5) LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ

Revista Industria Minera Nº 243 Noviembre de 1984.

Publicación:

"Las Máquinas Rozadoras en Túneles y Minas".

LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

Por LAUREANO CORNEJO ALVAREZ
Ingeniero de Minas

1. INTRODUCCION

Dentro de la amplia gama de maquinaria que se utiliza en Minería y Obras Públicas para la excavación de rocas, hablaremos ahora de las llamadas máquinas rozadoras.

Una rozadora es una máquina excavadora que desarrolla un sistema de trabajo mediante un cabezal rotatorio, provisto de herramientas de corte de metal duro que incide sobre la roca y va montado sobre un brazo articulado; un sistema de recogida y transporte de escombros desde el frente hacia la parte trasera de la máquina completa, mediante el ensamblado de los mecanismos descritos a un chasis móvil sobre orugas, el sistema de trabajo de estas máquinas.

2. SISTEMA DE TRABAJO

2.1. ATAQUE PUNTUAL

Estas máquinas utilizan el sistema de ATAQUE PUNTUAL, en el cual la potencia total del motor de corte y el peso de la máquina (fuerza de reacción) se concentran en una única punta cortadora, lo que permite atacar rocas bastante duras.

2.1. SISTEMA DE CORTE

Dos son los sistemas de corte empleados:
RIPPING
MILLING

2.2.1. Ripping

En este sistema el cabezal de corte gira perpendicularmente al brazo soporte y las herramientas de corte (picas) golpean la roca utilizando todo el peso de la máquina, por lo que el rendimiento de excavación aumenta y posibilita «el rozado» de rocas más duras. La fuerza de corte se aplica principalmente de un modo frontal.

2.2.2. Milling

En este sistema el cabezal de corte cilíndrico o troncocónico gira en línea con el eje del brazo soporte y la fuerza de corte se aplica lateralmente, por lo que no se aprovecha todo el peso de la máquina como fuerza de reacción.

Para terrenos duros necesita disponer de unos gatos de apoyo sobre los hastiales para absorber los momentos de giro producidos en el cabezal.

2.2.3. Ventajas e inconvenientes de ambos sistemas

Ambos sistemas tiene sus ventajas e inconvenientes, y cada uno tiene sus aplicaciones específicas. Existen máquinas en el mercado que permiten la utilización de ambos sistemas con la simple sustitución del cabezal de corte.

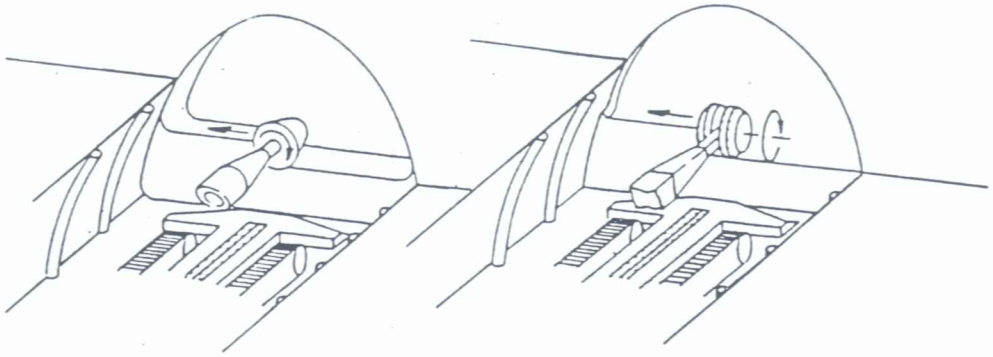
Sin embargo, ensayos realizados demuestran que para un motor de corte de las mismas carac-

terísticas, el rendimiento de rozado aumenta hasta un 30 % utilizando el sistema RIPPING.

En minería puede tener una buena aplicación el sistema MILLING, ya que, al ser el cabezal de corte de dimensiones más reducidas permite su utilización en capas estrechas de mineral que puede ser rozado sin afectar a la roca encajante.

Sin embargo, cuando se trata de excavar rocas duras, las ventajas se inclinan hacia el sistema RIPPING.

SISTEMAS DE CORTE



MILLING RIPPING

ROZADO CON CHORRO DE AGUA
(Alta presión)

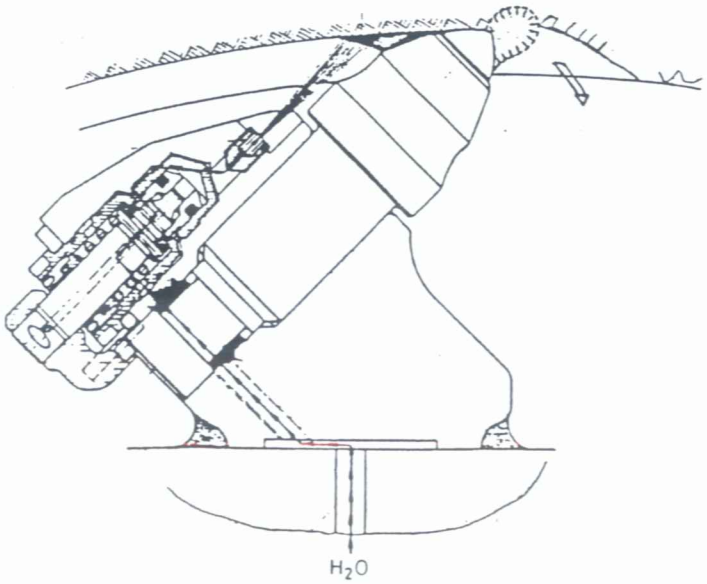
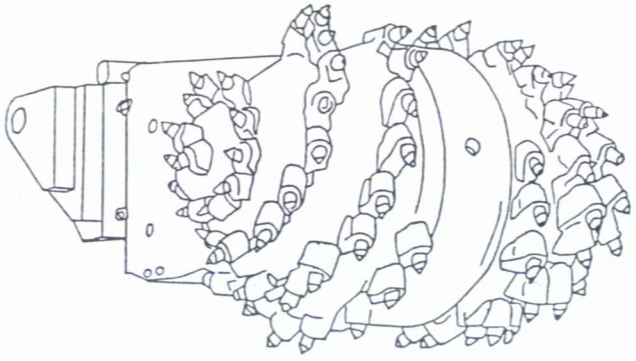


Figura 1.

