

Juan Herrera Herbert

# Construction of access to an underground mine

Madrid - 2022



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior  
de Ingenieros de Minas y Energía

[www.minasyenergia.upm.es](http://www.minasyenergia.upm.es)



## Construction of access to an underground mine

**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: Shaft Sinking from 2007 to 2020: Mechanical excavation  
CIM Magazine - The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and  
Petroleum (<https://magazine.cim.org/>)

Copyright © 2022. Todos los derechos reservados

DC: <https://oa.upm.es/89335/>  
OAI: [oai:oa.upm.es:89335](https://oa.upm.es/89335/)

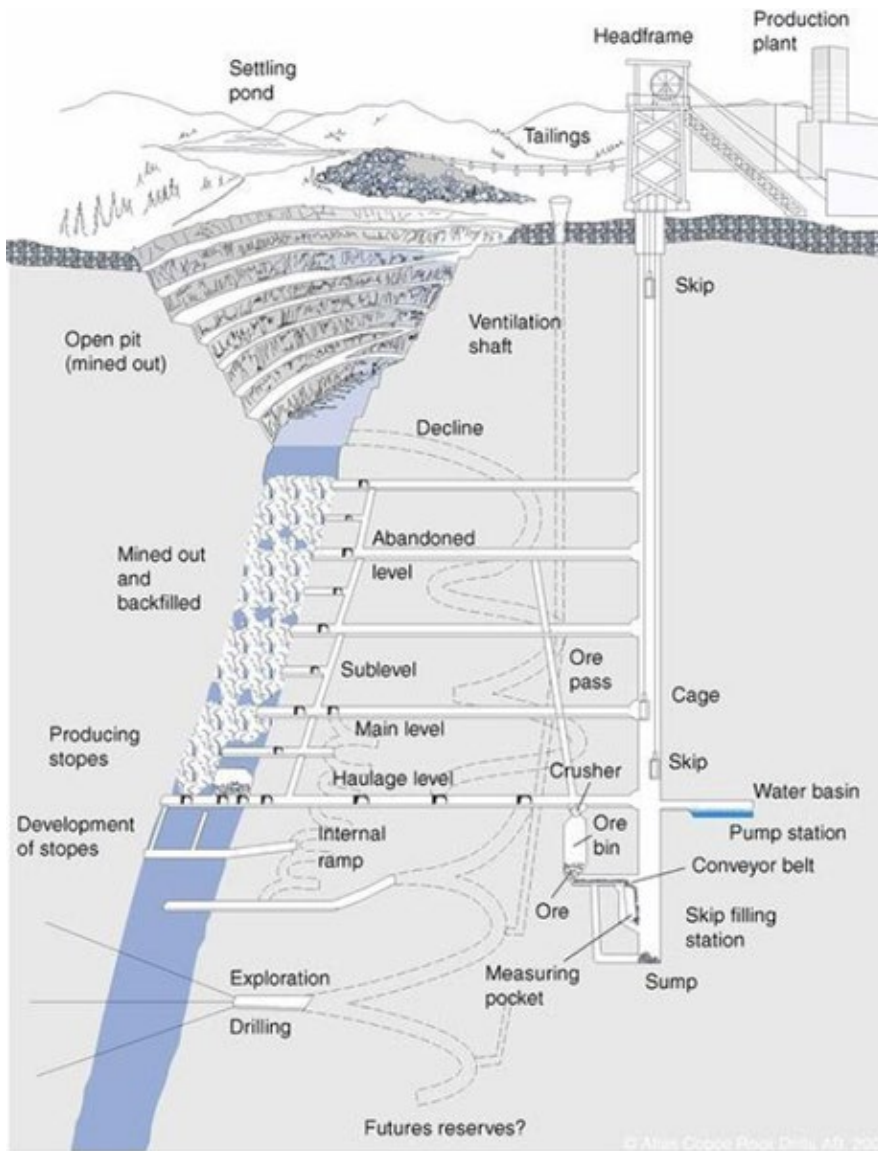


Universidad Politécnica de Madrid  
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera  
Laboratorio de Tecnologías Mineras

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.



## Access and communication with the outside

### ■ Shafts:

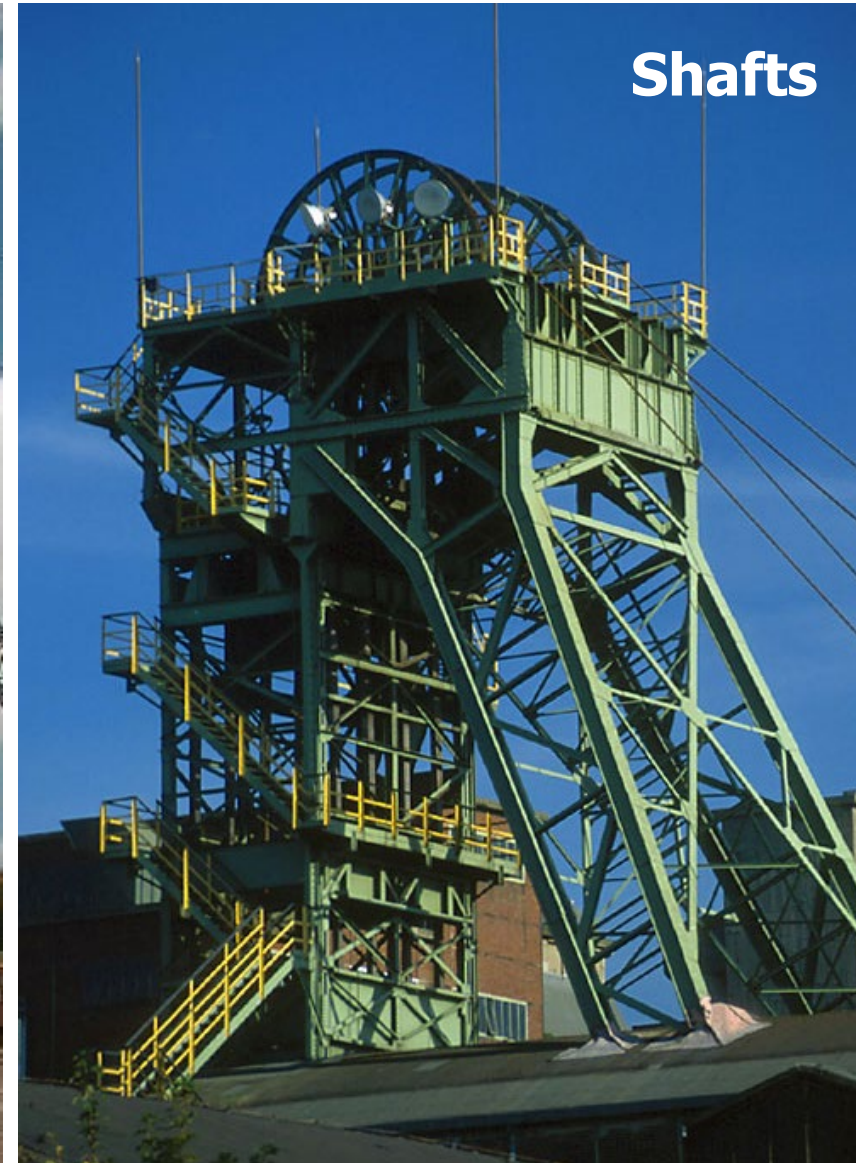
- Vertical access for:
  - Miners (cages).
  - Transportation of materials, waste & ore (skips)
  - Ventilation.
- Section: 5-200 m<sup>2</sup>.
- Depth: > 6 years of production.
- Application: Low resistance rock, depth > 300 m, high production.

### ■ Ramps:

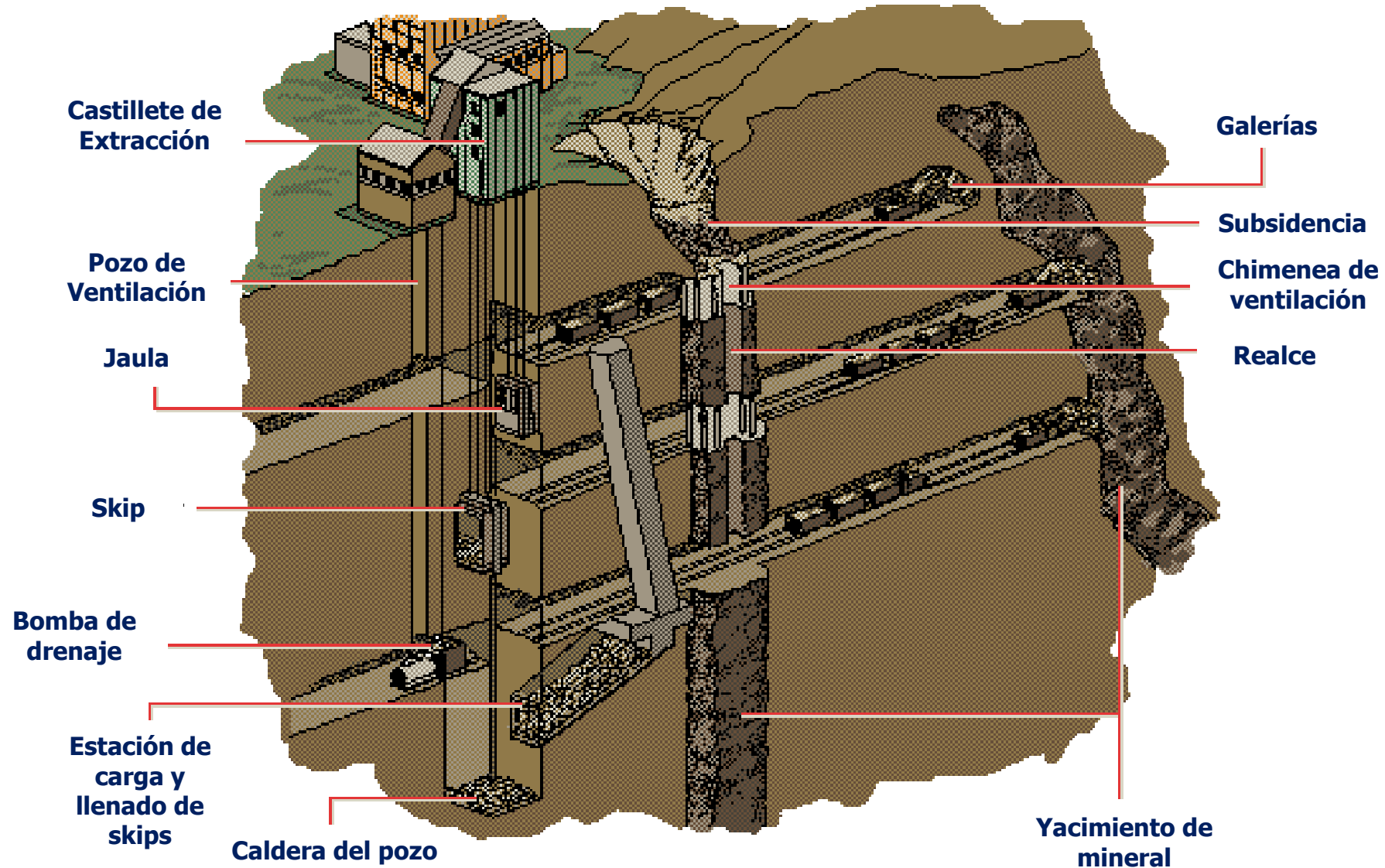
- Inclined accesses for:
  - Miners (cages).
  - Transportation of materials, waste & ore (skips)
  - Ventilation.
- Sections: 5-25 m<sup>2</sup>.
- Slope angle:
  - <20% (equipment on tires).
  - <35% (belt)
- Turning radius: 15-20 m minimum (shovels, trucks, jumbos, etc.).
- Application: good rock, depth < 500m, low/medium production.



- **Horizontal access:**
  - Horizontal access for personnel, ventilation or transport (belt, truck or train)
  - It is designed with a small slope towards the outside to facilitate drainage (0.25 - 0.30%)
- **Chimney or shaft exclusively for ventilation.**













POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID



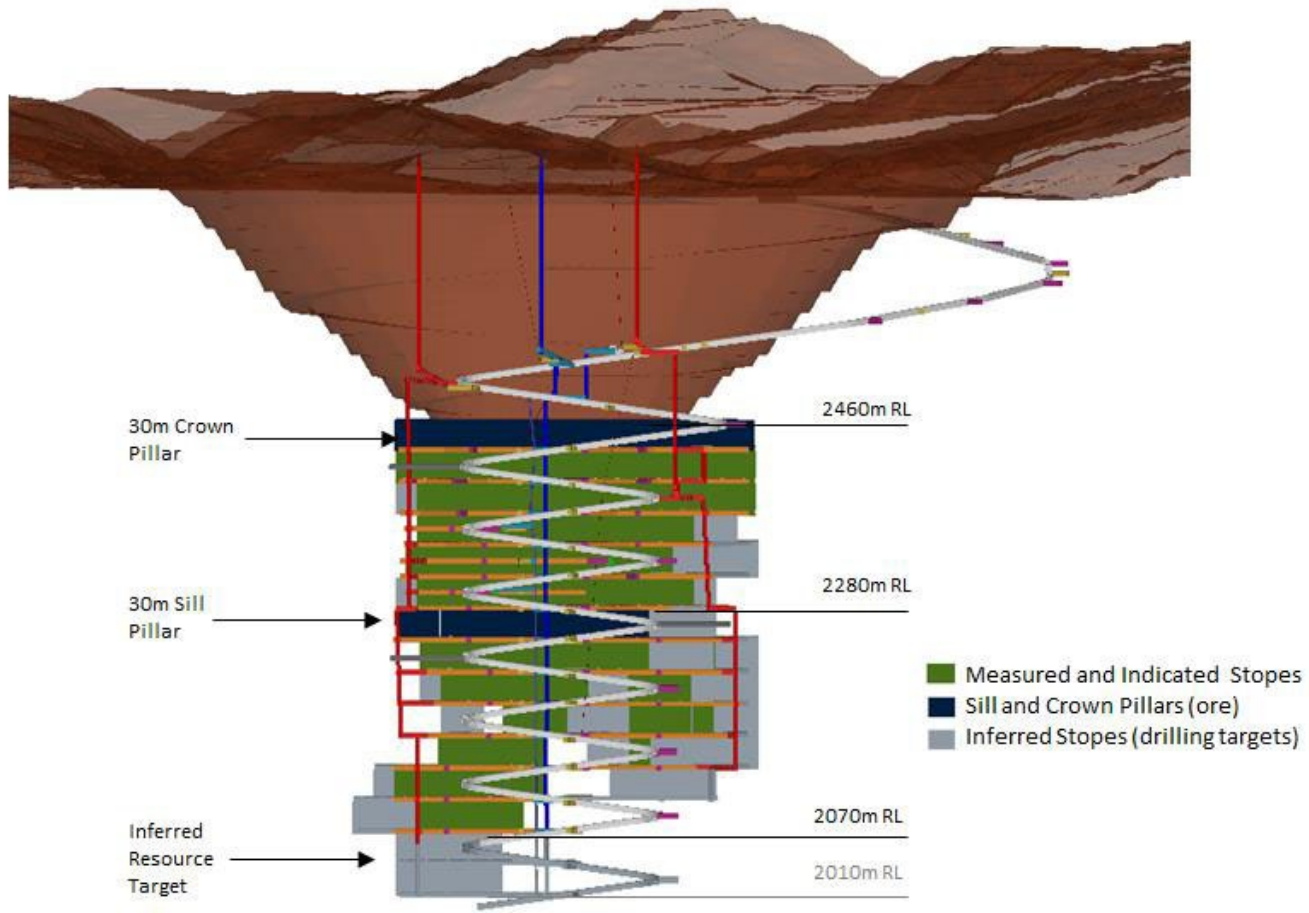
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



# Ramps





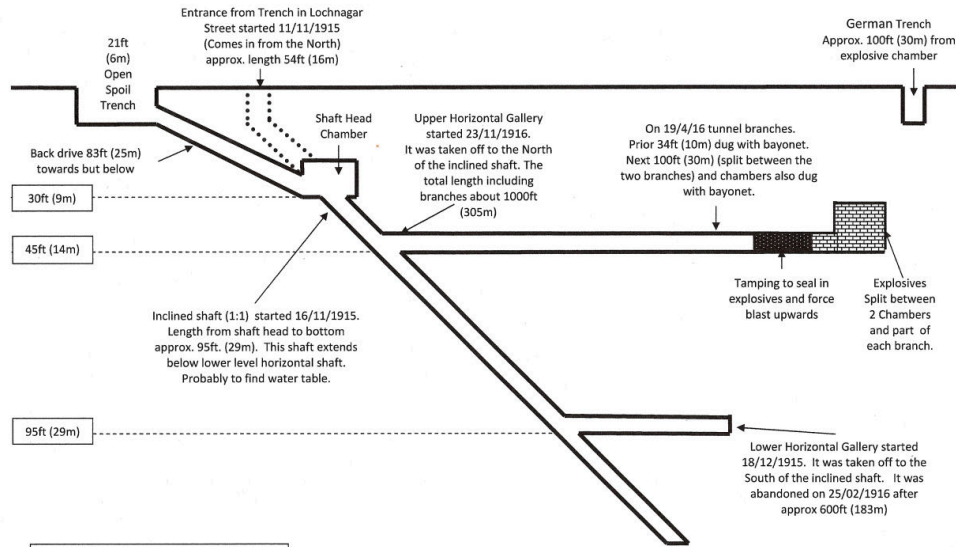




## Horizontal access



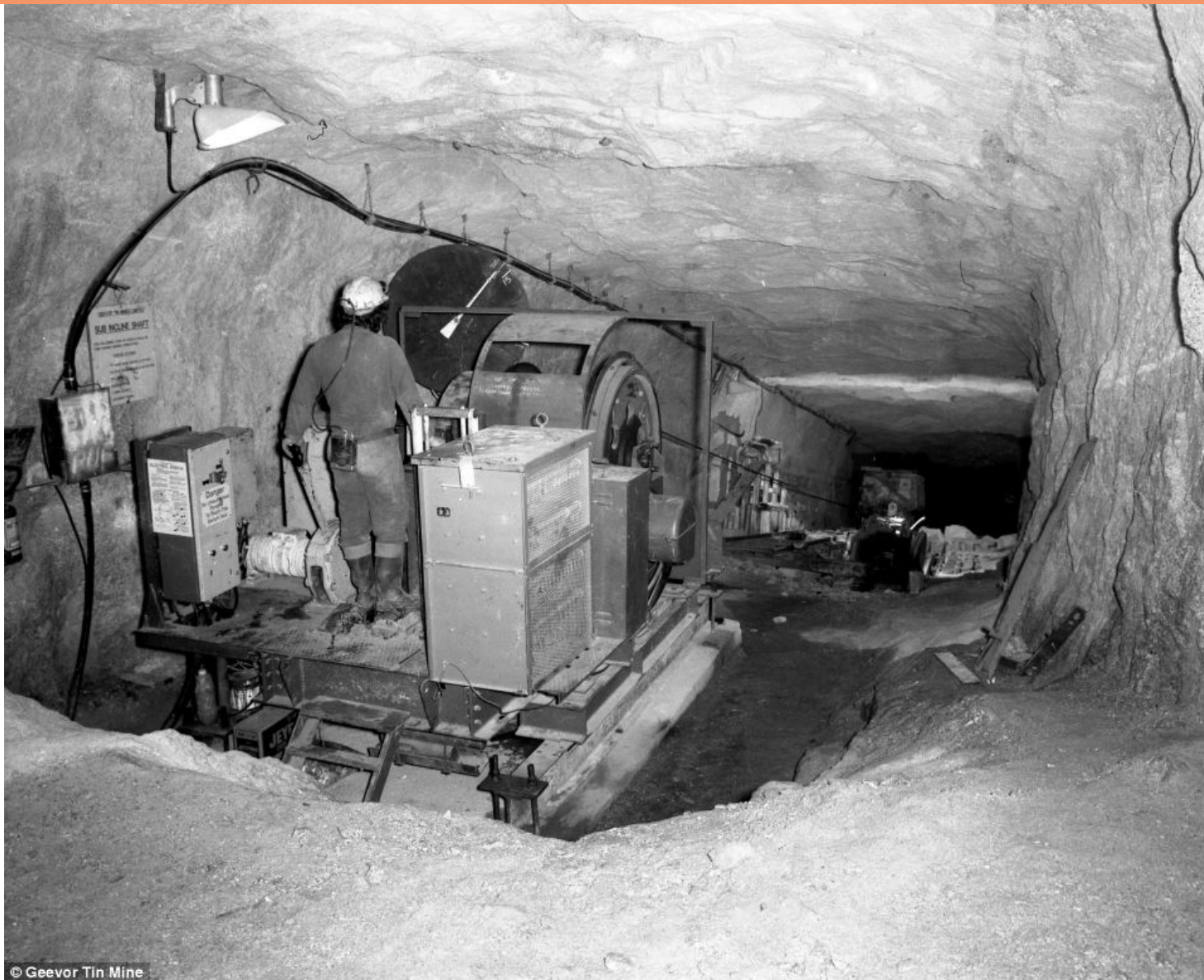




Lochnagar Crater  
Side Elevation Schematic  
NOT TO SCALE

# Inclined shafts





© Geevor Tin Mine



## Access and communication with the production areas

### ■ Level:

- Drift or set of horizontal drifts with direct access from the shaft or entrance ramp to the mine.

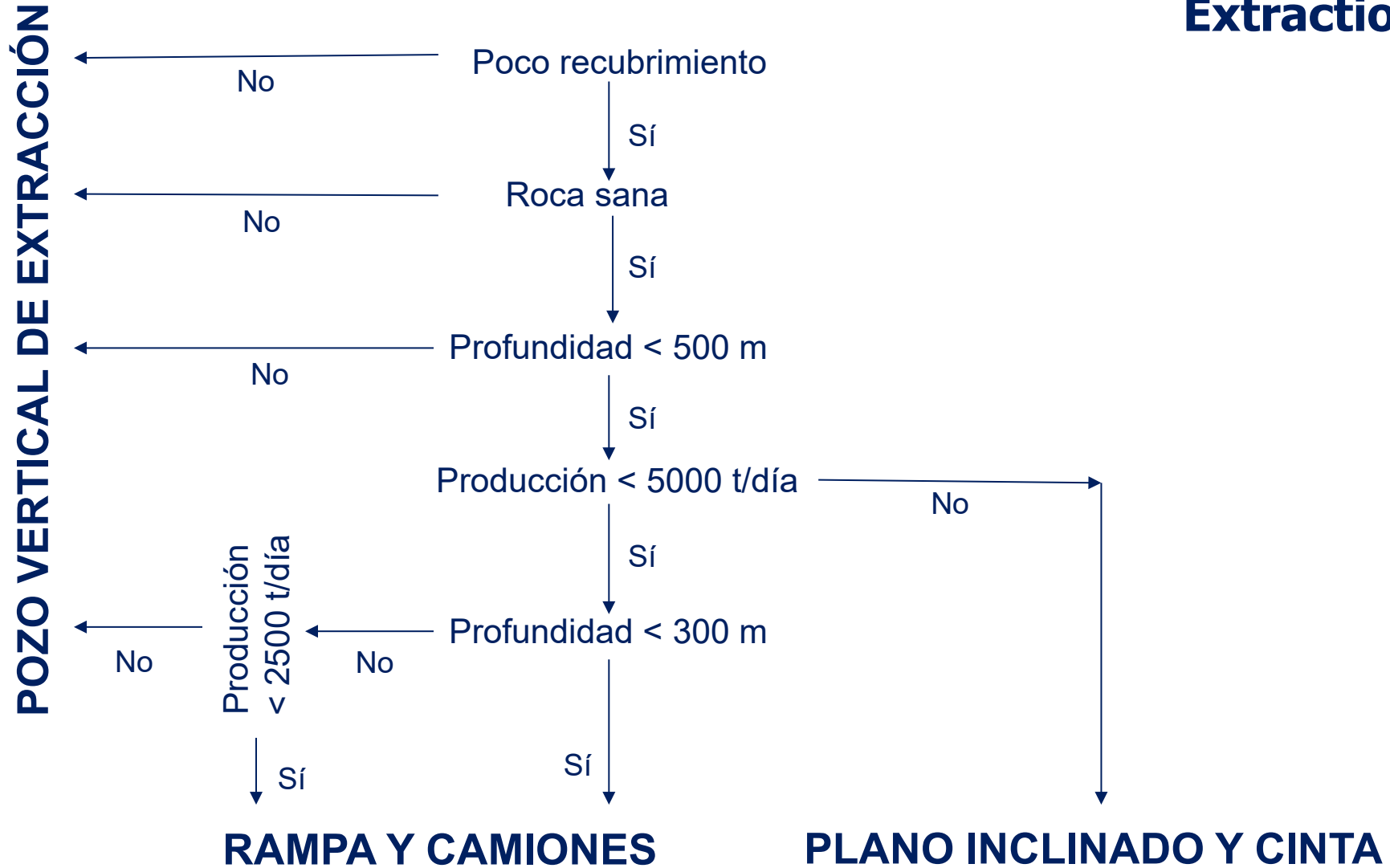
### ■ Sublevel:

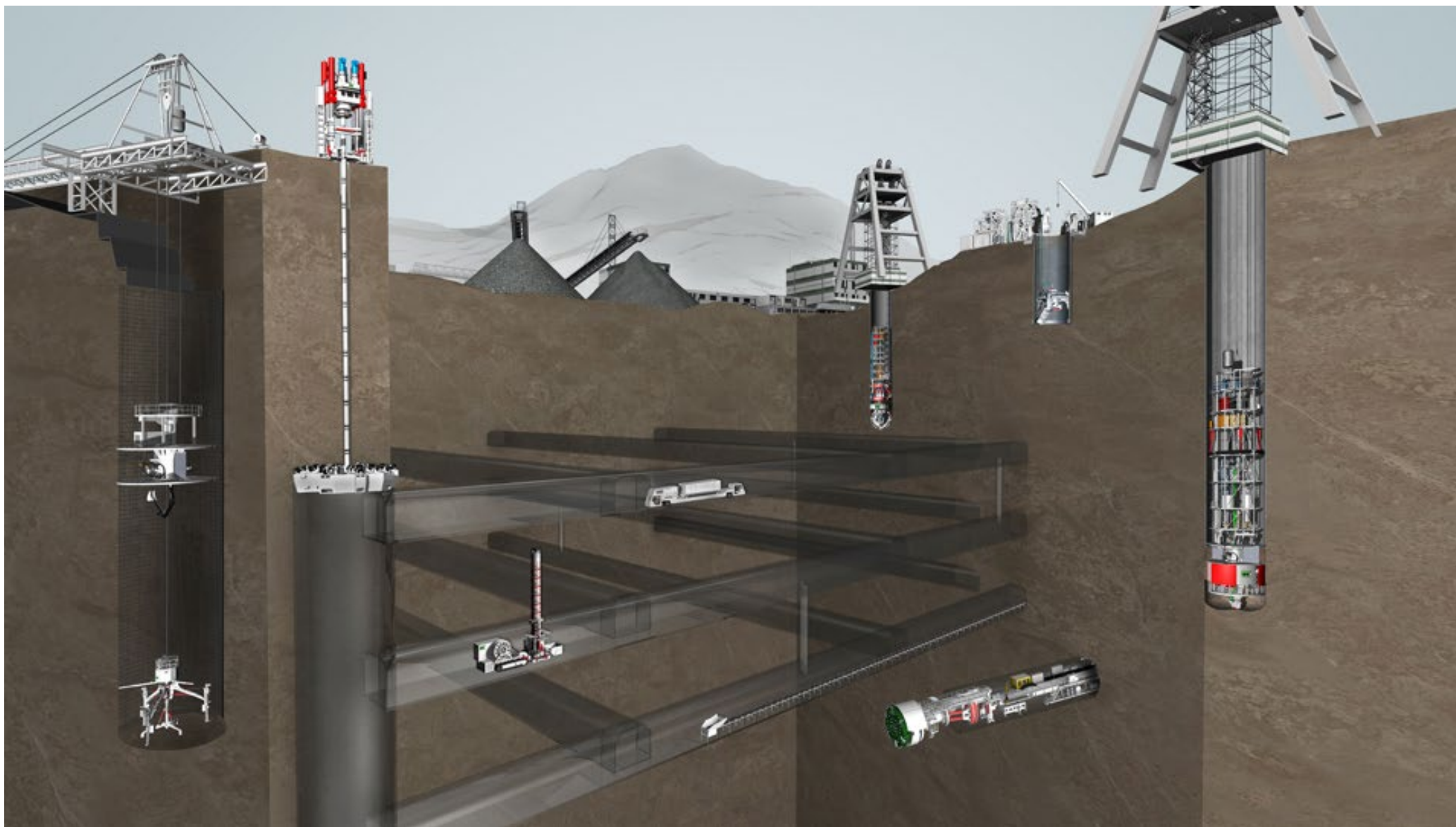
- Drift from which excavation and/or loading tasks are carried out at a certain level.

