Laboreo II

Tema 3.1. Maquinaria de interior



Raúl Husillos Rodríguez
Noemí Barral Ramón

Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:
Creative Commons BY-NC-SA 4.0

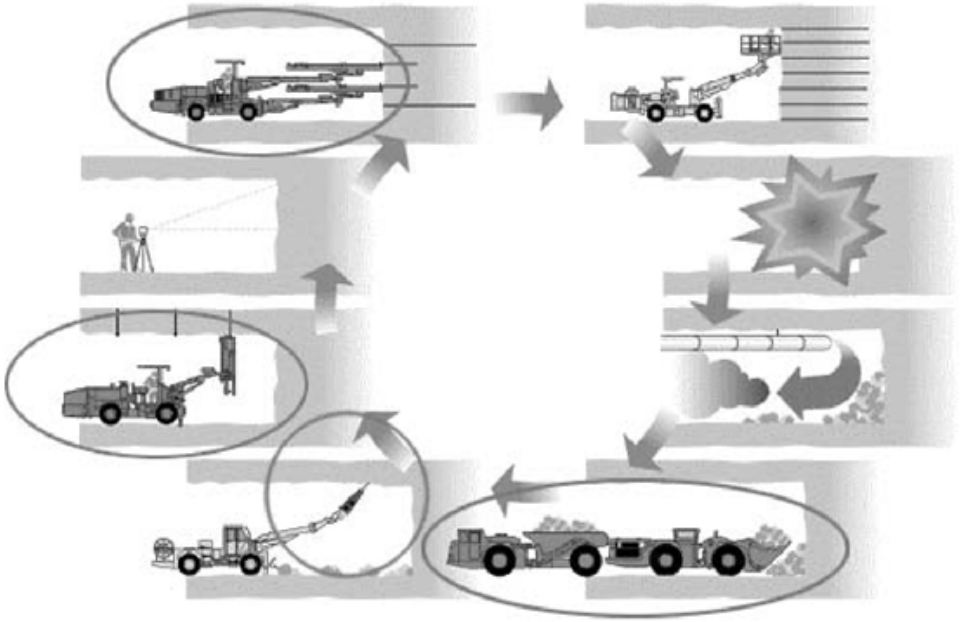


MAQUINARIA DE AVANCE: MINADORES

https://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-431705.html

DESCRIPCIÓN DEL CICLO MINERO DE AVANCE (CONVENCIONAL):

- **PERFORACIÓN:** Con martillo neumático/jumbo de perforación.
- **CARGA DE LOS BARRENOS.**
- **VOLADURA:** Aplicando alguno de los principales tipos de cuele.
- **VENTILACIÓN:** Una vez disparada la pega, se evacuan los gases y el polvo generado.
- **SANEO DEL FRENTE:** Evita pequeños desprendimientos. Frecuentemente se hace desde la pila de material. En ocasiones, posterior a la carga y previo al sostenimiento.
- **CARGA Y TRANSPORTE:** Es frecuente regar antes de cargar para reducir el polvo.
- **COLOCACIÓN DEL SOSTENIMIENTO.**
- **REPLANTEO TOPOGRÁFICO DE LA DIRECCIÓN DEL AVANCE.**



http://www.septemediciones.com/files/resumenminy.pdf

TIPOS DE SISTEMAS DE AVANCE DE GALERÍAS/ TÚNELES

- **SISTEMA CONVENCIONAL: Perforación y voladura.**
  - **Plena sección.**
  - **Sección partida.**
- **SISTEMA MEDIANTE MAQUINARIA**
  - **Ataque puntual.**
  - **Sección completa.**

MINADORES:

- También conocidos como rozadoras, máquinas de ataque puntual…

PARTES PRINCIPALES

- Cabeza
- Brazo (monobloque o articulado) y dispositivo de giro
  - Estructura, motor, reductor, cabeza de corte.
- Dispositivo de recogida.
- Chasis y tren de rodaje sobre orugas.
- Transportador de racletas.
- Sistemas eléctrico e hidráulico.



https://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-431705.html

VENTAJAS MINADORES VS. TUNELADORAS

- Flexibilidad y maniobrabilidad (distintas secciones, cambios de trazado, excavaciones transversales a una principal).
- Menor coste de capital.
- Ventilación del frente más rápida.
- No se requieren grandes espacios de montaje/desmontaje (diseño modular).
- Mayor accesibilidad para mantenimiento en el frente.

MINADORES:

VENTAJAS MINADORES VS. EXPLOSIVOS

- ❖ Mayor grado de mecanización admisible.
- ❖ Perfilado exacto de la sección de excavación.
- ❖ Menor acepción a la roca circundante.
- ❖ Ausencia de vibraciones.
- ❖ Menores requerimientos de sostenimiento
- ❖ Mejor adaptación a construcción por fases.





https://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-431705.html

APLICACIONES

- ❖ Rocas medias-duras si existen restricciones ambientales en el uso de explosivos.
- ❖ Rocas medias-blandas de longitud inferior a 2 km.

Clasificación de los minadores

TIPO DE MINADOR	PESO PROPIO (t)	POTENCIA DE CORTE (kW)	RANGO DE OPERACIÓN			
			ROZADORAS CON RANGO DE EXCAVACIÓN ESTÁNDAR		ROZADORAS CON RANGO DE EXCAVACIÓN AMPLIADO	
			SECCIÓN MÁXIMA (m^2)	RCS max (MPa)	SECCIÓN MÁXIMA (m^2)	RCS max (MPa)
LIGERO	8 - 40	50 - 170	25	60 - 80	40	20 - 40
MEDIANO	40 - 70	170 - 230	20	80 - 100	60	40 - 60
PESADO	70 - 100	230 - 300	40	100 - 120	70	60 - 80
MUY PESADO	> 110	300 - 400	45	120 - 140	80	80 - 110

MINADORES:

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS MINADORES

- **Geometría de la excavación:** limita las dimensiones máximas de las rozadoras. En excavaciones de una sola fase, la máxima altura de corte deberá ser sea igual o mayor que la altura de la sección a excavar.
  En excavaciones por fases o a sección partida, las dimensiones vienen determinadas por sección mínima que se excave.

- **Características de las rocas:** El peso y la potencia de una rozadora deben estar correlacionados con la resistencia a compresión de la roca a excavar.

Relación entre la resistencia a compresión simple de la roca y la Potencia de corte:

$$P(kW) = 0,87 \cdot RC^{1,18}(MPa)$$

Relación entre la Potencia de Corte y el Peso del minador:

$$P(kW) = 2 - 4 \cdot Peso(t)$$

MINADORES:

CABEZAS DE CORTE

- MILLING: Eje de giro paralelo al brazo de corte.
- RIPPING: Eje de giro normal al brazo de corte.



https://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-644521.html

MINADORES CON CABEZA RIPPING

- Mayor estabilidad a igualdad de peso y potencia.
- Menos sensibles a los cambios de dureza/macizo.
- Mayor rendimiento en rocas sedimentarias (planos).

MINADORES CON CABEZA MILLING



- Generalmente, menor consumo de picas.
- Disposición de picas más simple.
- Si el punto de giro está centrado en el eje de la galería/ túnel, puede conseguirse una minimización de la sobreexcavación.

MINADORES:

❖ **MINADOR DE TAMBOR:** El órgano de corte es un cilindro horizontal que gira alrededor de un eje paralelo al frente, con una hélice portadora de picas. Arranca en descenso, aplicado en rocas blandas (carbón, potasa, hierro…).







❖ **MINADOR DE CADENAS:** El órgano de corte es cuerpo portador de una serie de cadenas sobre las que se colocan los portapicas. Se excava en sentido ascendente. Su evolución concluyó hace décadas, por haberse superado sus prestaciones por otros equipos.

MINADORES:

❖ **Herramientas que consiguen el corte o desgarro de la roca, aplicando en un punto la energía desarrollada por la máquina, dispuestas en la cabeza de corte.**

PICAS

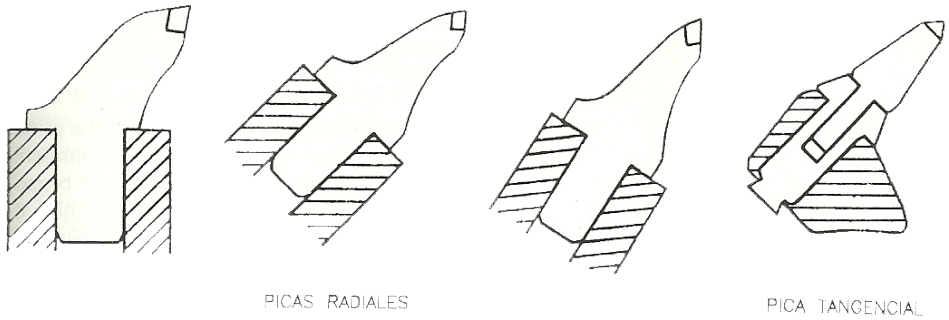
PICAS RADIALES

❖ Arranque de rocas blandas.
❖ El filo de corte está constituido por una pastilla de widia/carburo de tungsteno.

PICAS TANGENCIALES

❖ Forma cónicas, para soportar la fricción de la roca, también se denominan picas lapicero/auto-afilantes.

La selección del tipo de pica depende de la dureza y abrasividad de la roca y la potencia de la cabeza de corte.



ELEMENTOS DE LA PICA

❖ **Vástago/Mango de acero → De forma variable en función del tipo de pica. Se introduce en el bloque portapicas.**
❖ **Punta → Elemento de metal duro que estará en contacto con la roca.**

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

MINADORES:

ÁNGULOS

ÁNGULO DE ATAQUE (A)

❖ Formado por el eje de la pica y el plano que pasa por el vértice de la misma y el eje de la cabeza de corte, medido en el vértice de la pica. Se recomienda un valor de 25°. Es el ángulo más importante para la rotación de la pica cónica, la penetración en la roca y la economía del corte.

ÁNGULO OBLICUIDAD O SESGO (O)

❖ Formado por un plano que pasa por el eje de la pica, normal a la placa base del portapicas, y un plano normal al eje de rotación de la cabeza, medido en el vértice de la pica. Debe tener un valor entre 5° y 10°. En combinación con el ángulo de ataque, aumenta la tendencia giratoria de la placa cónica.

ÁNGULO DE BASCULAMIENTO (K)

❖ Formado por un plano que pasa por el eje de la pica, normal a la placa base del portapicas, y un plano normal a la cabeza de corte y la dirección de rotación de éste, medido en la línea central de la placa base del portapicas. Dependerá de la cabeza de corte y la combinación portapicas/pica.

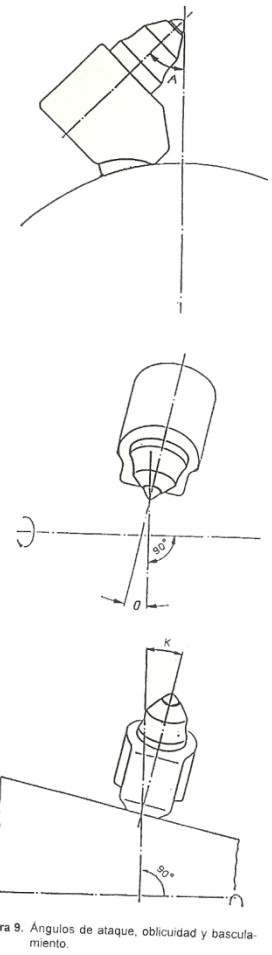


Figura 9. Ángulos de ataque, oblicuidad y basculamiento.

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

MINADORES:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	TRABAJO NECESARIO PARA ARRANCAR (kWh/m³)		
	CONTENIDO DE MATERIALES ABRASIVOS		
	< 10	10 - 30	> 30
10	0,2	0,8	1,7
20	0,4	1,6	3,1
30	0,7	2,7	4,5
40	1,5	3,7	6,0
50	2,3	4,8	7,5
60	3,4	6,0	9,2
70	4,5	7,5	11,0
80	6,0	9,3	12,8
90	7,5	11,0	16,0
100	9,5	12,8	
110	11,5	16,0	
120	13,8		
130	16,5		

* **Supuesta proporcionalidad entre las resistencias a tracción y compresión (1/10), y picas con diámetro de 22 mm. Para diámetro 17,5 mm., debe multiplicarse por 1,3 los resultados obtenidos.**

CÁLCULO DEL CONSUMO DE PICAS

TRABAJO NECESARIO PARA EL CORTE (kWh/m³)	CONSUMO DE PICA (Pica/m³)		
	CONTENIDO DE MATERIALES ABRASIVOS		
	< 10	10 - 30	> 30
1	0,01	0,02	0,03
2	0,02	0,03	0,05
3	0,03	0,05	0,08
4	0,04	0,07	0,10
5	0,05	0,09	0,13
6	0,06	0,11	0,17
7	0,08	0,13	0,20
8	0,09	0,14	0,23
9	0,11	0,17	0,26
10	0,12	0,19	0,28
11	0,13	0,21	0,32
12	0,14	0,24	0,36
13	0,15	0,26	0,39
14	0,17	0,28	0,43
15	0,19	0,31	0,47
16	0,21	0,33	0,51

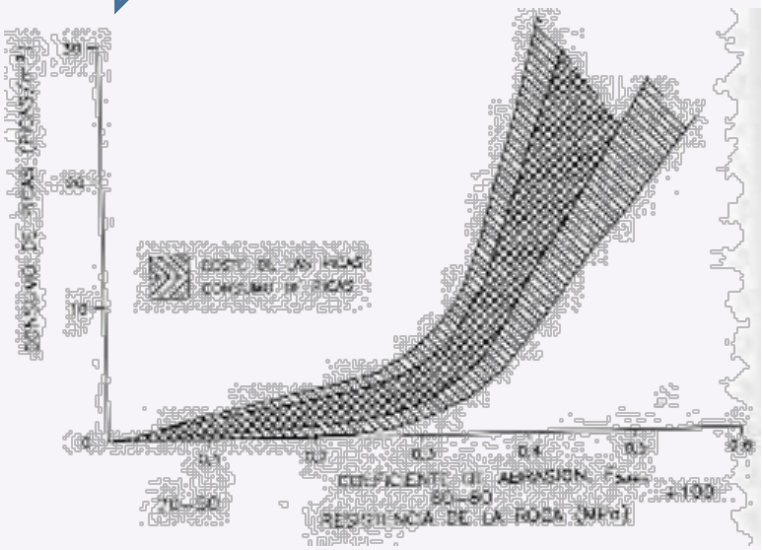
Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

MINADORES:

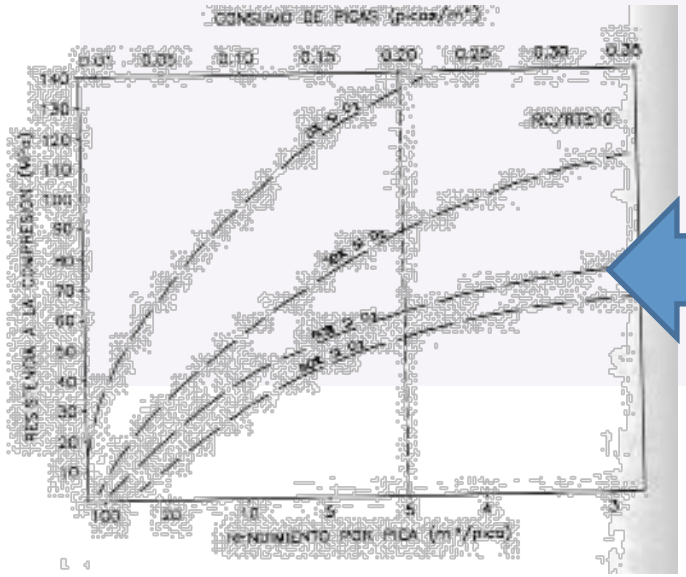
CÁLCULO DEL CONSUMO DE PICAS

OTRAS POSIBILIDADES: COEFT. DE ABRASIVIDAD DE SCHIMAZEK

$$F_{Schim} = Q^* \cdot d_{50} \cdot RT$$



Q*: Porcentaje de minerales abrasivos/cuarzo.
d_{50}: Tamaño medio de los granos de cuarzo.
RT: Resistencia a tracción (N/mm^2).



ÁBACO AC-EICKHOFF GmbH

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

MINADORES:

Brazos recolectores: El material arrancado una plataforma y es dirigido con brazos al transportador de racletas. Indicado para escombros que contienen muchos bloques gruesos.

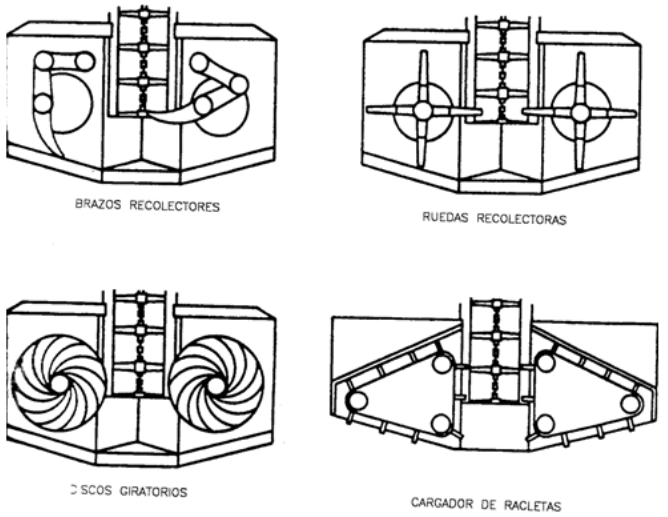
Ruedas recolectoras: Dispositivo de ruedas giratorias con brazos radiales. Al girar en sentido opuesto dirigen el material al transportador.

Discos giratorios: Dispositivo con dos discos que al girar en sentido opuesto envían el material desgarrado al transportador.

Cargador de racletas: Se trata de un dispositivo con uno o dos carruseles continuos de racletas. Para materiales de baja abrasividad y pocos bloques.

Brazo cortador-cargador: La propia cabeza cortadora para cargar el escombro, mediante un transportador de racletas dispuesto a lo largo del brazo de la máquina.