SISTEMAS DE CORTE
TIPOS DE CABEZAL

RIPPING



MILLING

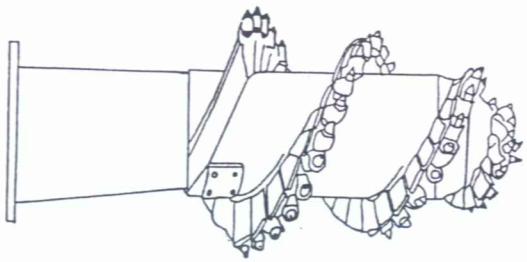


Figura 2.

2.3. LOS UTILES DE CORTE

Los útiles de corte, o picas, juegan un papel importante en el proceso de trabajo, ya que es el elemento sometido a un mayor desgaste. Su geometría, disposición secuencial en el cabezal de corte y los materiales de que se compone, influyen grandemente en el rendimiento y durabilidad y, por tanto, en la economía de la operación de rozado.

Las picas constan de una pastilla o punto de metal duro (carburo de tungsteno) según el tipo dentro de una matriz de acero sometida a tratamientos de endurecimiento.

Para rocas blandas se usan las picas planas o radiales y para las rocas duras las picas cónicas. Se fabrica una gama muy variada y la elección de la pica más económica debe hacerse después de haber probado varias de entre las que, por sus características de diseño, resultan más aconsejables. Una adecuada elección reduce los costos de rozado en una cuantía considerable. En presencia de rocas duras y abrasivas debe usarse una pica cuya punta de metal duro tenga un diámetro grande (como U 47-52, de KENNAMETAL).

El metal duro se compone principalmente de una aleación de carburo de tungsteno y cobalto

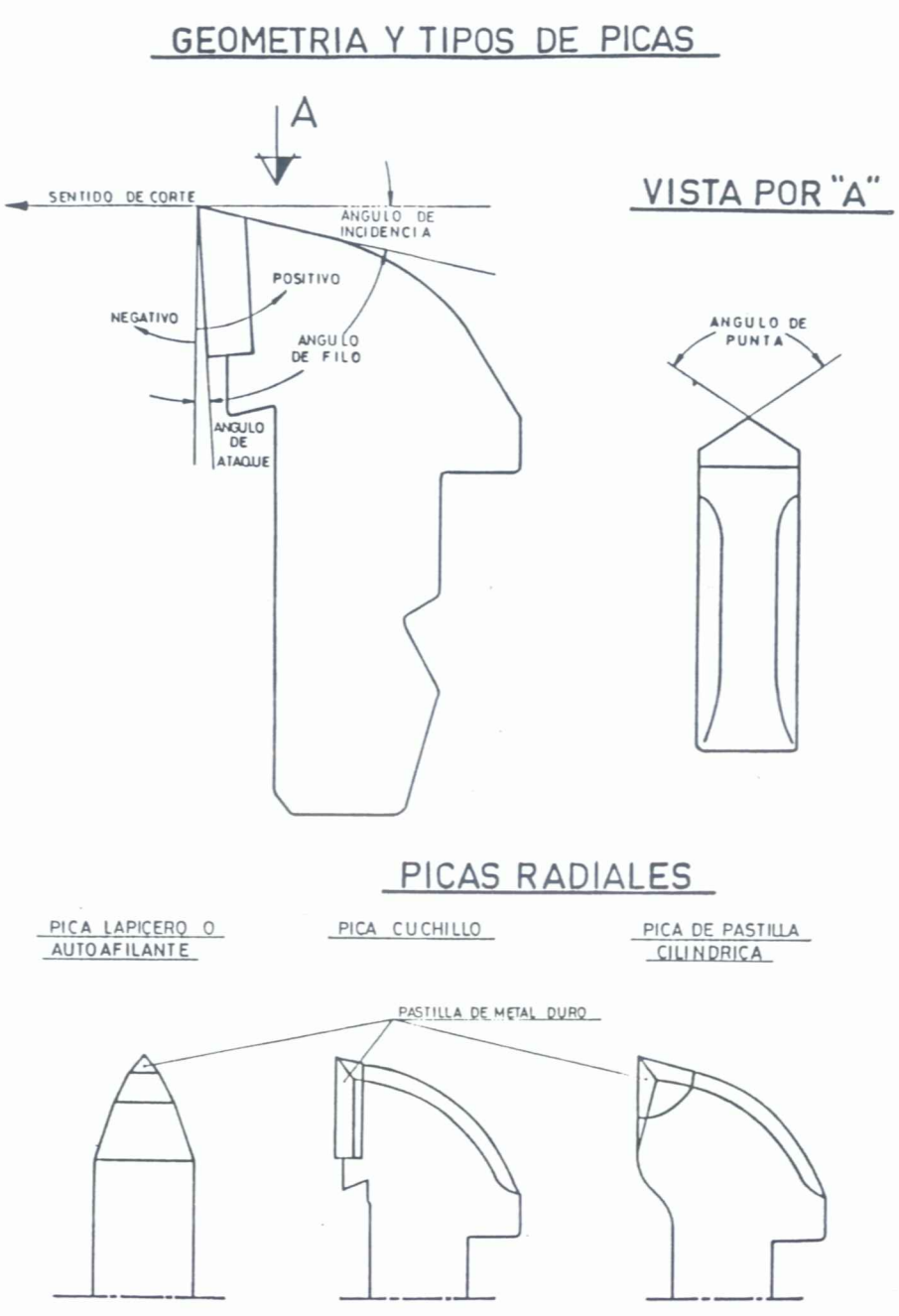


Figura 3.

buscando siempre un compromiso entre la dureza y la fragilidad del metal resultante.

