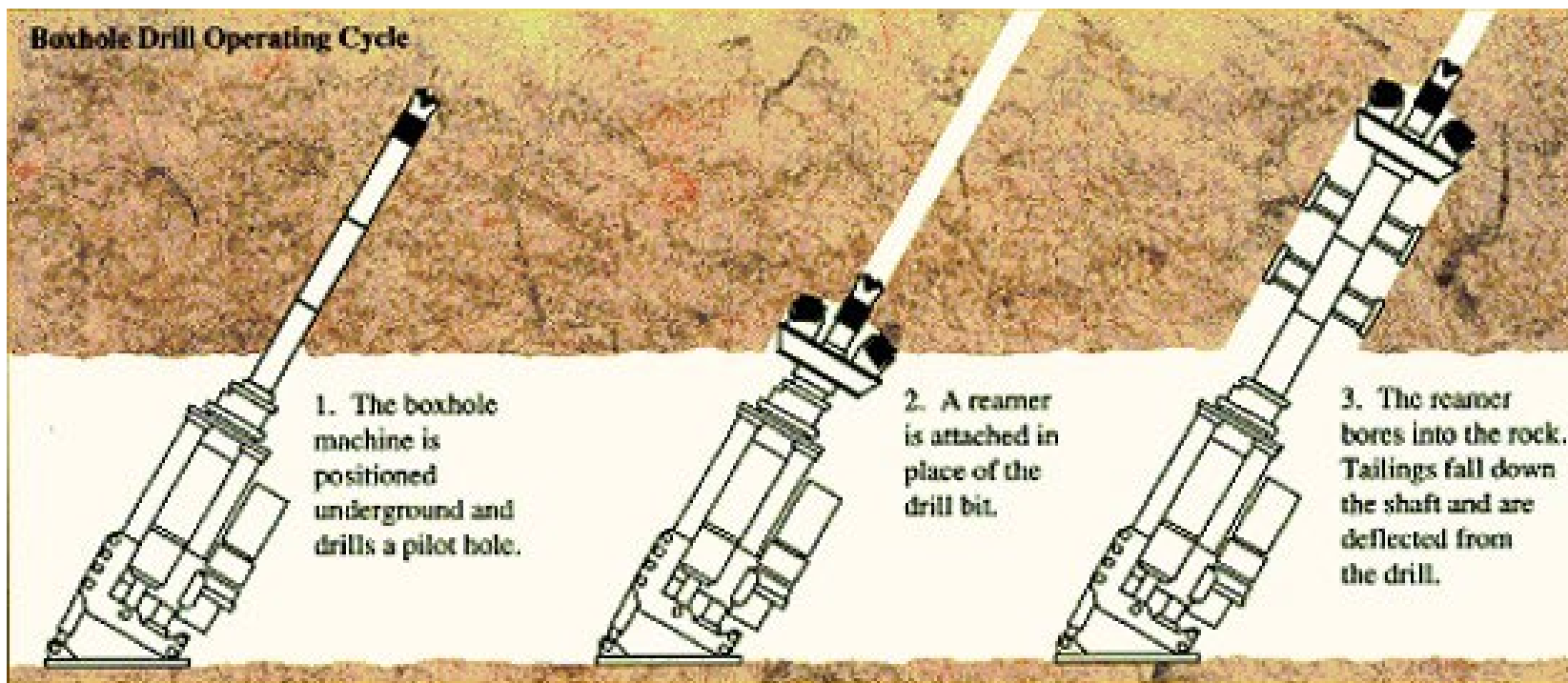






Boxhole Boring Machine (BBM)