SISTEMA DE RECOGIDA





Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

MINADORES:

$$P(m_b^3/día) = ICR \cdot C_e \cdot n \cdot C_t \cdot C_d$$

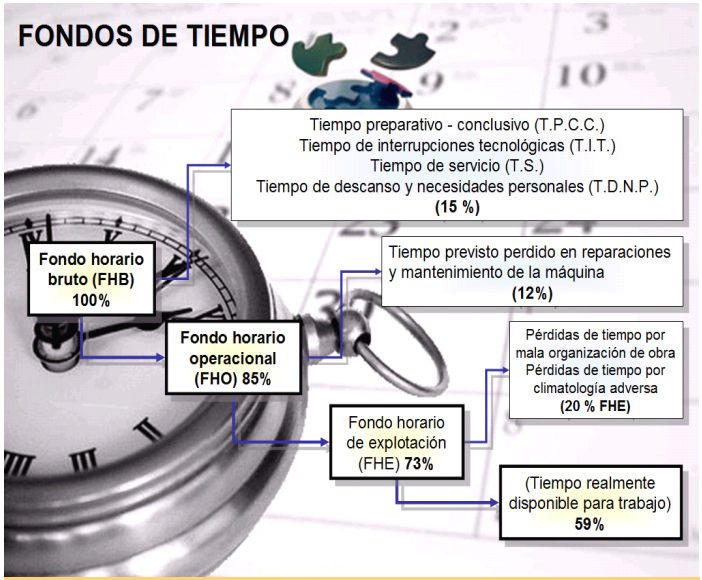
- **P:** Producción de excavación al día, medidos sobre perfil o banco.
- **ICR:** Rendimiento de corte instantáneo (m^3/h).
- **C_e:** Coeficiente de eficiencia.
- **n:** Número de horas trabajadas en una jornada.
- **C_t:** Coeficiente de tiempos muertos (No debería ser superior al 0,85).
- **C_d:** Coeficiente de tiempo disponible para el trabajo.

CÁLCULO DE PRODUCCIÓN

GRADO	CONDICIONES DE TRABAJO	Coef. Eficiencia C_e
1	Buenas condiciones en la solera. Se produce poco polvo.	1
2	Solera en malas condiciones. Poco polvo.	0,86
3	Mucho polvo, interrupciones ocasionales del trabajo.	0,69
4	Solera en malas condiciones. Mucho polvo.	0,52

C_d (%)	CONDICIONES DE TRABAJO
10	Condiciones pésimas. Pendientes fuertes. Presencia de agua.
20	Terrenos malos, avance por fases con el mismo minador, con importante sostenimiento.
50	Trabajo en una fase, con sostenimiento ligero.
85	En condiciones óptimas, sin impedimentos(situación ideal).

Fuente: López Jimeno C .(1998):«Manual de Túneles y Obra Subterránea». Móstoles :Entorno Grafico S.L.



Ejemplo de distribución de fondos de tiempo: el 100% del tiempo no está realmente disponible para la labor.



MÉTODOS DE CÁLCULO DEL ICR

MINADORES:

MÉTODOS DE CÁLCULO DEL ICR

Método de Bilgin et al.

1° Cálculo del índice de cortabilidad: $$RMCI = RC \cdot \frac{RQD^{2/3}}{100}$$

2° Rendimiento de Corte Instantáneo: $$ICR = 0{,}28 \cdot P \cdot (0{,}974)^{RMCI}$$

P: Potencia del Minador.
RQD: Rock Quality Desing (% de fragmentos extraidos de un testigo sondeo de longitud superior a 10 cm.).

Método de Fowell y McFeat – Smith.

1° Energía específica de corte:

$$SE = -4{,}38 + 0{,}14 \cdot (CI)^2 + 3{,}3 \cdot (RC)^{1/3} + 0{,}000018 \cdot (SH)^3 + 0{,}0057 \cdot (CC)^3$$

- CI: Dureza a la indentación cónica.
- RC: Resistencia a compresión simple.
- SH: Dureza Shore*.
- CC: Coeficiente de cementación, basado en descripción petrográfica (Mc Feath-Smith, 1977).

$$SE = -4{,}38 + 0{,}14 \cdot (0{,}0377 \cdot RC + 0{,}254)^2 + 3{,}3 \cdot (RC)^{1/3} + \\ + 0{,}000018 \cdot (0{,}441 \cdot RC - 8{,}73)^3 + 0{,}0057 \cdot (CC)^3$$

Dada Relación lineal entre la dureza Shore y la indentación cónica (Atkinson et al. 1986), la expresión queda así.

2° Rendimiento de Corte Instantáneo:

$$ICR = \frac{P(kW)}{SE}$$

- **Si se corrige éste valor con el CTF (Cutting Time Factor), podremos tener una determinación aproximada de la producción horaria de corte (m3/h) ya que (SE se calcula en base al tiempo real de corte).**

CONDICIÓN DE EXCAVACIÓN	CTF
Excavación normal.	0,65 - 0,85
Recortes finales.	0,3 - 0,5
Arranque global.	0,45 - 0,65

$$OCR = ICR \cdot CFT$$

*** DUREZA SHORE:** Procedimiento dinámico de medición de dureza. Determina la altura de rebote de un cabezal bulón al caer desde una altura de 250 mm. 170 mm. correspondería a 100 uds. Shore.

MINADORES:

MÉTODOS DE CÁLCULO DEL ICR

Método de Neil et al.

1° Cálculo de "f", trata de reflejar la profundidad que el operario elige intuitivamente basado en la facilidad percibida para el corte. Si es f = 1, puede alcanzar una profundidad de penetración igual a toda la longitud o radio de la cabeza de corte, si es f < 1, la profundidad es menor.

$$f = 1 - 0{,}06 \cdot (R - 7) - 0{,}5 \cdot \left[\frac{RQD - 25}{25}\right]^{B1} - \left[\frac{RC - 5000}{5000}\right]^{B2}$$

- R: Relación entre la resistencia a compresión simple y a tracción de la roca.
- B1, B2: Constante de valor 0,4 y 2, respectivamente.
- RC: Resistencia a compresión simple (lb/pulg^2).

2° Rendimiento de Corte Instantáneo:

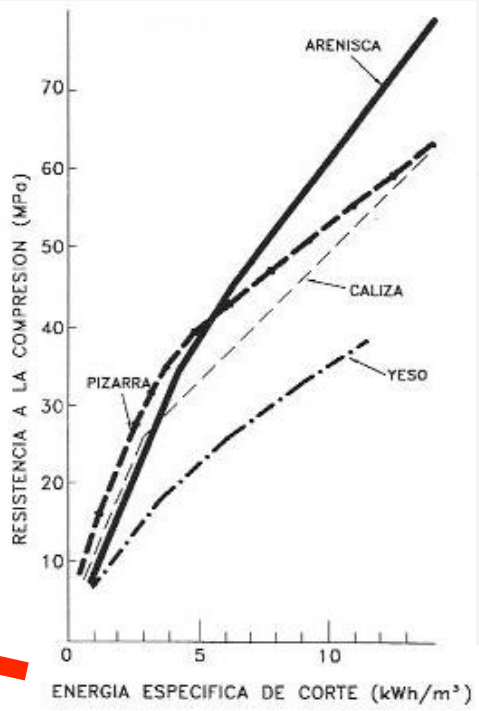
$$ICR = P_n \cdot RMP \cdot C \cdot (D - f)^2$$

- D: Diámetro de la cabeza de corte.
- Pn: Penetración nominal (Pn = 10f).
- C: Factor de conversión de unidades.

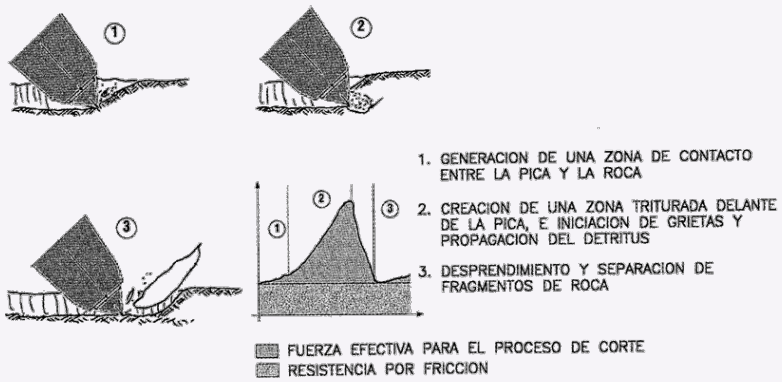
Método de Schneider (1988)

$$ICR = R(m^3/h) = P/E$$

- D: Diámetro de la cabeza de corte.
- P: Potencia instalada en el brazo de corte.
- E: Energía específica de corte (kWh/m^3).



MINADORES:



Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

PROCESO DE CORTE

1. Creación de una **zona de contacto** entre la pica y la roca.
2. Creación de una **zona triturada** delante de la pica, iniciación de grietas y propagación del detritus.
3. Desprendimiento y separación de **fragmentos** de roca.

La roca triturada transmite la tensión de pica a roca. Si esa tensión alcanza un valor crítico, se propagan una serie de grietas, que garantizan la continuidad del proceso (deberá aportarse la suficiente energía).

INCREMENTANDO EL ESPACIADO ENTRE PICAS:

OPTIMIZACIÓN DELPROCESO DE CORTE

EN TEORÍA

- Reducción de la hendidura de la pica por unidad de volumen de roca arrancada (aumento del rendimiento de corte, disminución de los finos, reducción del consumo específico de picas).

LIMITACIONES EN LA PRÁCTICA

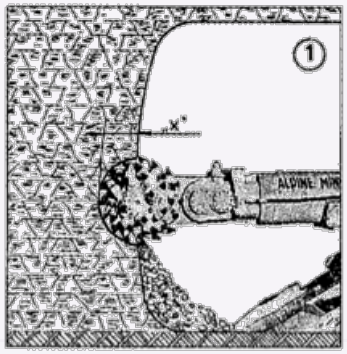
- Mayor concentración de carga en cada pica (rotura de las mismas). Generación de pares distintos entre picas (cargas críticas en la cabeza de corte y vibraciones).

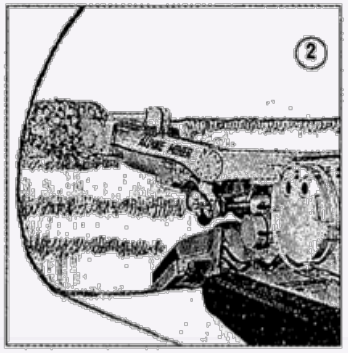
OPTIMIZACIÓN MEDIANTE PROGRAMAS INFORMÁTICOS, EXTRAPOLANDO MACIZOS SIMILARES.

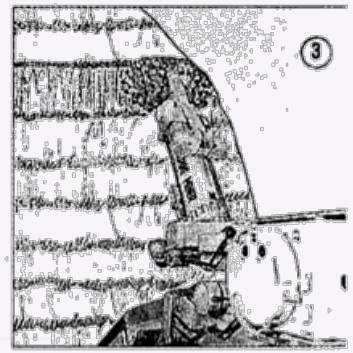
MINADORES:

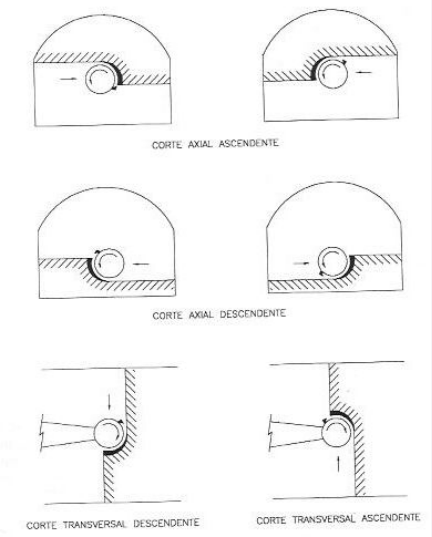
SECUENCIA DE EXCAVACIÓN

1. Penetración de la cabeza.
2. Corte del frente.
3. Perfilado (en caso de requerirse).









- La introducción de la cabeza de corte en el frente de excavación (movimiento hacia delante de la rozadora, mediante las orugas/brazos telescópicos o articulados).
- El resto de la excavación del frente de avance se consigue moviendo el brazo rozador. El tipo de movimiento a describir dependerá de las condiciones del macizo, y el tipo de cabeza.
- Si se requiere revestimiento (túneles, por ejemplo), suele perfilarse la sección para aproximar la geometría a la definitiva.

Fuente: López Jimeno, C. (1998): «*Manual de Túneles y Obra Subterránea*». Móstoles: Entorno Grafico S.L.

MINADORES:

EXCAVACIÓN DEL FRENTE DE AVANCE

Milling: el movimiento natural es hacía delante, manteniendo el cabezal centrado. La fuerza se aplica sobre un menor número de picas que en la cabeza transversal: pequeñas oscilaciones circulares pueden resultar ventajosas.

Ripping: al cortar en frente de arranque, dejan roca entre las dos mitades de la cabeza. La máquina avanza por pasos, desplazando el brazo transversalmente.

EXCAVACIÓN EN MATERIALES BLANDOS*

Las **rozadoras con cabeza longitudinal** (axial), ejecutan un corte en la parte central de la sección de avance que luego ensanchan al resto de la sección. Los rendimientos instantáneos que se consiguen son inferiores a los que se consiguen con cabezas transversales.



Las **rozadoras con cabeza transversal** suelen cortar auxiliándose de movimientos verticales. Suele comenzarse cortando desde el piso hacia el techo, aunque en condiciones ideales pudiera considerarse la opción contraria, desde el techo hacia el piso.



* **MATERIALES SECOS QUE CORTAN CON FACILIDAD. RESISTENCIA A COMPRESIÓN INFERIOR A 50 Mpa, O CON UNA IMPORTANTE FRAGMENTACIÓN, QUE PERMITE OBTENER TAMAÑOS DE FRAGMENTACIÓN INFERIORES A 200 mm.**

MINADORES:

EXCAVACIÓN EN MATERIALES MEDIOS-DUROS



Con cabeza longitudinal, en la práctica suele hacerse un socavado inicial, y seguidamente un corte poco rebajado transversalmente en el centro del frente que se va agrandando en lo sucesivo. La libertad de movimientos es mayor que en transversales, pudiéndose dar pasadas en cualquier posición.

Rozadoras transversales, en rocas medias-duras suelen realizar las operaciones de corte moviendo el brazo horizontalmente en todo lo ancho del frente, volviendo a tomar posición la cabeza para realizar el corte siguiente. El socavado inicial suele verificarse en el piso de la galería.



MINADORES:

CORTE SELECTIVO EN ROCAS MIXTAS

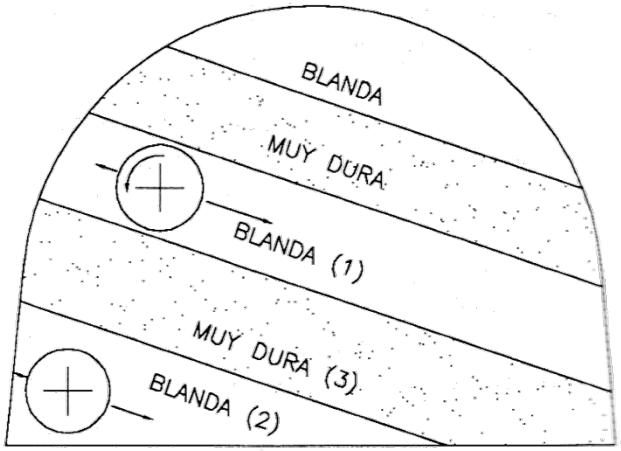


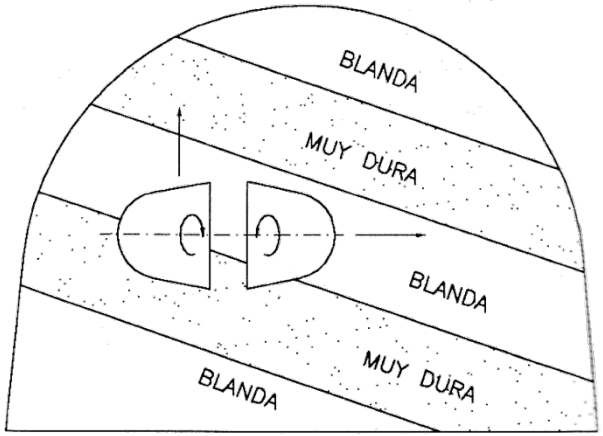
La cabeza de corte longitudinal resulta óptima (permite realizar cortes en todas direcciones (permite cortes horizontales, verticales e inclinados). Permite atacar primero las capas blandas, provocando una cierta debilitación de las capas duras intermedias, favoreciendo el posterior arranque.

Con cabeza de corte transversal, la posibilidad de corte selectivo se reduce a estratos de una potencia igual o mayor que el cabezal. Pueden excavar verticalmente y en arco, pero los cortes inclinados se ven comprometidos por el núcleo central de la cabeza. Puede optarse por un corte en diagonal escalonado.



Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.





MINADOR MILLING

MINADOR RIPPING



MAQUINARIA DE AVANCE: TUNELADORAS

TUNELADORAS:

TIPOLOGÍAS

- **TOPOS** : Generalmente empleados en rocas medias – duras, sin grandes requerimientos iniciales de sostenimiento inicial. Carece prácticamente de protección. El avance cuyo avance se verifica al aplicar a la roca del frente el par de giro de la cabeza y del empuje longitudinal (se aprovecha reacción contra la roca de unas zapatas o grippers, con las que se fija la parte estática de la máquina).

- **ESCUDOS:** Empleados generalmente en suelos y en terrenos en malas condiciones. Cuenta con un sistema integral de protección, lográndose el empuje longitudinal por la reacción de los grippers contra unas dovelas de revestimiento, dada la falta de competencia del terreno.