### ■ Chimney or mineral strainer:

- Vertical or steeply inclined small shaft between two drifts at different levels for personnel access, ventilation or transport of ore or backfilling materials.
- Sections: 4 - 6 m<sup>2</sup>
- Inclination: >55°

## Extraction systems









POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



# Shaft construction

## Shaft location criteria

- It is a fundamental infrastructure element for the development of an underground mine project.
- It requires very strong investments.
- Its design and execution, successful or not, will necessarily condition the entire development of the project.
- It is a decision that depends on:
  - Mining efficiency criteria.
  - Orographic factors.
  - Geological factors.
  - Geotechnical factors.
  - Technical factors.
  - Economic factors.
  - Risks.
  - Others.





POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

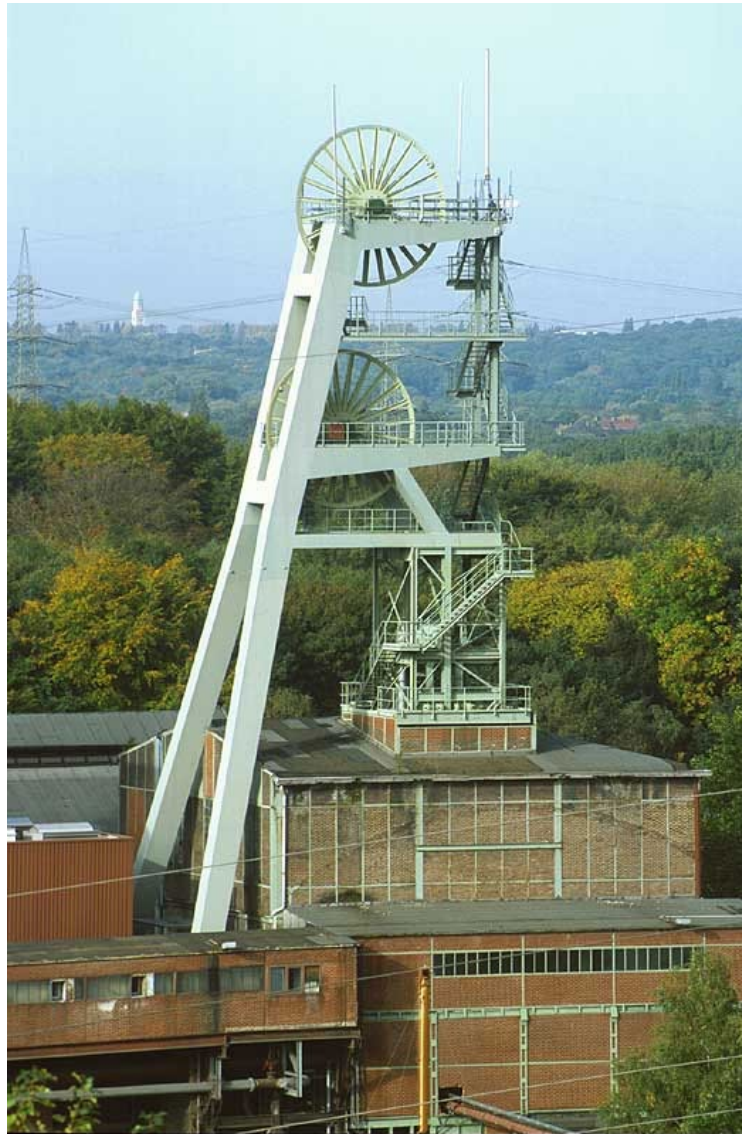
Mining Technology Innovative Lab

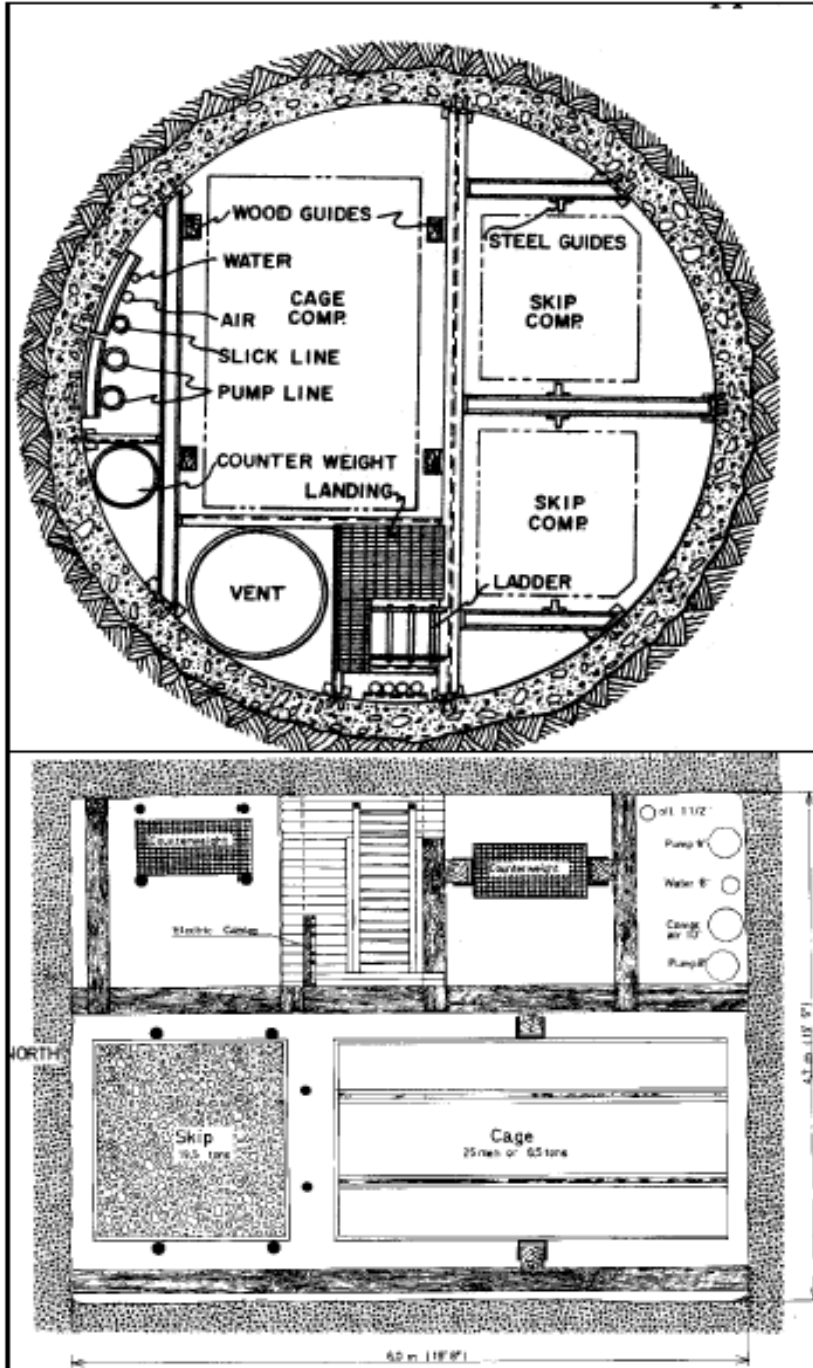
Opening minds, creating opportunities



## Number of shafts

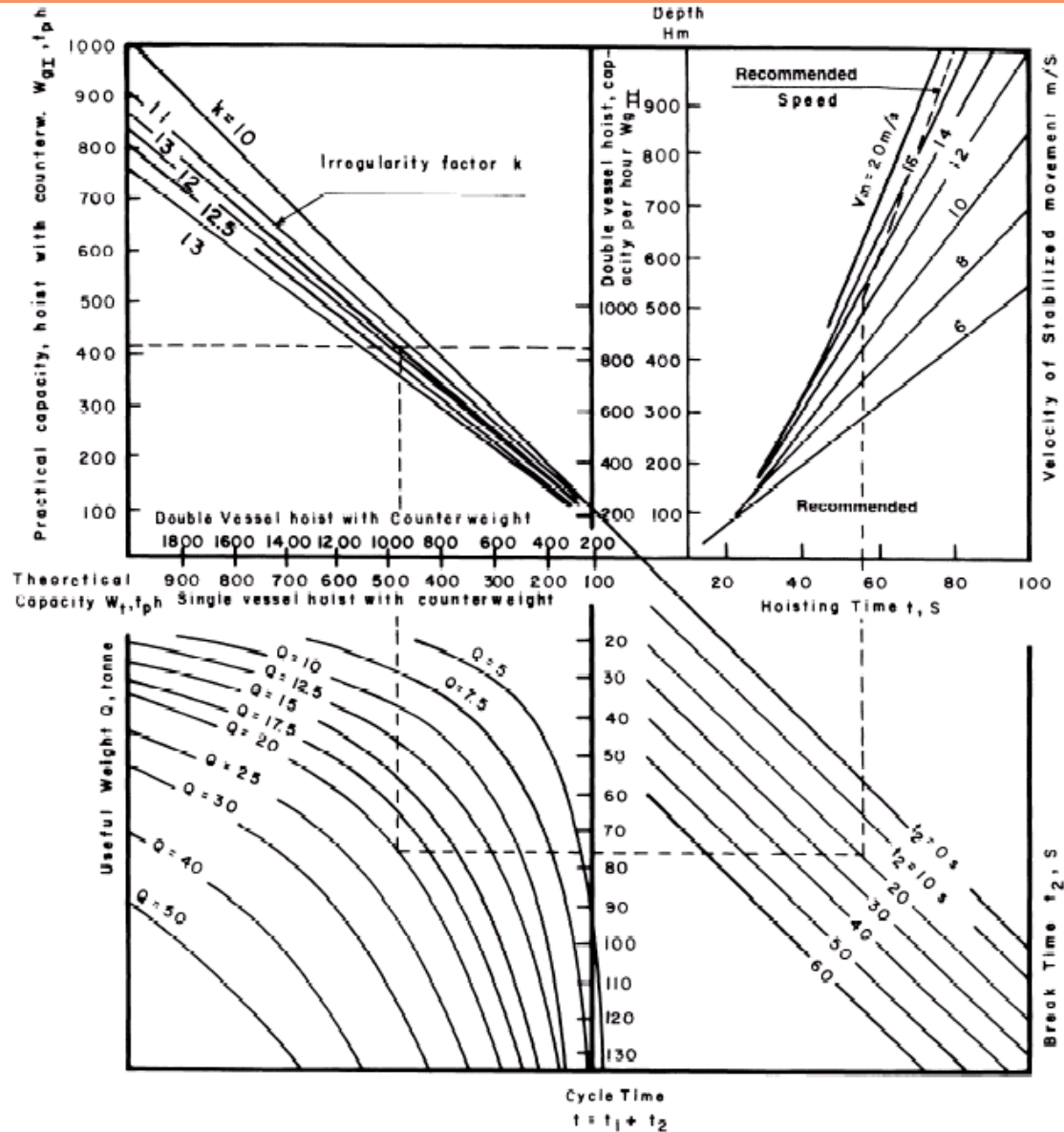
- Every underground mine will always have **at least two shafts**:
  - One for production, mine access and ventilation
  - Another for ventilation return, emergency and exhaust.
- The decision on a larger number of shafts can be adjusted to:
  - 3 Shafts: When the extension does not allow adequate ventilation with only two shafts.
  - 4 Shafts: When production needs double the capacity of a two-shafts mine with half production.



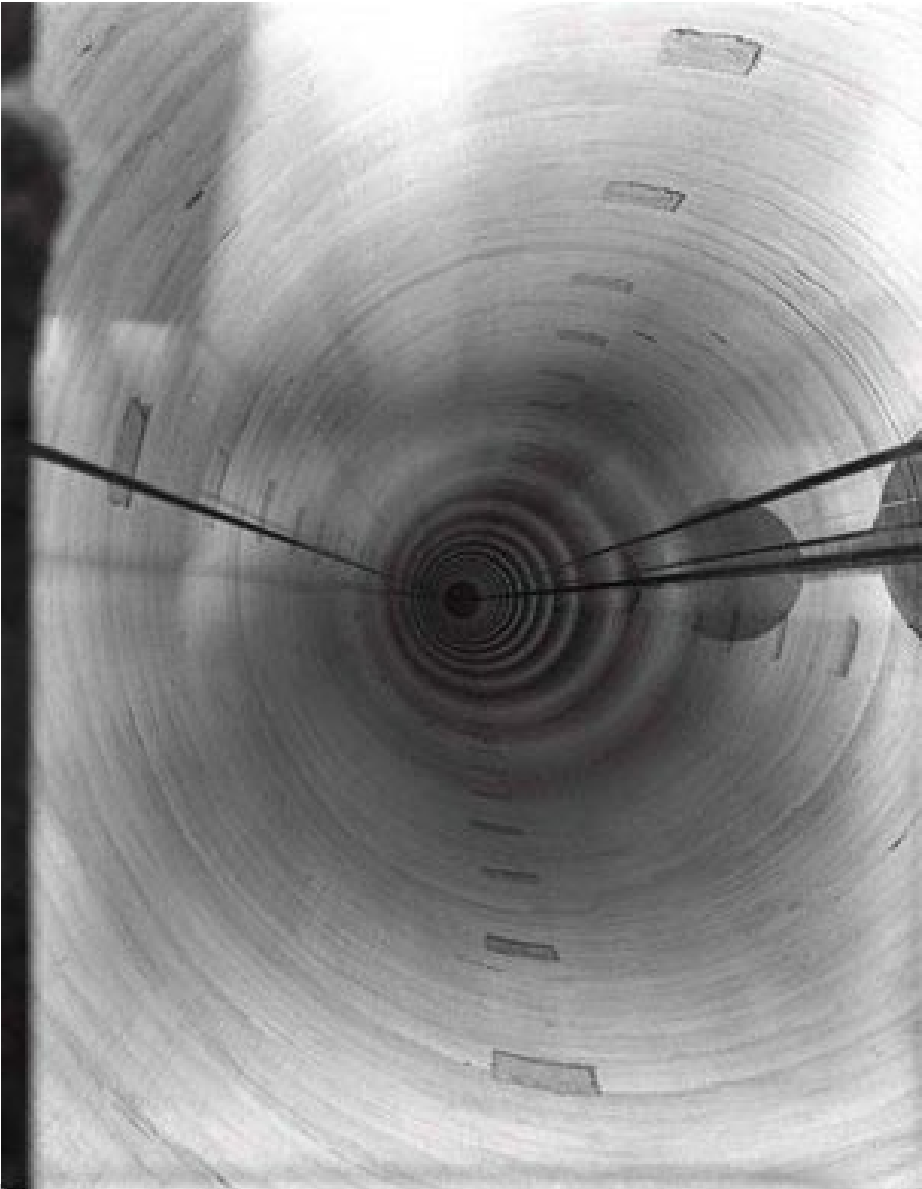


## Shaft diameter

- It is evaluated to allow:
  - The movement of cages and skips.
  - The installation of:
    - Electrical connection wiring.
    - Wiring for signals and instrumentation.
    - Optical fiber.
    - Fresh water pipes.
    - Pumping and drainage pipes.
    - Backfilling pipes.
    - Installation of ladders and emergency stairs.
  - Fuel lines for mobile machinery are usually lowered by means of a borehole drilled for the purpose.



Abacus for the determination of different parameters and the extraction capacity with 1 and 2 skips.

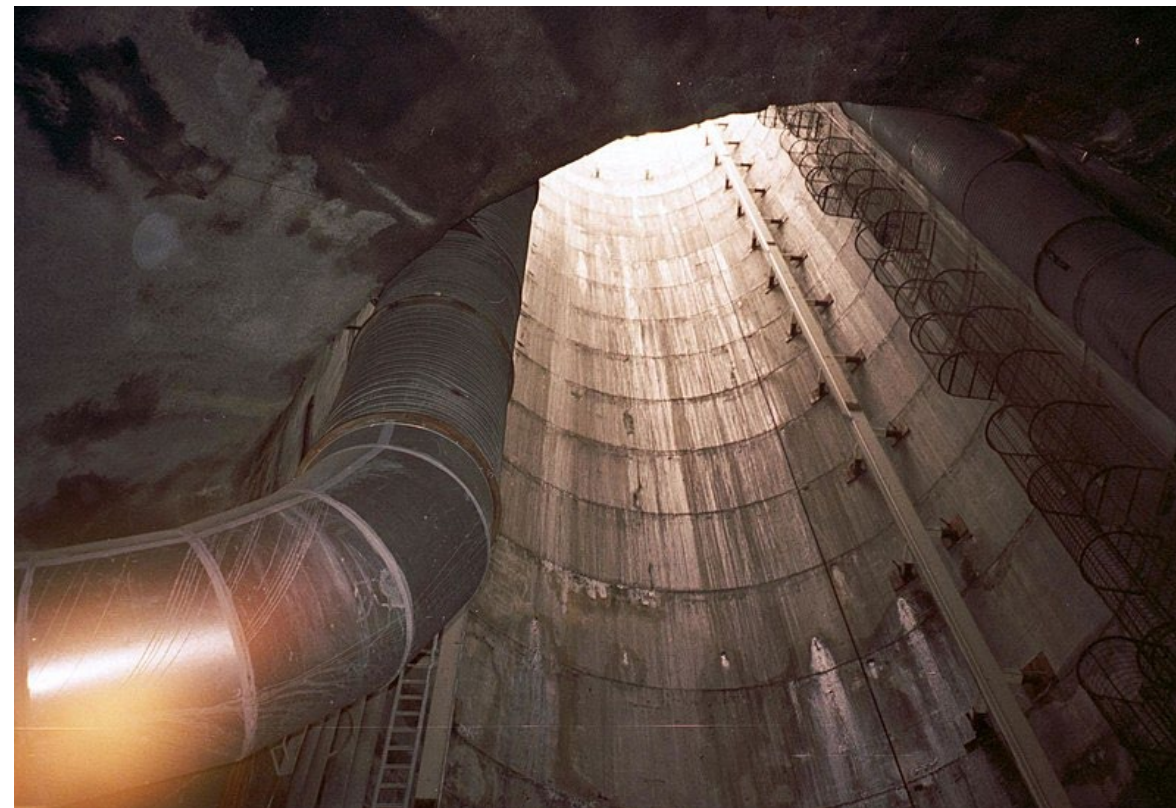


## Shaft casing

- The casing must fulfill a double function:
  - Support of the walls of the shaft.
  - Equipment, cables and structures support.
- In modern shafts, with a circular or elliptical section, the casing is made of reinforced concrete with a minimum thickness of 20 cm.
- In shafts with a rectangular section or excavated in hard rock and built in the past, the use of other materials can be observed.

## Ventilation shafts

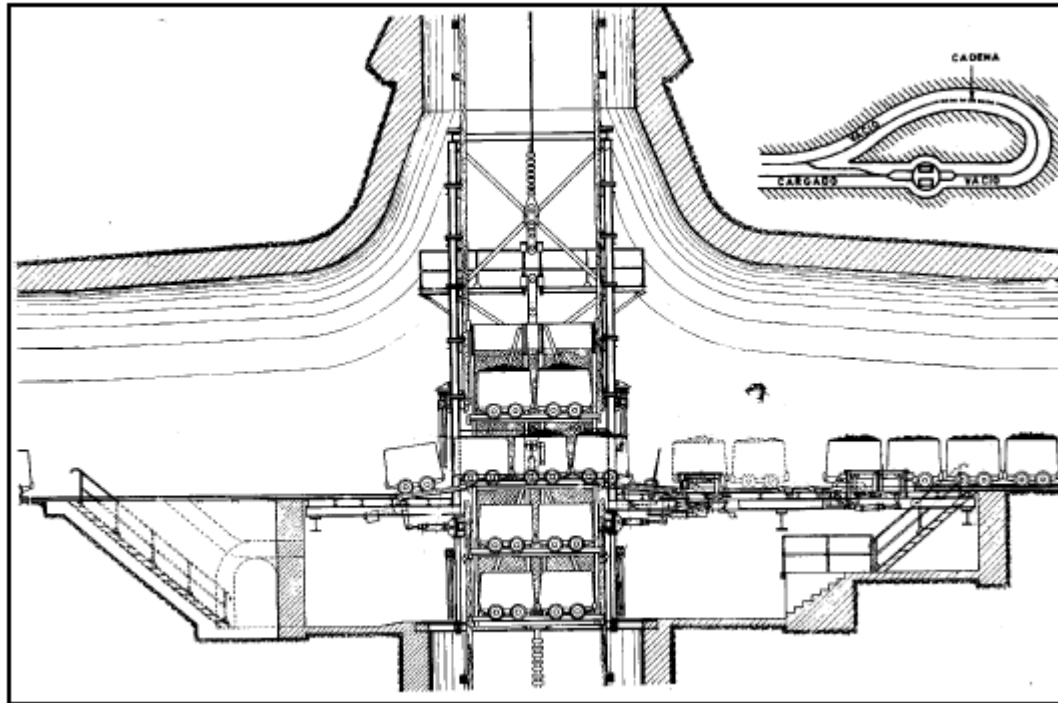
- **Ventilation shafts**, without extraction machine, will be calculated based on the minimum resistance to air circulation.
- These shafts are also often part of the mine's emergency and rescue system.