El desgaste de picas es un factor muy importante a la hora de valorar el costo del rozado, que será el componente principal del costo de la unidad m^3 de excavación.

La vida de los cortadores es en estos momentos el factor dominante que limita el uso económico de estas máquinas.

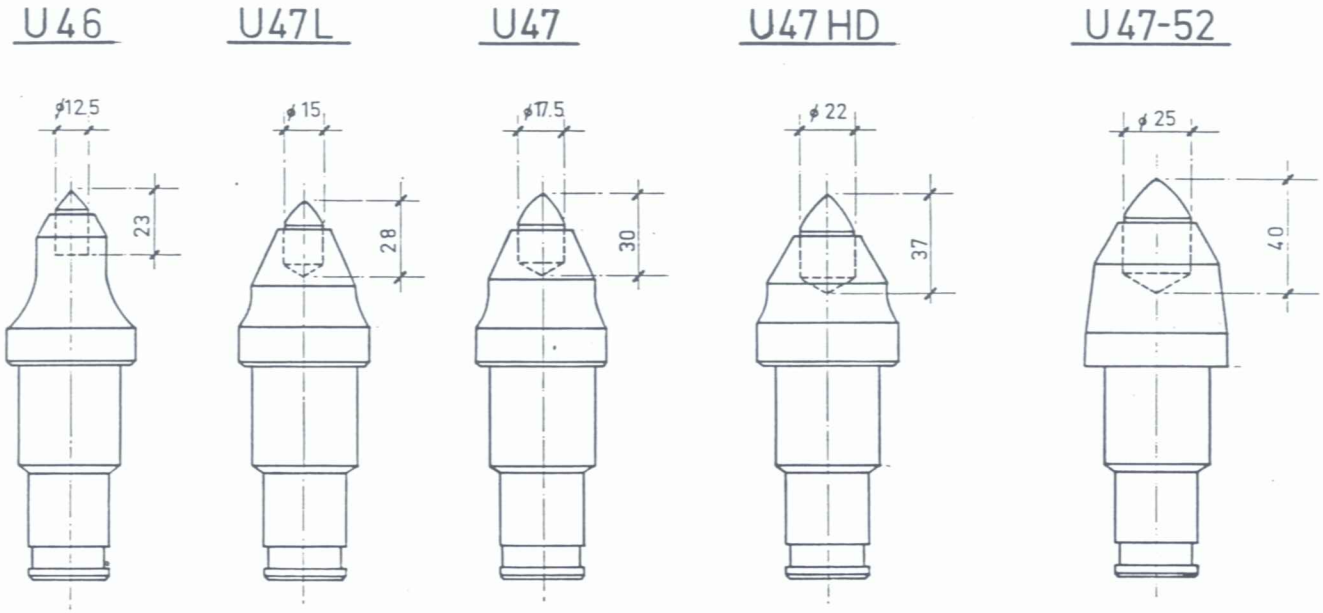


Fig. 4.

El U.S. BUREAU OF MINES ha desarrollado recientemente unas investigaciones en la Universidad de California que han puesto de manifiesto que, con el empleo del Waterjets a media presión (por encima de 640 kgs/cm^2), se consigue reducir la fuerza aplicada a los cortadores en una quinta parte, aumentándose al doble la duración de los mismos. Si esto se confirma, en los próximos tres o cinco años se duplicarán los rendimientos de rozado y se dividirán por dos los costos del mismo.

El consumo de agua de esta técnica del waterjets (chorro de agua) es de un máximo de 76 litros/min por tonelada de material rozado.

2.4. SISTEMAS DE CARGA DE ESCOMBROS

El sistema de carga de escombros es diferente de unas máquinas a otras, y presenta básicamente cuatro variantes:

2.4.1. Carga mediante brazos recolectores

El material rozado cae sobre una bandeja y es recogido mediante unos brazos que lo cargan a los transportadores (tipo Alpine, Roc-Miner Dosco y otros).

2.4.2. Mesa recolectora

El material cae sobre una mesa recolectora cuya parte superior tiene un movimiento alternativo hacia los lados empujando el material hacia los transportadores (tipo Westfalia WAV 178, 170, etcétera).

2.4.3. Carrusel de paletas

Un transportador de paletas circulantes (transportador que da la vuelta) recoge el material (tipo Dosco).

2.4.4. Rozado y carga en una misma operación

Este sistema ha sido desarrollado por la firma alemana Westfalia, en el que el cabezal de corte girando de abajo hacia arriba, a la vez que corta, carga el material y alimenta un transportador central colocado en el mismo brazo articulado.

Este sistema permite efectuar excavaciones puntuales de dimensiones muy reducidas de aplicación en túneles en terrenos blandos cuya estabilidad así lo aconseja. Este sistema se emplea únicamente en máquinas de potencia media (100 KW tipo Luchs), siendo los dos sistemas primeramente descritos los utilizados para máquinas de mayor potencia.

3. TIPOS DE MAQUINAS

3.1. MAQUINAS LIGERAS

Características:
Peso: < 20 t.
Potencias de la cabeza de corte: < 50 kW.
Dureza máxima de roca: Rc < 300 kg/cm².
Las máquinas más representativas figuran en la tabla 1.

3.2. MAQUINAS DE PESO MEDIO

Características:
Peso: Entre 20 y 40 t.
Potencia en cabeza de corte: < 110 kW.
Dureza máxima de la roca: Rc < 800 kg/cm².
Las máquinas más representativas figuran en la tabla 2.