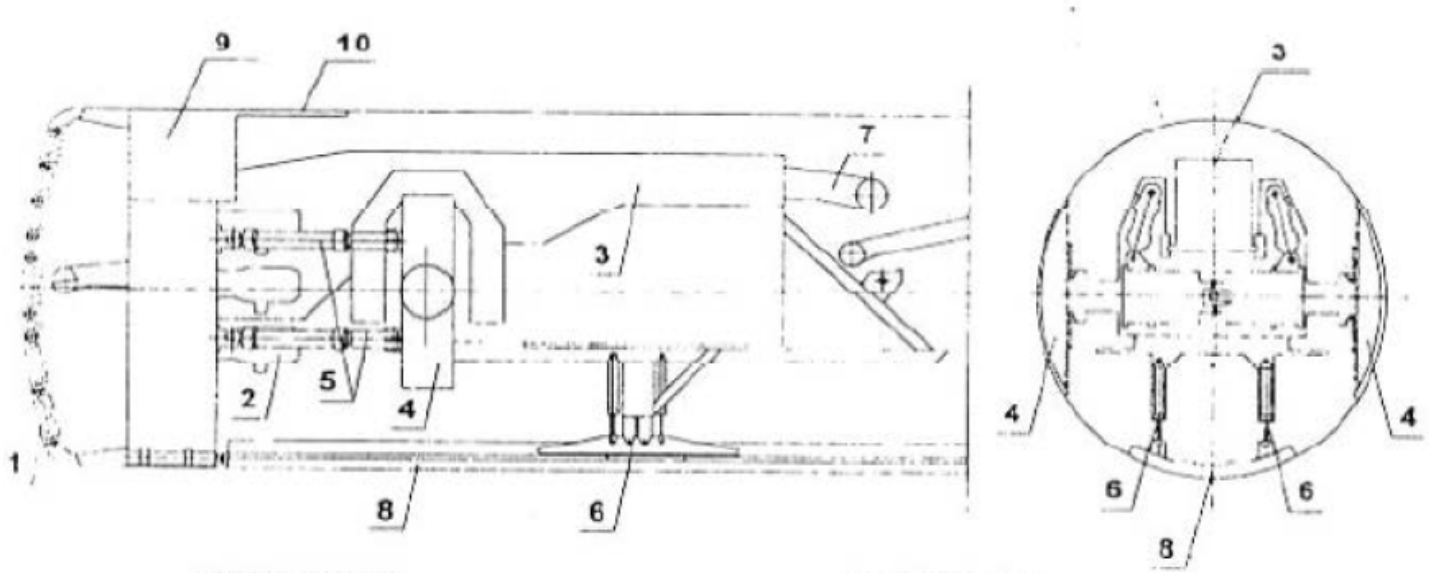


https://ingenieriaenlared.wordpress.com/2008/12/21/%C2%ABherrenknecht-epb-shield-s-300%C2%BB-la-tuneladora-mas-grande-del-mundo/

TUNELADORAS:

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

TOPOS



1 RUEDA DE CORTE
(EQUIPADA CON CORTADORES DE DISCO)
2 MOTORES ACCIONAMIENTO RUEDA DE CORTE
3 VIGA PRINCIPAL
4 GRIPPERS
5 CILINDROS DE EMPUJE
6 APOYO DE COLA
7 TRANSPORTADOR DE BANDA
PARA EVACUACION DE ESCOMBRO
8 DOVELA DE SOLERA
9 CORAZA
10 ESPADINES

TOPOS : Generalmente empleados en rocas medias – duras, sin grandes requerimientos iniciales de sostenimiento inicial. Carece prácticamente de protección. El avance cuyo avance se verifica al aplicar a la roca del frente el par de giro de la cabeza y del empuje longitudinal (se aprovecha reacción contra la roca de unas zapatas o grippers, con las que se fija la parte estática de la máquina).

TUNELADORAS:

CABEZA

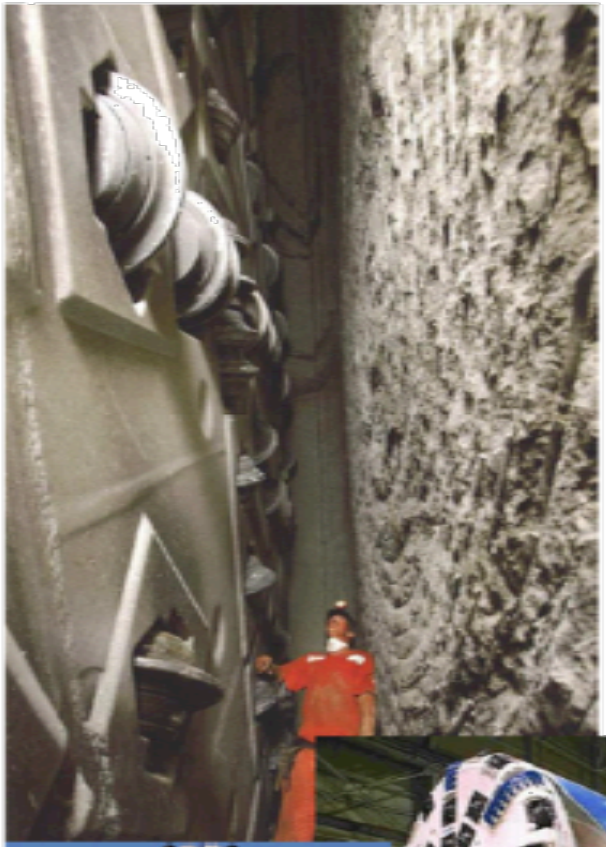
- Parte móvil de la tuneladora, responsable del arranque de la roca. Está provista de una serie de cortadores (discos de metal duro generalmente, de entre 300 y 500 mm) que giran libres sobre su eje. A mayor sea la dureza de la roca, mayor deberá ser el diámetro de los cortadores.

- Es bastante común una distribución en espiral, consiguiendo un ataque del frente prácticamente con una distribución de círculos concéntricos. En la zona central se disponen con mayor concentración, emulando el característico cuele del arranque por perforación y voladura.

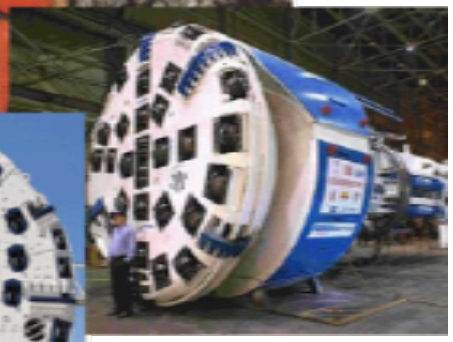
Las cabezas presentan una cierta conicidad, para favorecer la rotura. En la periferia suelen presentar cangilones, que recogen el escombro y lo conducen a la cinta transportadora que lo desalojará.

Su accionamiento puede ser eléctrico, de uso generalizado, o hidráulico (genera excesivo calor).

TOPOS



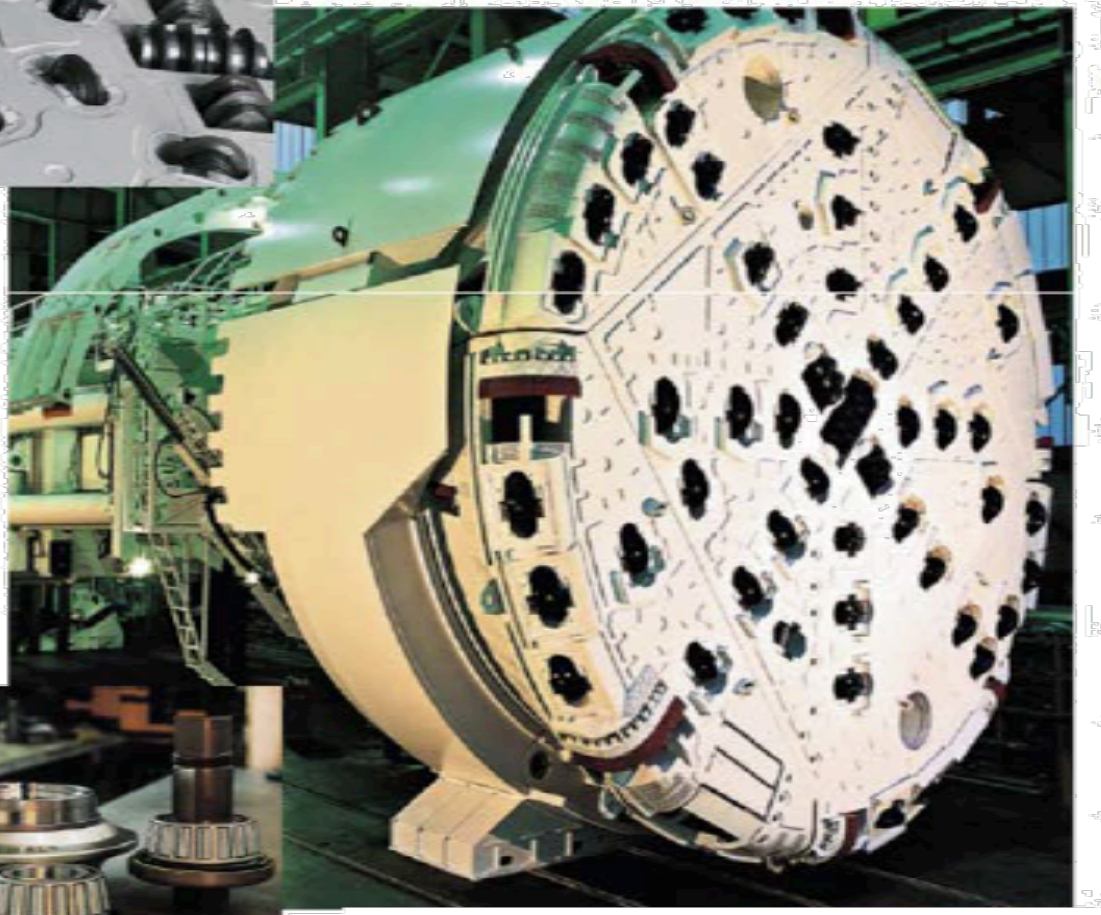




TUNELADORAS:

CABEZA/DISCOS

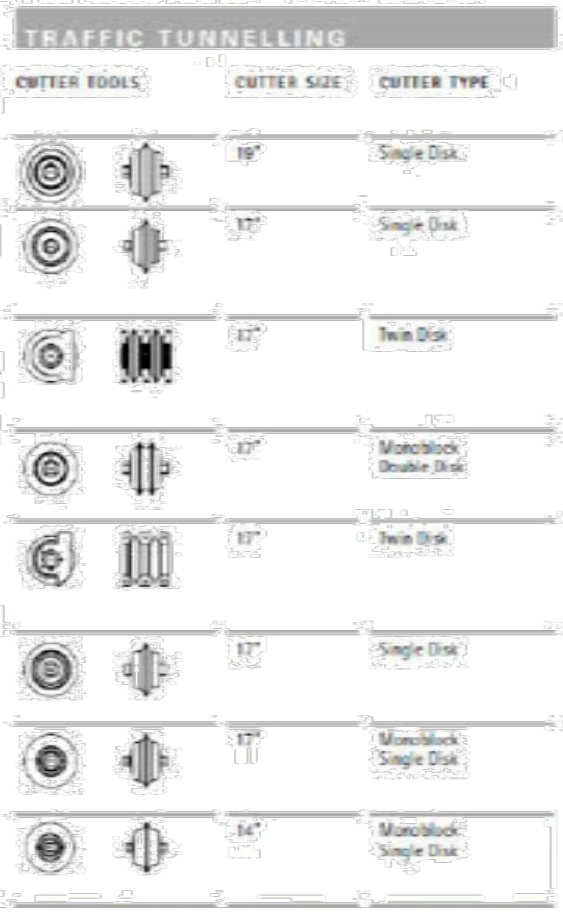






TOPOS

http://www.herrenknecht.com/fileadmin/redaktion/PDF_Downloads/07-05-02_CutterTools_E.pdf



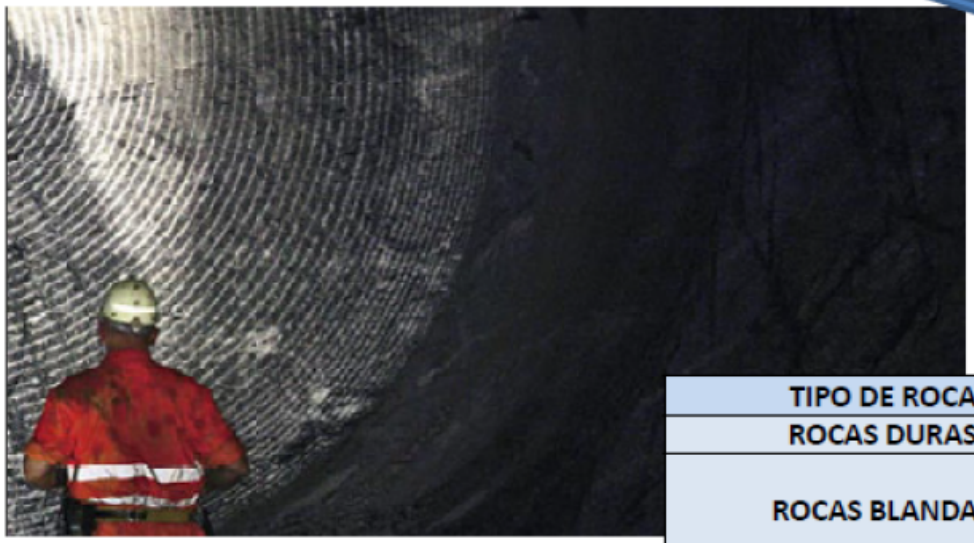
TUNELADORAS:

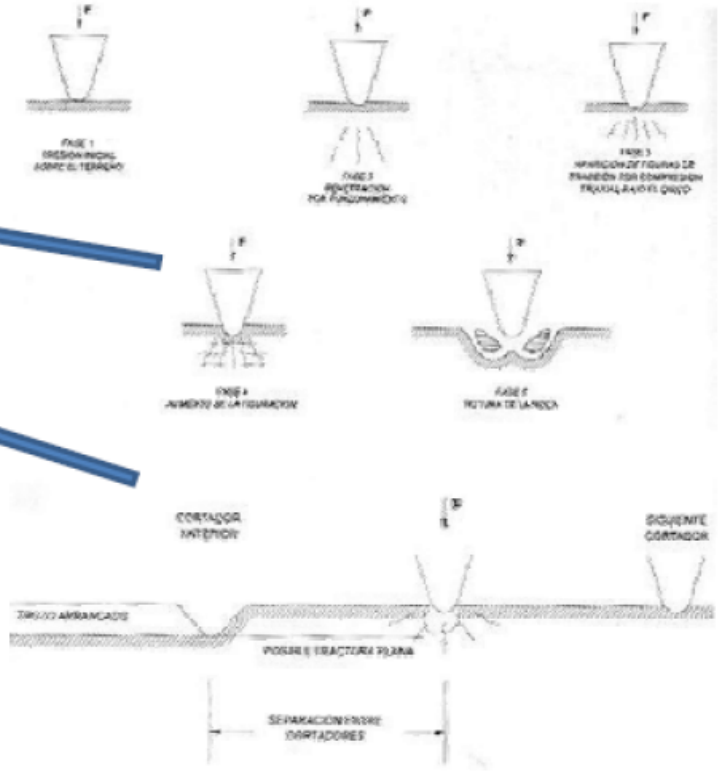
TOPOS

PROCESO DE ROTURA

FENÓMENOS EN LOS QUE SE BASA LA ROTURA:

- **ROTURA FRONTAL**: los cortadores ejercen presión sobre el terreno, produciendo un cierto agrietamiento.
- **INDENTACIÓN** : Fragmentación lajosa entre los círculos concéntricos en el resto de la sección.





TIPO DE ROCA	RECOMENDACIÓN OPERATIVA
ROCAS DURAS	Par no excesivamente elevado + velocidad alta.
ROCAS BLANDAS	Velocidad no muy alta, para no sobrecargar el sistema (la penetración de la máquina puede alcanzar altos índices).
TERRENOS CON BLOQUES	Puede ser aconsejable una reducción de la velocidad para evitar el derrumbe de bloques.

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

TUNELADORAS:

GRIPPERS

Zapatas que se apoyan en la roca, permitiendo el avance de la tuneladora. Su superficie deberá ser mayor a menor resulte la competencia de la roca.

CILINDROS DE EMPUJE

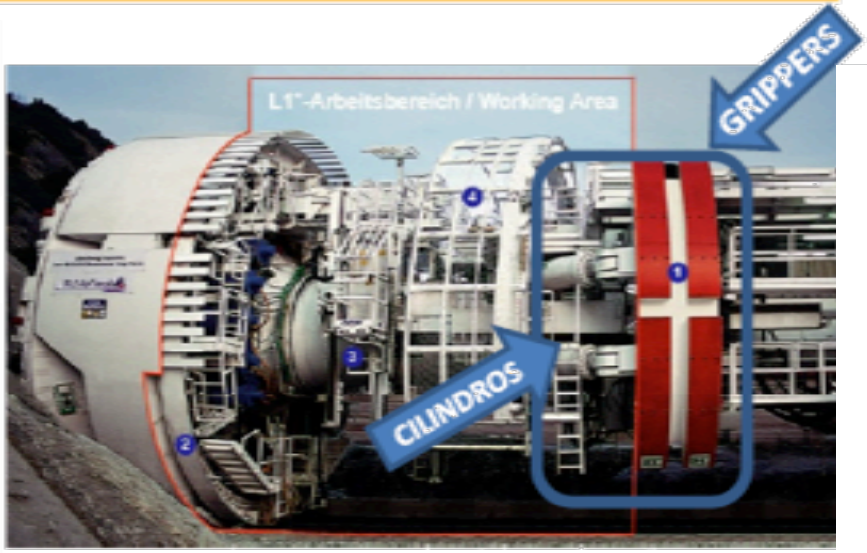
Normalmente 4, proporcionan el empuje necesario contra el frente. La carrera de los cilindros determina el ciclo de avance (1,5-2m).

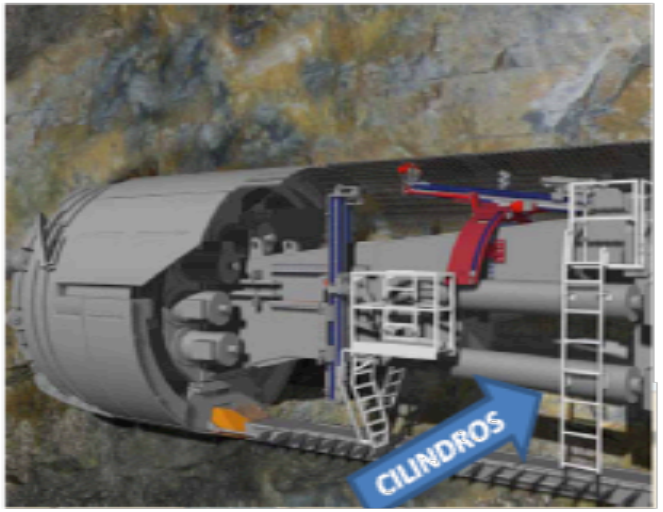
Agotado el recorrido de avance, se sueltan los grippers y la retracción de los cilindros de empuje desplaza la parte fija de la tuneladora.

GUIADO

- Materialización de paralela al eje mediante láser.
- Topografía clásica.