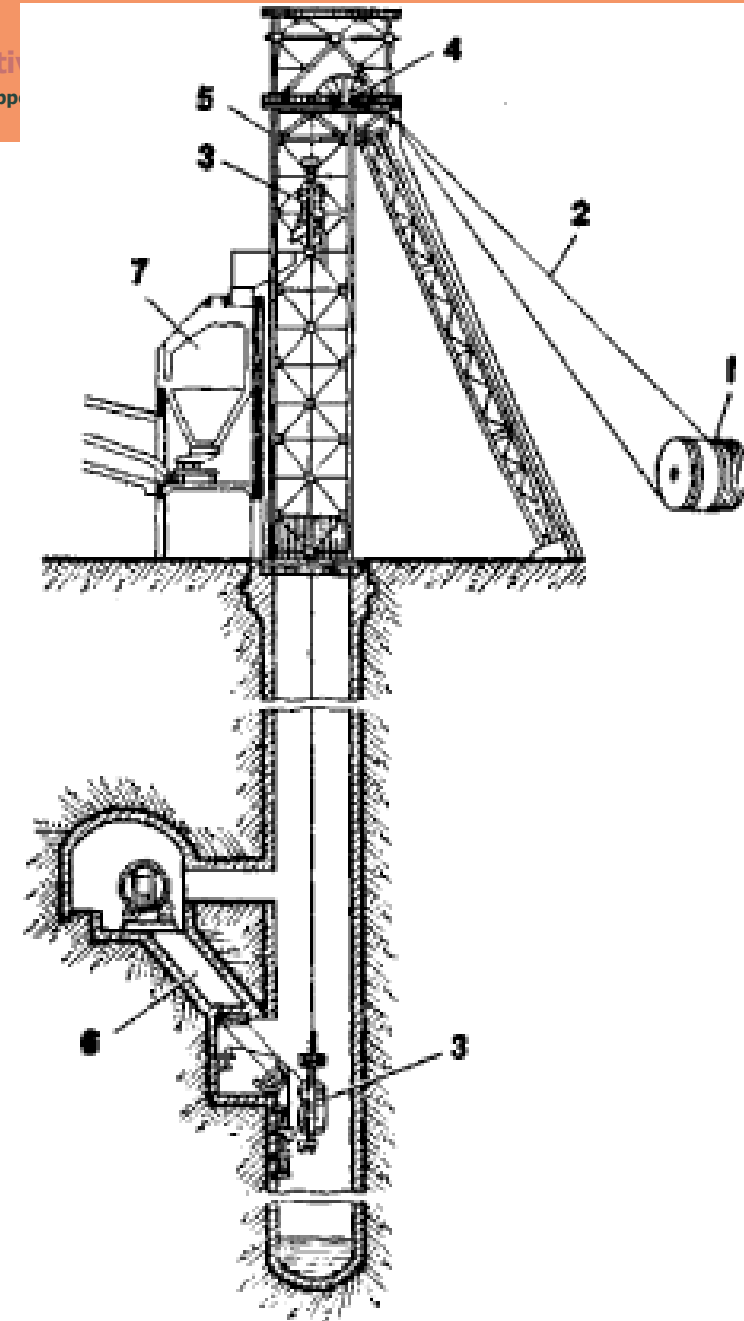
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=93622012>

## Horizontal entrances to the shaft

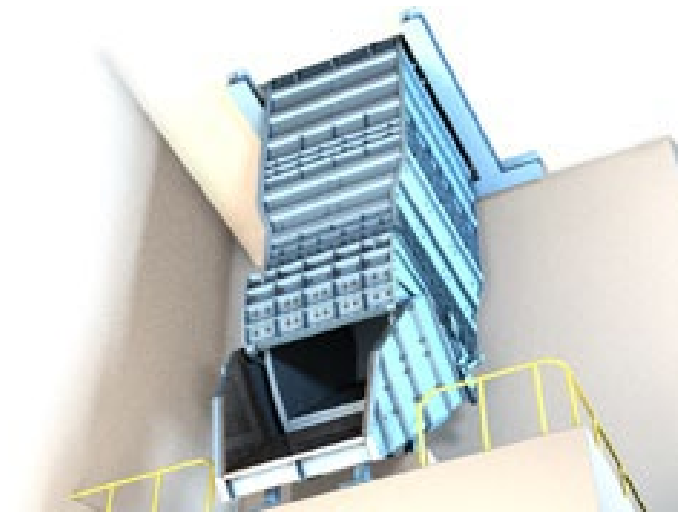
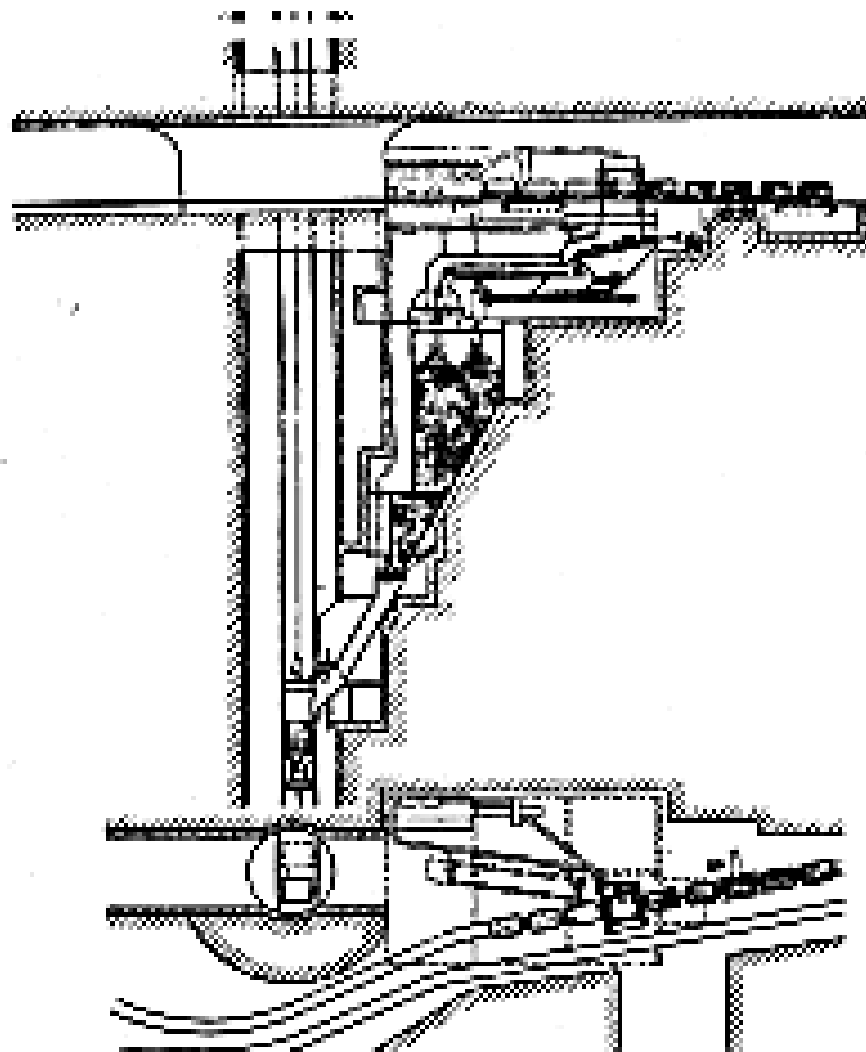
- En pozos de extracción, las dimensiones de las entradas en los niveles se calcularán de acuerdo con:
  - Ancho y el número de skips y jaulas que se elevan a ese nivel,
  - Número de pisos por jaula,
  - Longitud máxima de los equipos y suministros que deban descargarse en el nivel.
  - Sección eficaz suficiente para la ventilación requerida (velocidades de aire recomendadas: 4 m/s para los pozos de producción y de 8 m/s para los pozos de ventilación)
  - Espacio para los empujadores, giro y volteo de plataformas y vagonetas, galerías para entrada y salida simultánea de personal de las jaulas multipiso, nichos para equipos de control, by pass alrededor del pozo, etc.
  - Altura para admisión de la máxima longitud de los objetos transportados.

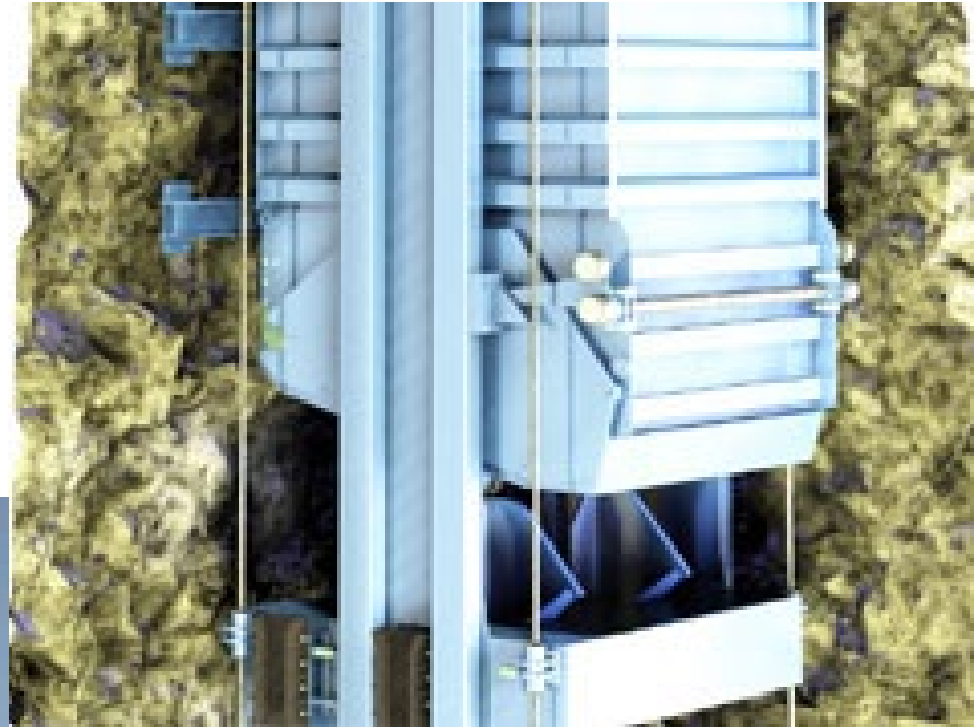
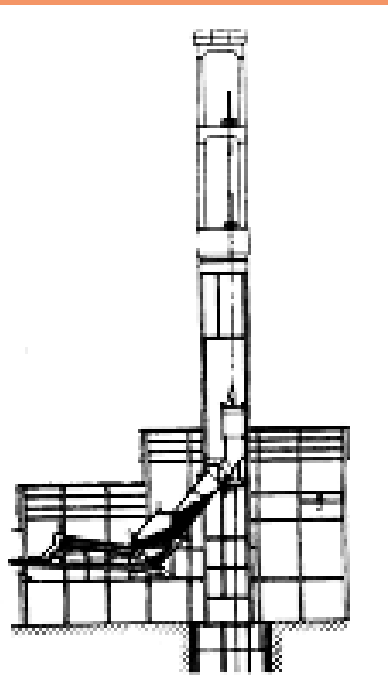


- Diagram of a mine hoist:
  - (1) hoisting machine,
  - (2) hoist cables,
  - (3) skips,
  - (4) sheaves,
  - (5) headframe,
  - (6) loading chute,
  - (7) bin



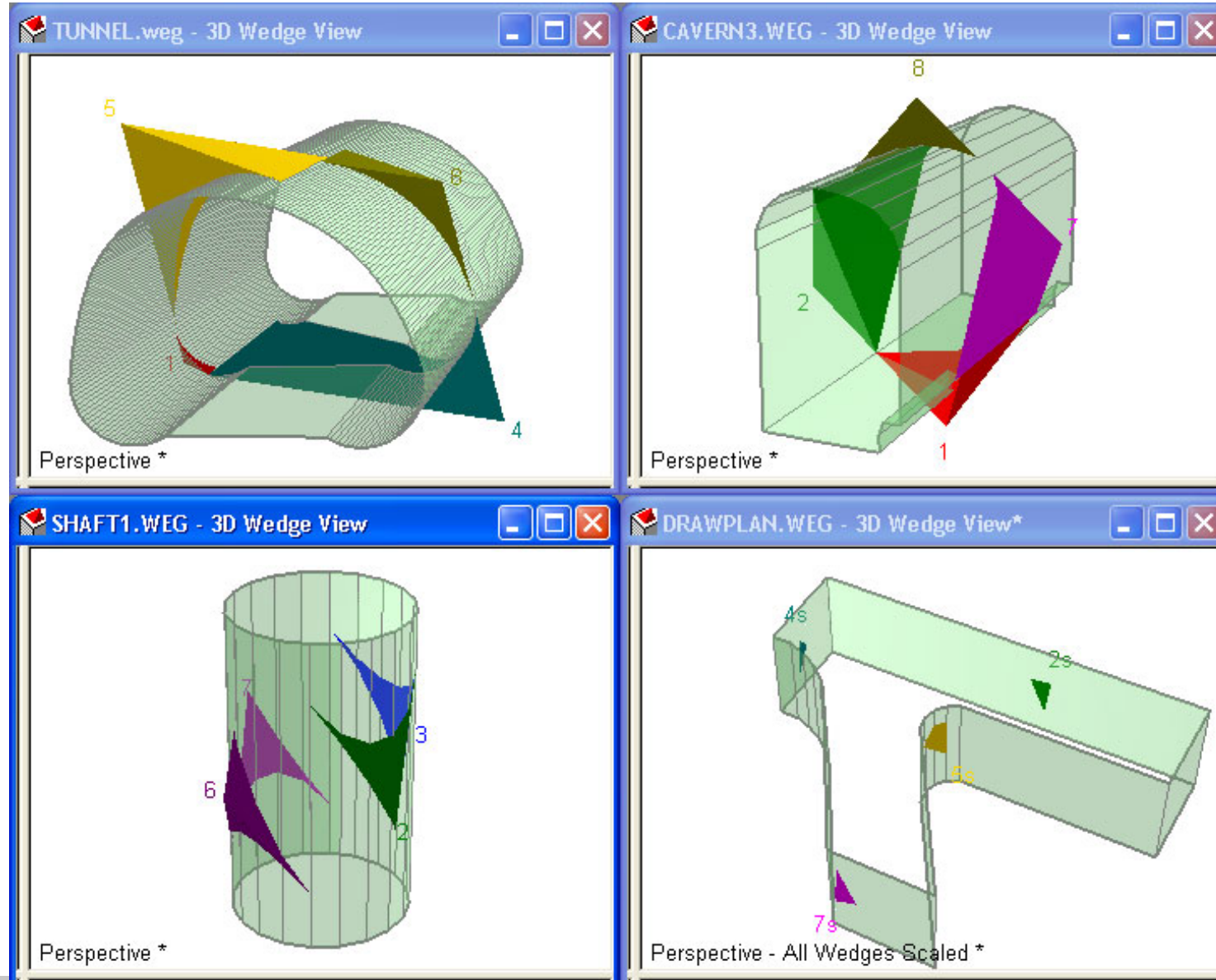
## Entradas horizontales al pozo





## Vertical conveyor belt facility





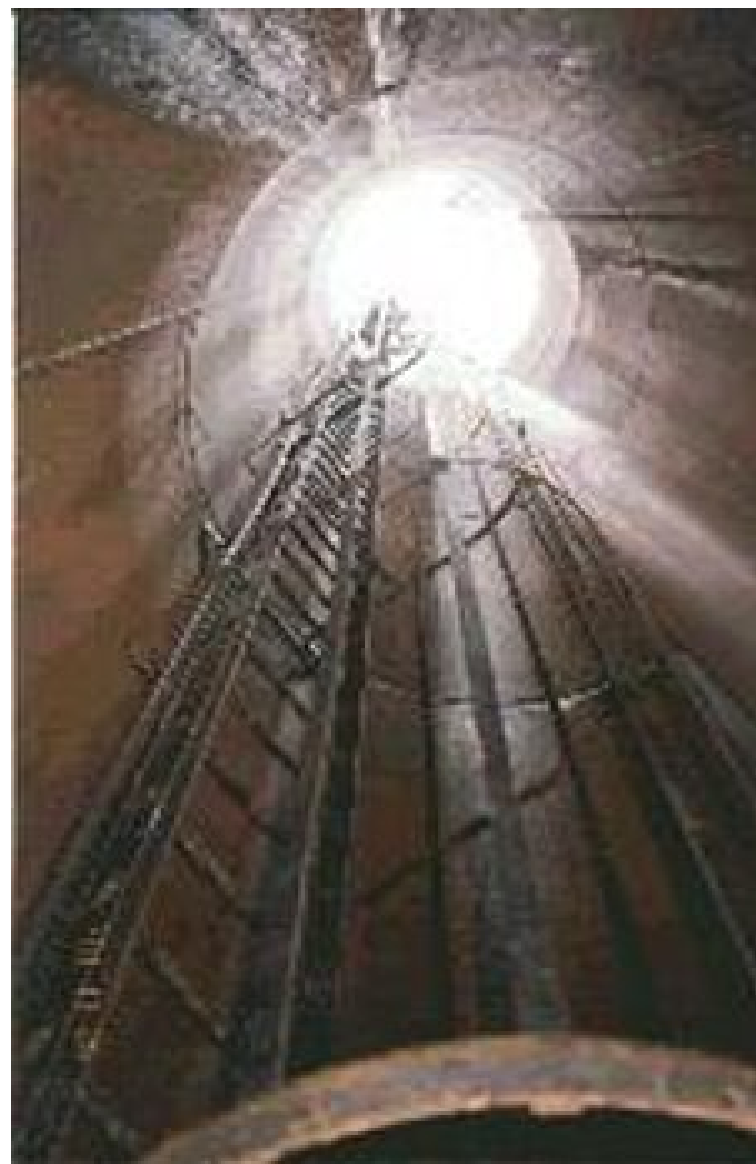


## Construcción de un pozo

- De todas las aperturas realizadas en mina, los pozos son la obra más costosa en tiempo y dinero.
- La profundización de pozos es un procedimiento complicado, que requiere la participación de personal especializado.
- En la mayoría de los casos,
  - Se emplea el método tradicional de perforación y voladura.
  - Se perfora a sección circular.
  - Se acude a revestimiento de hormigón.
  - Se perfora de arriba hacia abajo.

### Nota:

- Para mostrar gráficamente el proceso de excavación de un pozo, se ha acudido a colecciones de imágenes de diferentes emplazamientos y se han dispuesto en un orden que reproduce la secuencia de las operaciones de construcción.





CNGS Area - Excavation of PGCN access shaft 6.0m deep at level of molasse rock - November 15, 2000 - CERN ST-CE



CNGS Area - Excavation of PGCN access shaft 6.0m deep at level of molasse rock - November 15, 2000 - CERN ST-CE



CNGS Area - Reinforcement fixing for shaft ring (7m depth) - November 28, 2000 - CERN ST-CE



CNGS Area - Backfilling around the 7m deep shaft - December 12, 2000 - CERN ST-CE



Construcción Chuquicamata Subterránea  
Cortesía Codelco





**Construcción Chuquicamata Subterránea**  
**Cortesía Codelco**















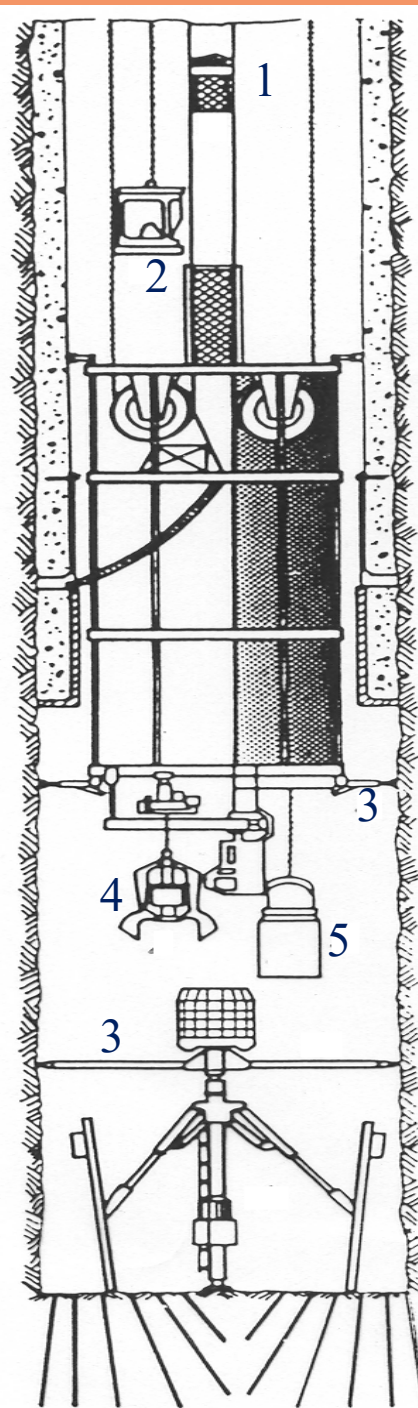






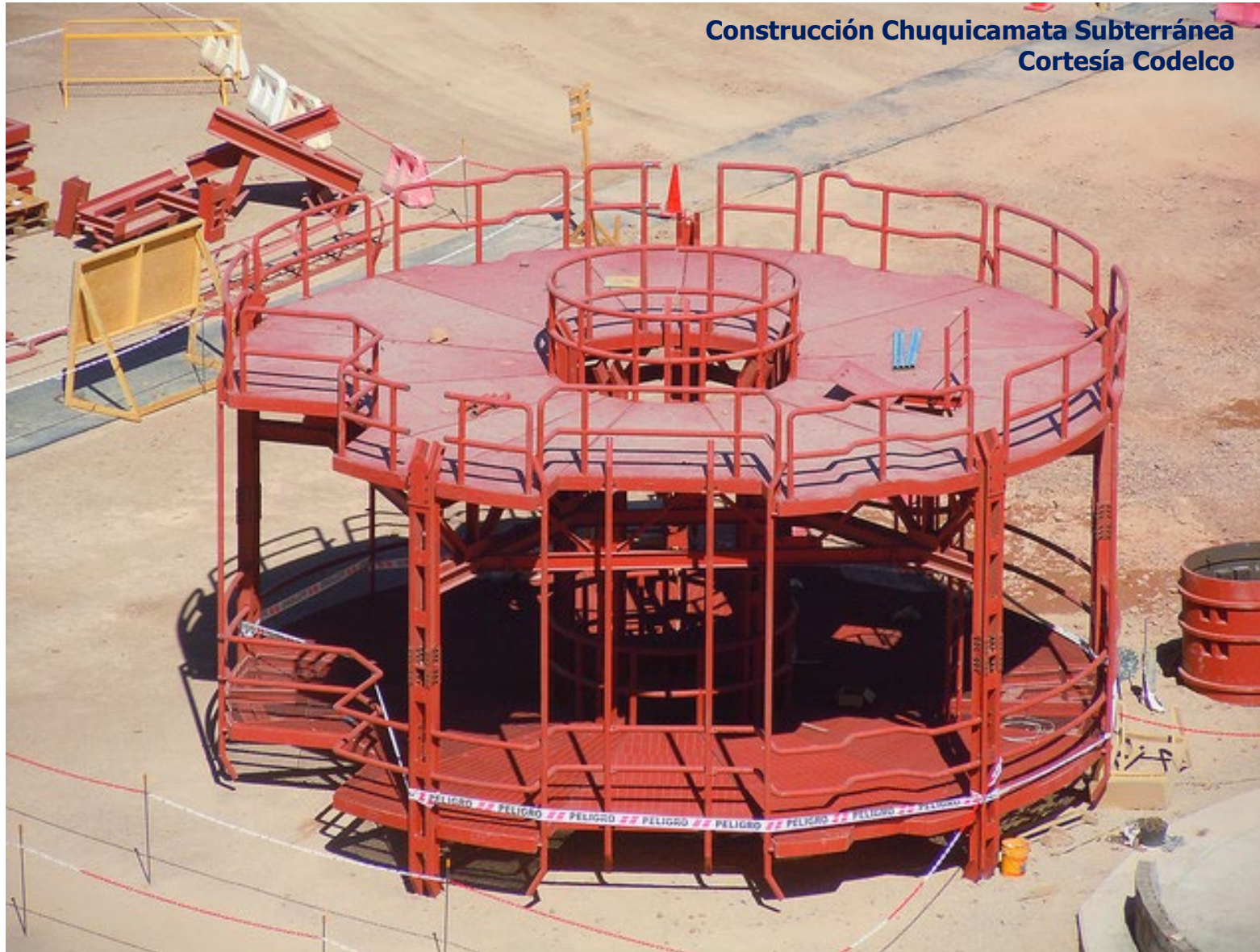
# MÉTODOS CONVENCIONALES DE EXCAVACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE POZOS POR PERFORACIÓN Y VOLADURA

## Profundización de pozos



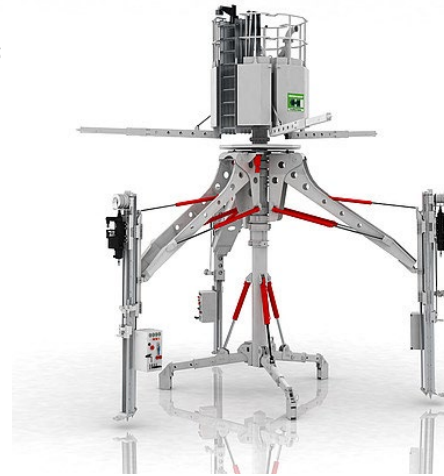
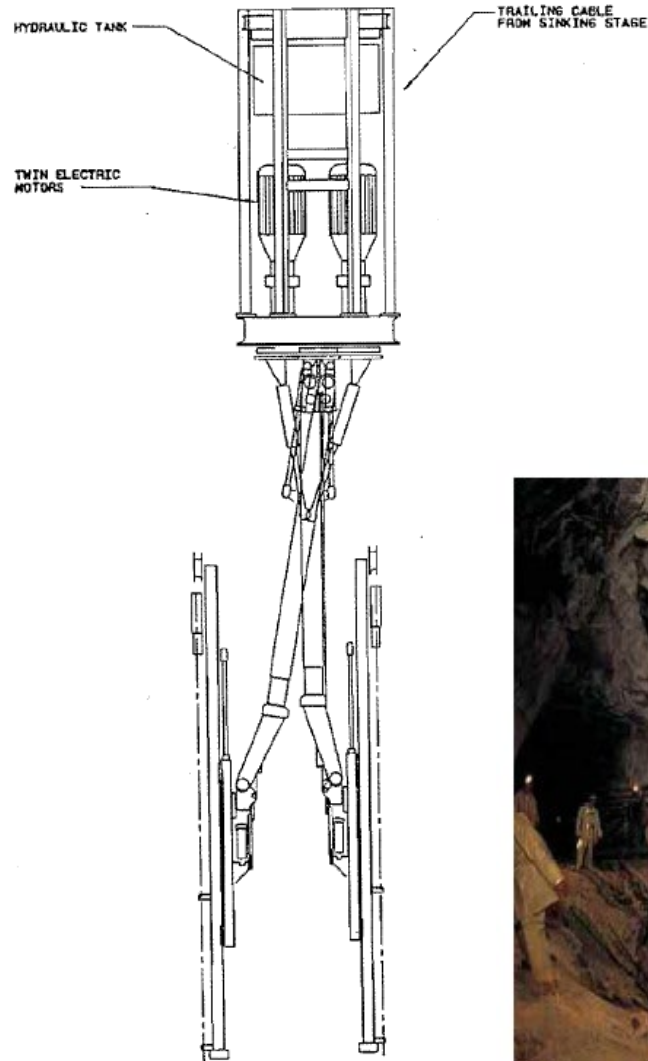
- 1 Ascensor de personal
- 2 Cuba de hormigón
- 3 Gatos de fijación
- 4 Pulpo de desescombro
- 5 Cuba de desescombro
- 6 Jumbo de perforación