3.3. MAQUINAS PESADAS

Características:
Peso: Entre 40 y 60 t.
Potencia en la cabeza de corte: 110-220 kW.
Dureza máxima de la roca: Rc < 1.000 kg/cm².
Las máquinas más representativas figuran en la tabla 3.

3.4. MAQUINAS MUY PESADAS

Características:
Peso: Entre 60 y 80 t.
Potencia de la cabeza de corte: 200-300 kW.
Dureza máxima de la roca: Rc ≤ 1.200 kg/cm².
Las máquinas más representativas figuran en la tabla 4.

4. CRITERIOS PARA LA ELECCION DE UNA ROZADORA

4.1. RESISTENCIA A COMPRESION DE LA ROCA

La elección de la potencia de la rozadora está en estrecha relación con la resistencia a compresión simple de la roca, la tabla adjunta n.° 5 indica esta relación basada en la práctica.

La resistencia a compresión de la roca no es de fácil determinación, ya que el dato obtenido en laboratorio sobre probeta puede no reflejar la realidad de la matriz rocosa.

El grado de fracturación y la orientación de la estratificación influyen sobremanera en la resistencia real del macizo, en el momento de ser rozado; es necesrio, por tanto hacer una corrección sobre el valor determinado sobre probeta sopesando el grado de fracturación y diaclasado de la roca, determinando el número de familias de diaclasas que darán como resultado una resistencia real inferior a la calculada. La estimación de esta resistencia exige la observación del frente de roca y experiencia para su interpretación. Puede emplearse también la media de los valores obtenidos con el martillo Schmidt, obteniéndose la resistencia a compresión mediante la expresión: Log $\sigma_c = 0{,}00014\ \gamma\ R + 3{,}163$; γ peso de la muestra seca lb/ft; R media de valor obtenidos.

Tabla 5

Resistencia de la roca Rc (kg/cm²)	Potencia de la cabeza de corte (kW)
200	30
300	50
400	70
500	90
600	103
700	116
800	130
900	165
1.000	200
1.200	300

4.2. RENDIMIENTO DE ROZADO

El rendimiento de rozado medido en m³ sobre perfil, depende principalmente de la resistencia a comprensión simple y de la potencia de la cabeza de corte, para una misma relación σ_c/σ_t entre la resistencia a compresión y tracción de la roca, una relación óptima de ésta varía entre 10/1 y 15/1.

La tabla que se adjunta n.° 6 indica los rendimientos de rozado para distintas durezas del terreno y potencias de las máquinas.

TABLA 6

Potencia de la cabeza de corte (kW)	RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DEL TERRENO 6_c (kg/cm²)					
	1.200	1.000	500	300	200	80
	RENDIMIENTO m³/h (C_E = 1,00) R_1					
300	23	29	50	72	94	116
200		12	29	48	67	81
110			27	27	34	46
50				12	17	41
40				6	12	35
20					3	12

TABLA 1.ª

MODELO	DIMENSIONES LARGO ANCHO ALTO m.	ALTURA MAX. CORTE ANCHURA MAX. CORTE m.	PESO Tm.	POTENCIA KW.		PRINCIPIO DE CORTE	VELOCIDAD DE TRANSLACION
				CABEZA DE CORTE	TOTAL		
ALPINE MINER F6 - A AUSTRIA	6.89 2.00 1.53	4.00 4.90	12	30	60	RIPPING	
WESTFALIA FL-3R-40 R.F.A.	5.75 1.22 1.60	3.80 4.00	9	40	73	RIPPING	0.8 Km./h.
SALZGITTER 125-E R.F.A.	6.426 1.727 1.550	3.810 4.620	15	41	93.5	RIPPING	
DOSCO LH-100 U.K.	8.08 3.25 1.17	3.404 5.182	30	49	105	MILLING	
MITSUI S-50 JAPON	11.72 2.80 1.80	4.15 4.66	17.5	50	86	MILLING	0.4 Km./h.
WESTFALIA FL-3R-50 R.F.A.	6.00 1.33 1.23	2.30 3.80	9	50	95	RIPPING	
WESTFALIA FL-4R-53 R.F.A.	8.92 2.10 2.10	4.30 5.20	13	53	101	RIPPING	1.1 Km./h.

ROZADORAS DE PESO MEDIO

TABLA 2.ª

MODELO	DIMENSIONES LARGO ANCHO ALTO m.	ALTURA MAX. CORTE ANCHURA MAX. CORTE m.	PESO Tm.	POTENCIA KW.		PRINCIPIO DE CORTE	VELOCIDAD DE TRANSLACION
				CABEZA DE CORTE	TOTAL		
DOSCO MK-2A U.K.	7.40 2.40 1.64	4.09 5.76	23.4	67	150	MILLING	7 m./min.
MITSUI S-90 JAPON	14.11 3.00 2.32	5.20 5.90	40	90	158	MILLING	1 Km./h.
WESTFALIA FL-5R1-90/110 ALEMANIA	10.50 2.30 1.60	4.15 5.40	25	90 110	175 195	RIPPING	2 Km./h.
WESTFALIA FL-5R-90 ALEMANIA	9.80 2.40 2.21	4.98 4.50	25	90 110	182 202	RIPPING	0.6-1.8 Km./h.
PAURAT E-169 ALEMANIA	10.50 3.00 1.765	4.40 5.605	38	100	185	MILLING	39 m./min.
SALZGITTER STM-100 ALEMANIA	8.70 2.10 1.40	4.00 5.20	31	100	200	RIPPING	54 m./min.
ALPINE MINER AM-50 AUSTRIA	7.50 2.50 1.645	4.30 5.05	24	110	170	RIPPING	5 m./min.
WESTFALIA FL-6R-110 ALEMANIA	13.80 2.60 3.30	7.20 6.00	38	110	202	RIPPING	2 Km./h.