TOPOS





TUNELADORAS:

TOPOS

BACK-UP

- Transformadores y carretes de mangueras eléctricas.
- Captadores de polvo. Por lo general capan el polvo mediante una cortina de agua en la tubería de aspiración, evacuándolo posteriormente como lodo.
- Casetes de ventilación (almacenan 100 m de tubería soplante normalmente)
- Polipastos. Para el manejo de vías y la solera (normalmente se coloca simultáneamente, simplificando el acceso y las labores posteriores).
- El sistema de evacuación de escombros



https://docplayer.es/79959954-T-e-s-i-s-facultad-de-ingenieria-ingeniero-civil-isaias-hernandez-soto.html

TUNELADORAS:

TOPOS

BACK-UP (EVACUACIÓN DE ESCOMBROS)

Tren de tolvas: Batería de tolvas de regulación y acopio. Se cargan mediante una cinta repartidora de material, alimentando ellas al tren que extraiga el escombro al exterior.

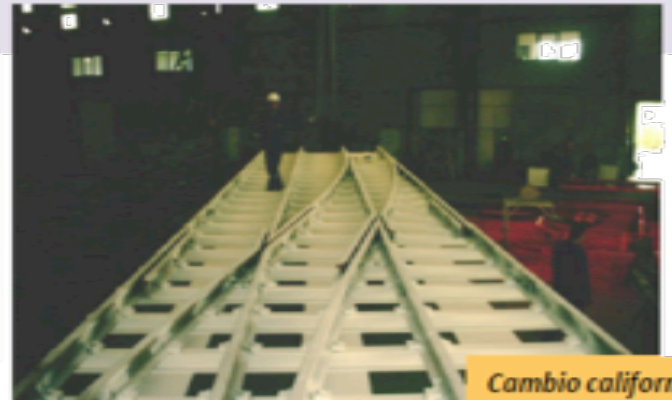
Cinta puente: Permite colocar al tren en su interior, cargándolo cuando pasa por debajo de la cinta. Un cambio californiano* antes de la cinta puente permite la espera de un segundo tren. El conjunto va montando sobre plataformas que van desplazándose por la vía principal a medida que avanza el topo.

Sistema Rowa: Dos vías paralelas (vagones vacíos y llenos por separado). No hay locomotoras, un sistema de arrastre mueve los vagones.

Cintas convencionales: Sistema de transporte continuo de escombro al exterior del túnel, aumentar mucho el rendimiento de desescombro.



https://docplayer.es/79959954-T-e-s-i-s-facultad-de-ingenieria-ingeniero-civil-isaias-hernandez-soto.html



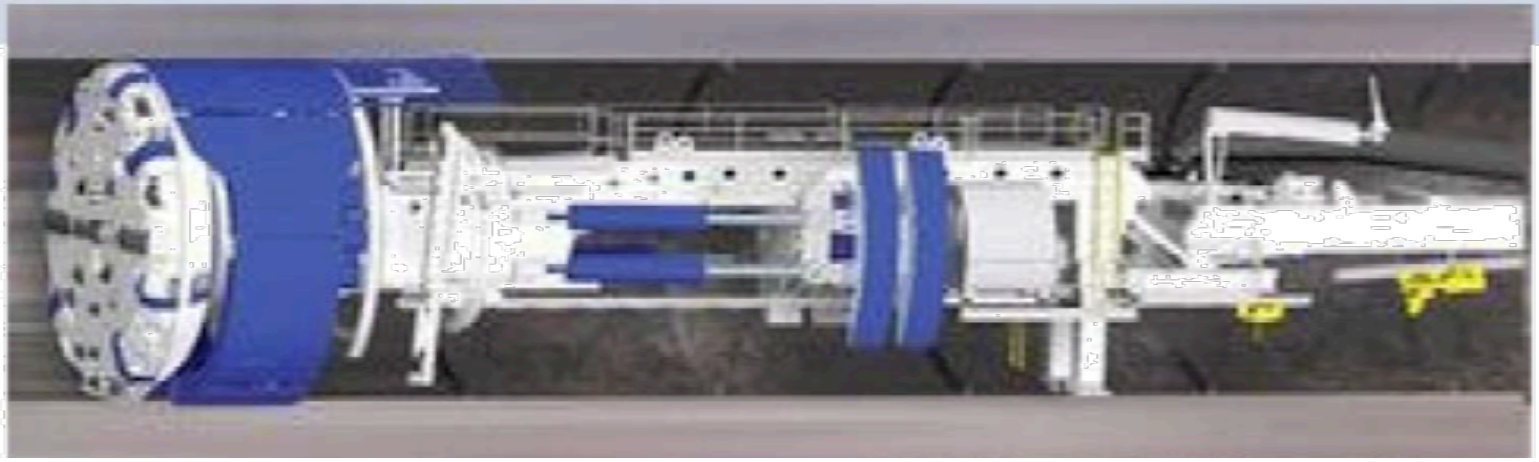
Cambio californiano

TUNELADORAS:

TOPOS

LIMITACIONES DE USO

- Sección circular.
- Inversión y gastos de transporte y montaje elevados.
- Radio de curvatura >300 m, siendo 500 m el mínimo deseable.
- Pendiente máxima del 3,5-4% (tendido de vía para suministros).
- No aplicables en terrenos excesivamente blandos/con problemas de sostenimiento.
- No adecuados en terrenos fallados.
- Rocas excesivamente abrasivas/con elevado contenido en Sílice pueden conllevar excesivos desgastes en cortadores y cangilones (no rentable).



http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3429&ni=tuneles-con-tbm-en-chile

TUNELADORAS:

TOPOS PARA PLANOS INCLINADOS

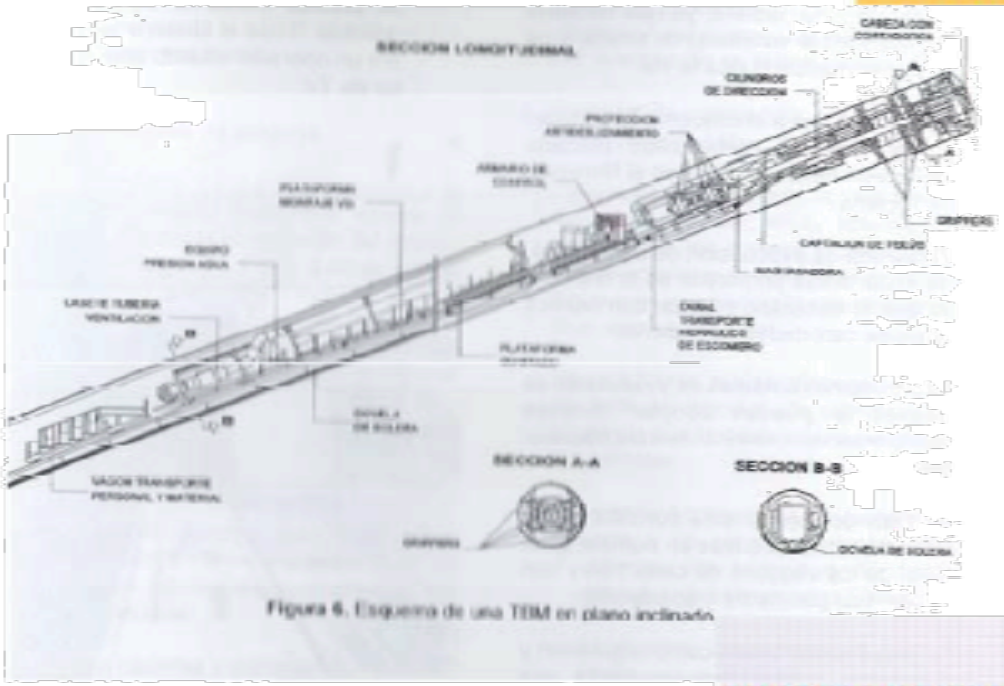


Figura 6. Esquema de una TBM en plano inclinado

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

Los topos para planos inclinados están diseñados para la realización de túneles/planos inclinados con pendientes entre el 10% y el 45-50%. Han sido utilizados en la construcción de funiculares subterráneos a estaciones de esqui, túneles de centrales eléctricas, minas, etc.

TUNELADORAS:

RENDIMIENTOS MENSUALES DE LOS TOPOS

Caso	Diámetro	Rendimiento Medio Obra (m/mes)
Guadarrama Sur HK	9,45	492
Guadarrama Norte HK	9,45	412
Guadarrama Norte Wirth	9,45	506
Guadarrama Sur Wirth	9,45	456
Pardubice I	9,94	274
Pardubice II	9,96	305
Pajares Lote I	10,95	412
Pajares Lote II	10,95	337
Thalwil 1, Zurich	12,24	428
Murgenthal	12,03	362
Les Vignes Norte, Suiza	11,8	231
Les Vignes Sur, Suiza	11,8	181
Mont Russelin	11,74	255
Sachseln	11,77	269
Gorgier N	11,77	250
Gorgier S	11,77	270
Quinling Norte, China	8,8	284
Quinling Sur, China	8,8	290
Lesotho Ash, Sudafrica	5,4	604
Lesotho Caledon	5,4	697
Trasvase Villarejo	5,5	124
Trasvase Talave	5,05	273
Doukkala (NECSO)	7,2	542
Matmata (NECSO)	5,3	543
MEDIA DE RENDIMIENTOS		367

El rendimiento medio mensual de la excavación es función de la velocidad de excavación neta y del grado de utilización del equipo.

ORIENTATIVO: 3-6 m/h; 30-45 m/día

FUENTE: "Obras Urbanas". Febrero 2009

TUNELADORAS:

FUNCIONAMIENTO DEL TOPO

FACTORES INFLUYENTES EN LA VELOCIDAD DE EXCAVACIÓN NETA

PARÁMETROS DE LA MÁQUINA	PARÁMETROS GEOLÓGICOS
Velocidad de giro de la cabeza de corte	Resistencia de la roca
Empuje por cortador	Dureza
Par del cabezal de corte	Abrasividad
Geometría del disco	Fisuración
Desgaste de discos	Estratificación
Diámetro del disco	Exfoliación
Disposición de los cortadores	

RELACIÓN ENTRE LA PENETRACIÓN Y EL EMPUJE DE LOS CORTADORES

$$p = \left(\frac{F_1}{F} \right)^b$$

- p= Excavación neta (mm/vuelta)
- F_1= Empuje crítico para una profundidad de excavación de 1 mm.
- F= Empuje (KN)
- b= Exponente: influído por el empuje crítico y la geología, varía entre 1,7 y 2,5

TUNELADORAS:

FUNCIONAMIENTO DEL TOPO

VELOCIDAD DE CORTE

Suele aceptarse que la velocidad de la cabeza de corte es inversamente proporcional al diámetro de excavación:

$$n = \frac{X}{D}$$

- n=Velocidad de la cabeza de corte (r/min).
- X=Factor de velocidad (r/min). Valores habituales entre 45 – 50.
- D=Diámetro de excavación (m).

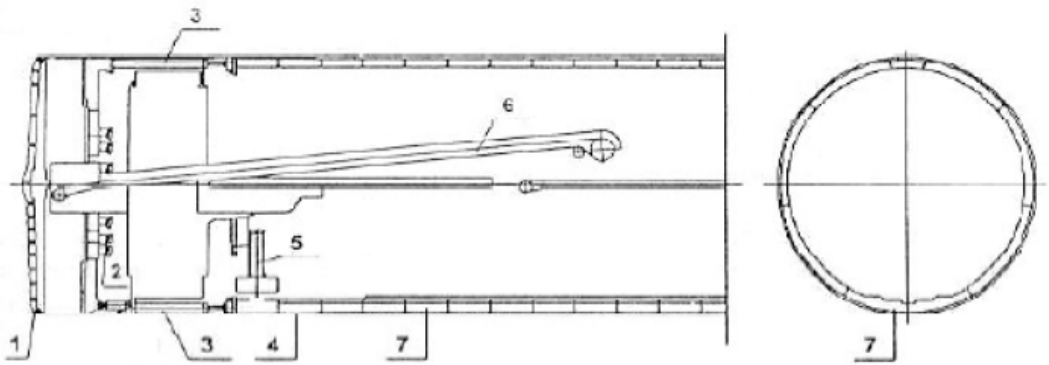


https://ingenieroscivilesandaluciaor.es/tuneladoras-tbms-excavacion-de-tuneles-en-roca/

TUNELADORAS:

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

ESCUDOS



1 RUEDA DE CORTE
(EQUIPADA CON PICAS O ENGASTES DE WIDIA)
2 MOTORES DE ACCIONAMIENTO RUEDA DE CORTE
3 CILINDROS DE EMPUJE
4 COLA DEL ESCUDO
(ZONA MONTAJE ANILLO REVESTIMIENTO)
5 ERECTOR DE DOVELAS
6 TRANSPORTADOR DE BANDA
PARA EVACUACION DE ESCOMBRO
7 DOVELAS DE REVESTIMIENTO

ESCUDOS: Empleados generalmente en suelos y en terrenos en malas condiciones. Cuenta con un sistema integral de protección, lográndose el empuje longitudinal por la reacción de los grippers contra unas dovelas de revestimiento, dada la falta de competencia del terreno.

TIPOLOGÍAS

- **Escudo cerrado :** Frentes de trabajo inestables (por ej. suelos): Aire comprimido, E.P.B., Hidroescudos, de cierre mecanizado.
- **Escudo abierto :** frentes de trabajo estables.

TUNELADORAS:

ESCUDOS

¿ESCUDO ABIERTO O CERRADO? COEFICIENTE DE PECK

$$n = \frac{\sum_0 - p_a}{c}$$

- $\sum_0$=Presión geostática en el eje del túnel
- p_a=Presión ejercida contra el frente
- c=cohesión

- **n<5: FRENTE ESTABLE, Es posible emplear escudo abierto**
- **n>5: FRENTE INESTABLE. Se recomienda el uso de escudo cerrado**

TIPOLOGÍA DE CABEZA	MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ESTABILIZACIÓN DEL FRENTE	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ESCOMBROS	TIPO DE DOVELAS	SECCIÓN TIPO
Abierta	Manual (martillo picador, etc.)	Únicamente de tipo "pasivo" (Máquina pareda)	Cinta	Expandidas Ordinarias inyectadas Atornilladas inyectadas	Circular Posible herradura o rectangular
	Semimecanizado (cuchara, rozadora, martillo picador, etc.)				
	Mecanizados (rueda)				
Cerrada	Mecanizados (rueda sin presión)	Cierre mecánico activo		Atornilladas Inyectadas	Circular
	Presurizados de rueda	Aire comprimido	Tornillo sinfín		
		Presión de tierras (EPB)			
		Lodos bentoníticos (Hidroescudos)	Transporte hidráulico por tubería		

TUNELADORAS:

ESCUDOS

ESCUDOS ABIERTOS

Para terrenos de cierta complejidad en que los topos no son adecuados, pero lo bastante buenos como para no recurrir escudos cerrados







ELEMENTOS DE PERFORACIÓN

- Manual (Ejemplo: martillos picadores)*.
- Brazo excavador*.
- Brazo rozador*.
- **Escudos mecanizados.** (ataque **circular** a plena sección, generalmente provistos de picas y/o cortadores).

**Pueden proporcionar secciones no circulares, sistemas "mixtos"*

TUNELADORAS:

ESCUDOS

ESCUDOS CERRADOS

Para túneles perforados en terrenos inestables, no cohesivos y con cantidades excesivas de agua. La sección es circular, y el terreno exige la colocación de dovelas que garanticen estabilidad y estanqueidad



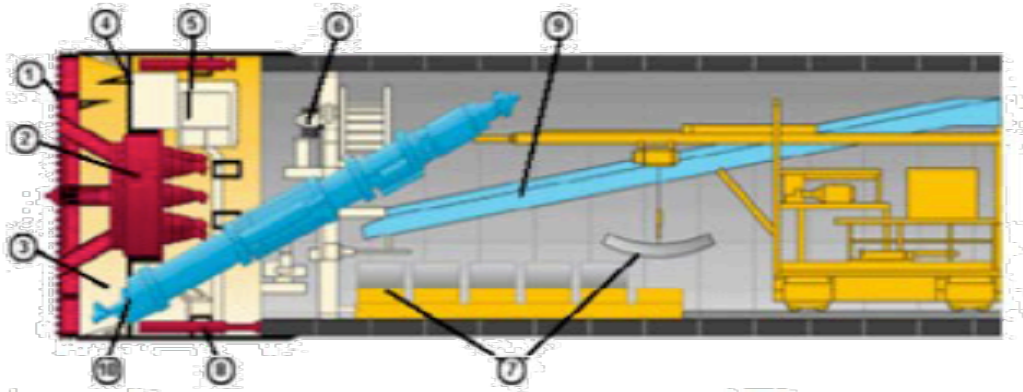
TIPOS DE ESCUDOS CERRADOS

- Escudos presurizados con aire comprimido*
- **Escudos de presión de tierras. EPB.**
- Escudos mecanizados de rueda con cierre mecánico (mediante la hidráulica regulación de unas puertas, se puede controlar el material que entra en la cámara.)
- **Hidroescudos.**

En la actualidad, prácticamente abandonado.

TUNELADORAS:

EPB



1. Rueda de Corte.
2. Accionamiento.
3. Cámara de excavación.
4. Sensor de presión.
5. Esclusa de aire comprimido.
6. Erector de dovelas.
7. Dovelas.
8. Cilindros de empuje.
9. Cinta transportadoras
10. Tornillo sinfín de extracción.

ESCUDOS



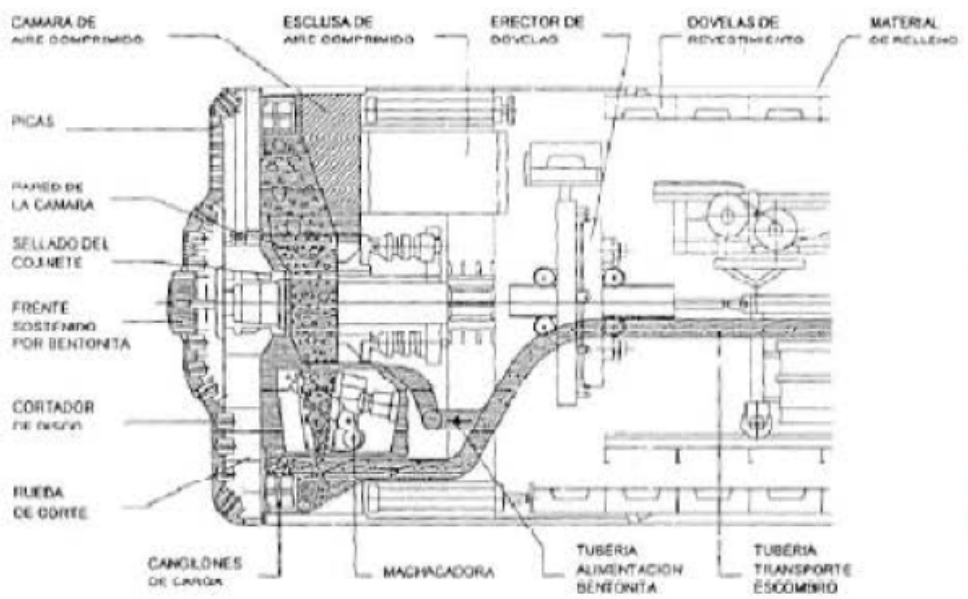
Los E.P.B. (*Earth Pressure Balance*), se aplican en suelos o rocas muy blandas (práctica totalidad de los terrenos inestables). Contrarresta la mediante la ejercida por la mezcla del material excavado contenido en la cámara, con una espuma. Son los escudos más utilizados bajo freático.