**Construcción Chuquicamata Subterránea**  
**Cortesía Codelco**

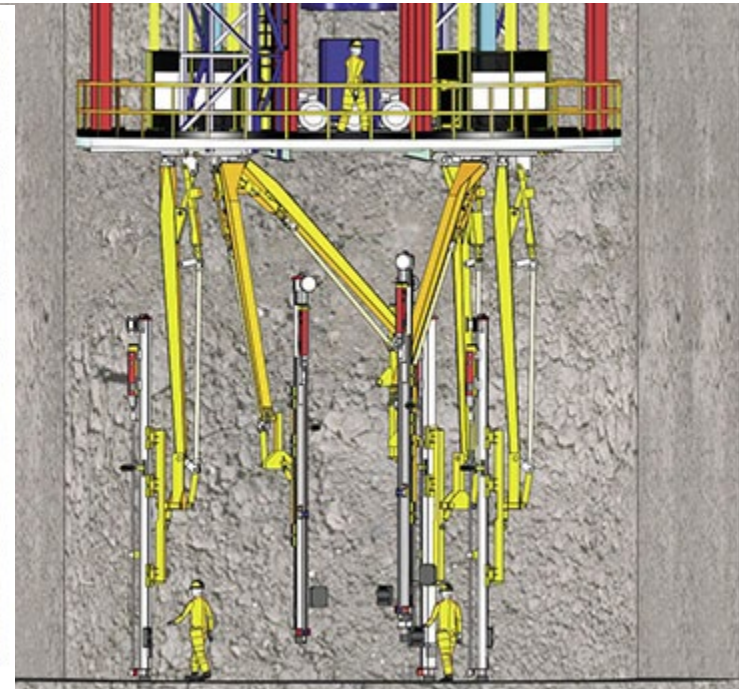




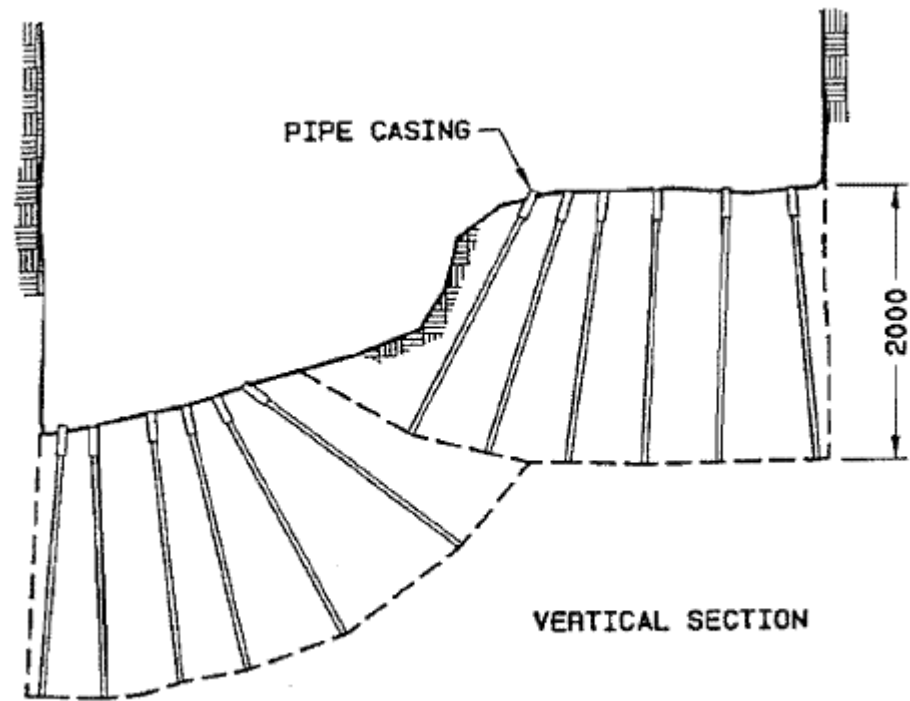
# Shaft drilling jumbo



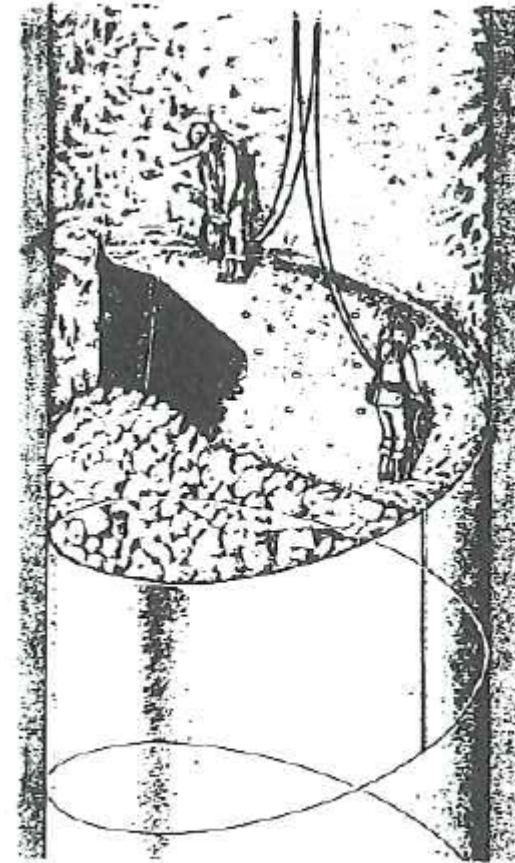
A typical pneumatic shaft jumbo



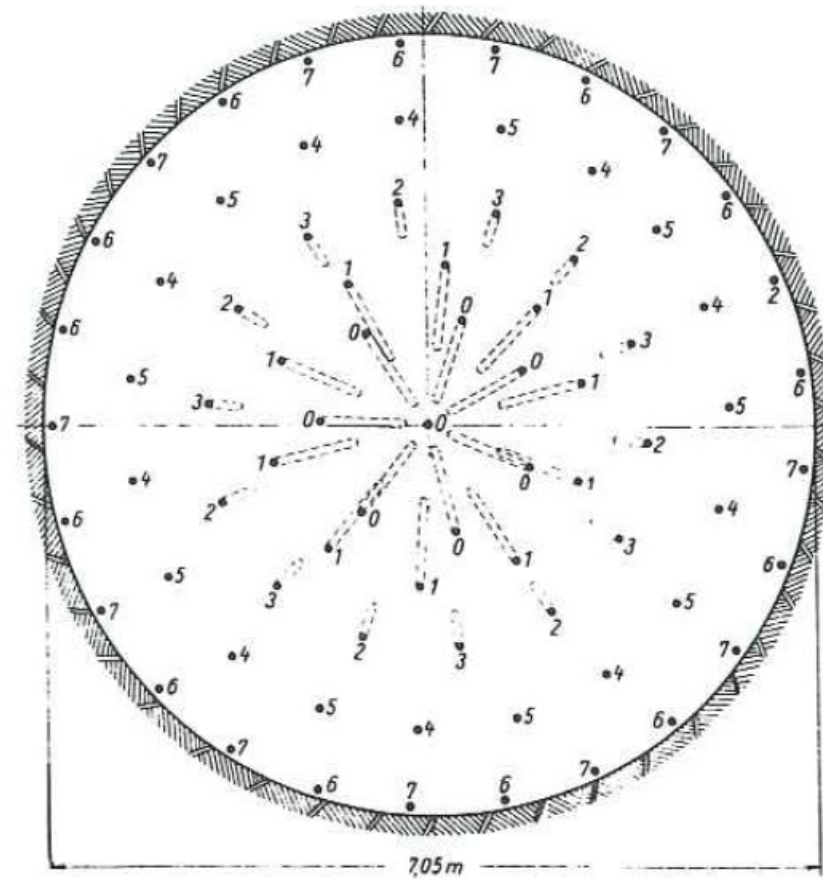
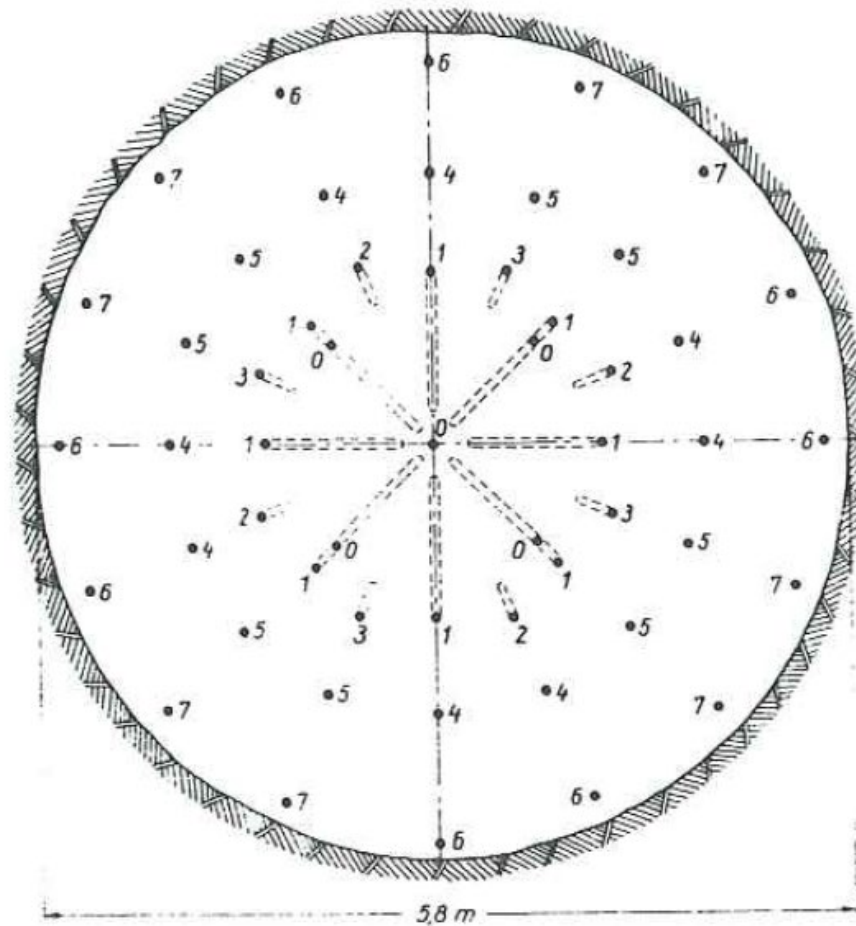
Madean two-boom shaft sinking jumbo.



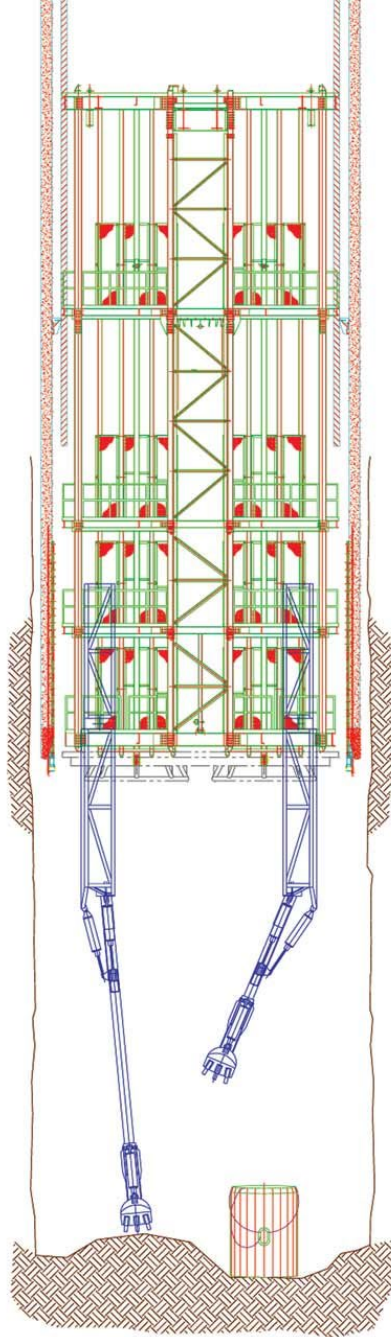
Typical bench round for vertical shaft excavation.



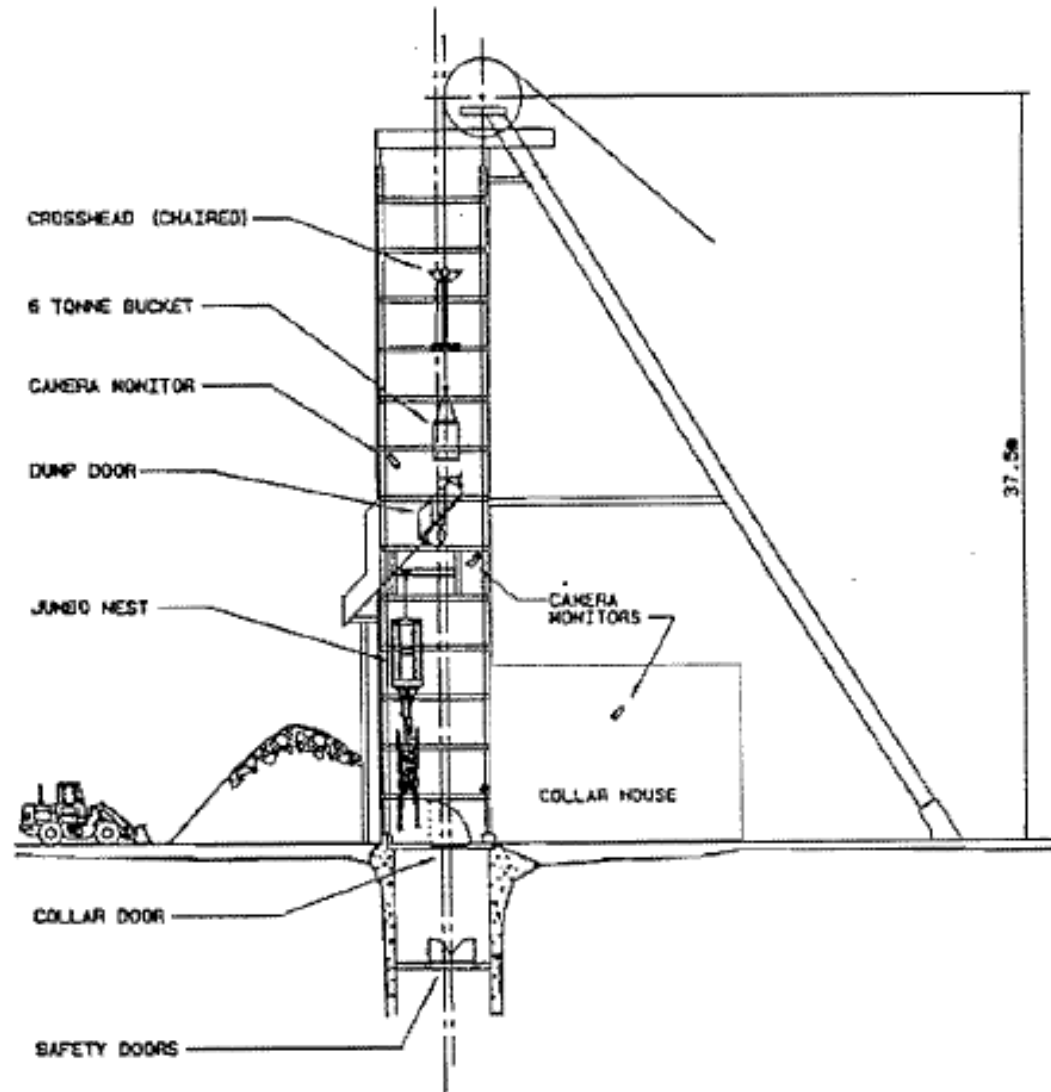
Método de espiral.



Esquemas de perforación con cueles cónicos.

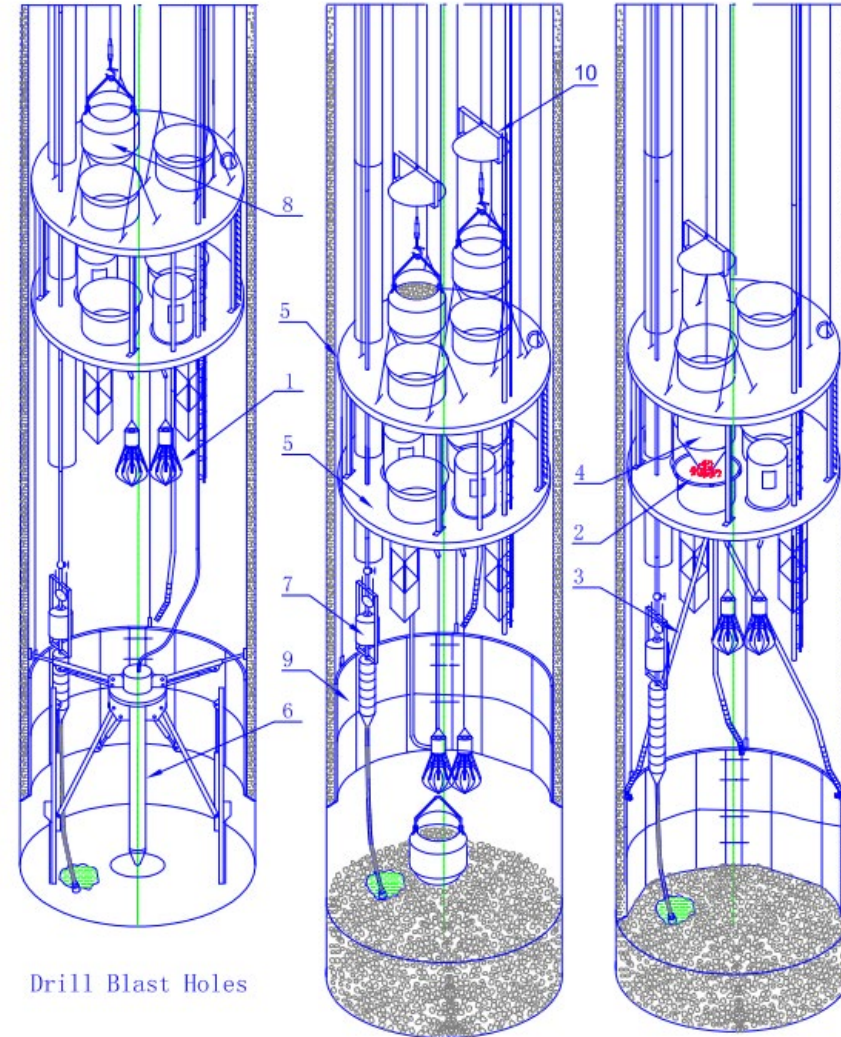


— Muck —



EAST ELEVATION

Headframe and shaft bucket dumping arrangement.



Drill Blast Holes

Mucking

Concrete wall pouring

Double Cactus Grabs and Buckets Operation

- 1. Cactus Grab
- 2. Concrete receiving hopper
- 3. Rubber hose
- 4. Bottom dump bucket
- 5. Gallaway
- 6. Multi Drill Assembly
- 7. Suspended pump
- 8. Mucking bucket
- 9. Shaft wall slid form
- 10. Crosshead

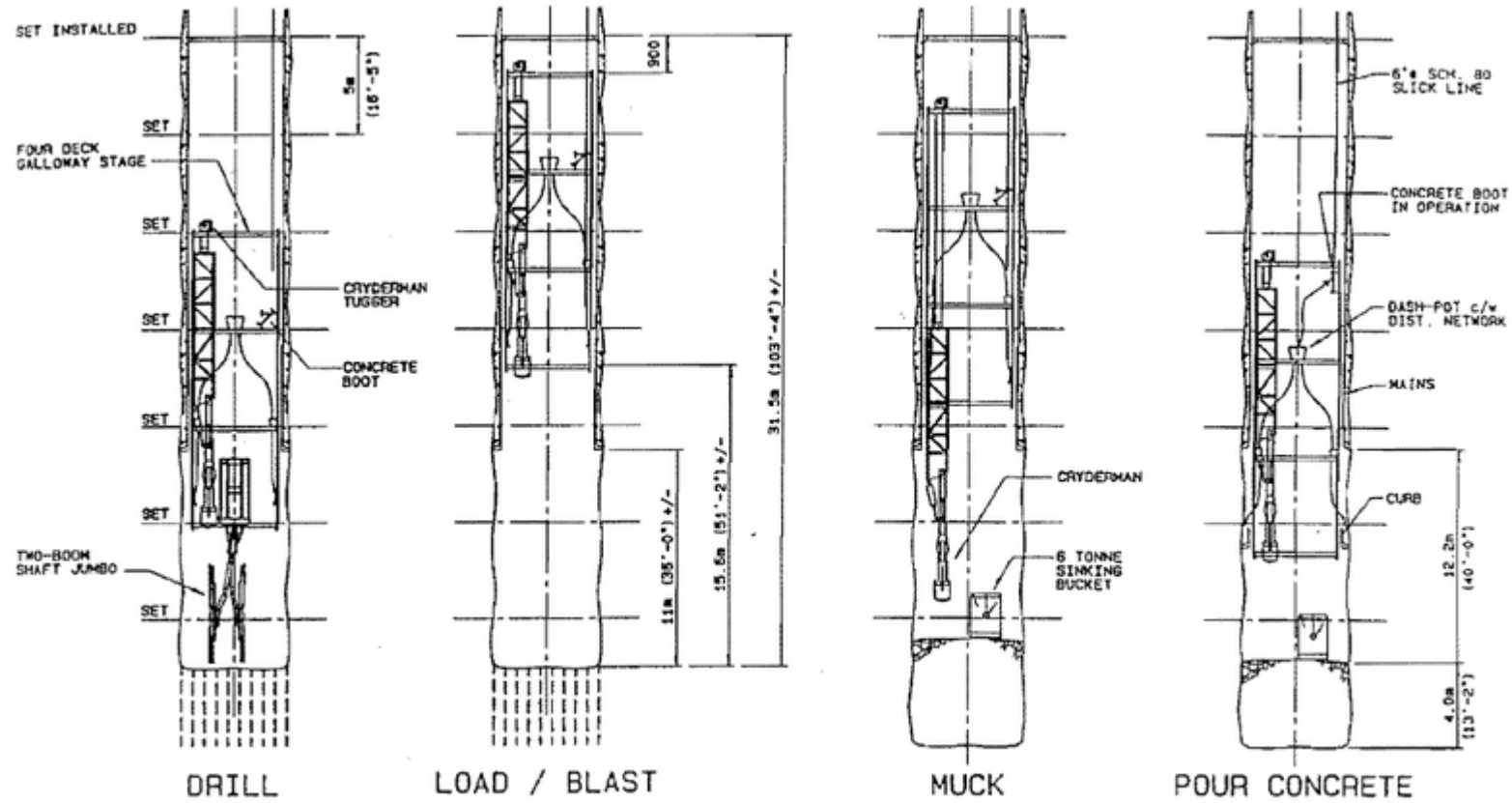
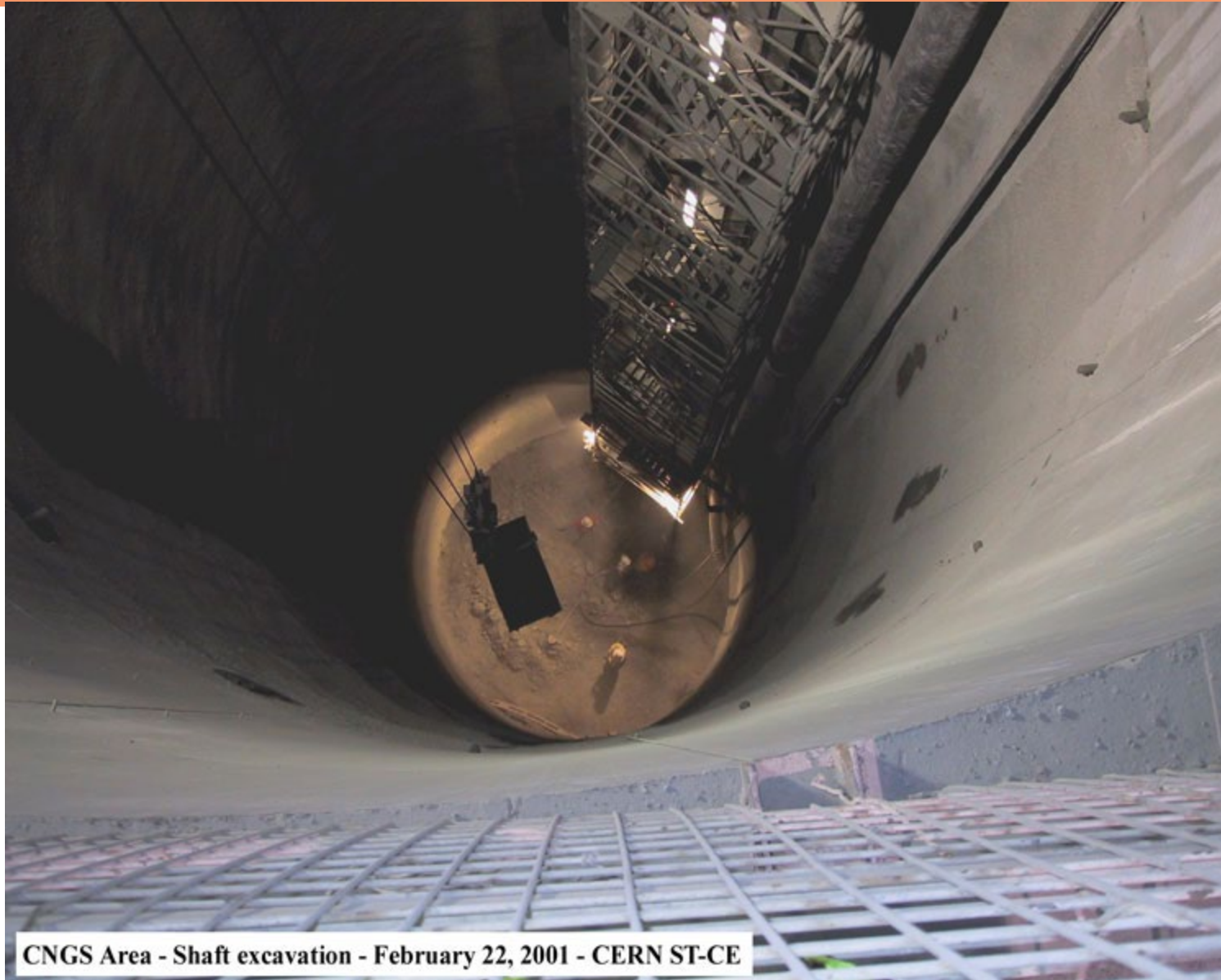


FIGURE 7. Shaft sinking sequence.