ROZADORAS PESADAS

TABLA 3.ª

MODELO	DIMENSIONES LARGO ANCHO ALTO m.	ALTURA MAX. CORTE ANCHURA MAX. CORTE m.	PESO Tm.	POTENCIA KW.		PRINCIPIO DE CORTE	VELOCIDAD DE TRANSLACION
				CABEZA DE CORTE	TOTAL		
MITSUI S-125 JAPON	12.54 2.80 2.15	4.66 5.00	30	125	170	MILLING	0.4 Km./h.
SALZGITTER STM-160 R.F.A.	10.95 2.56 1.40	4.20 6.20	45	160	257	RIPPING	54 m./min.
DEMAG VS-3 R.F.A.	11.50 4.90 2.00-2.40	5.00 6.90	63	160	264	MILLING	42 m./min.
ALPINE MINER AM-75 AUSTRIA	9.00 2.80 1.45	5.18 6.85	43	160	295	RIPPING	60 m./min.
EICKHOFF ET-160 R.F.A.	13.70 3.10 1.85	5.30 7.30	66	160	360	RIPPING MILLING	
WESTFALIA WAV 170 R.F.A.	12.15 3.50-4.20 3.00	5.40 6.30	55	200	290	RIPPING	0.45-1.6 Km./h.

ROZADORAS MUY PESADAS

TABLA 4.ª

MODELO	DIMENSIONES LARGO ANCHO ALTO m.	ALTURA MAX. CORTE ANCHURA MAX. CORTE m.	PESO Tm.	POTENCIA KW. CABEZA DE CORTE	POTENCIA KW. TOTAL	PRINCIPIO DE CORTE	VELOCIDAD DE TRANSLACION
WESTFALIA WAV 178 R.F.A.	13.00 4.20 3.44	7.50 8.30	73.50	200	345	RIPPING	0.34 - 1.0 Km / h.
DEMAG VS - 3/2 R.F.A.	- 5.60 -		75	200		RIPPING	
WESTFALIA WAV 300 R.F.A.	11.85 4.0-5.7-6.5 1.96	5.30 6.74	74	205 300	340 435	RIPPING	0.34 - 1.0 Km./ h.
ALPINE MINER AM - 100 R.F.A.	11.90 3.00 1.80	6.55 7.60	74	225	450	RIPPING	
ROZADORAS EQUIPADAS CON CHORRO DE AGUA A ALTA PRESION							
ANDERSON RH - 25 U.K.	7.50 2.75 1.60	4.20 6.00	25.4	82	164	MILLING	"PESO MEDIO"
ANDERSON RH - 22 U.K.	8.69 3.51 2.05	5.00 5.50	35	90	180	MILLING	"PESO MEDIO"
ANDERSON RH- 1/4	9.73 3.51 2.43	6.00 6.40	66	112	224	MILLING	"PESADA"

Los rendimientos que figuran en la tabla 6 hay que afectarlos de un coeficiente que llamaremos de eficiencia definido del siguiente modo:

TABLA 7

Grado	Condiciones de trabajo	Coeficiente de 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. A veces hay que interrumpir el trabajo.	0,69
4	Solera en malas condiciones. Mucho polvo.	0,52

La tabla 8 incluye los ratios más importantes de las distintas máquinas; éstos son:

R_1 = Potencia motor de corte/Potencia total.
R_2 = Potencia motor de corte/Peso máquina.
R_3 = Precio máquina/Potencia motor de corte.
R_4 = Precio máquina/Peso de máquina.

4.3. CONDICIONANTES GEOMETRICOS

El gálibo del túnel a excavar determina las máquinas que por dimensiones pueden emplearse.

Dentro de las máquinas que por gálibo pueden emplearse cabe una segunda elección en función de las fases en las que se piense excavar el túnel.

Si la excavación se hace en una única fase deberán seleccionarse las máquinas de modo que la altura máxima de corte sea igual o mayor que la altura de la sección a excavar.

Si la excavación se hace en fases, una vez definidas éstas se hará la selección como en el párrafo anterior.

4.4. CONDICIONANTES GEOMECANICOS

En la elección de la máquina más idónea hay que tener en cuenta la variabilidad de las características geomecánicas del terreno. La elección será distinta según se trate de terrenos con fuerte, mediana o leve incidencia de los tramos de terreno malo dentro del conjunto. Unas máquinas se adaptan mejor que otras a la problemática que plantean los terrenos de mala calidad; siempre hay que buscar en la elección una mejor versatilidad y adaptación cuando se trata de formaciones de características muy variables.

Cuando los terrenos presentan características más o menos homogéneas y suficientemente conocidas la elección de la máquina seguirá otras pautas de decisión.

4.5. PENDIENTES DE TRABAJO

En muchos casos las pendientes de trabajo superables por las máquinas pueden ser decisivas en la elección.

En la tabla 9 adjunta se recogen las pendientes máximas de algunas de las máquinas.

TABLA 9

Máquina	Angulo con la horizontal 2	Pendiente (%)	Presión (kg/cm²)
ALPINE			
FG-A	± 16°	29	1,4
AM-50	± 18°	32	1,4
AM-75	± 20°	36	1,1
AM-100	± 20°	36	1,6
WESTFALIA			
FL-3R-40	± 35,1°	70	1,0
FL-3R-50	± 35,1°	70	1,0
FL-4R-53	± 44,1°	96	0,9
FL-5R1-90/110	± 33,3°	65	1,0
FL-6R-110	± 38,7°	80	1,2
FL-5R-90	± 33,3°	65	0,8
WAV-170	± 19,8°	36	1,65
WAV-178	± 19,8°	36	2,20
WAV-300	± 22,5°	41	1,57
SALZGITTER			
125-E	± 18°	32	0,9
STM-100	± 18°	32	1,0
STM-160	± 18°	32	1,0
PAURAT			
E-169	± 18°	32	2,0
DEMAG			
VS-3	± 12°	21	1,45
EICKHOFF			
ET-160	± 20°	36	1,4

4.6. PRESION TRANSMITIDA AL TERRENO

En algunos casos, en terrenos de mala calidad en presencia de agua, es muy importante que la presión transmitida por la máquina a la solera sea la menor posible, ya que una presión inadecuada puede imposibilitar la utilización de la máquina.