TUNELADORAS:

HIDRO-ESCUDO (SLURRY SHIELD)

ESCUDOS

http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2009/2009_abril_3498_06.pdf

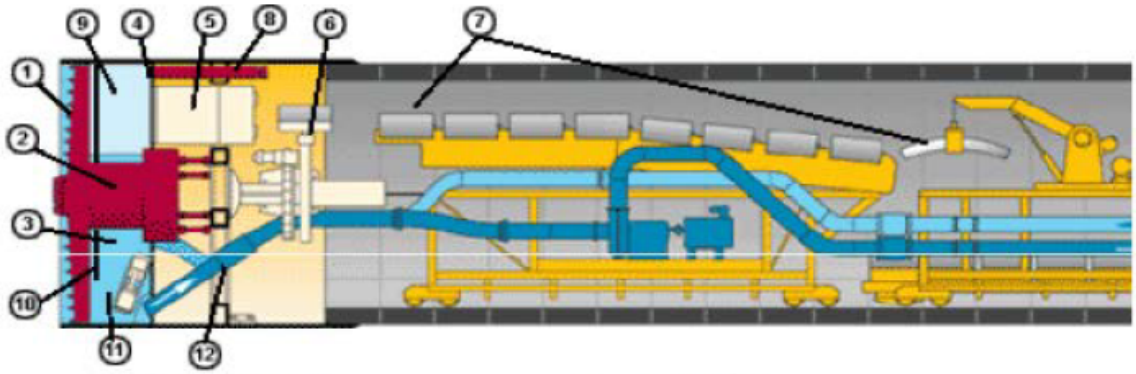




Para suelos muy inestables o ubicados bajo el nivel freático. Contrarrestan la presión exterior mediante lodos bentoníticos (tixotrópicos), que estabilizan el frente y transportan del escombro por tubería (flujo bombeado). Para el transporte es recomendable una granulometría entre 0,1 y 60 mm. Con un 20-30% de finos (pasantes por tamiz 0,074 mm), encarece demasiado. Si se tienen tamaños mayores, se puede plantear la instalación de una trituradora.

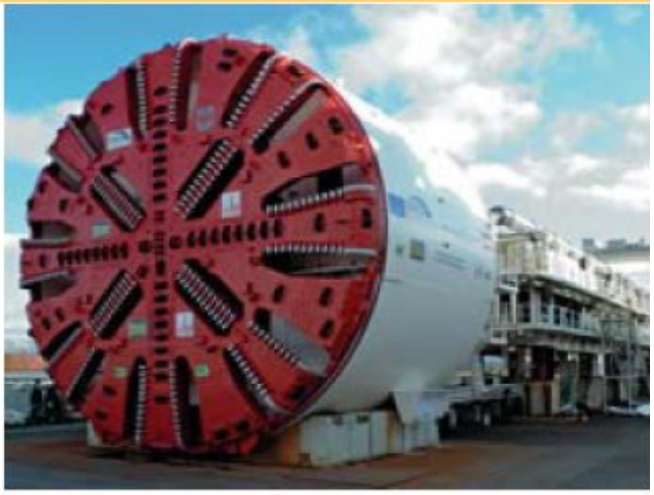
TUNELADORAS:

MIXSHIELD (ESCUDO MIXTO)



1. Rueda de Corte.
2. Accionamiento.
3. Suspensión de bentonita.
4. Sensor de presión.
5. Esclusa de aire comprimido.
6. Erector de dovelas.
7. Dovelas.
8. Cilindros de propulsión.
9. Burbuja de aire comprimido.
10. Mamparo sumergible.
11. Machacadora.
12. Tubería de extracción.

ESCUDOS



Su particularidad es poder actuar como un escudo de presión de tierras o como un hidroescudo. Apto para el avance en terrenos cambiantes.

TUNELADORAS:

Caso	Diámetro	Rendimiento Medio Obra (m/mes)
Linea 4 Hortaleza - Madrid	9,38	314
Linia 7 Pitis - Madrid	9,38	307
Linia 7 Valdezarza - Madrid	9,38	269
Linea 8 Feriales - Madrid	6,52	290
Linea 9 Vicálcaro - Madrid	9,38	254
Linea 8 Aeropuerto - Madrid	9,38	366
Linea 10 Pozo-S.Vicente - Madrid	7,4	205
Linea 10 Via 2 - Madrid	7,4	289
Linea 10 Pozo -Telescopic- Madrid	7,4	333
Sifón El Salaam -1. Canal de Suez	6,34	151
Sifón El Salaam -2. Canal de Suez	6,34	219
Sifón El Salaam -3. Canal de Suez	6,34	204
Sifón El Salaam -4. Canal de Suez	6,34	184
Elba 4 tunel, Hamburgo	14,14	90
Caluire S. Bulevar perif. Lyon.	11,02	226

RENDIMIENTOS MENSUALES DE LOS ESCUDOS

Metro Lisboa Linea D.	9,84	101
Metro Lille L2 -1	7,72	161
Metro Lille L2 - 2	7,72	173
Caluire N. Bulevar perif. Lyon.	11,02	130
Metro Munich Lot I West 5	7,35	171
METEOR Bastille – Madeleine	8,6	127
FFCC Essen 2	8,33	190
Metro Roma	10,64	110
Saint Clair, Canada-USA	9,53	131
Passante Ferroviario 2. Milán.	8,03	252
FFCC Essen 1	8,33	164
Metro Colonia	6,6	180
Colector Sevres Acheres	4,84	412
MEDIA DE RENDIMIENTOS		219

FUENTE: "Obras Urbanas". Febrero 2009

TUNELADORAS:

DOBLE ESCUDO



https://facingyconst.blogspot.com/2014/08/tuneladora-de-doble-escudo.html

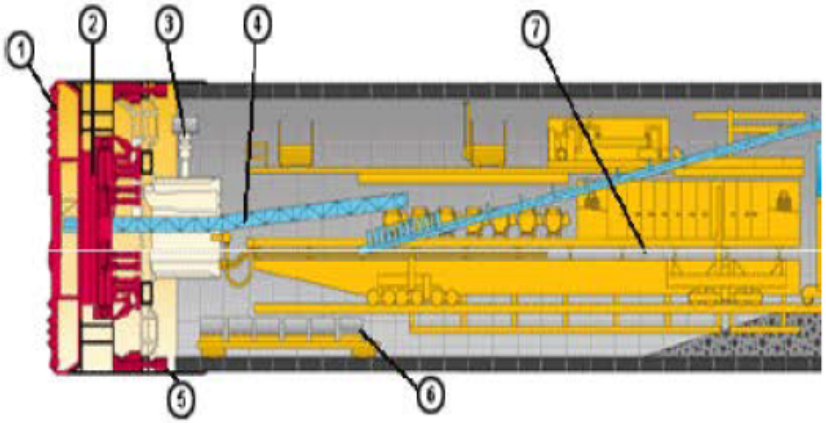
TIPOLOGÍAS ESPECIALES

Capaz de trabajar como escudo en terrenos blando (apoyo sobre el revestimiento de dovelas prefabricadas), o como topos de roca dura, apoyo de los grippers contra los laterales de la excavación. Se construye en dos secciones telescópicas (escudo delantero, que presenta el accionamiento de cabeza, y trasero, en el que van los grippers). Presenta un sistema doble de traslación.

Permite simultanear las labores de avance y colocación del revestimiento en terrenos competentes. (Reducción de plazos de ejecución). Se adaptan a geologías cambiantes. Pueden proporcionar rendimientos similares a los topos.

TUNELADORAS:

ESCUDO PARA ROCA DURA



1. Rueda de Corte.
2. Accionamiento.
3. Erector de dovelas.
4. Cinta transportadora.
5. Cilindros de empuje.
6. Dovelas.
7. Cuadros de distribución.

TIPOLOGÍAS ESPECIALES

Los diseños mixtos de estas máquinas se basan en la estructura de los topos, pero con ciertos elementos de los escudos (solución intermedia para casos de escaso conocimiento del terreno).

Por ejemplo, una solución puede ser una tuneladora con cortadores y grippers, que cuente con los dispositivos necesarios para la colocación de los anillos de dovelas.

TUNELADORAS:

CABEZA DEL ESCUDO

- Se dispone en el primer cuerpo de la coraza
- Accionada por motores hidráulicos (permiten variaciones constantes en la velocidad de giro, entre 0 y 9/10 rpm, además de garantizar la reversibilidad.
- Normalmente presentan cinceles o picas. En terrenos muy variables, se colocan discos y picas (estas últimas retrasadas 2 ó 3 cm): En terreno duro trabajan los discos, en blando las picas.
- Presenta aberturas regulares, por las que el escombro pasa a la cámara, en que una cinta primaria lo evacua (en escudos que trabajen con presión ene el frente, se sustituye la cinta por tornillo sin fin o por sistema de transporte hidráulicos).

PARTES RESEÑABLES DEL ESCUDO



TUNELADORAS:

CILINDROS Y ERECTOR DE DOVELAS

- Se disponen en el tercer cuerpo de la coraza (cola del escudo).
- Los cilindros se disponen en la periferia del escudo, equipados con zapatas articuladas que permiten el apoyo uniforme sobre las dovelas de revestimiento.
- Su recorrido marca el ciclo, siendo el avance de 1,20 a 1,50 m.
- Concluido el ciclo, se retraen los cilindros y el erector coloca una a una las dovelas del anillo, resguardado por el tramo libre de coraza.
- Cuando se cierra completamente el anillo, apoyando los cilindros contra él se inicia un nuevo ciclo.

PARTES RESEÑABLES DEL ESCUDO

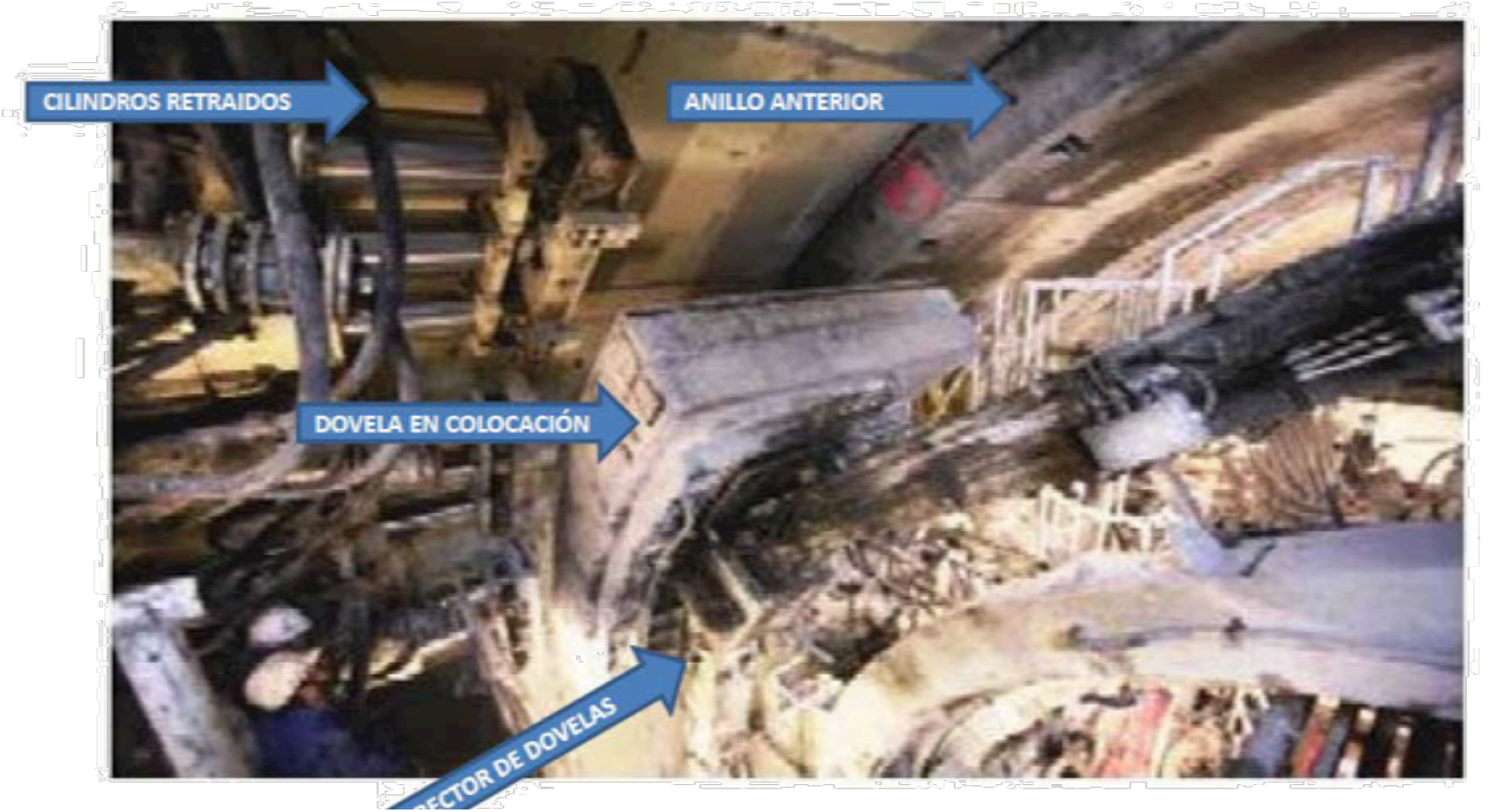


- La periferia de la coraza del escudo lleva en la zona de colocación del anillo de dovelas sellos (cepillos de grasa), que impide la penetración del mortero que se inyecta en el hueco del trasdós de la dovela (espesor mínimo 7-9 cm, correspondiente al hueco dejado por la coraza al retirarse y las juntas de grasa).

TUNELADORAS:

CILINDROS Y ERECTOR DE DOVELAS

PARTES RESEÑABLES DEL ESCUDO



TUNELADORAS:

PARTES RESEÑABLES DEL ESCUDO

MANDOS Y MOTORES

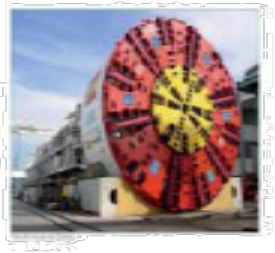
- Alojados en el segundo cuerpo de la coraza.

BACK-UP

- Plataformas que se mueven arrastradas por la máquina, simultáneamente al avance, deslizándose sobre el revestimiento de hormigón.
- Transformadores, casetes de ventilación, depósitos para el mortero de inyección, sistema de evacuación de escombro (generalmente cinta puente que aloja en su interior el tren completo).
- El cambio de trenes de desescombro es más simple que en los topos, no interfiriendo con el avance, debido a los 20-35 minutos de tiempo invertidos en la colocación de dovelas.



TUNELADORAS:



EJEMPLO: DULCINEA

TBM-EPB, ESCUDO SIMPLE, 2 CABEZAS DE CORTE CONCÉNTRICAS

GENERAL		
Longitud	107	m
Diámetro de excavación	15,20	m
Potencia eléctrica total	22.400	kVA
Tensión alimentación	20.000	V
Velocidad máxima de avance (Va máx)	65	mm/min
Caudal máximo a extraer en banco	704	m³/h
Peso aprox.: Cabeza de corte + Escudo + Monturización + Erector	2.565	t
de dovelas	1.801	t
Back-Up	4.366	t
Total		

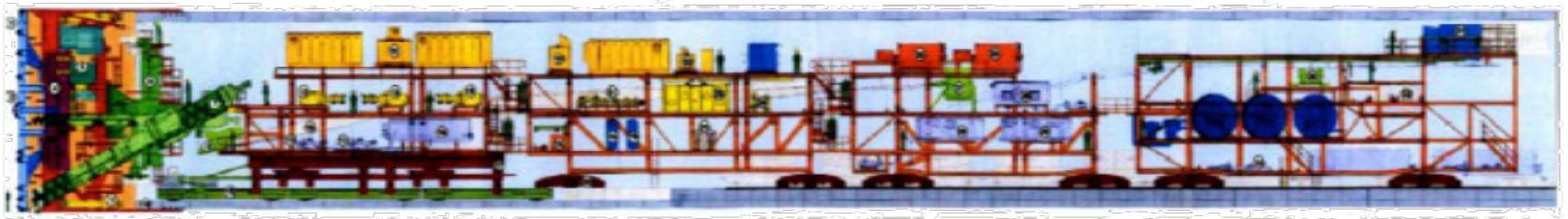
RUEDAS DE CORTE (EXTERIOR)		
Empuje máximo admisible por el rodamiento ppal.	120.000	KN
Par nominal (rpm.)	96.000 - 0,81	kN·m
Superficie abierta	32	%

PRODUCCIONES

Rendimiento medio diario	15,30 m
Máxima longitud ejecutada en un día	36,00 m
Rendimiento medio mensual	459,00 m
Máxima longitud ejecutada en 30 días	780 m
Total días trabajados	231

MAGNITUDES DE LA OBRA

Túnel ejecutado con tuneladora	3.558 m
Excavación en mina	20.043 m³
Excavación en túnel	642.279 m³
Hormigón en pantallas y pilotes	70.651 m³
Hormigón armado	122.064 m³
Acero en chapa y perfiles	2.054.000 kg
Acero en armaduras	14.970.000 kg
Placa plataforma rodadura	43.871 m²
Tratamiento de micropilotes	10.530 m