CNGS Area - Shaft excavation - February 22, 2001 - CERN ST-CE













CNGS - TBM neutrino access gallery - August 01, 2001 - CERN ST-CE



CNGS - Roadheader proton beam tunnel - August 01, 2001 - CERN ST-CE



CNGS - Proton beam tunnel excavation by roadheader - November 20, 2001 - CERN ST-CE

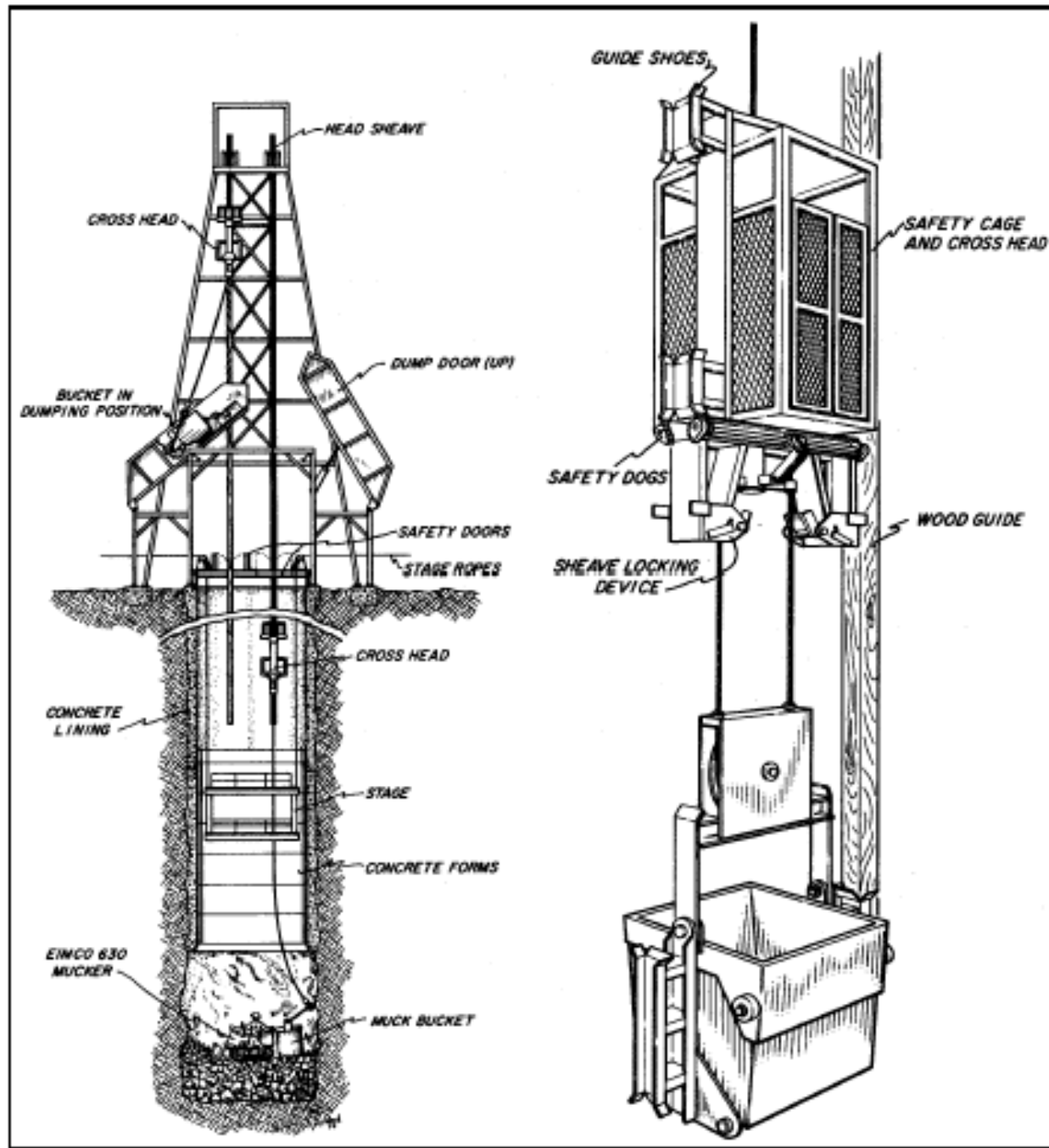


CNGS - Target area - January 08, 2002 - CERN ST-CE





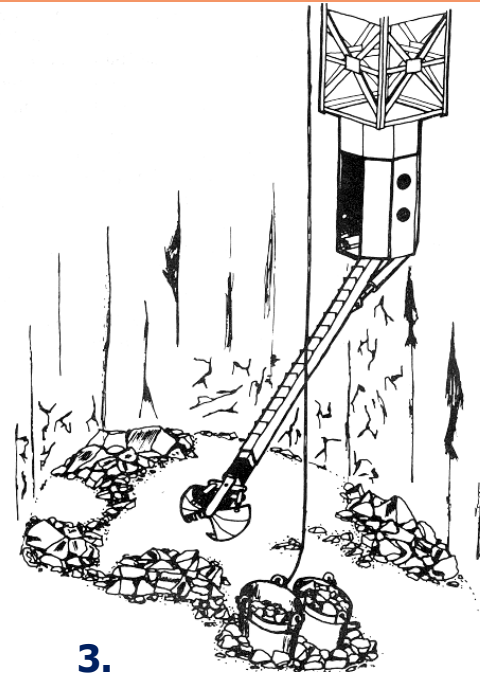
10  
Y



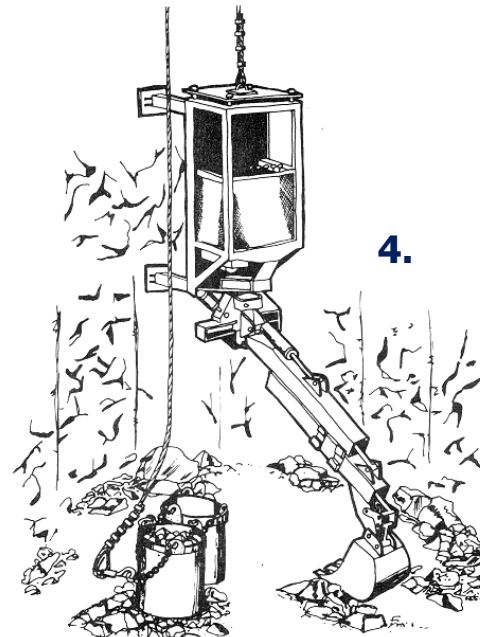
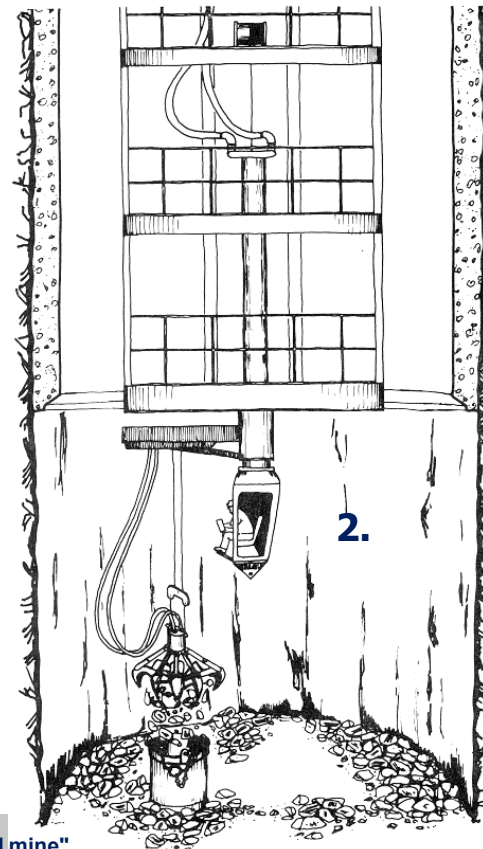
Operación de profundización

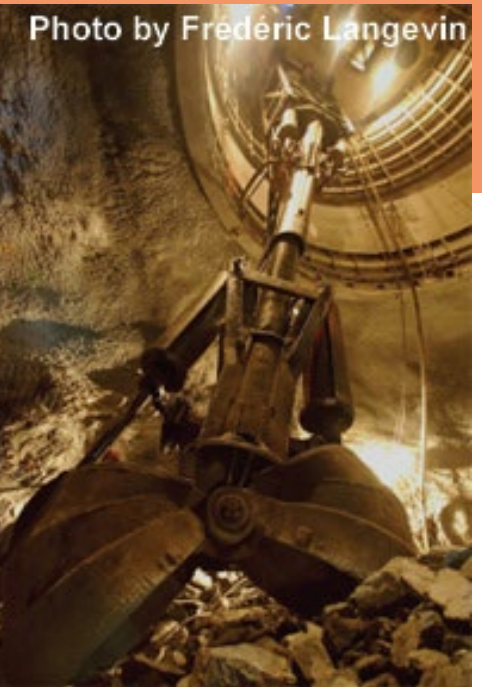
Skip de seguridad

## PROFUNDIZACIÓN DE POZOS (SISTEMAS DE CARGA)

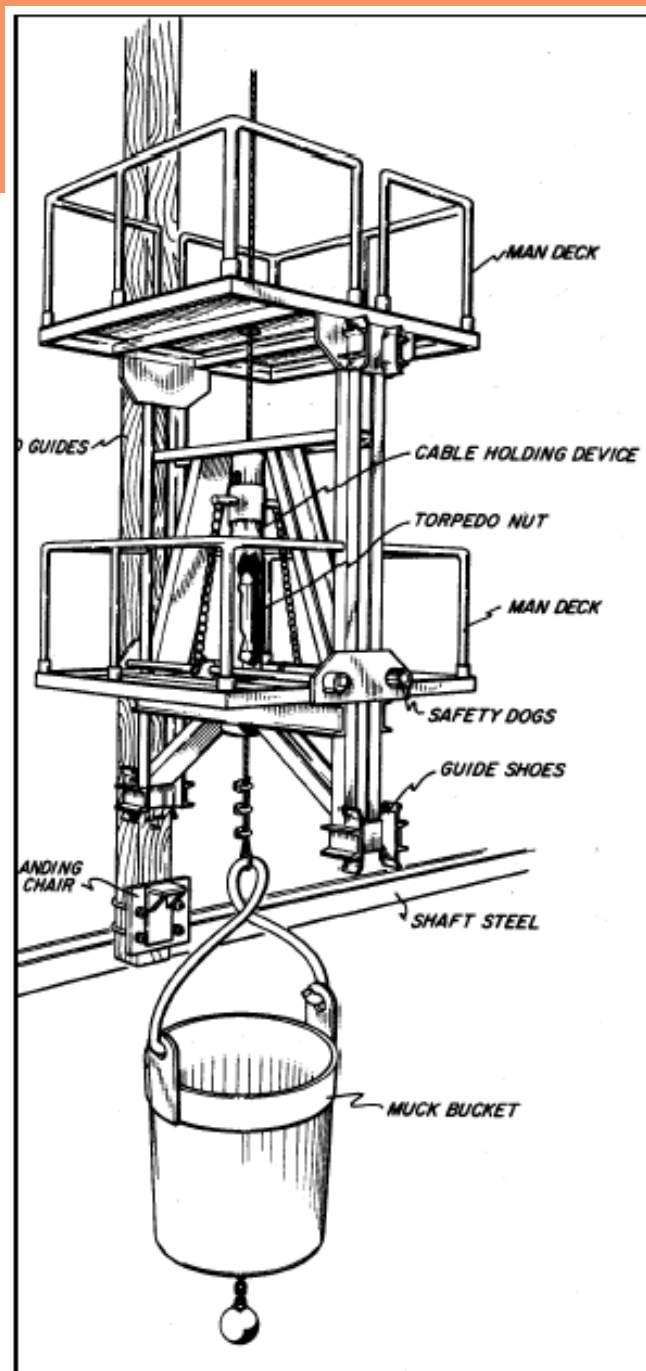


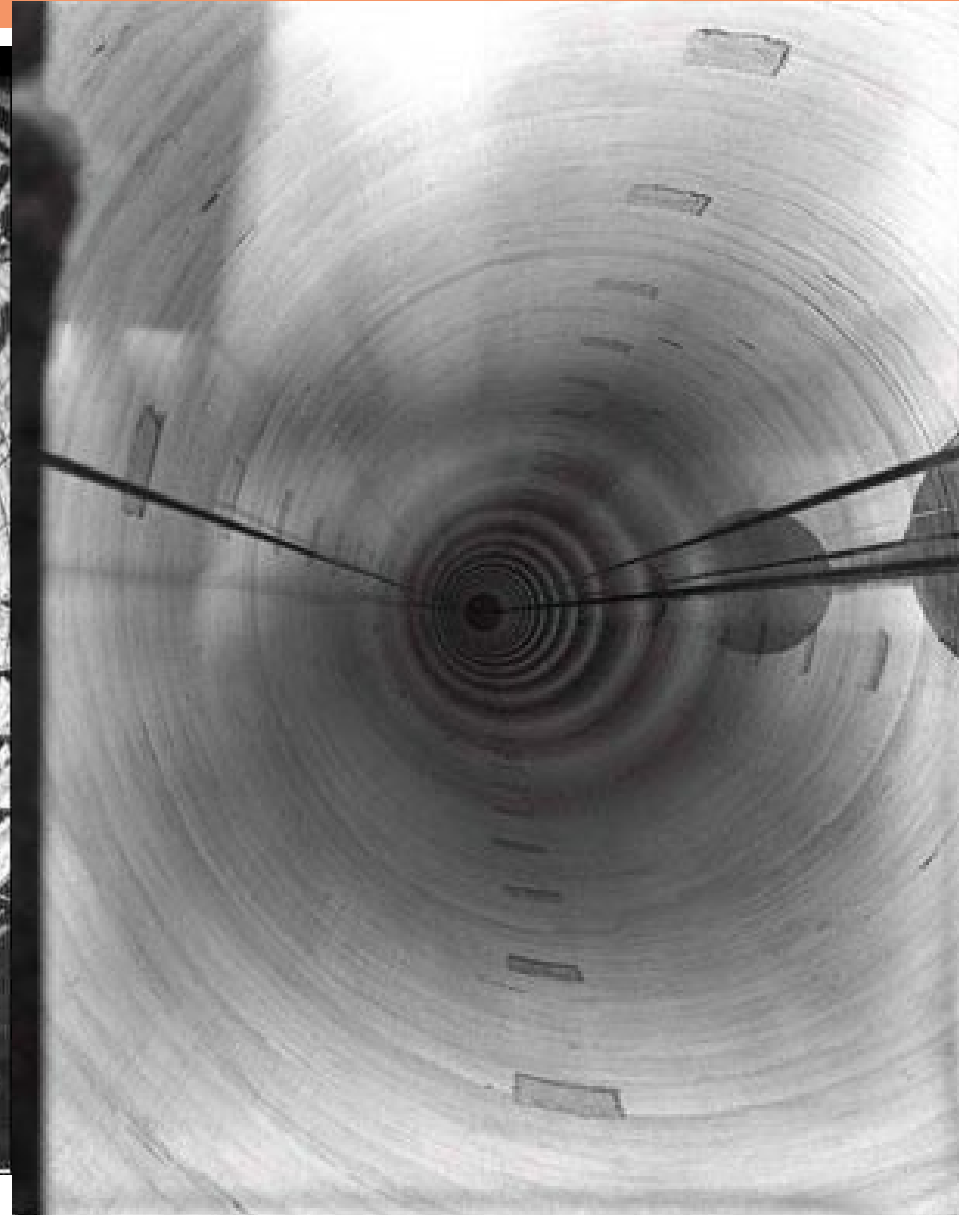
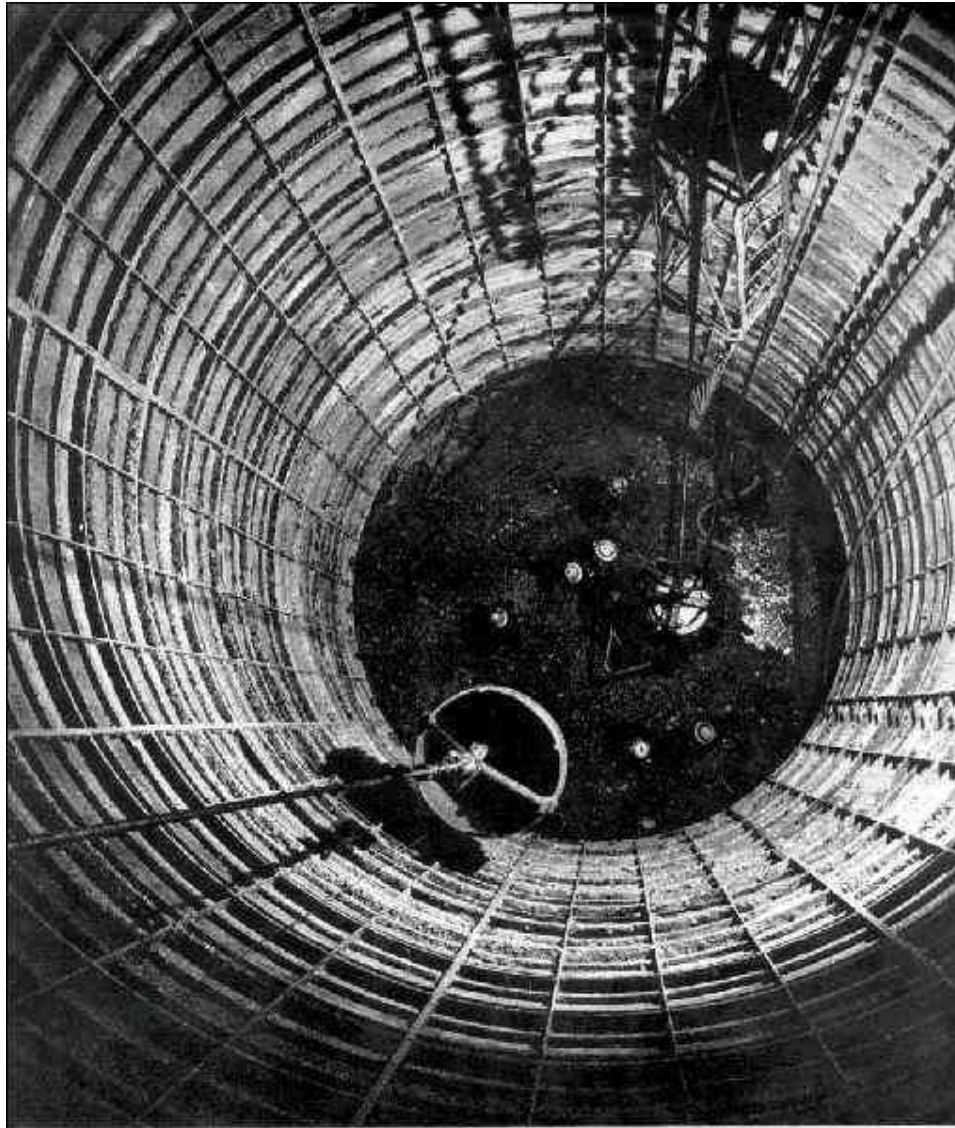
- 1) Cargadora de vuelco trasero
- 2) Pulpo
- 3) Brazo extensible y bivalva
- 4) Cuchara retro.

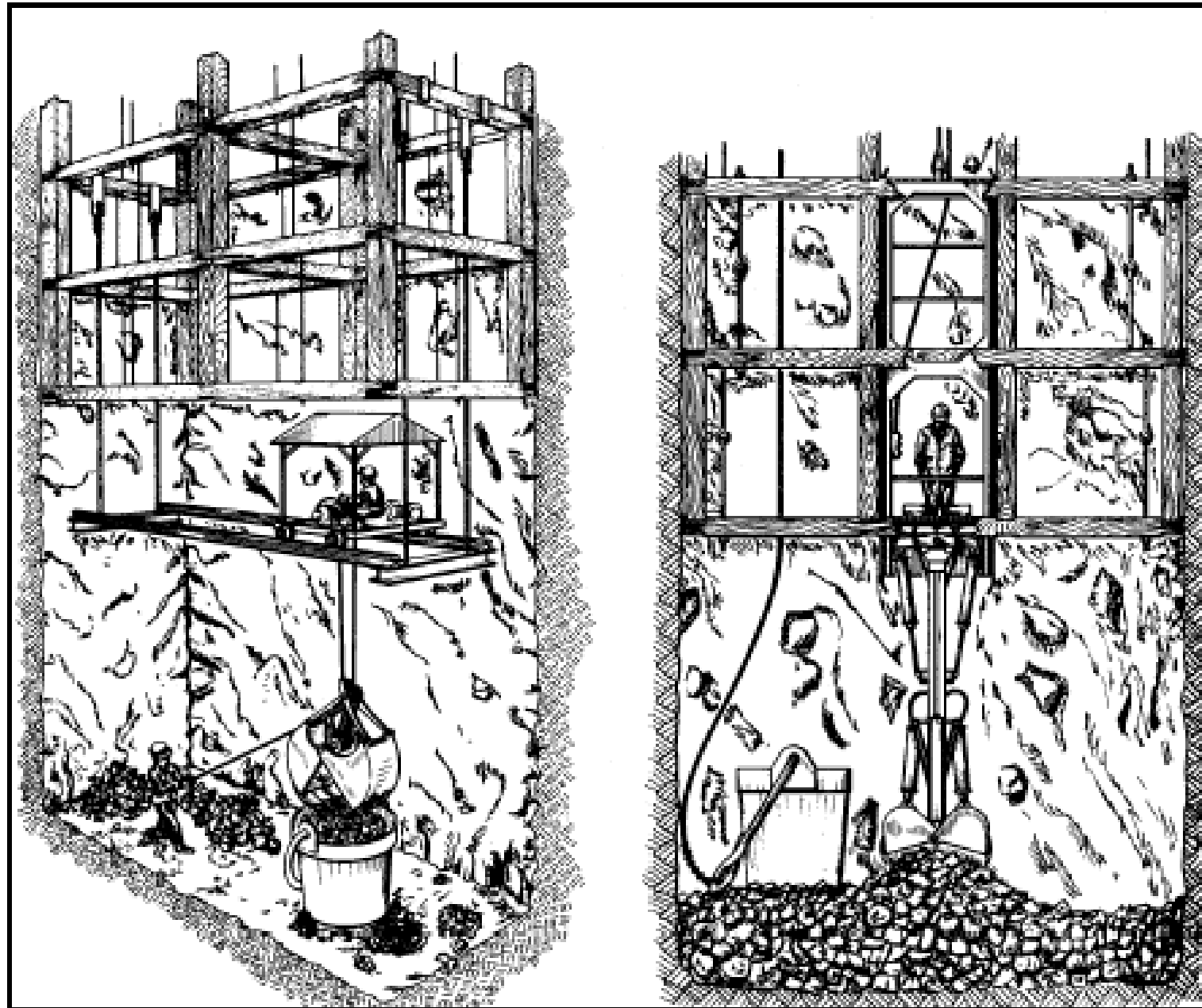








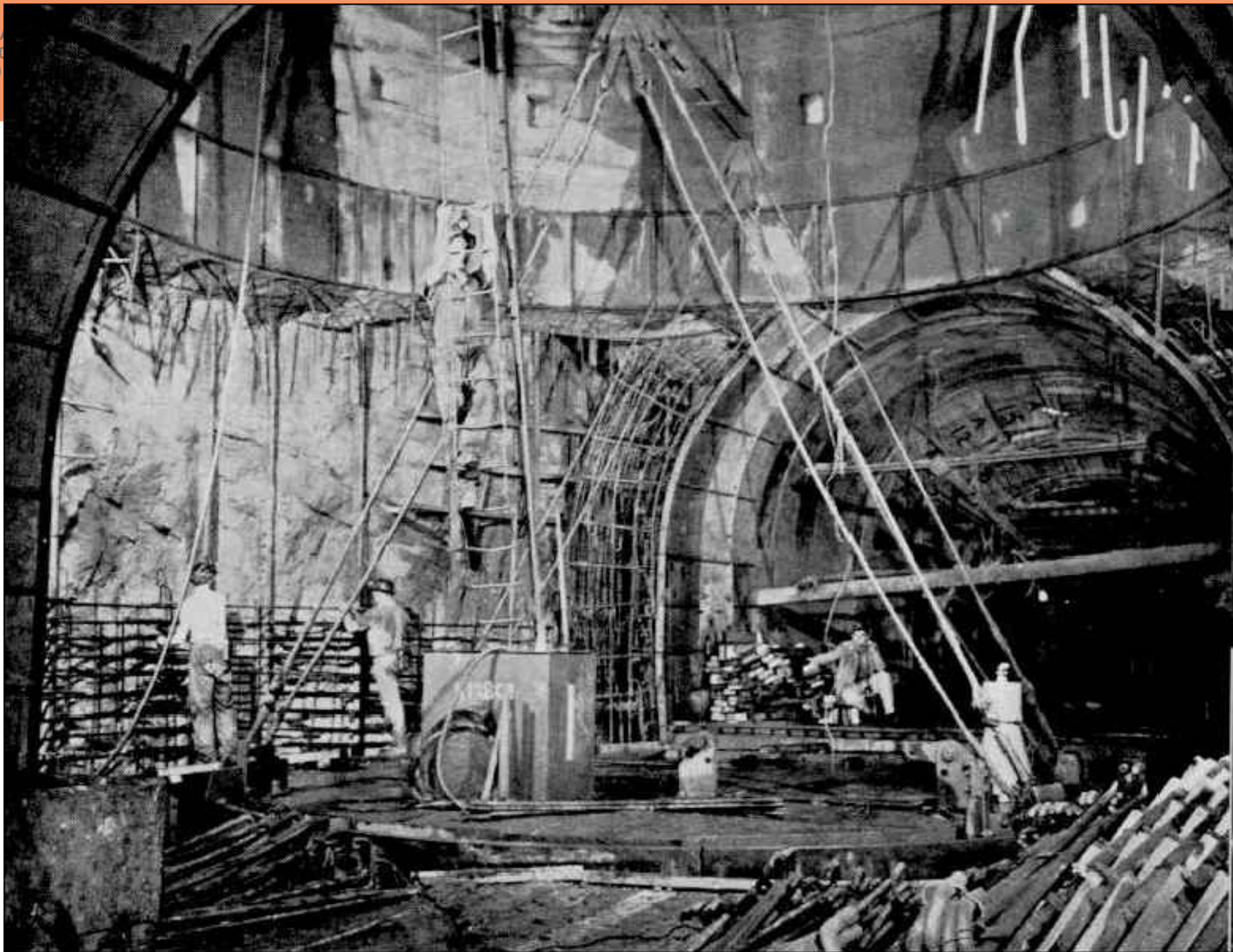




Dos tipos de máquina de descombro de la pega del fondo del pozo durante la profundización