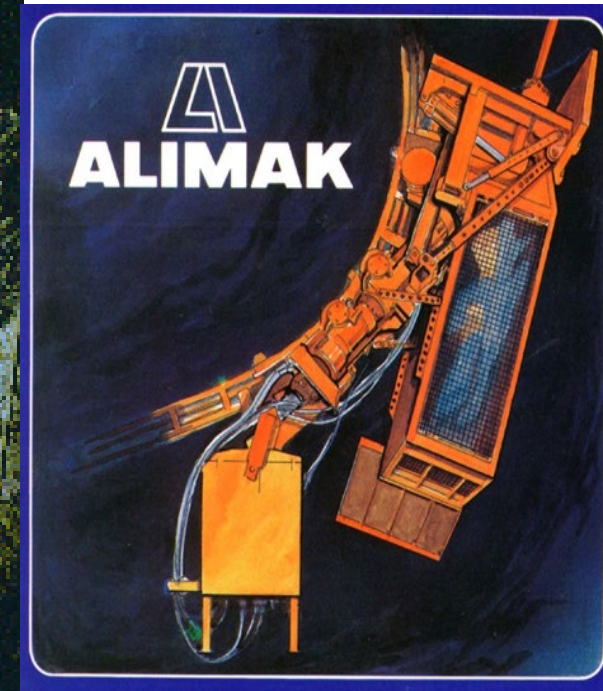


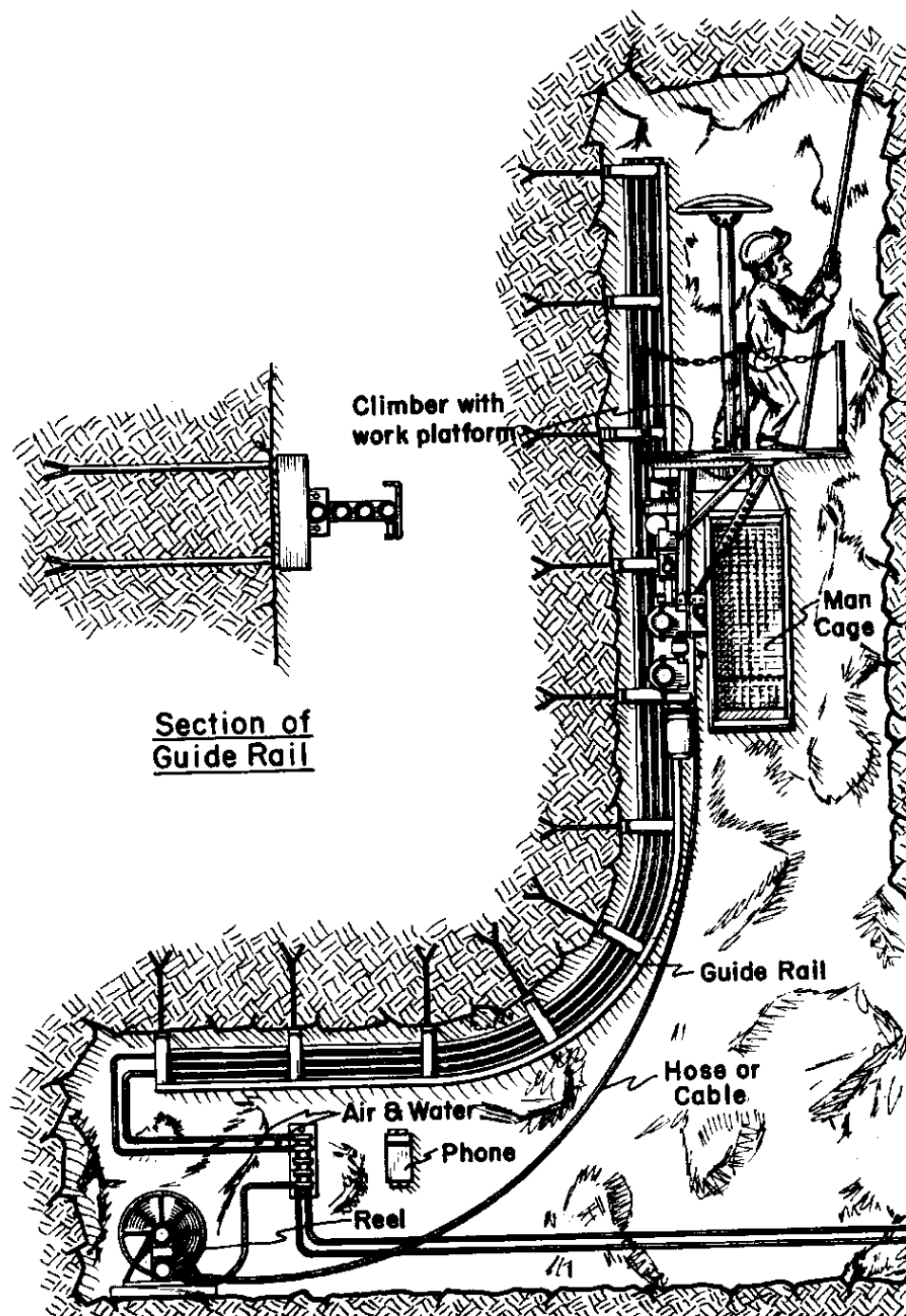


Mancala



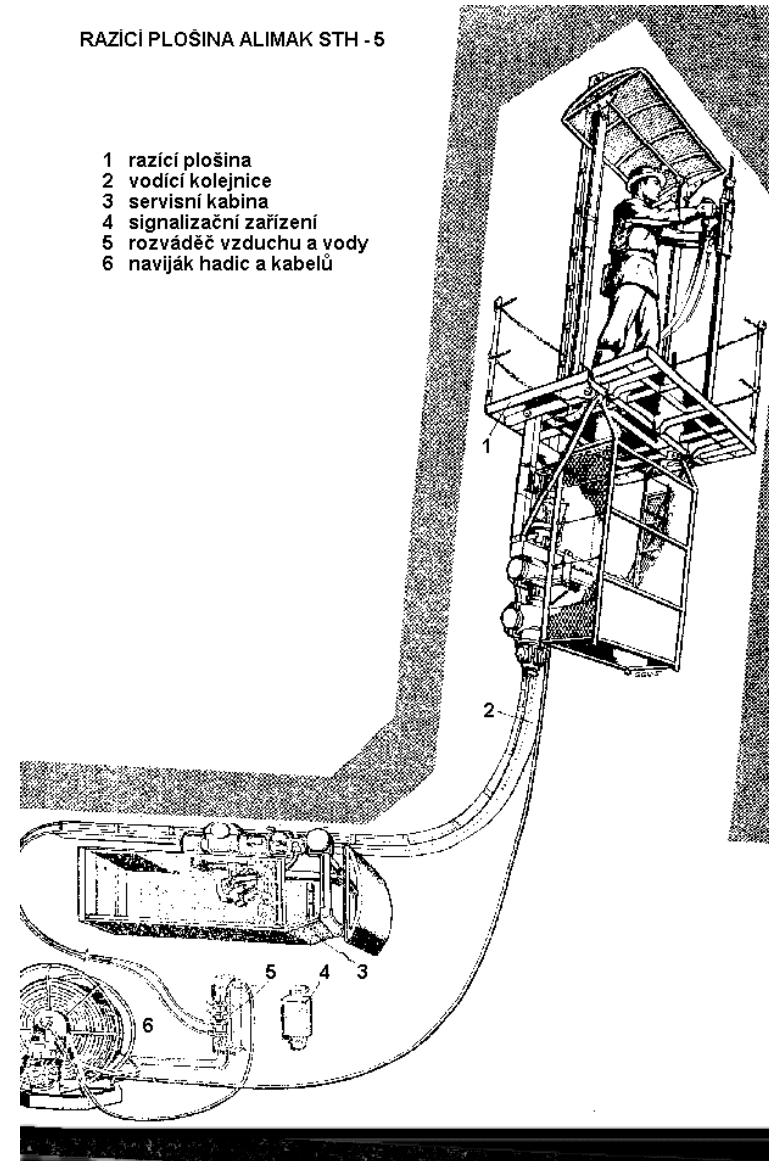