En la tabla anterior 9 se recogen algunos datos relativos a pendientes.

4.7. CARACTERISTICAS ESPECIFICAS DE CADA MAQUINA

Cada máquina tiene sus peculiaridades que la pueden hacer más apta para un trabajo concreto.

En la elección debe tenerse en cuenta:

a) Velocidad de traslación.
b) Energías alternativas en la traslación.

RATIOS COMPARATIVOS ENTRE ROZADORAS

TABLA 8

MODELO DE ROZADORA	PRECIO C	POT. MOT. CORTE P_C	POTENC. TOTAL P_T	PESO W	$R_1 = \frac{P_C}{P_T}$	$R_2 = \frac{P_C}{W}$	$R_3 = \frac{C}{P_C}$	$R_4 = \frac{C}{W}$
ALPINE MINER F 6-A		30	60	12	0.500	2.500		
WESTFALIA FL-3R-40		40	73	9	0.547	4.444		
SALZGITTER 125-E		41	93.5	15	0.438	2.733		
DOSCO LH-100		49	105	30	0.466	1.633		
MITSUI S-50		50	86	17.5	0.581	2.857		
WESTFALIA FL-3R-50		50	95	9	0.526	5.555		
WESTFALIA FL-4R-53		53	101	13	0.524	4.076		
DOSCO MK-2A		67	150	23.4	0.446	2.863		
MITSUI S-90		90	158	40	0.569	2.250		
WESTFALIA FL-5R1-90/110		90 110	175 195	25	0.514 0.564	3.600 4.400		
WESTFALIA FL-5R-90		90 110	182 202	25	0.494 0.544	3.600 4.400		
PAURAT E-169		100	185	38	0.540	2.631		
SALZGITTER STM-100		100	200	31	0.500	3.225		
ALPINE MINER AM-50		110	170	24	0.647	4.583		
WESTFALIA FL-6R-110		110	202	38	0.544	2.894		
MITSUI S-125		125	170	30	0.735	4.166		
SALZGITTER STM-160		160	257	45	0.622	3.555		
DEMAG VS-3		160	264	63	0.606	2.539		
ALPINE MINER AM-75		160	295	43	0.542	3.720		
EICKHOFF ET-160		160	360	66	0.444	2.424		
WESTFALIA WAV 170		200	290	55	0.689	3.636		
WESTFALIA WAV 178		200	345	73.5	0.579	2.721		
DEMAG VS 3/2		200	—	75	—	2.666		
WESTFALIA WAV 300		205 300	340 435	74	0.602 0.689	2.770 4.054		
ALPINE MINER AM-100		225	450	74	0.500	3.040		

TIPO DE ROZADORAS	ENTRE PTS.	Y PTS.
LIGERAS	22.200.000.-	24.000.000.-
DE PESO MEDIO	46.200.000.-	72.000.000.-
PESADAS	60.000.000.-	104.000.000.-
MUY PESADAS	118.800.000.-	136.000.000.-

c) Si es apta o no para trabajar en ambientes potencialmente explosivos.
d) Si dispone de brazo telescópico.
e) Si dispone de brazo articulado.
f) Los mecanismos de seguridad.
g) La robustez de la máquina en las partes que más están sometidas a esfuerzos.
e) Si dispone de sistema de chorro de agua a alta presión.
g) Si dispone de un sistema adicional de dirección y control automático del perfil de la excavación, etc.
h) Asistencia técnica a pie de obra.
i) Otras prestaciones.

5. RENDIMIENTOS

Para calcular el rendimiento que puede obtener una máquina rozadora es necesario sopesar todos los factores que pueden afectar al mismo.

Para su cálculo se propone la siguiente expresión:

$$R_{EXD} = C_E \times R_I \times n \times C_l \times C_D$$

donde:

R_{EXD} = Rendimiento de excavación/día en m^3 (sobre perfil).
C_E = Coeficiente de eficiencia (ver tabla 7).
R_I = Rendimiento instantáneo de excavación en m^3/hora (sobre perfil) (ver tabla 6).
n = Número de horas trabajadas al día.
C_l = Coeficiente de tiempos muertos, no disponible, en cada relevo.
D_D = Coeficiente de tiempo disponible para el rozado (tabla 10).

El coeficiente C_D se define del siguiente modo:

TABLA 10

C_D	Condiciones de trabajo
10 %	Condiciones pésimas.
20 %	Terrenos malos con varias fases de ejecución realizadas con la misma rozadora en los que se coloca un sostenimiento sistemático importante.
50 %	Cuando se trabaja por un frente en una sola fase y con un sostenimiento de cuantía ligera.
85 %	En condiciones óptimas sin ningún impedimento para el trabajo de la máquina (situación no real).

Ejemplo:

Supongamos un túnel carretero cuyo terreno presenta unas características geomecánicas muy malas (tipo E DE LAUFFER), siendo necesaria la excavación en fases.