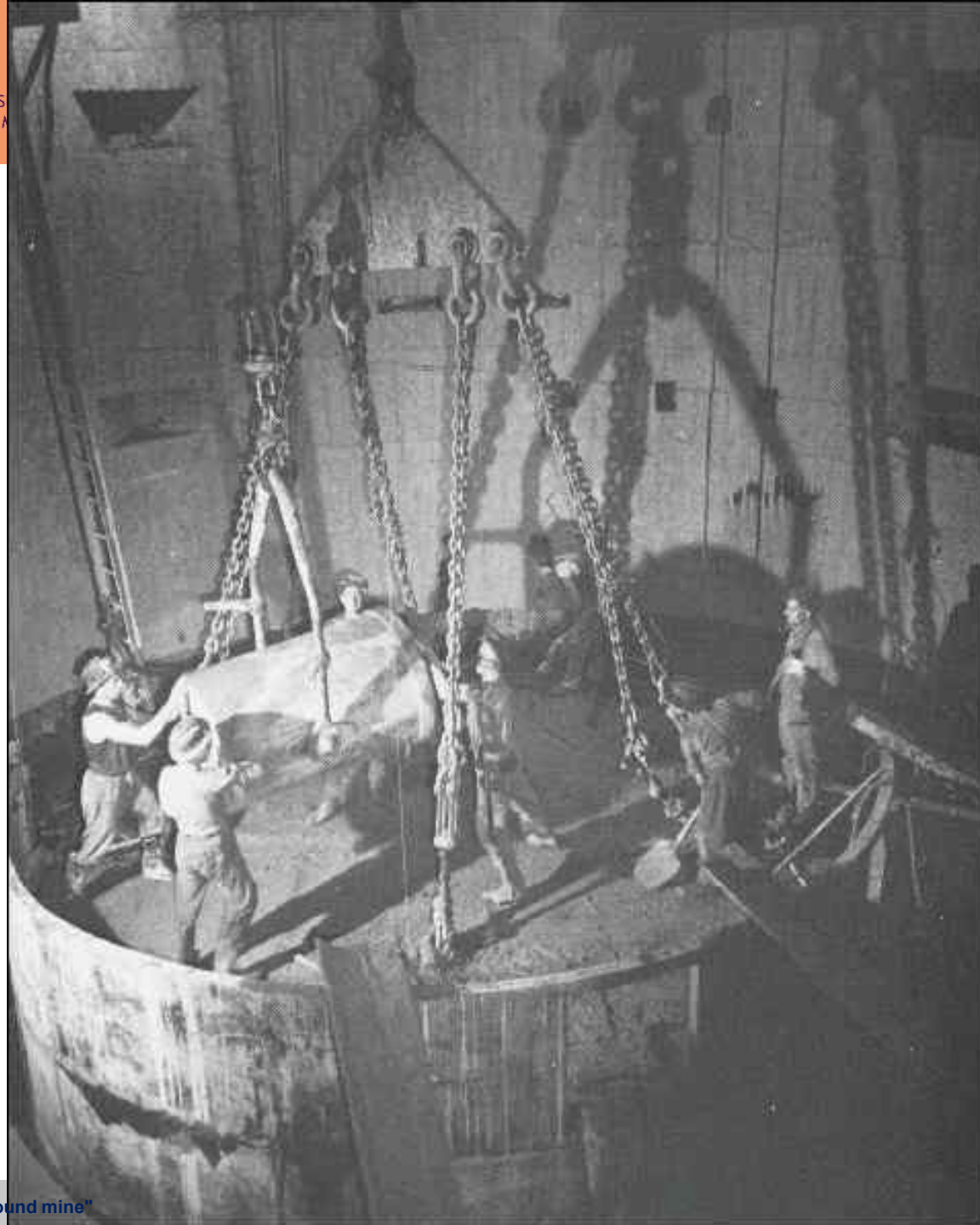


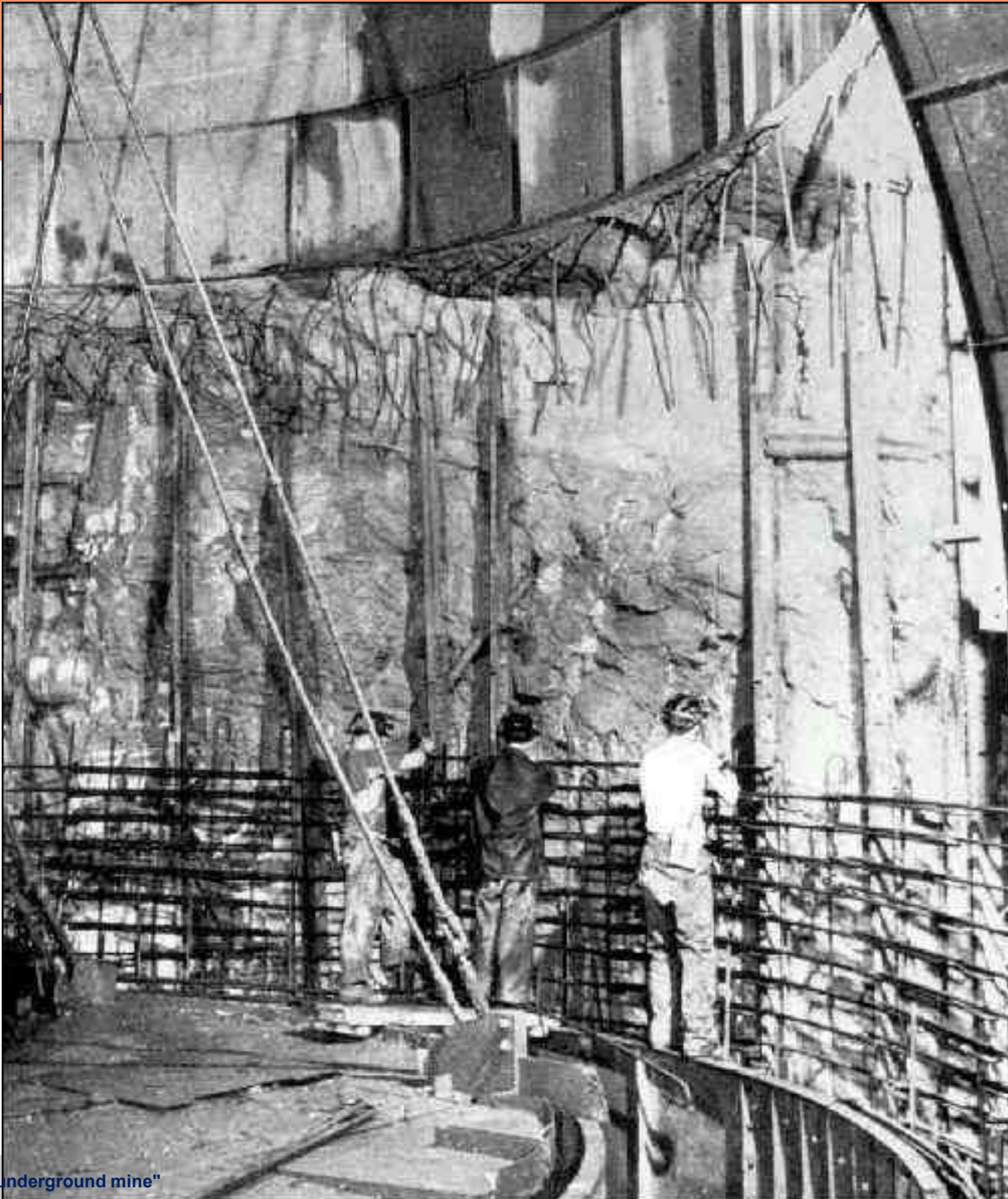








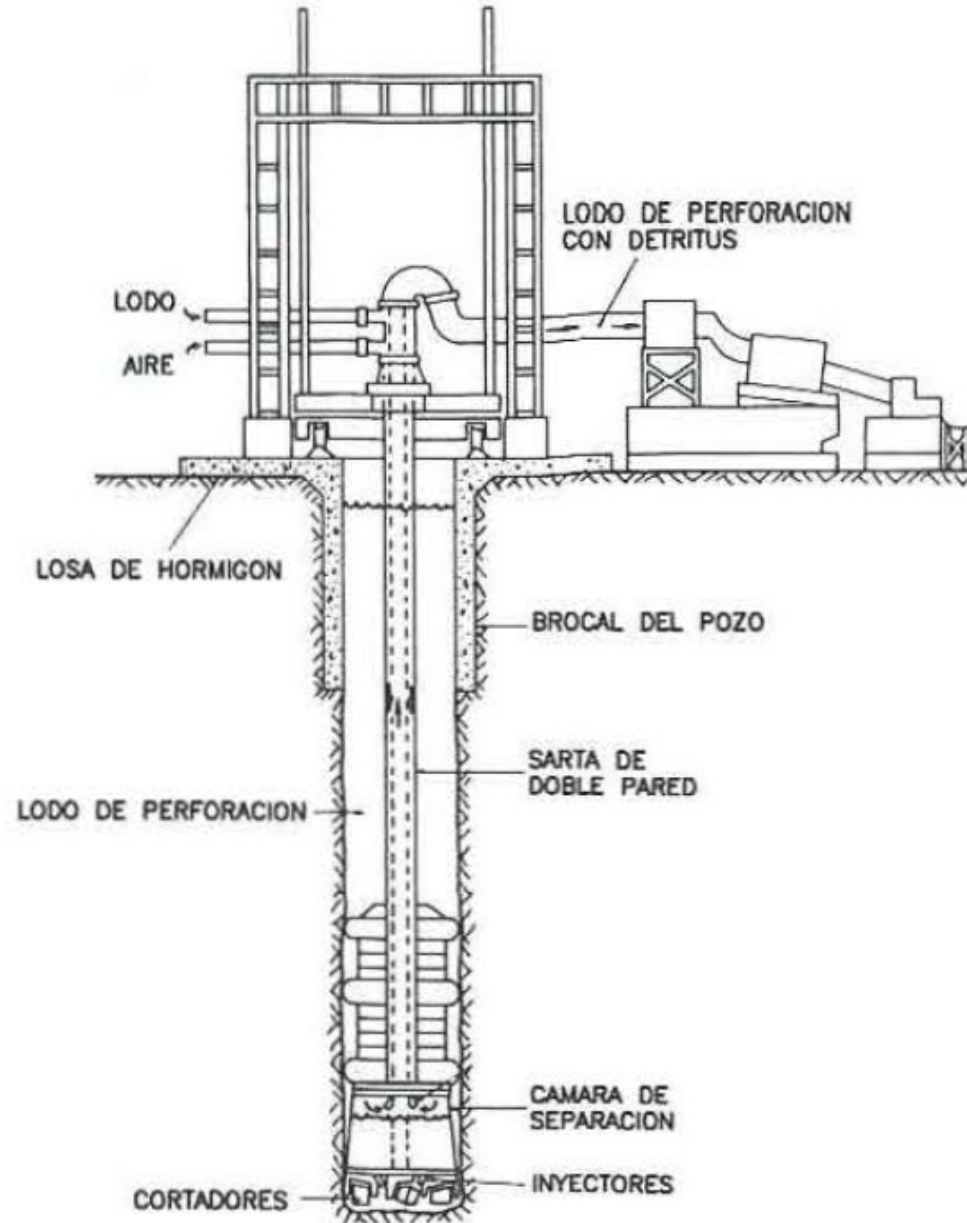






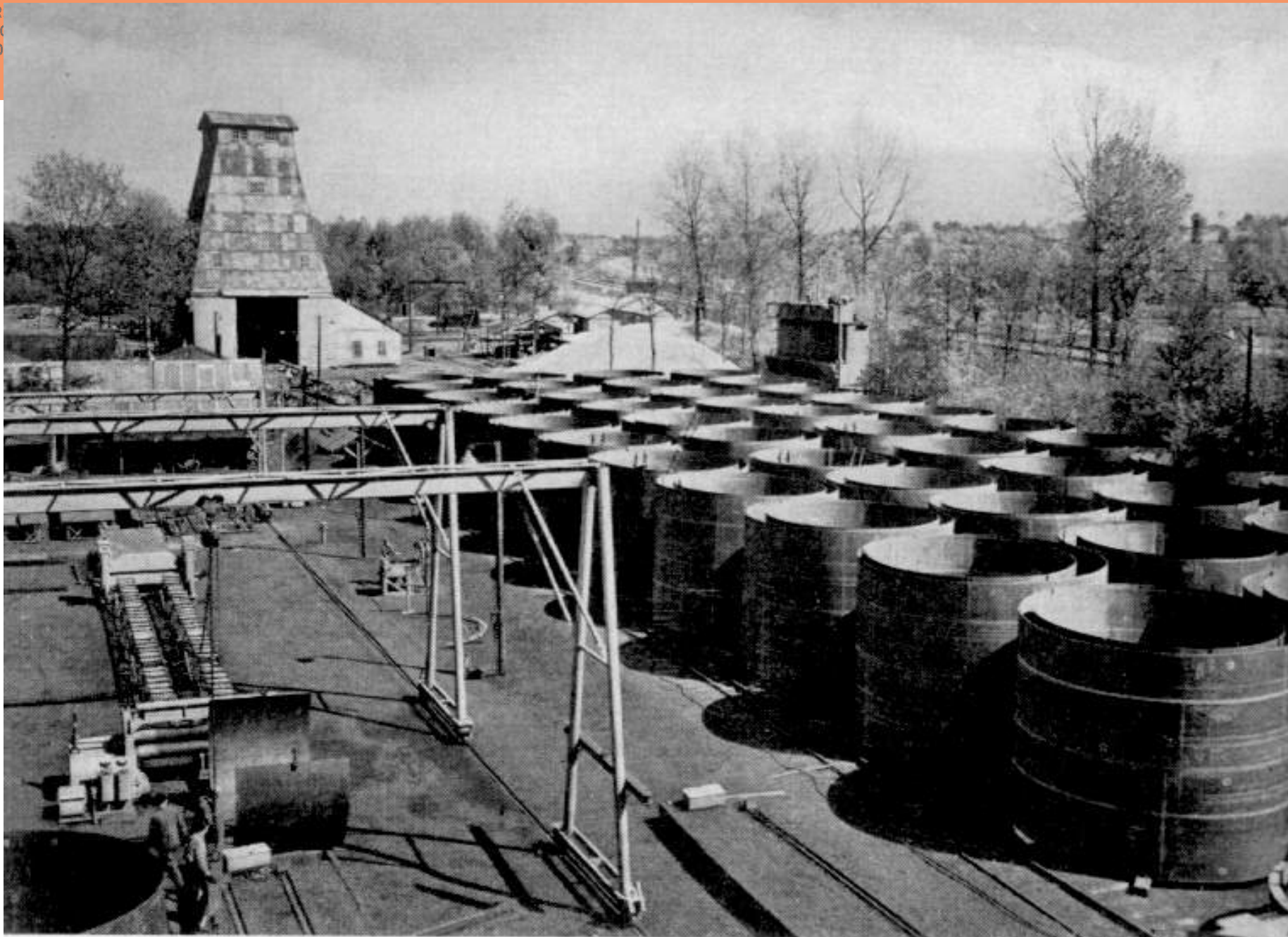
# MÉTODOS MECÁNICOS DE EXCAVACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE POZOS

## Rotary Shaft Drilling (Método de Honigmann)



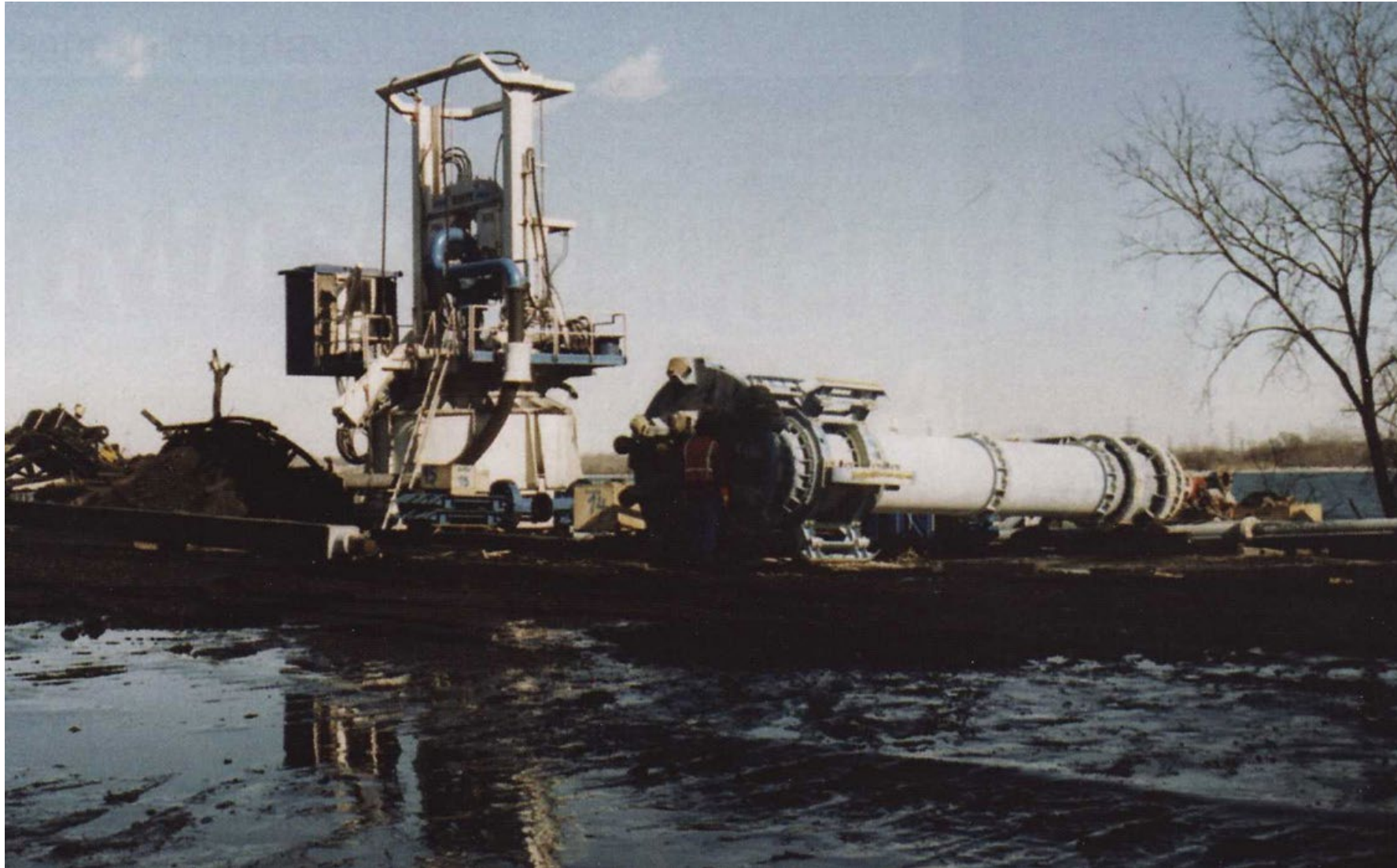
## Método de Honigmann

- Ya en desuso.
- Utilizaba grandes trépanos rotativos.
- Los residuos se extraían por circulación de lodos, bajando por el pozo y saliendo por el varillaje, inyectando aire comprimido.
- El pozo se mantiene siempre lleno de agua y lodo.
- Terminada la profundización se introduce un revestimiento cilíndrico de chapa que se empalma por secciones y se hunde poco a poco.
- Cuando llega al fondo se cementa el hueco entre el revestimiento y el terreno eliminando el lodo con agua limpia lo que a veces da lugar a presiones y hundimientos.
- El método es bueno para terrenos blandos y profundidades medias.





Hughes large-diameter drill rig



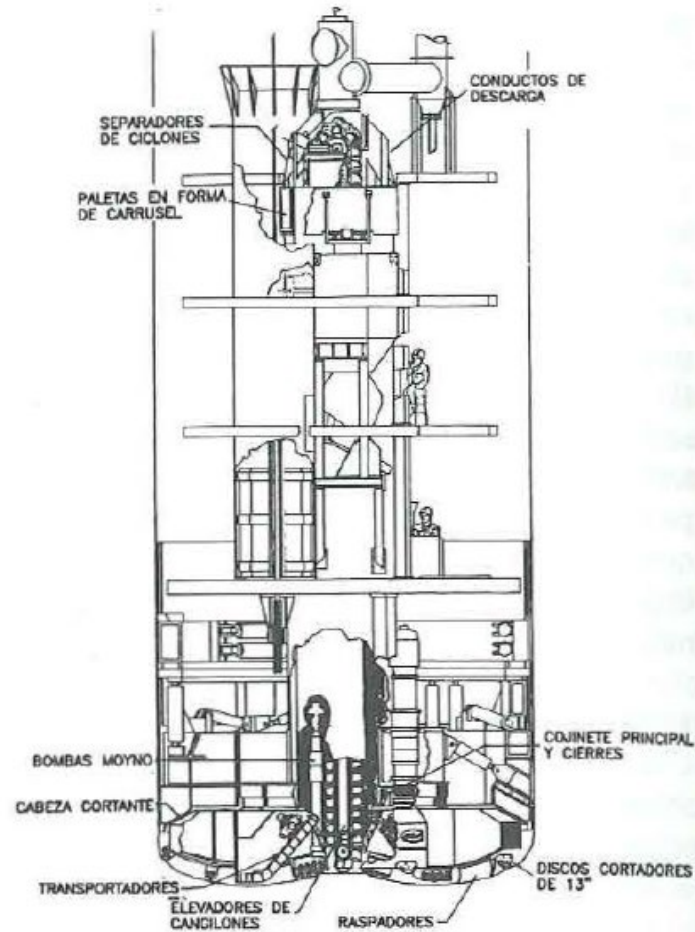




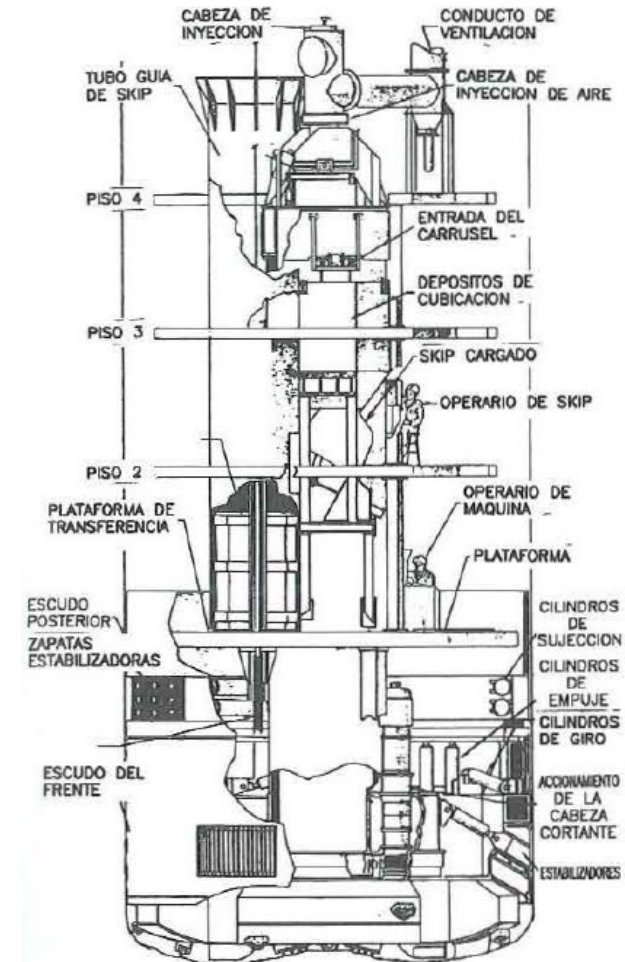




# Robbins Shaft Boring Machines



Componentes móviles del Shaft Boring.



Componentes no móviles del Shaft Boring.