Métodos ALIMAK





RAZÍCI PLOŠINA ALIMAK STH - 5

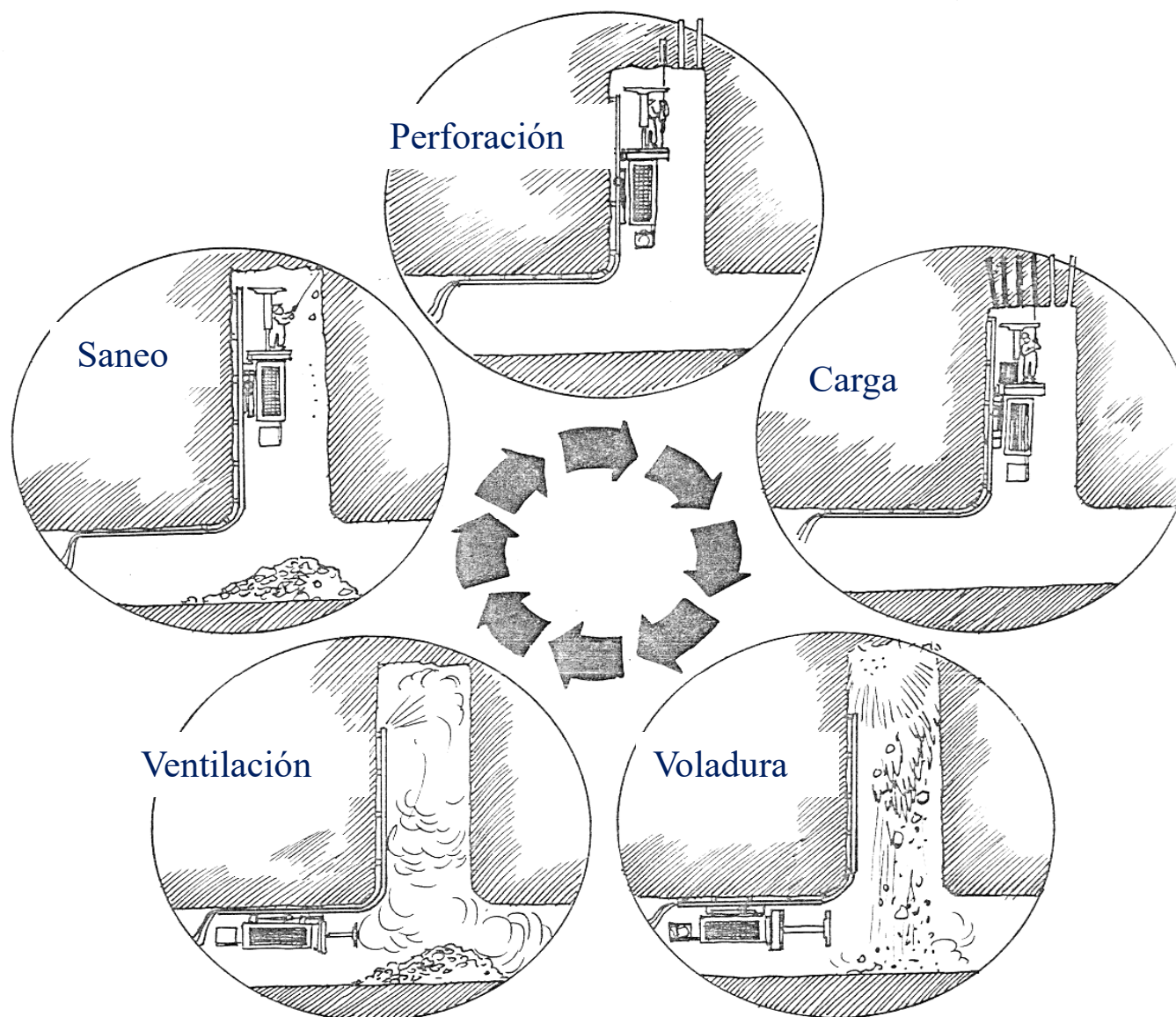
- 1 razící plošina
- 2 vodící kolejnice
- 3 servisní kabina
- 4 signalizační zařízení
- 5 rozváděč vzduchu a vody
- 6 naviják hadic a kabelů