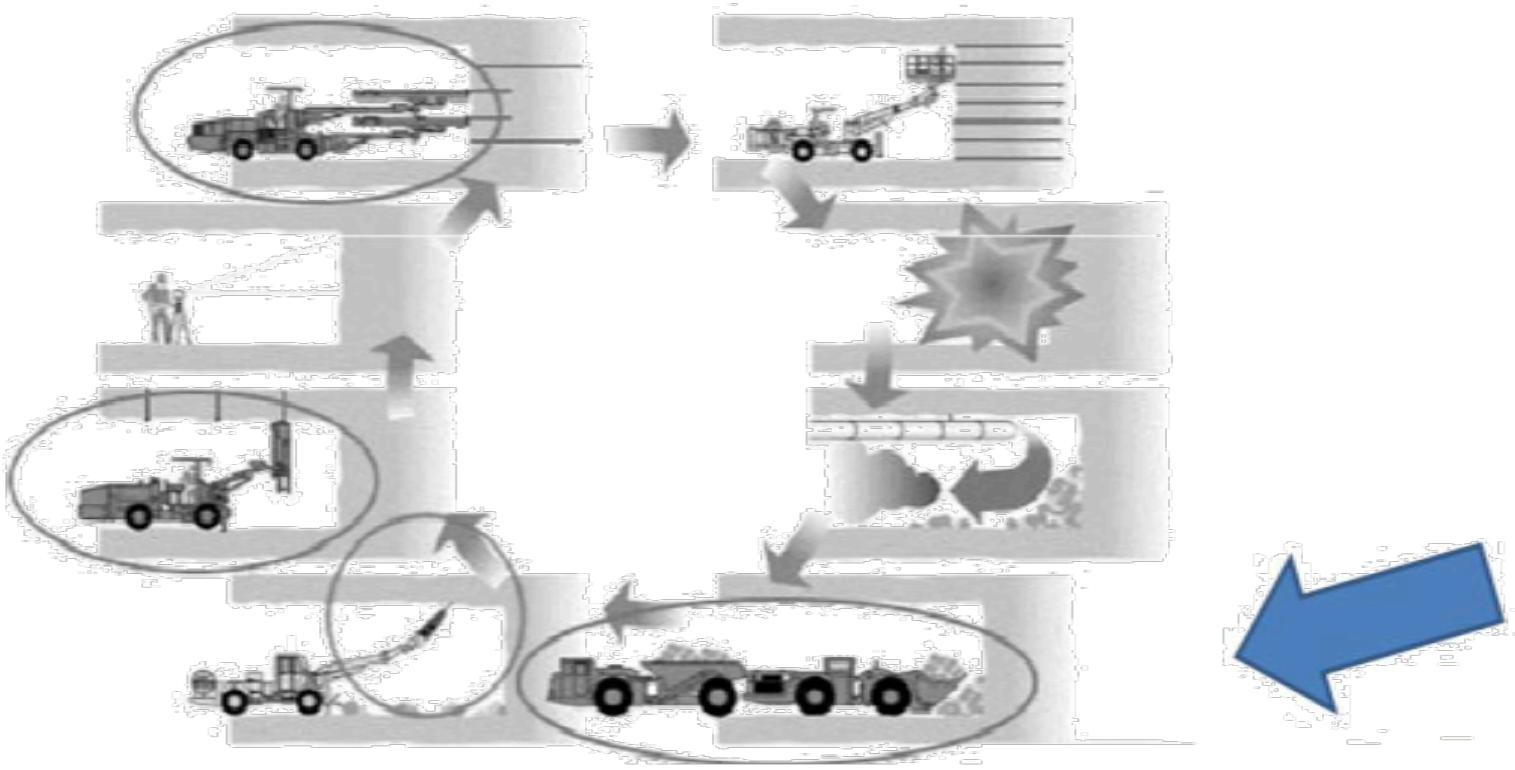
1 RUEDA DE CORTE DE DIÁMETRO 15,20m
2 RUEDA DE CORTE DE DIÁMETRO 6,30 m
3 CILINDRO DE PROPULSIÓN
4 ACCIONAMIENTO PRINCIPAL
5 MOTORES HIDRÁULICOS Y REDUCTORES
6 ERECTOR
7 TORNILLO SIN FIN
8 TOLVA DE RECEPCIÓN DE ESCOMBROS
9 ESCUDO PRINCIPAL
10 ESCUDO PRINCIPAL
11 TRANSF. ORIENTADORES PARA MOTORES PRINCIPALES
12 MOTORES DE 1.500 kw
13 BOMBAS DE MORTERO
14 TANQUE DE MORTERO
15 ALIMENTADOR DE DOVELAS
16 CINTA TRANSPORTADORA
17 SISTEMA DE RIEGO
18 TANQUE DE ESPUMA
19 TANQUE DE PRESURIZACIÓN DE BENTONITA
20 BOOSTER
21 GRUPO AUXILIAR HIDRÁULICO
22 TRANSFORMADOR BAJA TENSIÓN
23 TANQUE HIDRÁULICO
24 EQUIPOS DE FILTRACIÓN DE ACEITE
25 BOMBAS DE GRASA
26 EMPALLADORES DE CABLE MEDIA TENSIÓN
27 CINTA TRANSVERSAL
28 TANQUES DE AGUAS RESIDUALES
29 TANQUES DE BENTONITA
30 PROLONGACIÓN CINTA TÚNEL
31 CASSETTE DE VENTILACIÓN
32 EMPALMES CABLE MEDIA TENSIÓN TÚNEL
33 BOMBAS TRANSVASE DE MORTEROS



MAQUINARIA DE CARGA

CARGA

Operación cuyo fin es la evacuación del mineral y estéril producido tras la voladura del frente, tras las pertinentes tareas de ventilación y saneo. En ocasiones la propia máquina directamente lo transporta el material.



http://www.septemediciones.com/files/resumenminy.pdf

TIPOS DE CARGA CARGA

MANUAL

Efectuada por operarios. Presenta bajos rendimientos (máximos de 1,5 a 2,5 t/h por hombre). En desuso. Únicamente aplicada como operación auxiliar o en limpieza de galerías, sobre vagón o transportador blindado.

CARGA MECÁNICA



- Cargadoras de perfil bajo LHD
- Pala cargadora
- Cargadoras de brazos articulados (en la actualidad, frecuentemente asociados a la estructura de carga de los minadores)
- Scraper

SELECCIÓN DEL SISTEMA EMPLEADO PARA LA CARGA

El sistema de carga ideal para una mina no es único. Para la evaluación de su idoneidad hay que considerar varios aspectos:

- Velocidad necesaria del avance de la galería o la explotación.
- Producción a cargar
- Tipo de material
- Sección de la galería (dimensiones de la máquina)
- Tipo y estado de la solera.
- Macizo rocoso en el que se desarrollan las labores (características de hastiales y frentes, convergencias experimentadas, ...)
- Sistema principal de transporte.
- Criterios económicos



PALAS CARGADORAS

Muy empleada en el desescombro de galerías generales o transversales, en minería de carbón.

Pala sobre vía, con cuchara de entre 100 y 400 l.

- La cuchara se carga mediante su arrastre por el suelo. Una vez llena la cuchara, su soporte rueda hacia atrás y descarga centralmente sobre el vagón que lleva enganchado.

- Una vez cargado el vagón, retrocede, y el ayudante desengancha el vagón lleno y engancha otro vacío. (Sistema de dos vías paralelas con cambio de vía).

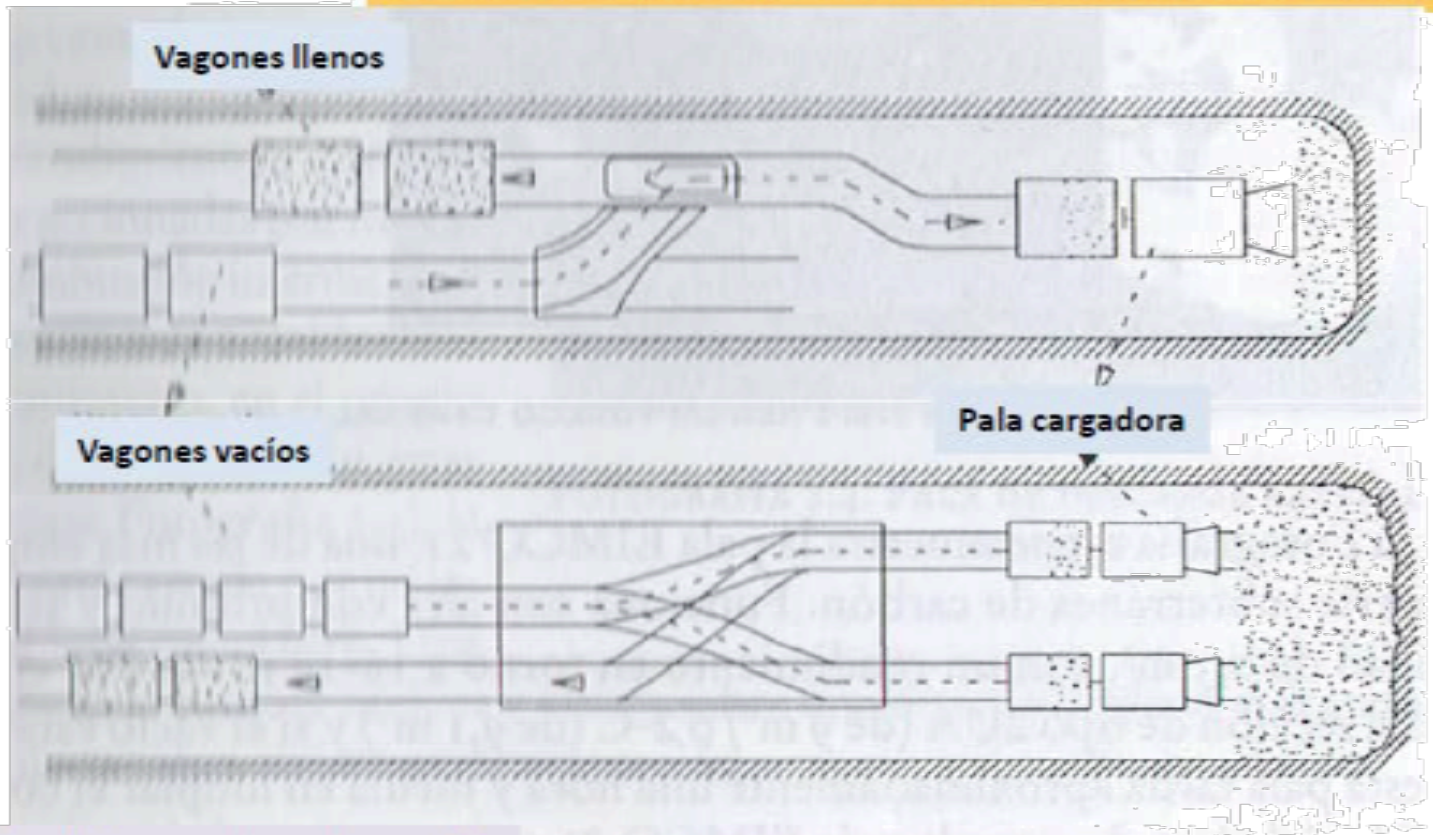
PALAS CARGADORAS DE DESCARGA FRONTAL





PALAS CARGADORAS

PALA CARGADORA DE DESCARGA FRONTAL. ESQUEMAS DE TRABAJO

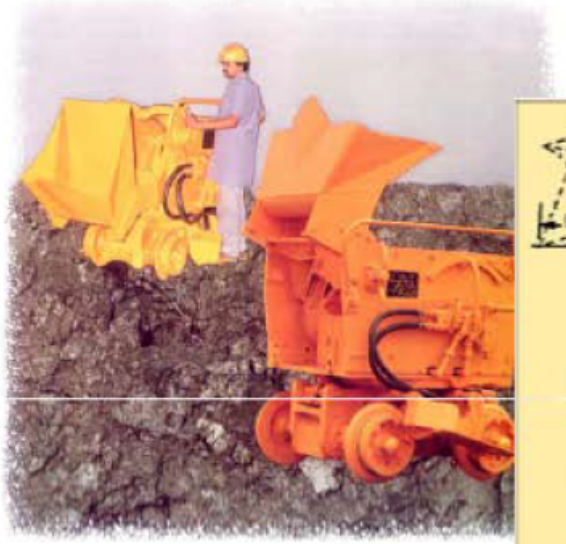


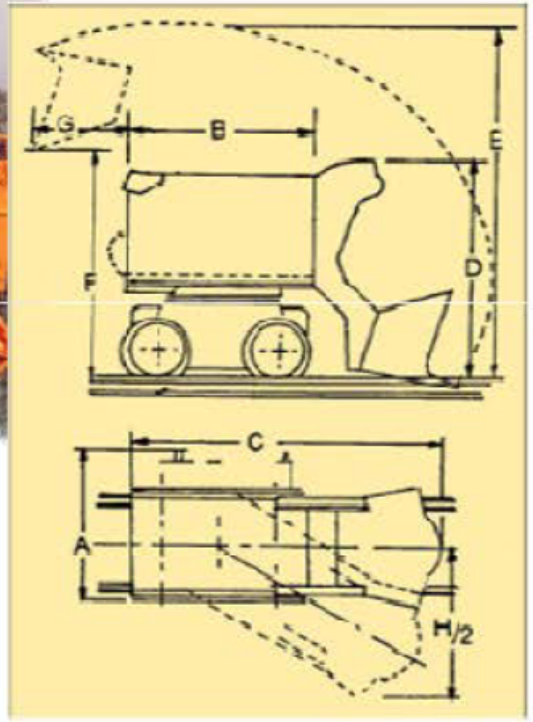
Esquemas de trabajo con una y dos palas

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

PALAS CARGADORAS

PALAS CARGADORAS DE DESCARGA FRONTAL





		Model 12	Model 21
A	Overall width (Caging)*	735mm	851 mm
	Overall operating width*	885 mm	1087 mm
B	Overall length (Caging)	1120mm	1397 mm
C	Overall length bucket down	1805-1980 mm	2219-2286 mm
D	Overall height bucket down	1220-1295 mm	1422-1549 mm
E	Headroom height (depend on cars to be loaded)	1995-2110 mm	2235-2515 mm
	Headroom height (Special)	1730-1930 mm	—
F	Discharge height of bucket	1170-1500 mm	1321-1727 mm
G	Discharge distance behind loader	355-610 mm	457-711 mm
H	Cleanup range	1905-2110 mm	2286-2489 mm
	Cleanup range with side plough	2512-2720 mm	2896-3197 mm
	Range of track gauge	360-915 mm	457-1219 mm
—	Air pressure range	4.2-6.8 kg/cm²	4.2-7.0 kg/cm²
—	Air hose size	20-25 mm	25-32 mm
—	Complete loading cycle average in seconds	6	7
—	Bucket capacity	.13-.17m³	.21-.28 m³
—	Loading capacity, average volume of material per minute.	0.5-1.0 m³/min.	0.99-1.41 m³/min.
—	Motors (air)	2	2
—	Capacity of car loaded efficiently	0.3-1.5m³	0.56-2.83 m³
—	Weight completely assembled	1900 Kg.	3200 Kg.
—	Weight of heaviest piece	360 Kg.	508 Kg.
—	Air Consumption	250 cfm	300 cfm

* Width varies according to track gauge. Actual width for specific track gauge on request.

ESPECIFICACIONES EIMCO 12 Y EIMCO 21 (COMÚN EN MINERÍA DEL CARBÓN)

PALAS CARGADORAS

PALAS CARGADORAS DE DESCARGA LATERAL

Muy utilizadas en minería metálica de interior y avance de túneles.

PRINCIPALES DIFERENCIAS RESPECTO A LAS PALAS DE DESCARGA CENTRAL

- **Mayor rapidez y rendimiento**
- **Suelen estar accionadas por Motores de Combustión Interna.**
- **SISTEMA DE DESCARGA (Al menos un lateral de la cuchara permanece abierto o es móvil, para permitir la descarga lateral)**

Una vez cargada, la cuchara se eleva y pivota sobre un extremo, volcando por el lateral abierto/móvil sobre el sistema de transporte/evacuación. Otra posible opción es la disposición en el fondo del cazo de un transportador blindado que lo desaloje lateralmente





PALAS CARGADORAS

PALAS CARGADORAS DE DESCARGA LATERAL

VENTAJAS EQUIPOS SOBRE ORUGAS

- Circulación por terrenos con presencia de lodo o agua
- Avance por terrenos desnivelados
- Más eficaces en trabajos sobre soleras de escasa resistencia.

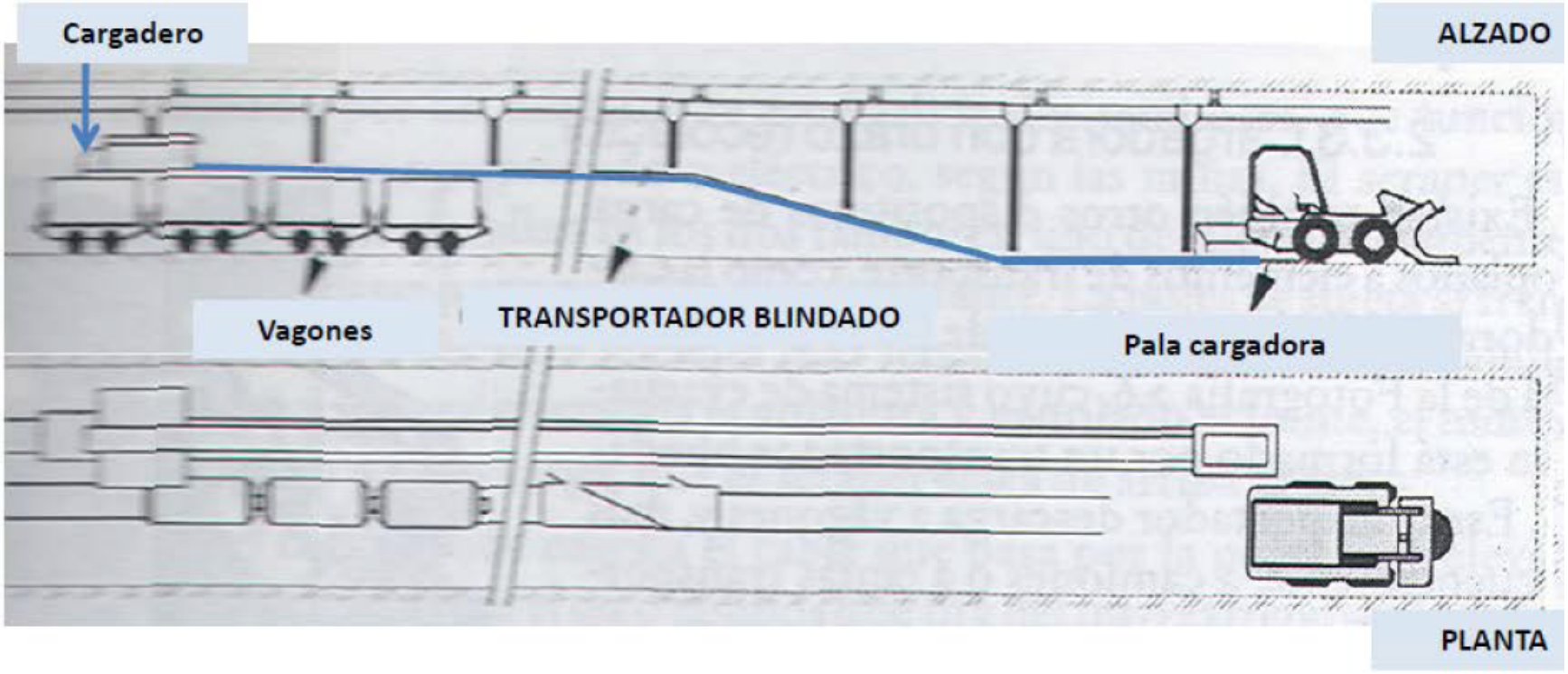
VENTAJAS EQUIPOS SOBRE RUEDAS

- Más versátiles
- Más rápidas
- Más flexibles



PALAS CARGADORAS

PALAS CARGADORAS DE DESCARGA LATERAL



Las palas de descarga lateral suelen cargar transportadores blindados, que a su vez descargarán sobre vagones (Esquema) o cintas gransportadoras.