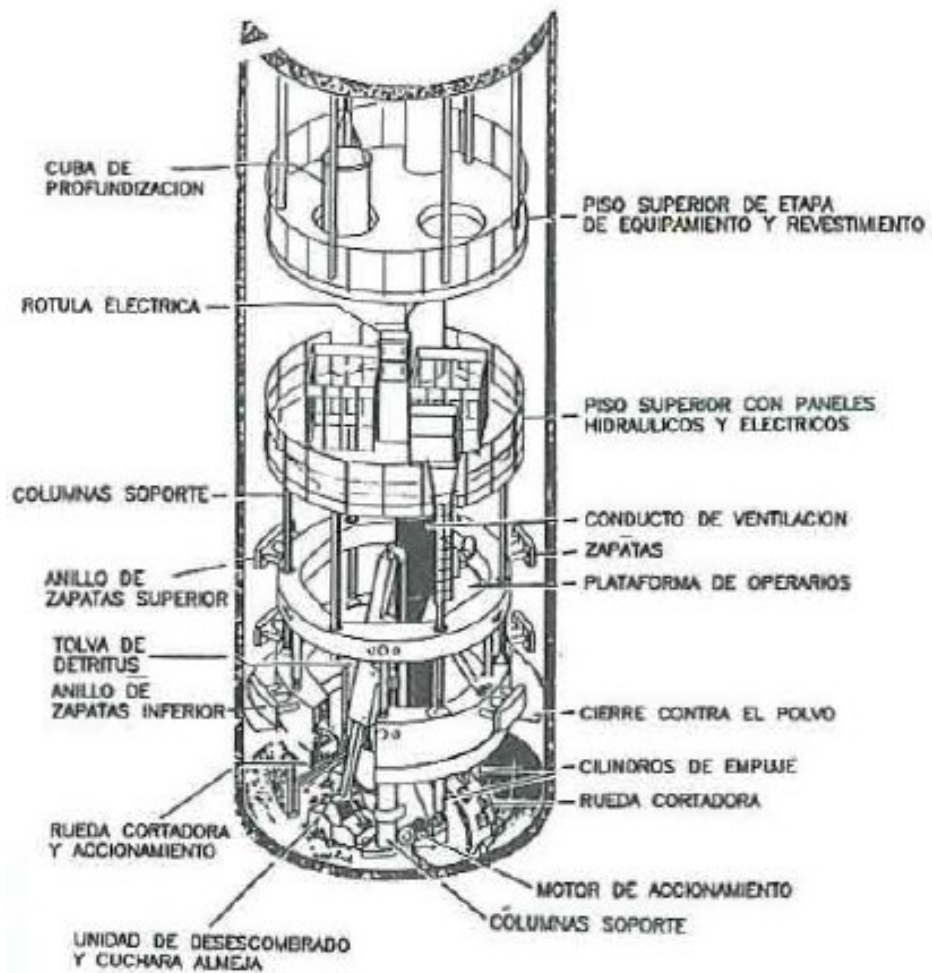
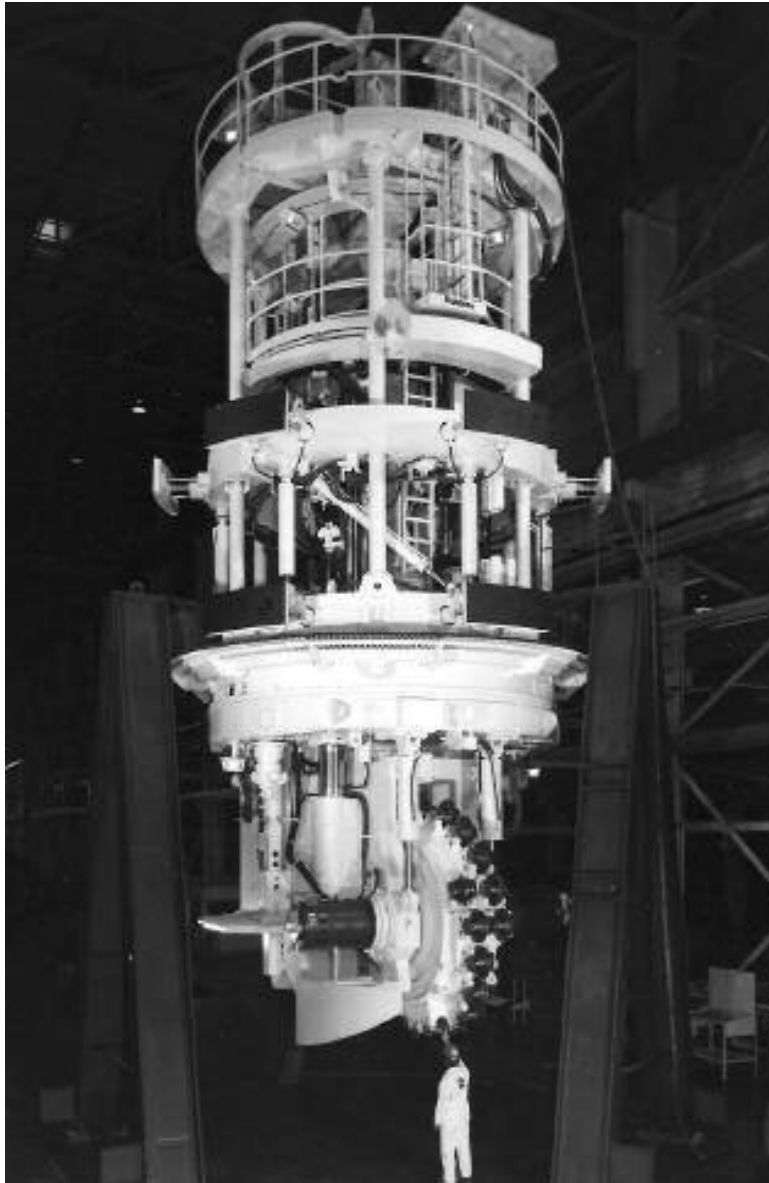


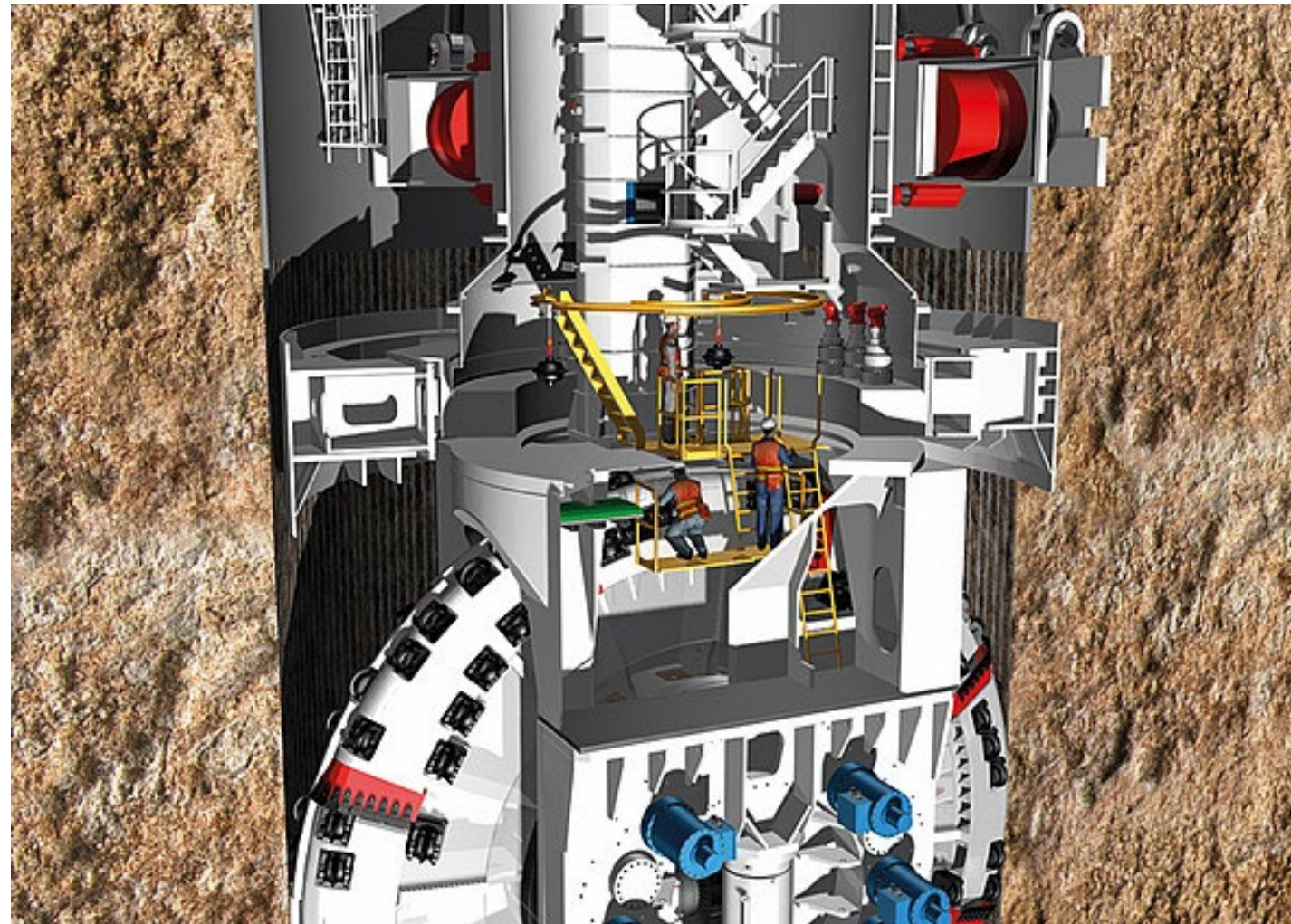
Figura 5. Máquina *Shaft Boring* (Robbins).



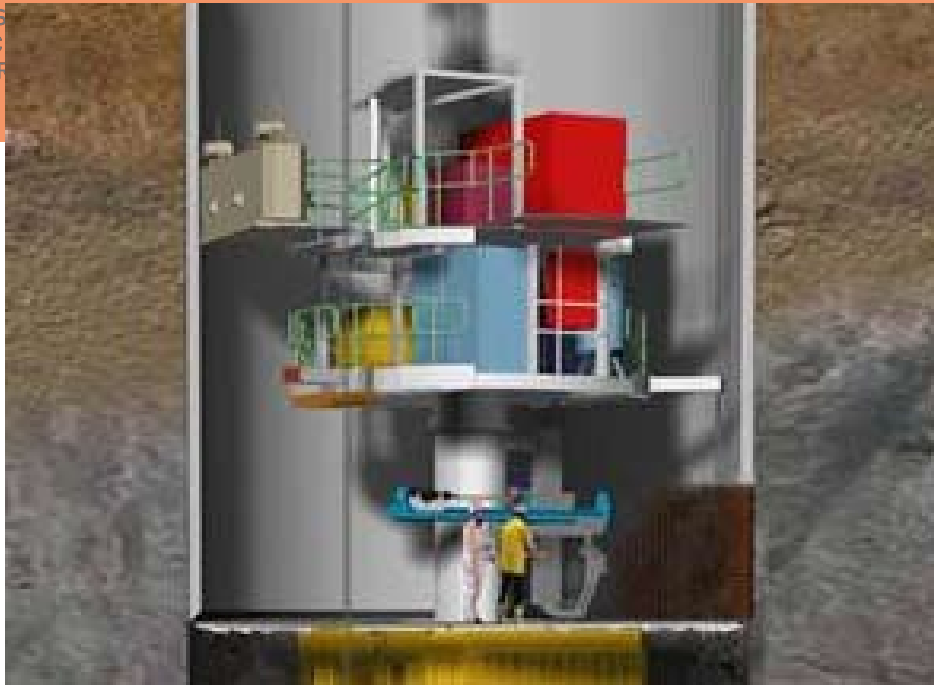
## Redpath/Robbins shaft boring machine

## Shaft Boring Machine (SBM) Herrenknecht









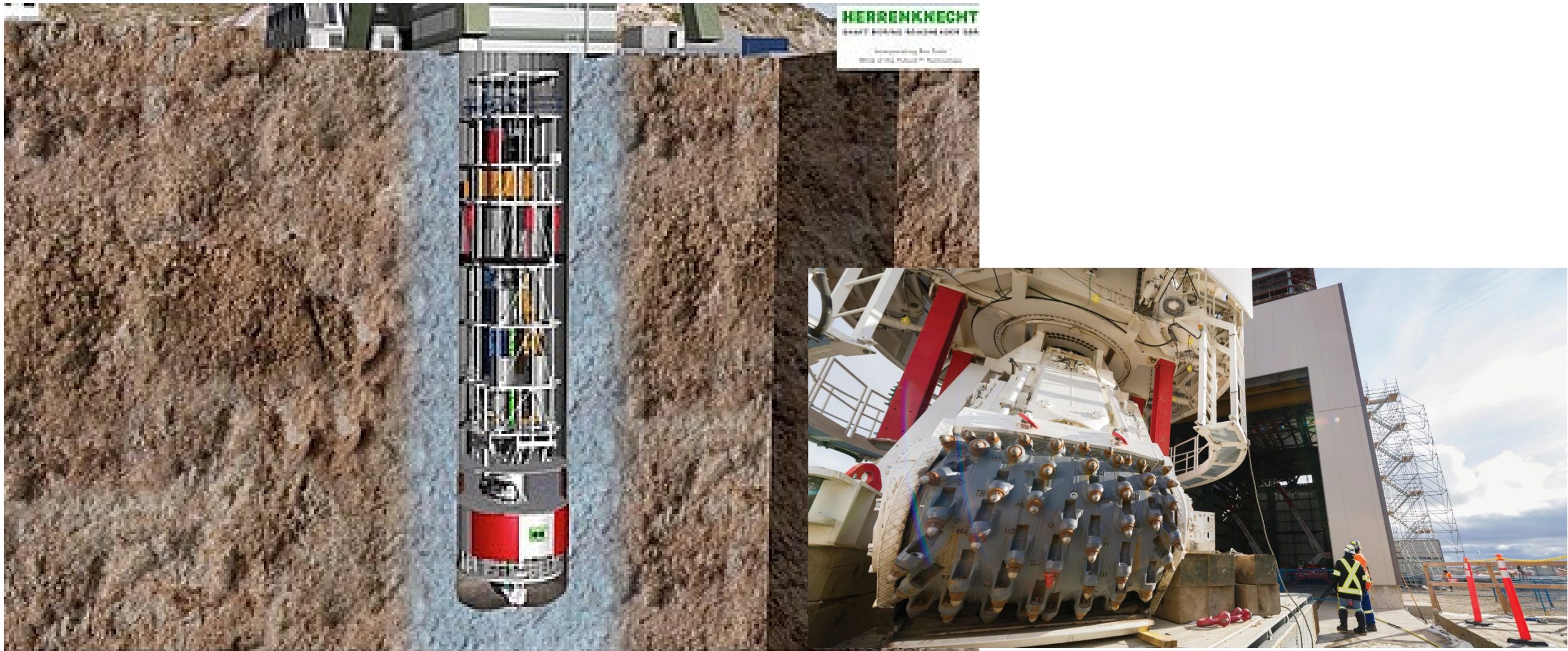


## Shaft Boring Roadheader (SBR)





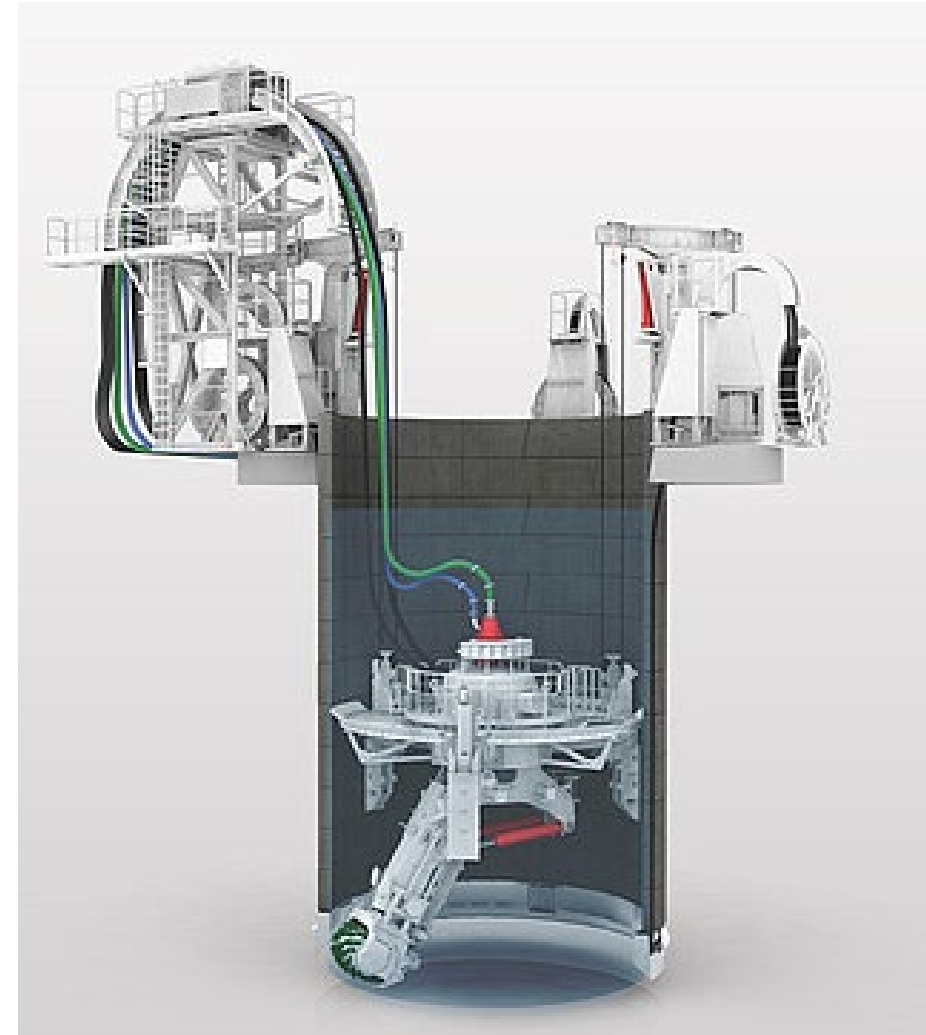
## Shaft Boring Roadheader (SBR)





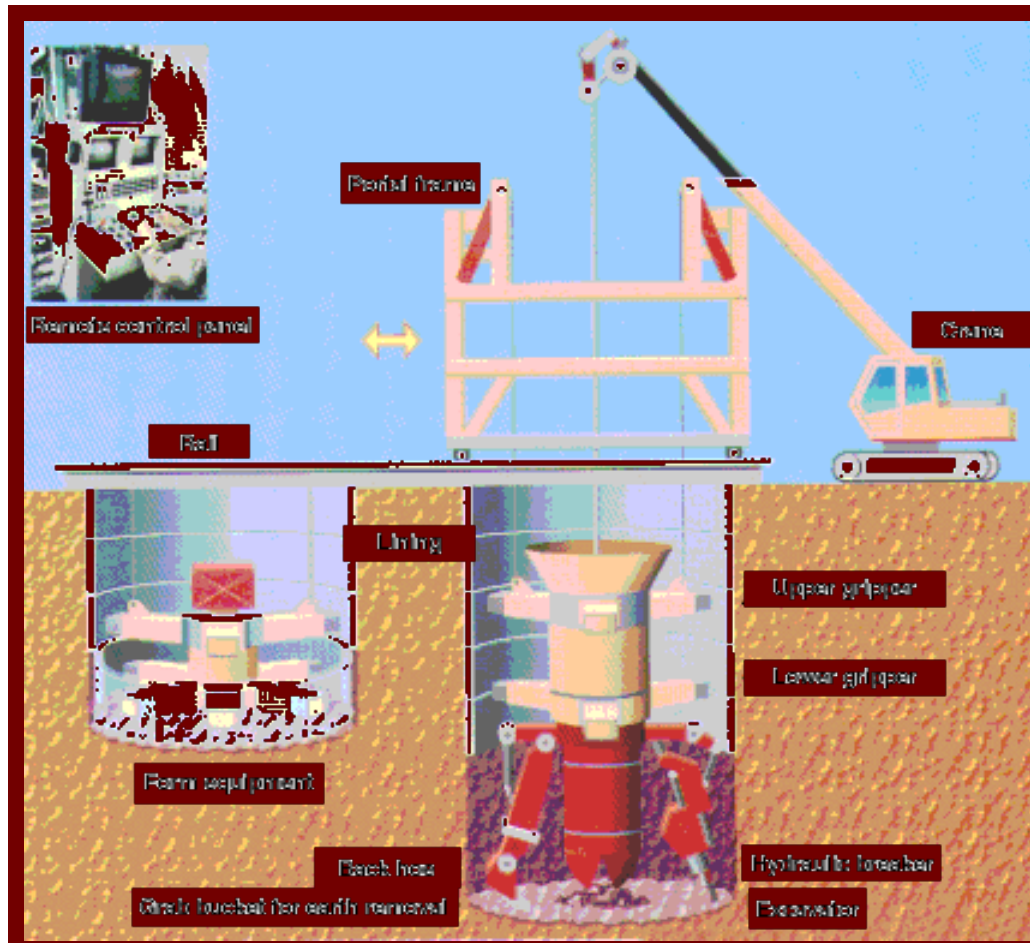


## Vertical Shaft Sinking Machine (VSM)





# MÉTODOS ROBOTIZADOS





# OTROS MÉTODOS DE EXCAVACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE POZOS

## Método de congelación

- Consiste en congelar el terreno suelto y muy acuífero y perforar el pozo en la zona congelada.
- Requiere la perforación de una serie de sondeos en círculo a 2 ó 3 m del contorno del futuro pozo y separados 1 m entre sí hasta llegar a una base firme impermeable.
- Estos sondeos se entuban con tubos cerrados por el fondo y se introduce en ellos, mediante otros tubos de menor diámetro, una lejía o salmuera de cloruro magnésico o cálcico, refrigerada de - 19 a - 25° C. El terreno se congela y el pozo puede perforarse.

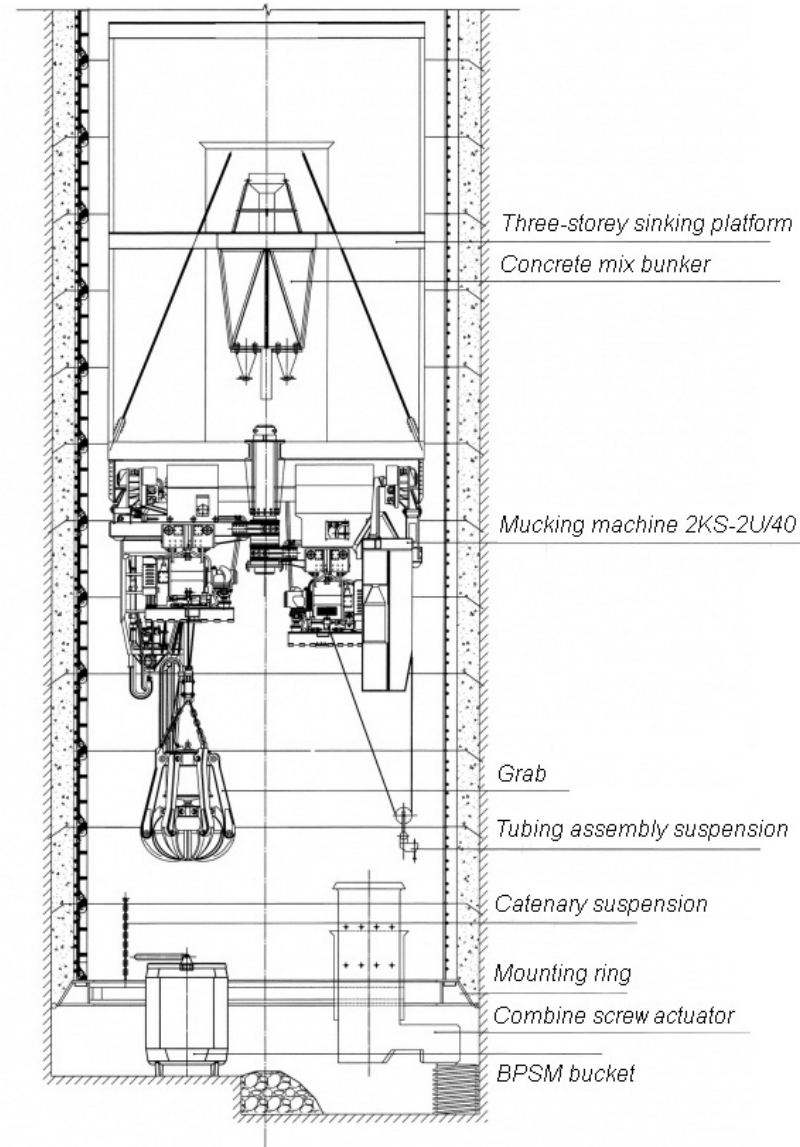




*Shaft sinking through rocks with less than average strength  
in the area of artificial rock freezing  
(Combine shaft sinking)*

*Stage I*

Rock mining with the help of the combine and debris cleaning  
Jacks are removed, mounting ring is bolted to the tubing column













## Método de cementación

- Consiste en inyectar una lechada de cemento a presión a través de una corona de sondeos.
- La cementación cierra las grietas y poros impermeabilizando el terreno.
- Las grietas deben tener más de 0,1 mm de ancho para admitir la lechada.
- En arenas solo puede aplicarse cuando son lo suficientemente permeables para no comportarse como un filtro y detener el cemento rápidamente.
- Este método sirve también para galerías, cimentaciones etc.
- Al secar el macizo se profundiza por el método ordinario.
- Es de excelente aplicación en rocas firmes con grietas no demasiado grandes y sin arcilla ya que esta es un veneno que impide el fraguado del cemento.
- La cementación se hace desde el fondo y solo en los tramos con grietas.

## Método de tablestacas

- Se usa en terrenos inconsistentes y acuíferos en los que la fortificación se clava avanzada sobre el arranque, para evitar que las tierras fluyan inundando el hueco abierto.
- Se llega hasta 25 m de profundidad.
- Las tablestacas se solapan entre sí impidiendo el paso de las tierras y se clavan a maza o con peso suspendido o martinete.
- Son de madera o metálicas y se apoyan en cuadros de madera o en anillos metálicos como en el avance de galerías.





## Método de desecación

- Consiste en bajar el nivel del acuífero mediante bombas introducidas en sondeos de diámetro elevado, alrededor del futuro pozo, para a continuación proceder como habitualmente.