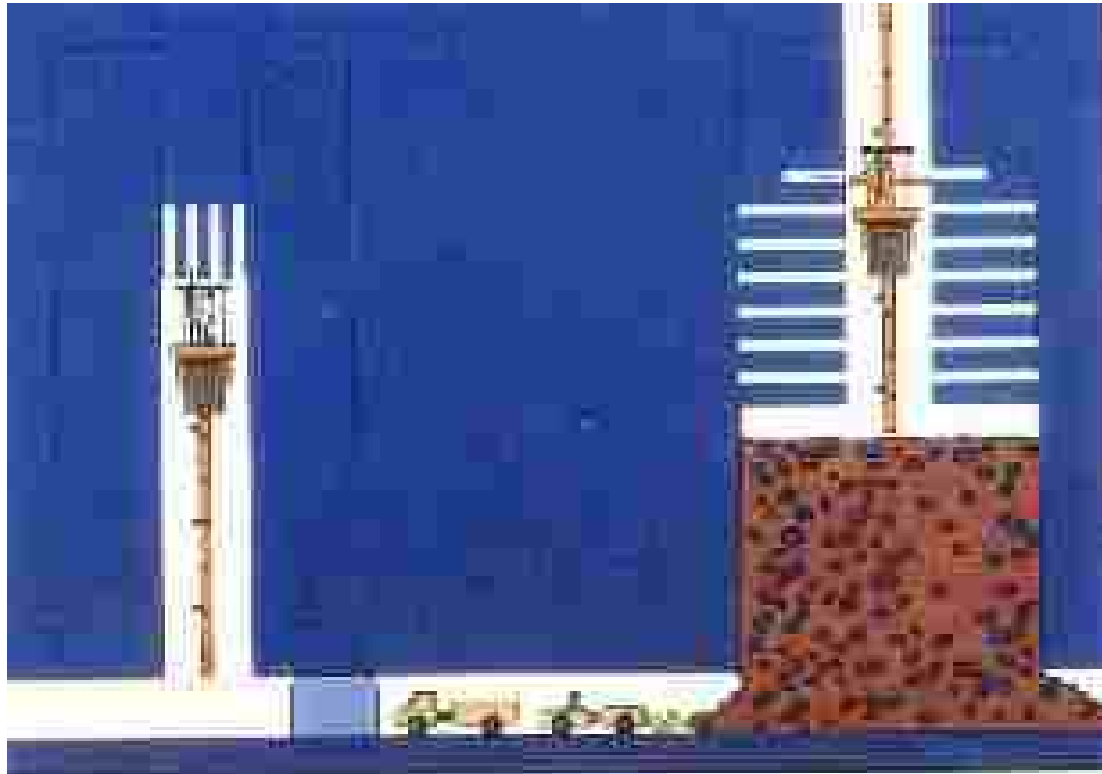


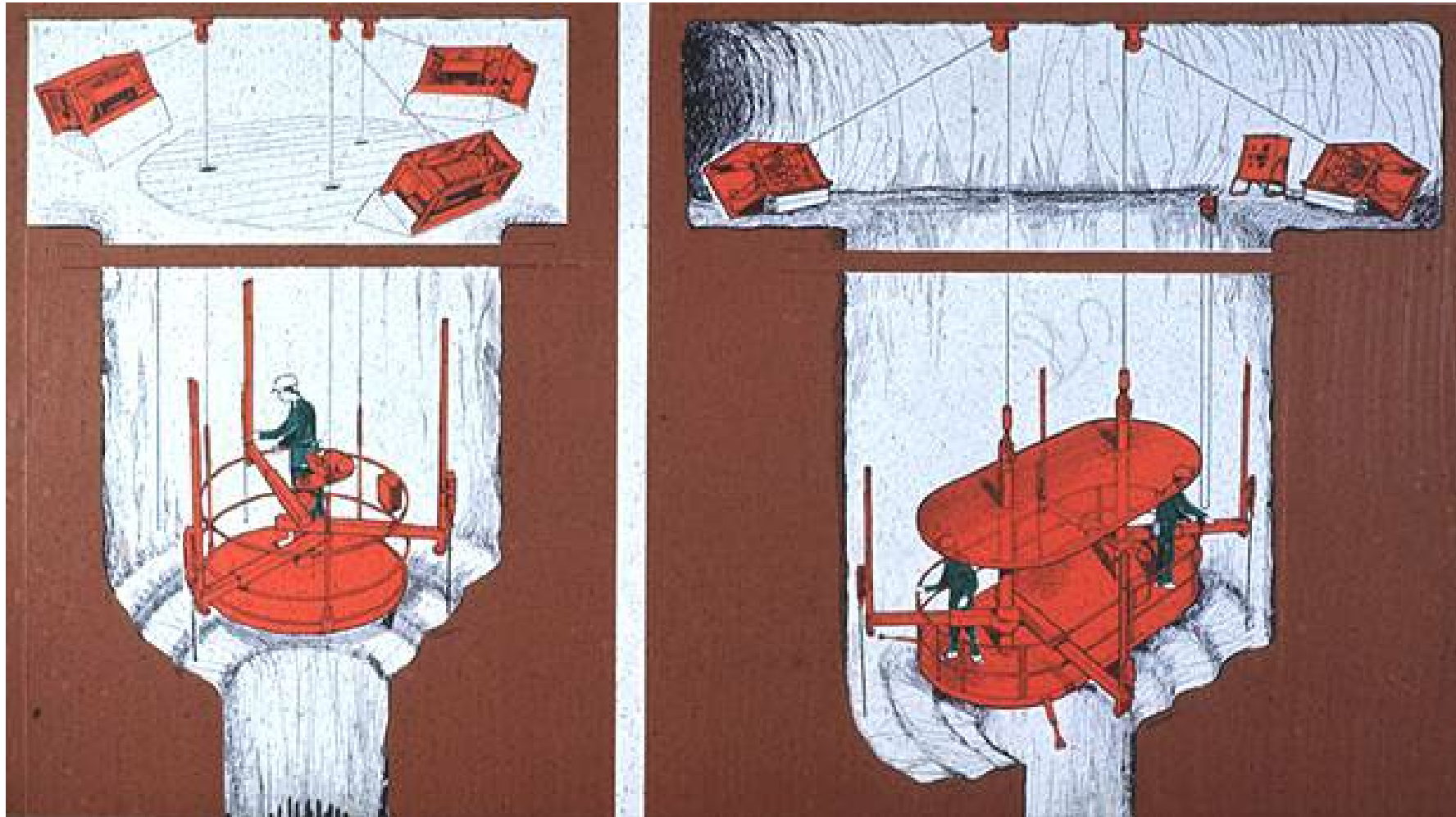


og
min











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