Fuente: López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

PALAS CARGADORAS

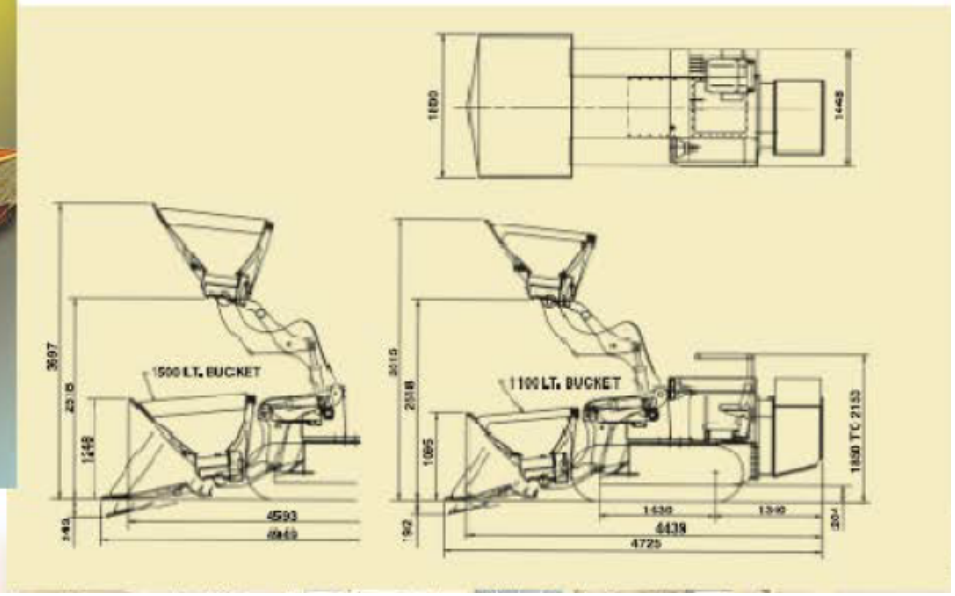
PALAS CARGADORAS DE DESCARGA LATERAL

* Bucket capacity	:	1.1 Cu. M.
* Breakout force	:	2722 Kgs.
* Operating weight	:	8900 Kgs.
* Electric motor	:	500/550 V , 65 HP
* Ground pressure	:	0.9 Kg./ Sq.cm.
* Hydraulic pump	:	Gear type
* Hydraulic traction motor	:	Radial piston type
* Conveyor motor	:	LSHT , Gear motor
* Brakes	:	Hydraulic brakes on Traction motors
* Traveling speed	:	3.80 kmph
* Lights	:	12 or 24 Volts, 2F and 1R

OPTIONS

* Bucket	:	0.6 Cu.M. (Rock application)
* Cable reel	:	With cable reel





EJEMPLO: ESPECIFICACIONES DEL MODELO EIMCO 625 SDL

PALAS CARGADORAS

PALAS CARGADORAS DE DESCARGA LATERAL

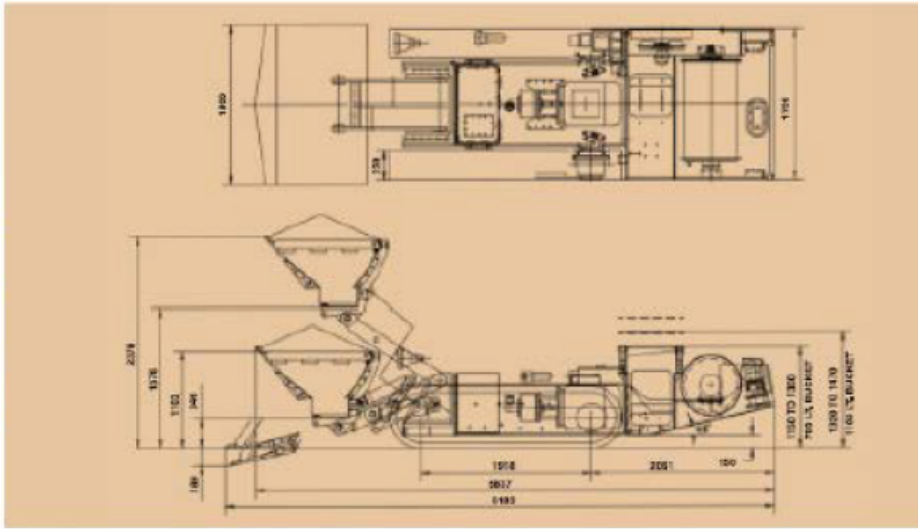
* Bucket capacity	:	1.1 Cu. M.
* Breakout force	:	2700 Kgs.
* Operating weight	:	10000 Kgs.
* Electric motor	:	500/550 V , 55 HP
* Ground pressure	:	0.8 Kg / Sq.cm
* Hydraulic pump	:	Gear type
* Hydraulic traction motor	:	Axial piston type
* Conveyor motor	:	LSHT , Gear motor
* Brakes	:	SAHR type brakes on both Traction gear box (Shrink disk negative) in addition to hydrostatic on both traction motors
* Traveling speed	:	3.6 kmph (Max.)
* Lights	:	12 or 24 Volts, 2F and 1R

T. BLINDADO EN CAZ

OPTIONS

* Bucket capacity	:	0.75 Cu.M. (Chain conveyor)
* Bucket type	:	1.0 Cu.M. (Front tipping)
* Electric motor	:	400/440 V, 55 HP
* Cable reel	:	Without cable reel





EJEMPLO: ESPECIFICACIONES DEL MODELO EIMCO 611 ISL

CARGADORAS DE PERFIL BAJO (LHD)

GENERALIDADES DE LAS LHD

- Responden a las siglas **Load (carga), Transporte (Haul), Dump (vertido).**
- Equipos versátiles y compactos, sobre neumáticos, con tracción a las cuatro ruedas.
- La articulación central simplifica las maniobras y permite describir curvas de radio estrecho.
- Gran versatilidad de marchas (las mismas hacia delante que hacia atrás).
- Adecuadas para transporte desde el frente a acopios intermedios distantes incluso cientos de metros.



VENTAJAS EQUIPOS ELÉCTRICOS POR BATERIAS SOBRE LOS DIESEL

Menores requerimientos de ventilación (no emiten gases, y las temperaturas alcanzadas son menores)
Mayor poder de arranque
Menor generación de ruido
Mantenimiento preventivo más simple...





CARGADORAS DE PERFIL BAJO (LHD)

CAMPOS DE APLICACIÓN
Minería metálica de interior
Túneles y obra civil subterránea
Minería subterránea ornamental (transporte de grandes bloques)
Mantenimiento preventivo más simple…

REQUERIMIENTOS PARA APLICACIÓN
Pendientes menores al 20%
Curvas en zig-zag mejor que helicoidales (articulación)
Buena solera
Ancho mínimo de la galería
Secciones suficientes para la carga y maniobras



Vmax (m/s)	Ancho mínimo galería (m)
< 2,25	Ancho LHD + 0,6 m
<3,6	Ancho LHD+ 1,2 m
>3,6	Ancho LHD+ 1,5

FUENTE: HEVIA CANGA, EN DÍAZ AGUADO 2006

- El rendimiento es proporcional a la capacidad de cuchara. Suelen ser superiores a 4 m^3, pudiendo llegar a los 55 m^3.
- Vida útil 15.000-20.000 horas.

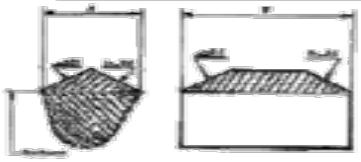
PRODUCCIÓN DE LAS CARGADORAS DE PERFIL BAJO (LHD)

Fa= FACTOR DE ACARREO O LLENADO		
GRADO DE FRAGMENTACIÓN	CONDICIONES DEL TAJO	f_a
Buena	Buenas	1,00
Media	Medias	0,95
Mala	Malas	0,90

FACTOR DE CONVERSIÓN VOLUMÉTRICA (CONVERSIÓN VOLUMEN EN BANCO A VOLUMEN SUELTO)

$$f_v = \frac{\rho_{suelto}}{\rho_{banco}} = \frac{V_{banco}}{V_{suelto}}$$

CAPACIDAD DEL CAZO COLMADO



$$P(m^3 banco\ /\ h) = \frac{60 \cdot C(m^3) \cdot f_a \cdot f_v \cdot \mu_r}{T(\min)}$$

μ_r: FACTOR DE RENDIMIENTO HORARIO (Tiempo realmente aprovechado). Suele considerarse 5/6 en condiciones adecuadas de trabajo

TIEMPO DE CICLO (TIEMPO VARIABLE DEL ITINERARIO+ TIEMPOS FIJOS)

$$Tiempos_{VARIABLES} = \frac{Distancia_{IDA}}{Velocidad_{CARGADO}} + \frac{Distancia_{VUELTA}}{Velocidad_{VACÍO}}$$

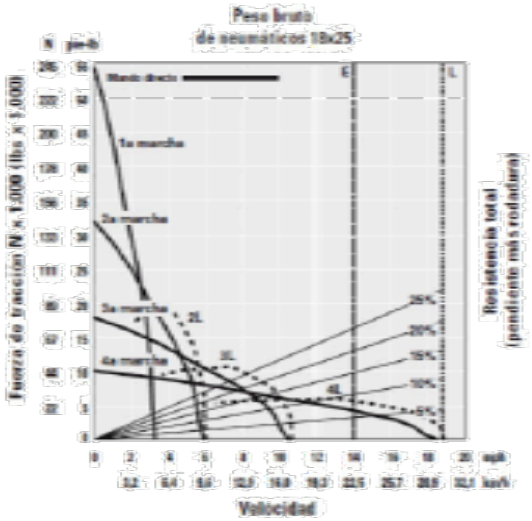
TIEMPOS FIJOS (CARGA, DESCARGA Y GIROS DE 90º)	
CONDICIONES DEL TAJO	TIEMPO FIJO (min)
Buenas	0,8
Medias	1,1
Malas	1,4

PRODUCCIÓN DE LAS CARGADORAS DE PERFIL BAJO (LHD)



$$Tiempos_{VARIABLES} = \frac{Distancia_{IDA}}{Velocidad_{CARGADO}} + \frac{Distancia_{VUELTA}}{Velocidad_{VACÍO}}$$

Rendimiento en pendientes/Velocidad/Tracción



SOBRE LAS DISTANCIAS DE ACARREO:

ORDEN DE MAGNITUD: Cuando la distancia total sea mayor de 800 m (400 IDA+400 VUELTA), resulta más ventajoso separar las operaciones de carga (LHD) y transporte (Camión de bajo perfil) .

TIPO DE LABOR DE CARGA DE PALA LHD	RANGO ÓPTIMO DE DISTANCIA DE TRANSPORTE (m)
Carga desde frente a machacadora	50 - 400
Carga desde frente a volquete	< 100
Carga desde frente a vagoneta/cinta	50 - 400

EN CASO DE CIRCULAR EN PENDIENTE:

Para estimar la velocidad se recurrirá a las *curvas características* facilitadas por los fabricantes). Deberán sumarse las resistencia debida a la pendiente con la debida a la resistencia a la rodadura.

http://xml.catmms.com/servlet/ImageServlet?imageId=C420006

EJEMPLO DE CÁLCULO

Determinar la producción horaria de carga (considerada en volumen en banco)de una pala LHD, de 3 m^3 de cazo. Las condiciones del tajo y la fragmentación de la roca son buenas.

La densidad in situ de la roca se estima en 2 t/m^3, mientras que para el escombro se acepta 1,7 t/m^3.

La velocidad media de la pala cargada es de 13 km/h, mientras que en vacío alcanza los 18 km/h. La distancia entre el frente y el punto de vertido es de 300 m, discurriendo por superficie llana.

EJEMPLO DE CÁLCULO

Determinar la producción horaria de carga (considerada en volumen en banco) de una pala LHD, de 3 m³ de cazo. Las condiciones del tajo y la fragmentación de la roca son buenas. La densidad in situ de la roca se estima en 2 t/m³, mientras que para el escombro se acepta 1,7 t/m³. La velocidad media de la pala cargada es de 13 km/h, mientras que en vacío alcanza los 18 km/h. La distancia entre el frente y el punto de vertido es de 300 m, discurriendo por superficie llana.

$$P(m^3 banco\ /\ h) = \frac{60 \cdot C(m^3) \cdot f_a \cdot f_v \cdot \mu_r}{T(\min)}$$

C= CAPACIDAD DEL CAZO COLMADO = 3 m³

Fa= FACTOR DE ACARREO O LLENADO		
GRADO DE FRAGMENTACIÓN	CONDICIONES DEL TAJO	f_a
Buena	Buenas	1,00
Media	Medias	0,95
Mala	Malas	0,90

Fa (GRADO DE FRAGMENTACIÓN Y CONDICIONES DEL TAJO BUENAS)

μr: CONSIDERAREMOS 50/60



$$f_v = \frac{\rho_{suelto}}{\rho_{banco}} = \frac{V_{banco}}{V_{suelto}} = 1,7 / 2 = 0,85$$

EJEMPLO DE CÁLCULO

Determinar la producción horaria de carga (considerada en volumen en banco) de una pala LHD, de 3 m³ de cazo. Las condiciones del tajo y la fragmentación de la roca son buenas. La densidad in situ de la roca se estima en 2 t/m³, mientras que para el escombro se acepta 1,7 t/m³. La velocidad media de la pala cargada es de 13 km/h, mientras que en vacío alcanza los 18 km/h. La distancia entre el frente y el punto de vertido es de 300 m, discurriendo por superficie llana.

$$Tiempos_{VARIABLES} = \frac{0{,}300km}{13km/h} + \frac{0{,}300km}{18km/h} = 0{,}039horas = 2{,}38\,\text{min}$$

TIEMPO VARIABLE

TIEMPO FIJO= 0,8 (Buenas condiciones del tajo)

TIEMPOS FIJOS (CARGA, DESCARGA Y GIROS DE 90º)	
CONDICIONES DEL TAJO	TIEMPO FIJO (min)
Buenas	0,8
Medias	1,1
Malas	1,4



TIEMPO TOTAL DEL CICLO: 3, 18 MINUTOS

EJEMPLO DE CÁLCULO

Determinar la producción horaria de carga (considerada en volumen en banco) de una pala LHD, de 3 m³ de cazo. Las condiciones del tajo y la fragmentación de la roca son buenas. La densidad in situ de la roca se estima en 2 t/m³, mientras que para el escombro se acepta 1,7 t/m³. La velocidad media de la pala cargada es de 13 km/h, mientras que en vacío alcanza los 18 km/h. La distancia entre el frente y el punto de vertido es de 300 m, discurriendo por superficie llana.

$$P(m^3 banco\ /\ h) = \frac{60 \cdot C(m^3) \cdot f_a \cdot f_v \cdot \mu_r}{T(\min)}$$

VOLUMEN DE ROCA EN BANCO (EN EL FRENTE)

$$P(m^3 banco\ /\ h) = \frac{60 \cdot 3(m^3) \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}85 \cdot (5/6)}{3{,}18} = 40{,}09\, m^3{}_{banco}\ /\ h$$

SI QUISIÉSEMOS CONOCER EL VOLUMEN SUELTO CARGADO POR HORA

$$P(m^3 suelto\ /\ h) = \frac{60 \cdot 3(m^3) \cdot 1 \cdot (5/6)}{3{,}18} = 47{,}17\, m^3{}_{suelto}\ /\ h$$

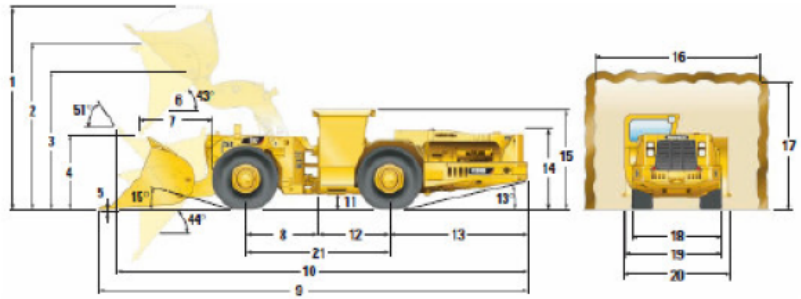
CARGADORA DE BAJO PERFIL. ESPECIFICACIONES.





Dimensions

All dimensions are approximate.