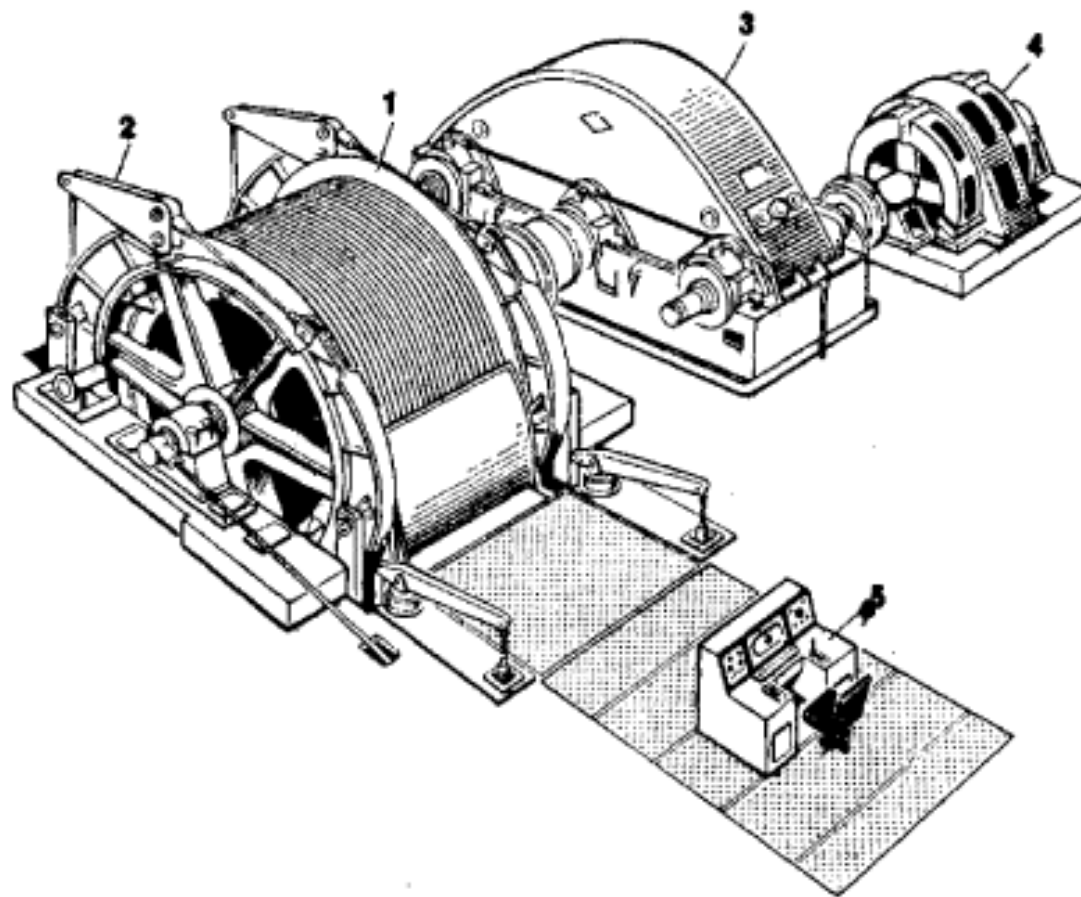


## Diseño y construcción de la maquinaria de extracción

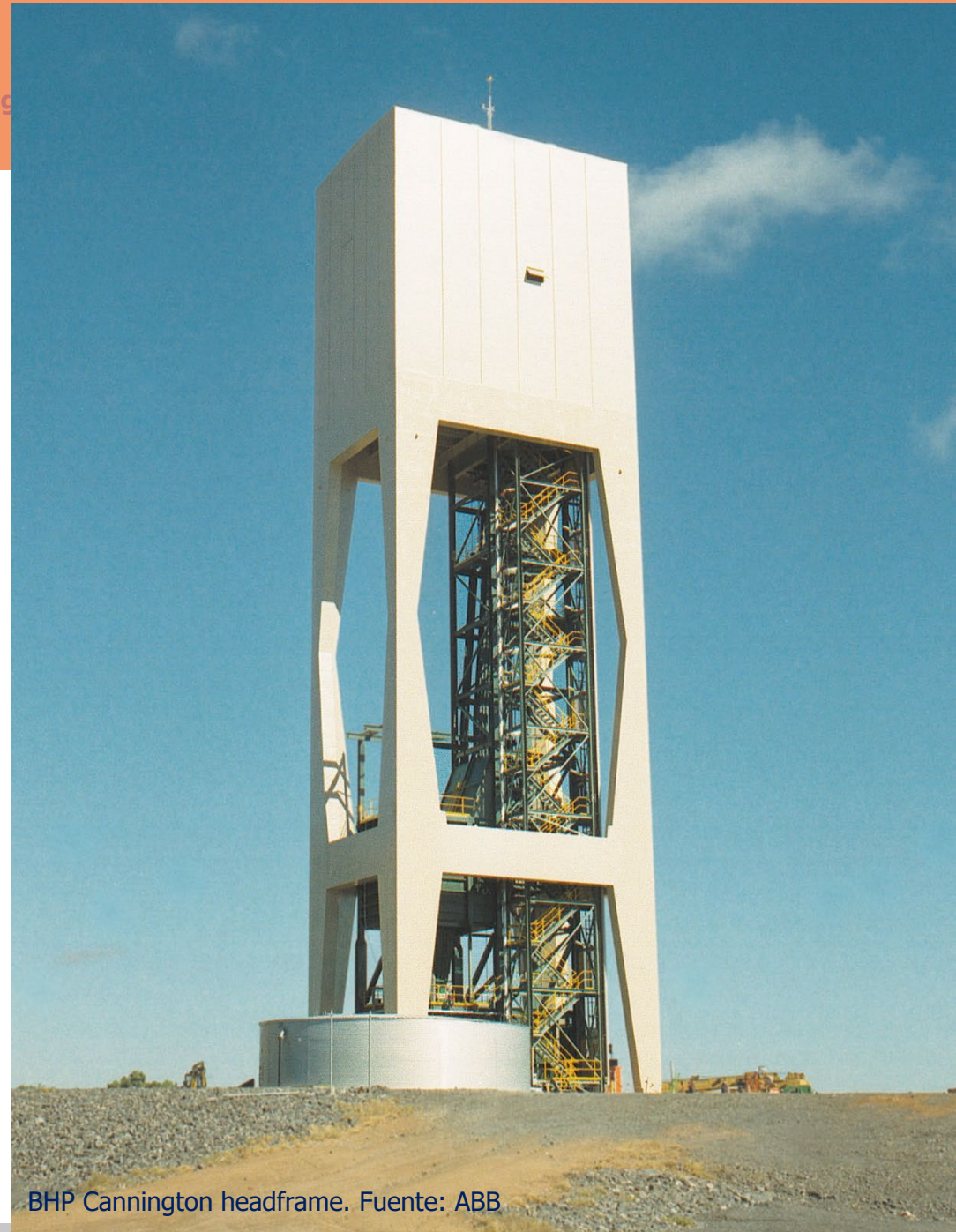
- **Objetivo:** determinar:
  - Dimensiones,
  - Capacidad, y
  - Tamaño de los componentes mecánicos
  - Potencia del motor eléctrico necesario para subir y bajar los pesos necesarios en los tiempos requeridos.
- Para ello, se tendrán en cuenta, entre otros:
  - Velocidad de elevación, incluyendo la aceleración, desaceleración o frenado, y velocidad máxima.
  - Producción en t/h.
  - Peso máximo que debe ser elevado
  - Peso de la carga y de los equipos de elevación.
  - Diámetro del cable de elevación.

■ A hoisting machine with a cylindrical drum:

- (1) winding drum,
- (2) brake,
- (3) reduction gears,
- (4) electric motor,
- (5) control console

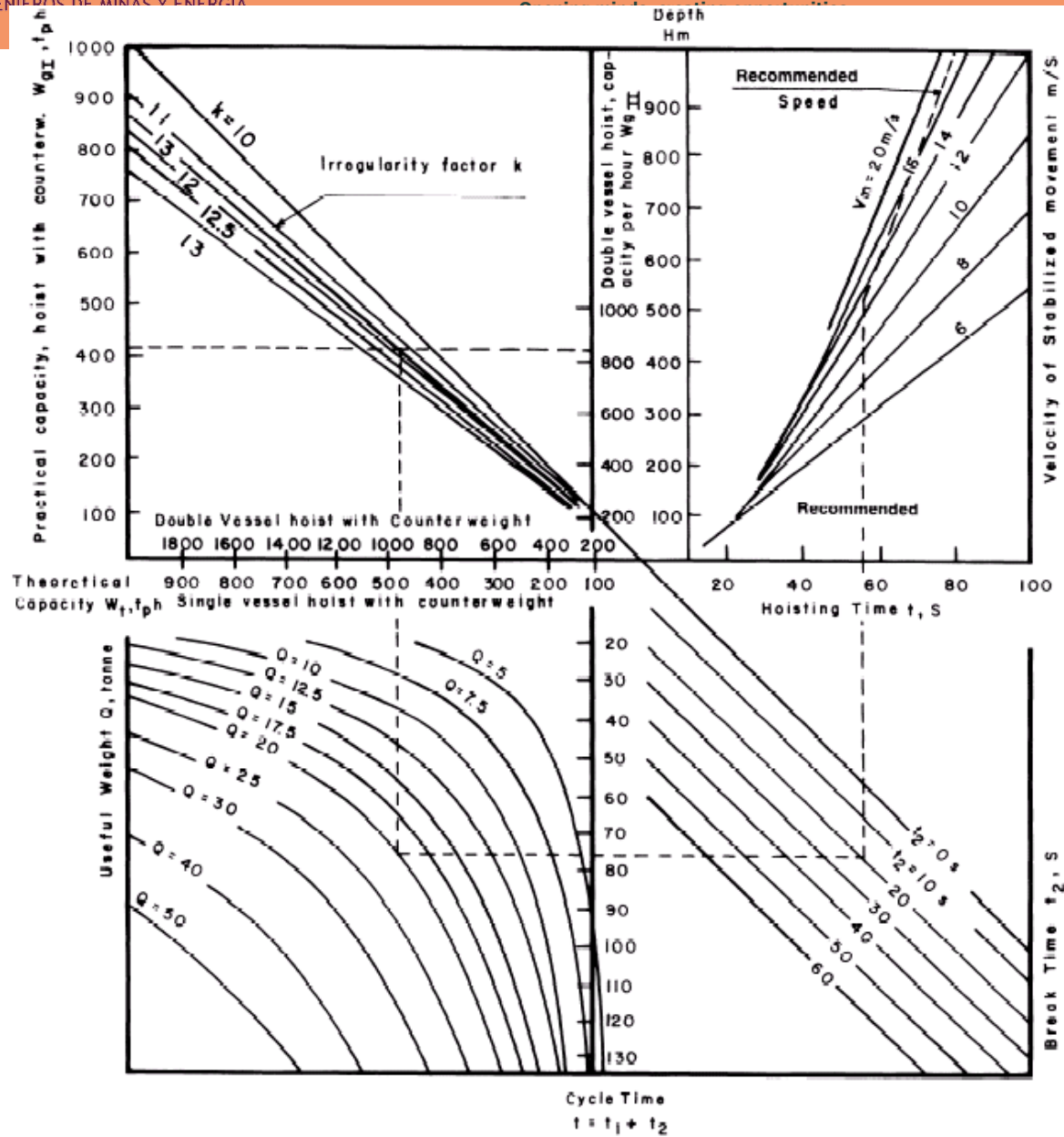


- Los datos deben ser calculados o estimados en el orden siguiente:
  - (1) tiempos de los ciclos de trabajo,
  - (2) velocidad de elevación,
  - (3) pesos de las cargas de mineral y de los medios de transporte,
  - (5) dimensiones de los tambores,
  - (4) dimensiones del cable de extracción,
  - (6) potencia requerida del sistema motor de la máquina de extracción.



BHP Cannington headframe. Fuente: ABB



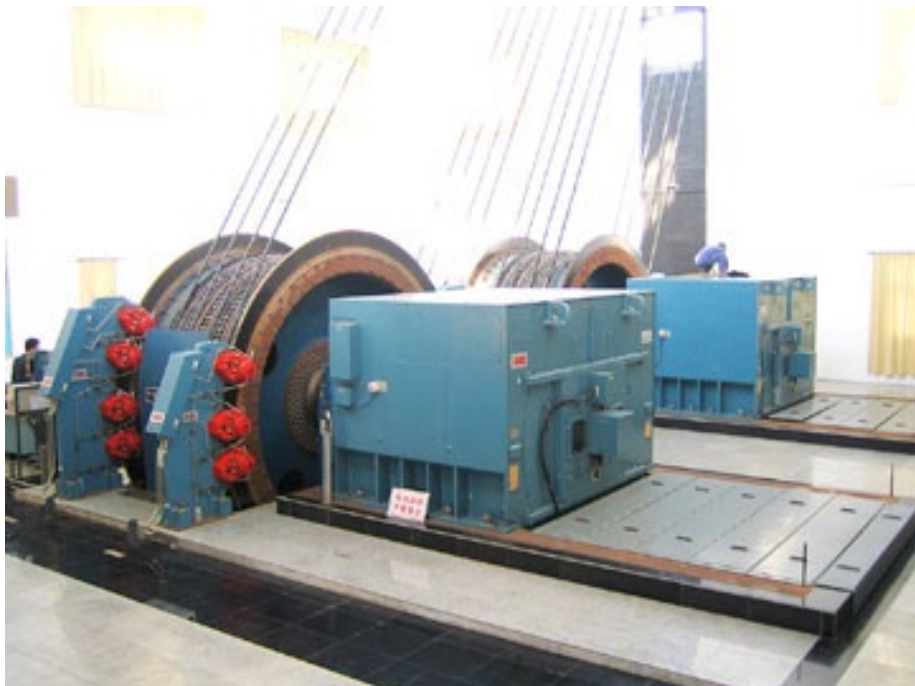




Tower mounted friction hoist with low voltage motor (Source: ABB)



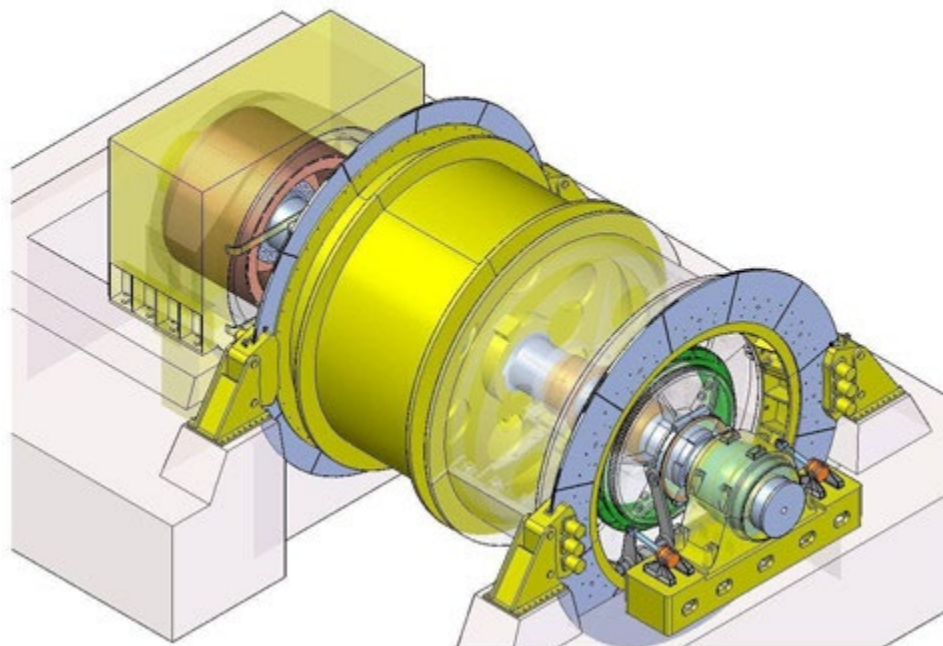
Single drum hoist (Source: ABB)



Ground mounted friction hoist  
(Source: ABB)



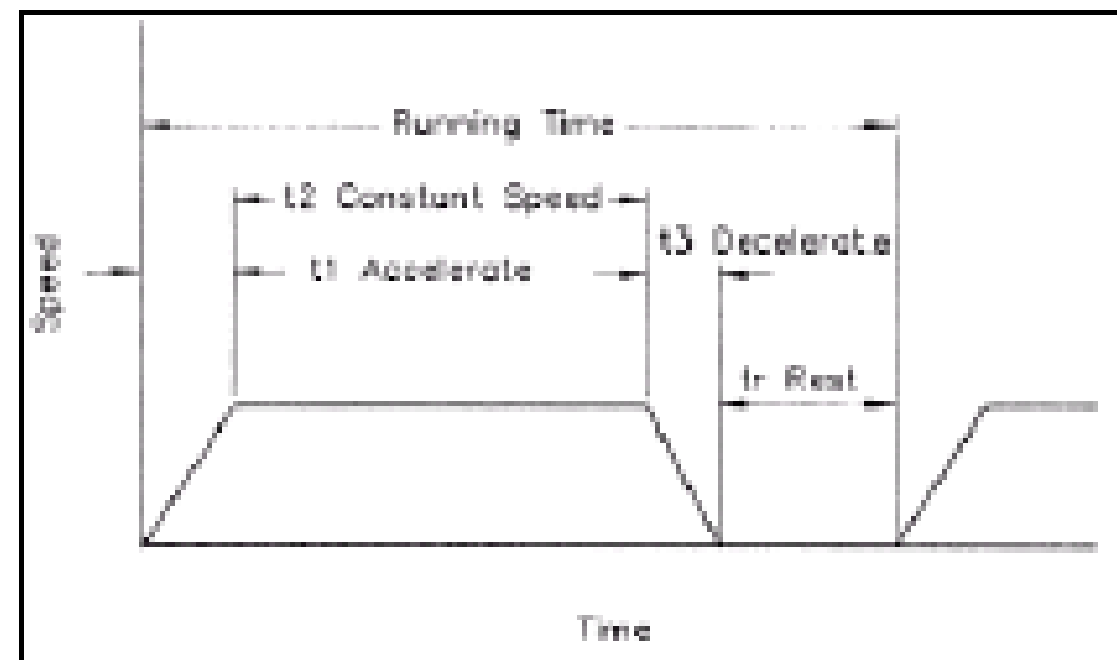
Double drum hoist (Source: ABB)





## Ciclo de trabajo

- Describe el tiempo total necesario para mover el elemento de transporte desde el punto de carga en la base del pozo de extracción hasta el punto de descarga en la cabeza o parte alta del pozo en el caso de doble tambor con dos skips o jaulas y en el caso de un solo tambor con una sola jaula o skip el ciclo comprende la subida y la bajada.
- Para que sea completo el ciclo debe comprender los períodos de tiempo de:
  - Carga,
  - Marcha lenta inicial,
  - Aceleración,
  - Velocidad plena,
  - Desaceleración,
  - Marcha lenta de parada,
  - Descarga y
  - Parada.



Ciclo de trabajo de un pozo de extracción

## Producción (T / hora)

- Debe definirse en función de las necesidades actuales y futuras de la producción anual de la empresa o de la mina.
- Una vez definido el objetivo anual, se analizarán las condiciones necesarias para obtener la producción pretendida:
  - Inversión necesaria,
  - Plantilla de personal,
  - Horas de trabajo anuales,
  - Productividades de cada máquina,
  - Etc.
- Se tendrán en cuenta, además:
  - La humedad del mineral,
  - El factor de utilización (0,90 en minas muy buenas aunque lo normal es 0,70).

## Peso máximo y capacidad del skip

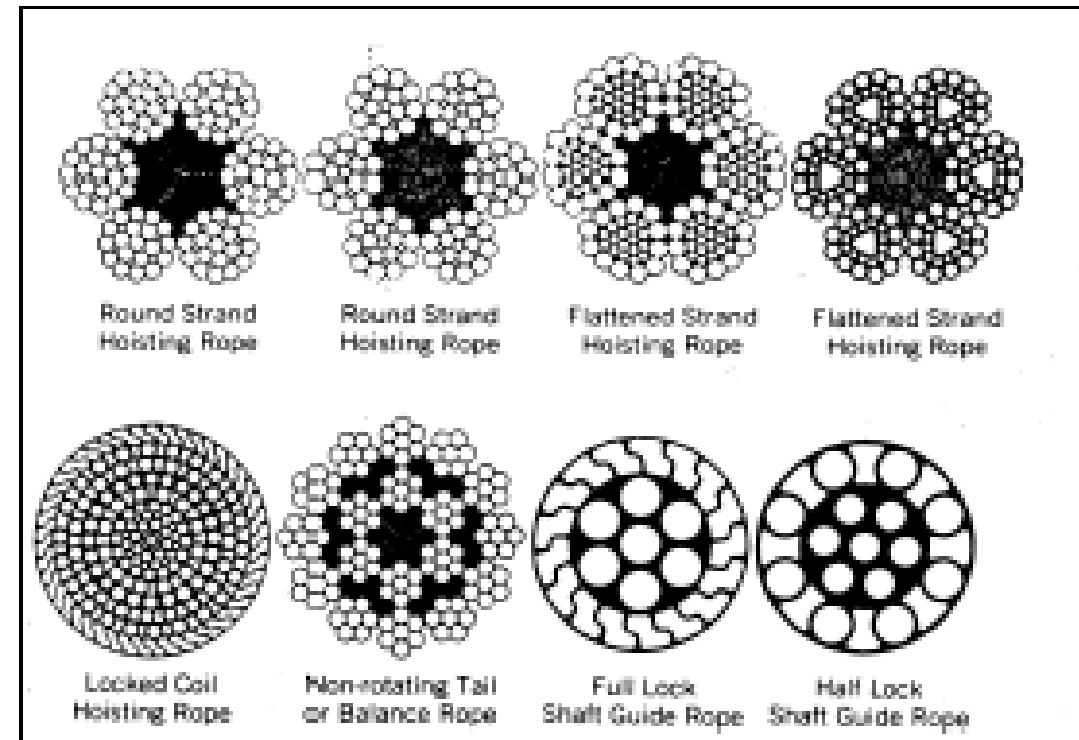
- El peso máximo que ha de ser elevado en el pozo de extracción se compone de:
  - El peso del cable,
  - El peso del skip o peso muerto
  - El peso del mineral cargado en cada skip o peso útil.

## Contrapesos

- En determinadas circunstancias y en particular en máquinas de tambor simple se utiliza, a veces, una sola jaula o skip equilibrado mediante un contrapeso.
- El contrapeso se ha de calcular como la media de la suma del peso de la jaula o skip totalmente cargado y descargado.
- Con ello se obtiene el mejor compromiso para el contrapeso.

## Cables de máquinas de extracción

- Los factores que deben considerarse en el diseño de los cables de extracción son:
  - 1) Los hilos de acero,
  - 2) Los torones,
  - 3) El alma, y
  - 4) El trenzado.



Diferentes tipos de cables



## **Los hilos de acero:**

- Los cables de extracción se construyen con hilos de acero de 1,5 a 3,5 mm de diámetro cuya resistencia a la ruptura llega a los 2500 Mpa.
- Los hilos pueden ser de sección circular, en Z y de doble garganta; estos dos últimos tipos de hilos se emplean en cables cerrados y semicerrados.

## Los torones:

- Se llama torón o cordón al cable más sencillo que puede obtenerse del hilo de acero y para formar el torón los trozos de alambre se unen con soldaduras que no deben coincidir y se disponen varios hilos en hélice adosados en una o varias capas.
- El torón se caracteriza por la naturaleza del alma, el número de capas, el sentido del trenzado y el paso de la hélice.
- Hay cuatro tipos de torones:
  - redondos,
  - triangulares,
  - ovalados y
  - planos.
- Los torones se designan por el número de hilos del alma y de las capas sucesivas.

## **El alma:**

- Su finalidad absorber los esfuerzos internos de compresión que se producen principalmente por aplastamiento en los tambores de arrollamiento y en las poleas.
- Las fibras naturales como el cáñamo se utilizan normalmente, aunque para aplicaciones anticorrosivas se utilizan fibras sintéticas tales como el nylon y el polipropileno.

## **El trenzado:**

- Los cables redondos se forman enrollando en hélice, en una sola capa, 4 a 8 torones alrededor de un alma de cáñamo.
- El trenzado más normal es a derechas, a menos que por alguna circunstancia especial haya de ser a izquierdas.

## Tipos de trenzado

- Los trenzados pueden ser de varios tipos:
  - Trenzado Cruzado:
    - Forma: los torones se enrollan al contrario que los hilos para obtener cables más rígidos.
    - Cualidades: buena resistencia a los golpes y no se desenrollan y aguantan bien los aplastamientos y distorsiones.
    - Aplicaciones: Se usan para eslingas y para cables de equilibrio.
  - Trenzado Lang:
    - Forma: los torones se enrollan en el mismo sentido que los hilos para cables más flexibles.
    - Cualidades: mayor resistencia a la abrasión y se alojan mejor en los tambores.
    - Habituales en extracción. Por su tendencia a destrenzarse no se emplean si las cargas a elevar no van guiadas.
  - Cables compuestos Nuflex:
    - Se realizan con dos capas de torones de hilos de acero más finos.
    - Son flexibles y antigiratorios.

## Características de los cables

- Las características físicas más importantes de los cables son:
  - Sección teórica: es la suma de las secciones de los hilos.
  - Diámetro teórico: es el círculo circunscrito a la sección teórica.
  - Diámetro práctico: es el del cable nuevo sin usar y es 2 a 5 % mayor al usado.
  - Peso por metro: figura en los catálogos en kilogramos.

## Características de los cables

- Las características mecánicas principales son:
  - La carga de rotura experimental que se determina sometiendo un trozo de cable a un ensayo de tracción en el laboratorio.
  - La resistencia totalizada experimental que se obtiene sumando las individuales de los hilos del cable, obtenidas por separado.
  - La resistencia que se retendrá a efectos reglamentarios es la obtenida sobre el cable completo por un ensayo de rotura a tracción en un laboratorio homologado
  - El alargamiento: el límite elástico llega al 0,75 de la carga de rotura. Hay un alargamiento de acomodación que llega al 3 % del largo del cable, y otro elástico que se recupera.
  - Fatigas: el cable está sometido a fenómenos de giro, sacudidas diversas y fenómenos de resonancia.

## Infraestructura de ventilación



Large fan equipment used to blow fresh air into Virginia-Pocahontas Coal Company mine #2 near Richlands, Virginia.  
Fuente: Environmental Protection Agency.



*Construction of Fan Building.*



Fuente: <http://www.snowdengroup.com>



## 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