Suponiendo que se trabaja en tres turnos y que los coeficientes que intervienen en la expresión son:

$C_E = 0{,}86$
$R_I = 15$ m³/h.
$h = 24$ h.
$C_l = 0{,}875$
$C_D = 0{,}20$

Resulta:

$$R_{EXD} = 0{,}86 \times 15 \times 24 \times 0{,}875 \times 0{,}2 = \mathbf{54\ m^3/día}$$

Si la superficie rozada es de 60 m^2, el avance día será de:

$$\frac{54}{60} = 0{,}9 \text{ m/día.}$$

NOTA: Cuando la roca es muy abrasiva, para una misma dureza de la matriz rocosa, disminuye el rendimiento instantáneo de rozado.

6. COSTO DE UTILIZACION

Los sumandos que componen el costo de utilización de una rozadora son:

$$C_u = C_{EX} + C_P + \frac{C_I}{V}(1) \text{ ptas/m}^3$$

C_{EX} = Costo de excavación que comprende:
- Costo de máquina (depreciación e intereses).
- Repuestos y reparaciones.
- Lubricantes, aceite hidráulico, etc.
- Energía.
- Mano de obra.

C_P = Costo de picas.
C_I = Costo de instalación.
V = Metros cúbicos totales rozados.

6.1. COSTO DE EXCAVACION

El costo de excavación se obtiene de la expresión

$$C_{EX} = \frac{P}{R_{EXD}}$$

P = pesetas día; R_{EXD} = m³/día (rendimiento).

La determinación de R_{EXD} se obtiene usando las tablas 6, 7 y 10, o los ábacos propuestos por Howard J. HANDEWITH.

El valor R_I se obtendrá del gráfico 1.

GRAFICO 1

El coeficiente C_D se obtiene de la tabla número 10 o mediante el gráfico 2 propuesto por Karl H. HEHRING, determinan para un m³ el tiempo invertido en la colocación del sostenimiento en función de la calidad del terreno.

$$C_D = \frac{t_1 \text{ (min.)}}{t_2}$$

t_1 = Tiempo en rozar un m³ (tablas 6 y 7).
$t_2 = t_1 + t_o$.
t_o = Tiempo invertido en el sostenimiento por m³ (gráfico 2).

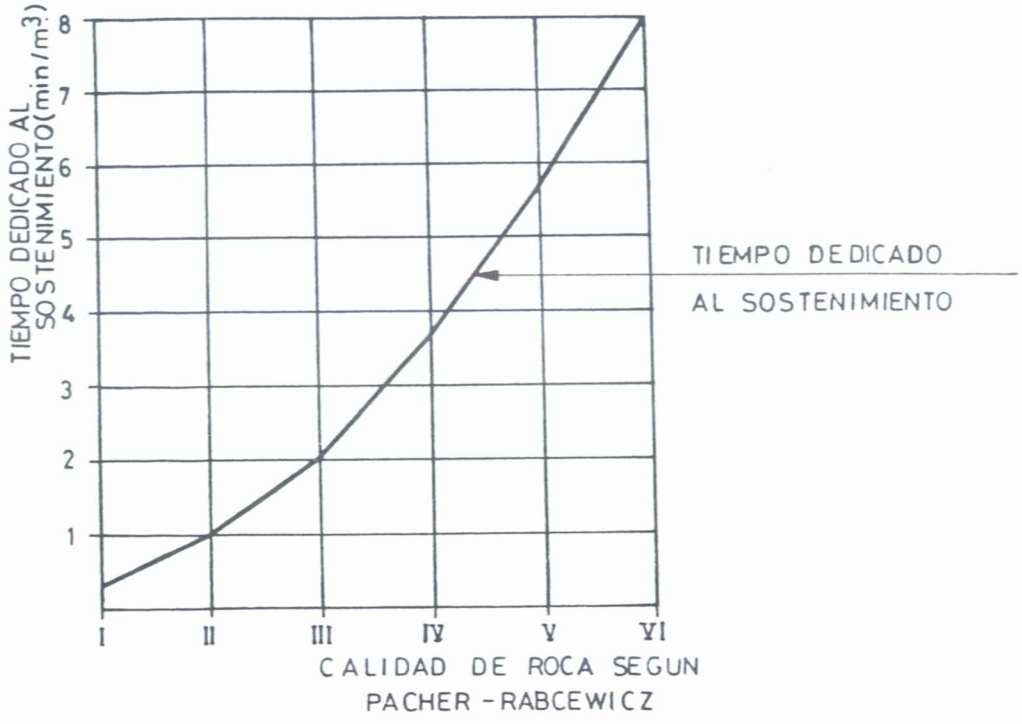


GRAFICO 2

6.2. COSTO DE PICAS

El costo de picas viene determinado por su desgaste medido en Uds/m³. En este desgaste influyen principalmente:

- La abrasividad de la roca.
- La resistencia a comprensión del terreno.
- El tipo de pica utilizado.
- Si se utiliza o no chorro de agua y con qué presión.

De todos estos factores el último está en fase de investigación, habiéndose obtenido unos resultados muy prometedores.

Suponiendo que se ha hecho la elección correcta del tipo de pica adecuada a las características del terreno, vemos que, fundamentalmente, depende de la abrasividad y de la resistencia del terreno por este orden.

A título de ejemplo, para una roca de $\sigma_c = 1.000$ Kgs/cm², $\sigma_t = 120$ y un índice de abrasividad Shimazek de 1, la pica económica resultó ser la que tenía un diámetro de la punta de carburo de tungsteno de 22 mm.

En la tabla 11 se indican los desgastes que pueden esperarse para unas condiciones dadas.