		243-5577	186-9278	243-6143 Standard Bucket	243-6224	157-3622 Ejector Bucket
	Bucket Capacity	2.4 m³ (3.1 yd³)	2.8 m³ (3.7 yd³)	3.1 m³ (4.1 yd³)	3.4 m³ (4.4 yd³)	2.4 m³ (3.1 yd³)
	Bucket Width Over Cutting Edge	1950 mm (6'5")	2010 mm (6'7")	2200 mm (7'2")	2400 mm (7'11")	2200 mm (7'2")
1	Overall Height – Bucket Raised	4232 mm (13'11")	4300 mm (14'1")	4302 mm (14'1")	4300 mm (14'1")	4300 mm (14'1")
2	Max Dump Height	3548 mm (11'8")	3529 mm (11'7")	3531 mm (11'7")	3529 mm (11'7")	3577 mm (11'9")
3	Bucket Pin Height at Max Lift	2918 mm (9'7")	2918 mm (9'7")	2918 mm (9'7")	2918 mm (9'7")	2918 mm (9'7")
4	Dump Clearance at Max Lift	1662 mm (5'5")	1558 mm (5'1")	1560 mm (5'1")	1561 mm (5'1")	1561 mm (5'1")
5	Digging Depth	25 mm (0'1")	36 mm (0'1")	34 mm (0'1")	36 mm (0'1")	36 mm (0'1")
6	Dump Angle at Max Lift	43°	43°	43°	43°	43°
7	Reach	1476 mm (4'10")	1588 mm (5'3")	1583 mm (5'2")	1584 mm (5'2")	1584 mm (5'2")
8	Centerline of Front Axle to Centerline of Hitch	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")
9	Overall Length (Digging)	8943 mm (29'4")	9100 mm (29'10")	9107 mm (29'11")	9085 mm (29'10")	9085 mm (29'10")
10	Overall Length (Tramming)	8613 mm (28'3")	8707 mm (28'7")	8714 mm (28'7")	8704 mm (28'7")	8704 mm (28'7")
11	Ground Clearance	328 mm (1'1")	328 mm (1'1")	328 mm (1'1")	328 mm (1'1")	328 mm (1'1")
12	Centerline of Back Axle to Centerline of Hitch	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")	1525 mm (5'0")
13	Length – Rear Axle to Bumper	2932 mm (9'7")	2932 mm (9'7")	2932 mm (9'7")	2932 mm (9'7")	2932 mm (9'7")
14	Height to Top of Hood	1628 mm (5'4")	1628 mm (5'4")	1628 mm (5'4")	1628 mm (5'4")	1628 mm (5'4")
15	Height to Top of ROPS	2120 mm (6'11")	2120 mm (6'11")	2120 mm (6'11")	2120 mm (6'11")	2120 mm (6'11")
16	Tunnel Clearance Width*	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")
17	Tunnel Clearance Height*	2800 mm (9'2")	2800 mm (9'2")	2800 mm (9'2")	2800 mm (9'2")	2800 mm (9'2")
18	Overall Tire Width	1900 mm (6'3")	1900 mm (6'3")	1900 mm (6'3")	1900 mm (6'3")	1900 mm (6'3")
19	Overall Width Excluding Bucket	2071 mm (6'10")	2071 mm (6'10")	2071 mm (6'10")	2071 mm (6'10")	2071 mm (6'10")
20	Overall Width Including Bucket	2155 mm (7'1")	2185 mm (7'2")	2318 mm (7'7")	2518 mm (8'3")	2318 mm (7'7")
21	Wheelbase	3050 mm (10'0")	3050 mm (10'0")	3050 mm (10'0")	3050 mm (10'0")	3050 mm (10'0")



TRANSPORTE, CAMIONES DE BAJO PERFIL

DEFINICIÓN DEL TRANSPORTE

Accionamiento, instalaciones, mecanismos y medidas necesarias para el desplazamiento de materiales mineros desde el punto de carga hasta el de vertido, o hasta su destino último.



ALGUNAS CLASIFICACIONES DEL TRANSPORTE:

SEGÚN LOS ELEMENTOS A TRANSPORTAR

Mineral, estéril, materiales, maquinaria y útiles para el arranque, material, personal, repuestos, lodos...

SEGÚN SU UBICACIÓN

- **DE INTERIOR** (Del frente al embarque)/ **DE EXTERIOR** (del embarque al acopio o al vertedero).
- **EN EXPLOTACIÓN** [Frente a galería: por gravedad, manual o mecánico (panzer)]/**EN GALERÍA** [Manual (auxiliarmente, empuje de vagones), semoviente o MECÁNICO (principalmente)] /**EXTRACCIÓN** (Planos inclinados/pozos)

SEGÚN LA DIRECCIÓN

- **Horizontal**/levemente inclinado (galerías y transversales)
- **Inclinado:** únicamente por el interior de la mina, o conectando interior-exterior.
- **Vertical:** Mediante jaulas o skips (cajones abiertos por arriba y con compuerta inferior)

PRINCIPALES FORMAS DE TRANSPORTE EN INTERIOR



TRABAJADORES DE LA MINA DE AZUFRE DEL VOLCÁN Kawah Ijen (JAVA), ACARREANDO MINERAL.

FORMAS ARCAICAS DE TRANSPORTE
CESTOS
CARRETILLAS
TRANSPORTE SOBRE RAILES Y EMPLEO DE SEMOVIENTES (ANIMALES)

PRINCIPALES FORMAS DE TRANSPORTE EN INTERIOR

- TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO
- TRANSPORTE CONTINUO
- TRANSPORTE DISCONTINUO SOBRE VÍA







TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Vehículo articulado con un elemento tractor y controles en la parte delantera y volquete en la trasera. Lo cargarán LHD o palas frontales.
- Equipos versátiles y robustos, de hasta 50 t. (Existen equipos rígidos de 80 t).
- Tracciones a 2 (firmes duros) ó 4 ruedas (más adecuados para firmes deslizantes).





POSIBILIDADES DE APERTURA DE CAJA

- Levantando la caja. Sobre todo para descargas en el exterior de la cavidad, aunque por su bajo perfil puede ser adecuado para descargas en labores de suficiente gálibo.
- Por desplazamiento de la parte trasera de la caja, con el consiguiente empuje del material fuera del vehículo. Camiones telescópicos.
- Cajas de descarga de volteo lateral. Se empiezan a introducir en los catálogos de algunos fabricantes, pero suele tratarse de camines rígidos y no articulados.

TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

CONSIDERACIONES DE CARA A PRODUCCIÓN

- La relación adecuada tamaño de cazo (cargadora)/tamaño de caja (camión) suele aconsejarse en el intervalo de 3 a 6. Se consigue así un tándem compensado. Evidentemente deben adecuarse a las dimensiones de las labores y accesos.

- Es conveniente tener en consideración la capacidad de transporte en base al peso (materiales de densidades superiores a las empleadas por el fabricante en su estimación de capacidad podrían excederla).

- Las capacidades ofrecidas por los fabricantes en sus catálogos se corresponde con una situación ideal de llenado del volquete. En función de la maquinaria de carga asignada y el material, podrá ajustarse en mayor o menor medida a nuestro caso, por lo que en los cálculos deberá afectarse de factores minoran tes.

En caso de obtener un decimal al hacer ese caso, para garantizar la saturación de cargadora (que no esté parada en ningún momento esperando a los equipos de carga, deberá redondearse al siguiente número natural).

Weights

Empty	50 000 kg	110,231 lb
Front Axle	34 200 kg	75,398 lb
Rear Axle	15 800 kg	34,833 lb
Loaded	105 000 kg	231,486 lb
Front Axle	52 920 kg	116,668 lb
Rear Axle	52 080 kg	114,817 lb

Body Capacities

Dump Body – Standard	26.9 m³	35.2 yd³
Dump Body – Optional	32.6 m³	42.6 yd³
Dump Body – Optional	33.8 m³	44.2 yd³
Dump Body – Optional	36.6 m³	47.9 yd³

• Heaped SAE 2:1





TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

ADECUADO DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA



Para la determinación del número de camiones requeridos, se aplicará la fórmula siguiente:

$$n^{o}\,Camiones = \frac{T}{p \cdot t}$$

- Número de cubadas necesarias para cargar la caja del camión.
- Tiempo de ciclo de la unidad de carga.
- Tiempo de cada camión.

- **Tiempos fijos**: carga, descarga y maniobras.
- **Tiempos variables:** lugar durante el transporte de la carga entre el frente y el punto de vertido así como el regreso en vacío.

TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

EJEMPLO DE CÁLCULO DE FLOTA

Supóngase que se desea cargar con la pala LHD del ejercicio anteriormente propuesto en el tema correspondiente, una serie de camiones de bajo perfil, de capacidad total unitaria de caja de 27 m^3, conservando los datos de tiempo de ciclo del equipo de carga calculados en el ejemplo señalado (se considerarán las velocidades, distancias y demás factores en el mismo recogidos), debiendo además considerar que la capacidad nominal de la caja del camión coincide en este caso con la real (fa=1), y que el aprovechamiento horario del camión es del 100% (simplificación). La distancia que separa el punto de carga del volquete y el acopio al que deberá conducir el material es de 1000 m en terreno llano, alcanzando unas velocidades respectivas en los trayectos en carga y vacío de 16 y 20 km/hora, con unos tiempos de maniobras y descarga de 2 minutos por ciclo.

Se pregunta:

¿Resulta adecuado el modelo de camión elegido en base al equipo de carga?
¿La distancia a recorrer por la LHD para la carga del volquete es óptima?
¿Cuál será el tamaño mínimo de flota de camiones a considerar para conseguir la saturación completa del equipo de carga?

TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

EJEMPLO DE CÁLCULO DE FLOTA

¿Resulta adecuado el modelo de camión elegido en base al equipo de carga?

$$RELACIÓN_{CAPACIDADES} = \frac{Volumen_{caja}}{Volumen_{cazo}} = \frac{27}{3} = 9 > 6$$

Deben completarse 9 ciclos para cargar el camión

"La relación adecuada tamaño de cazo (cargadora)/tamaño de caja (camión) suele aconsejarse en el intervalo de 3 a 6."

A priori, la relación volquete-cargadora no es adecuada, resultando el camión excesivo (9>6) para el equipo de carga seleccionado. Si el valor obtenido hubiese sido menor de 3, la cargadora sería excesiva.

TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

EJEMPLO DE CÁLCULO DE FLOTA

¿La distancia a recorrer por la LHD para la carga del volquete es óptima?



- En el ejercicio anterior, la distancia entre el frente y el punto de vertido de la cargadora LHD, que al adaptarlo al presente enunciado pasaría a ser punto de carga del camión, es de 300 m.

TIPO DE LABOR DE CARGA DE PALA LHD	RANGO ÓPTIMO DE DISTANCIA DE TRANSPORTE (m)
Carga desde frente a machacadora	50 - 400
Carga desde frente a volquete	< 100
Carga desde frente a vagoneta/cinta	50 - 400

Como puede observarse, triplica la máxima aconsejable, por lo que no resulta una distancia adecuada.



TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

EJEMPLO DE CÁLCULO DE FLOTA

¿Cuál será el tamaño mínimo de flota de camiones a considerar para conseguir la saturación completa del equipo de carga?

$$Tiempos_{VARIABLES} = \frac{0{,}300km}{13km/h} + \frac{0{,}300km}{18km/h} = 0{,}039horas = 2{,}38\,\text{min}$$



TIEMPOS FIJOS (CARGA, DESCARGA Y GIROS DE 90º)	
CONDICIONES DEL TAJO	TIEMPO FIJO (min)
Buenas	0,8
Medias	1,1
Malas	1,4

TIEMPO FIJO= 0,8 (Buenas condiciones del tajo)

TIEMPO TOTAL DEL CICLO: 3, 18 MINUTOS

TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

EJEMPLO DE CÁLCULO DE FLOTA

¿Cuál será el tamaño mínimo de flota de camiones a considerar para conseguir la saturación completa del equipo de carga?

$$Tiempos_{VARIABLES} = \frac{1{,}000km}{16km/h} + \frac{1{,}000km}{20km/h} = 0{,}11horas = 6{,}75\,\text{min}$$



TIEMPO FIJO= 28,62(TIEMPO DE CARGA) +2 MINUTO(TIEMPO DE DESCARGA Y MANIOBRAS SEGÚN ENUNCIADO)=30,62

$$Tiempos_{CARGA_CAMIÓN} = 9ciclos \cdot 3{,}18\,\text{min}/ciclo = 28{,}62\,\text{min}$$

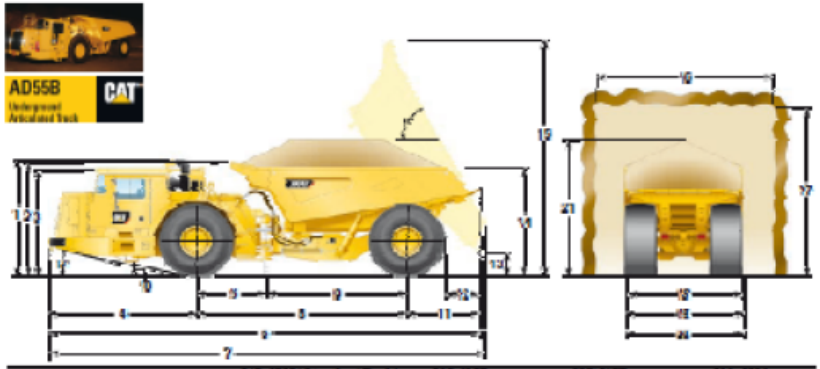
TIEMPO TOTAL DEL CICLO: TIEMPOS VARIABLES+TIEMPOS FIJOS= 30,62+6,75=37,37 MINUTOS

$$n^{o}\,Camiones = \frac{37{,}37}{9 \cdot 3{,}18} = 1{,}30camiones = 2camiones$$

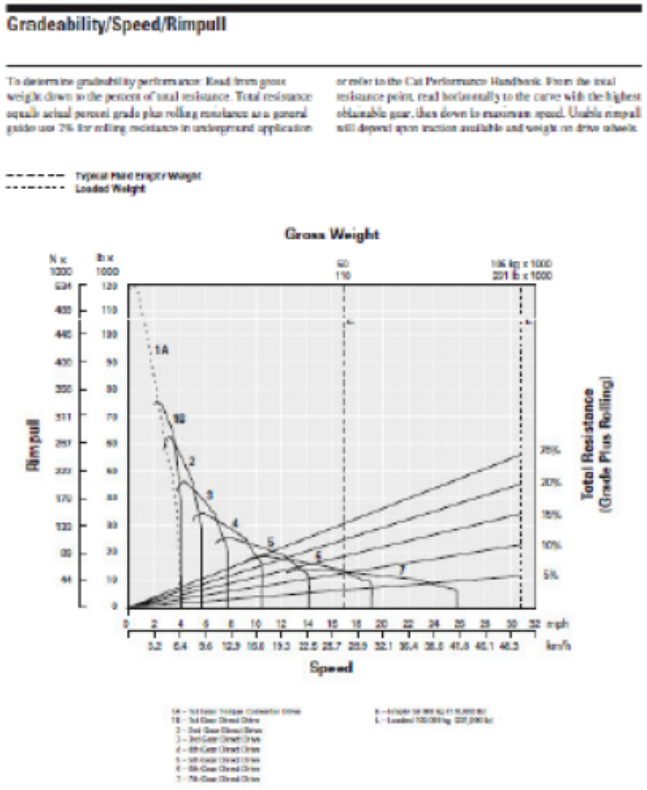
Para garantizar la saturación de la máquina (que no deba estar parada en ningún momento esperando a los equipos de carga, deberá redondearse al siguiente número natural), por lo que se obtiene una flota de dos camiones.

TRANSPORTE DISCONTINUO RODADO: CAMIONES DE BAJO PERFIL

EJEMPLO DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPO: AD558



	353-4830 (Standard Body)	312-8350	307-8005	311-4821
Dump Body	26.9 m³ (35.2 yd³)	32.6 m³ (42.6 yd³)	33.8 m³ (44.2 yd³)	36.6 m³ (47.9 yd³)
1 Overall Height – Body Empty	3279 mm (10'9")	3448 mm (11'3")	3557 mm (11'8")	3668 mm (12'0")
2 Height to Top of Body	3202 mm (10'6")	3348 mm (11'0")	3356 mm (11'0")	3508 mm (11'6")
3 Height to Top of ROPS	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")	3000 mm (9'10")
4 From Bumper to Centerline of Front Axle	4064 mm (13'4")	4064 mm (13'4")	4064 mm (13'4")	4064 mm (13'4")
5 Centerline of Front Axle to Centerline of Hitch	1920 mm (6'4")	1920 mm (6'4")	1920 mm (6'4")	1920 mm (6'4")
6 Overall Length	12 040 mm (39'6")	12 040 mm (39'6")	12 040 mm (39'6")	12 040 mm (39'6")
7 Max Overall Length	12 084 mm (39'8")	12 189 mm (39'11")	12 222 mm (40'1")	12 241 mm (40'2")
8 Wheelbase	5900 mm (19'4")	5900 mm (19'4")	5900 mm (19'4")	5900 mm (19'4")
9 Centerline of Hitch to Centerline of Rear Axle	2080 mm (6'10")	2080 mm (6'10")	2080 mm (6'10")	2080 mm (6'10")
10 Ground Clearance	496 mm (1'8")	496 mm (1'8")	496 mm (1'8")	496 mm (1'8")
11 Centerline of Rear Axle to Tail	1976 mm (6'6")	1976 mm (6'6")	1976 mm (6'6")	1976 mm (6'6")
12 Rear Wheel to Body Raised	857 mm (2'10")	857 mm (2'10")	857 mm (2'10")	857 mm (2'10")
13 Bumper Clearance	564 mm (1'10")	564 mm (1'10")	564 mm (1'10")	564 mm (1'10")
14 Loading Height	3045 mm (9'12")	3526 mm (11'7")	3426 mm (11'3")	3435 mm (11'3")
15 Overall Height – Body Raised	6965 mm (22'10")	7122 mm (23'4")	7122 mm (23'4")	7222 mm (23'8")
16 Tunnel Clearance Width*	5000 mm (16'4")	5000 mm (16'4")	5000 mm (16'4")	5000 mm (16'4")
17 Tunnel Clearance Height*	5000 mm (16'4")	5000 mm (16'4")	5000 mm (16'4")	5000 mm (16'4")
18 Inside Top Width	3350 mm (11'0")	3350 mm (11'0")	3350 mm (11'0")	3350 mm (11'0")
19 Overall Width (Including Body)	3480 mm (11'5")	3480 mm (11'5")	3480 mm (11'5")	3480 mm (11'5")
20 Overall Width (Excluding Body)	3346 mm (11'0")	3346 mm (11'0")	3346 mm (11'0")	3346 mm (11'0")
21 Height to Top of Load (SAE 2:1)	3848 mm (12'7")	4078 mm (13'4")	4183 mm (13'9")	4333 mm (14'2")



AL IGUAL QUE SE VIO EN EL CASO DE LAS HLD, AL TRATARSE DE EQUIPOS SOBRE NEUMÁTICOS, AL CONSIDERAR TRAMOS INCLINADOS DEBERÁ TENERSE EN CUENTA LA RESISTENCIA DEBIDA A INCLINACIÓN Y ROZAMIENTO, PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD EN LOS MISMOS.

BIBLIOGRAFÍA

- López Jimeno, C. (1998): *«Manual de Túneles y Obra Subterránea»*. Móstoles: Entorno Grafico S.L.

- López Jimeno, C.: *«Colección IngeoTúneles»*. Madrid. Varias Editoriales.