Tabla 11

Resistencia de la roca σ_c (kg/cm²)	% DE MINERALES ABRASIVOS DESGASTES (Uds/m³)						
	15	25	35	50	60	70	80
200- 300	0,40-0,08	0,08-0,12	0,13-0,17	0,2-0,24	0,24-0,28	0,27- 0,3	0,32- 0,4
300- 400	0,08-0,12	0,12-0,16	0,17-0,21	0,24-0,28	0,28-0,32	0,3-0,35	0,36- 0,4
400- 500	0,12-0,16	0,16- 0,2	0,21-0,25	0,28-0,32	0,32-0,36	0,35-0,39	0,04-0,44
500- 600	0,16- 0,2	0,22-0,26	0,26- 0,3	0,32-0,40	0,36-0,43	0,39-0,46	0,44- 0,4
600- 800	0,2-0,24	0,26- 0,3	0,3-0,34	0,40-0,44	0,43-0,47	0,46- 0,5	0,48- 0,5
800-1.000	0,24-0,32	0,3-0,39	0,34-0,46	0,44-0,56	0,47-0,58	0,5-0,61	0,56- 0,7

Conocido el precio de la pica (2.500-3.000 pesetas) se obtiene el costo de picas en ptas/m³.

Hay que tener en cuenta que, además de la pica, también se desgasta el portapicas, aunque en menor medida.

En el gráfico 3 propuesto por H. Gehring, puede observarse la variación del costo de picas en función de la resistencia y la abrasividad de la roca, igualmente puede obtenerse del gráfico 4 debido a J. Handewith.

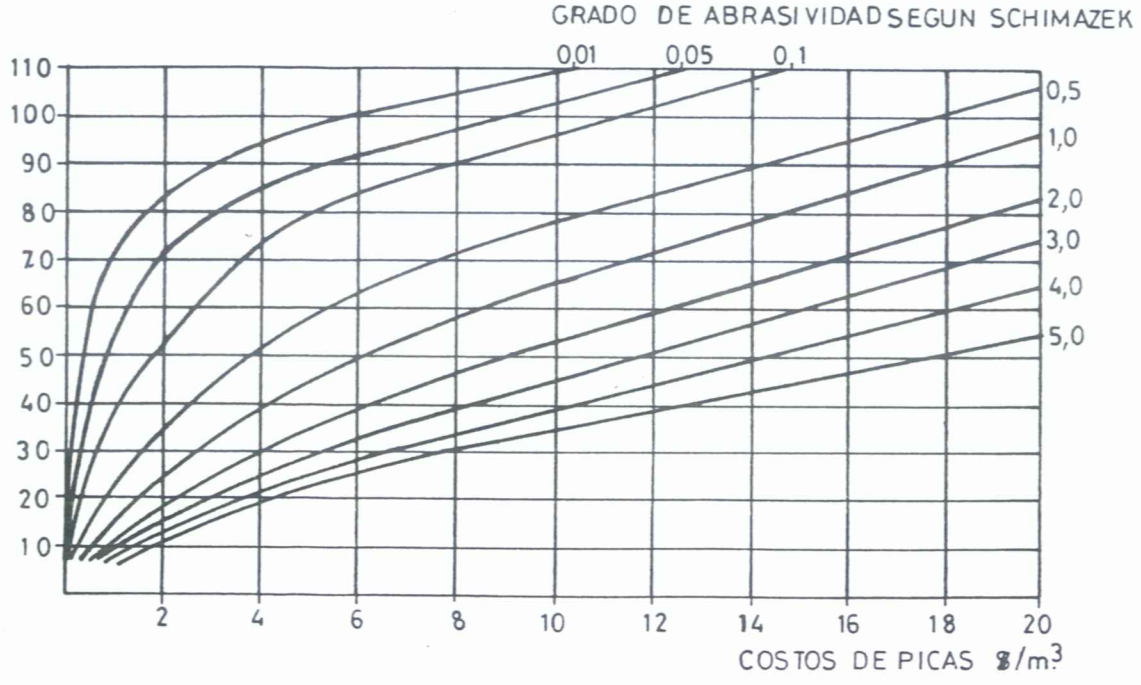


GRAFICO 3

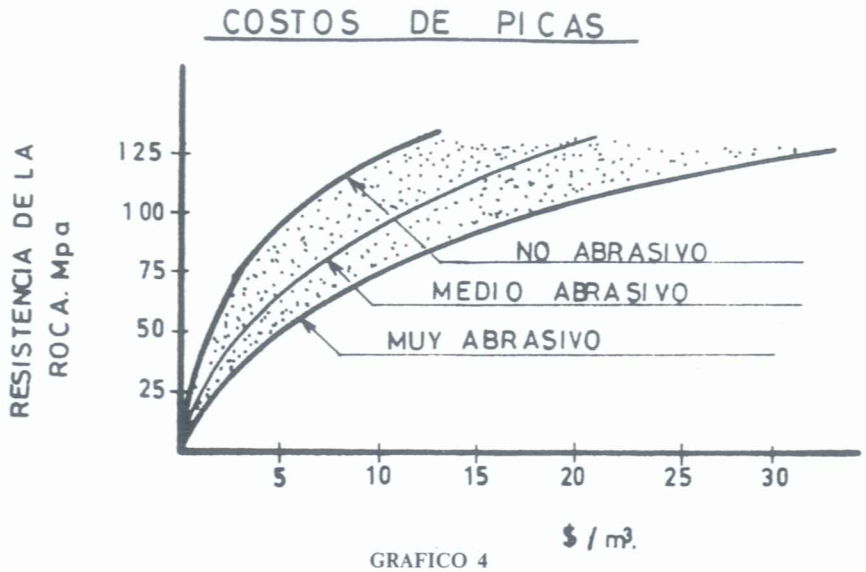


GRAFICO 4

7. LA ABRASIVIDAD DE LAS ROCAS

La abrasividad es el más importante de los factores económicos y es función del porcentaje de minerales abrasivos que contiene la roca, como minerales abrasivos se definen aquellos cuya dureza es superior a 5 $^1/_2$ puntos de la escala de Mohs.

En el gráfico 5 se clasifican las rocas según su abrasividad.

CLASIFICACION DE LA ABRASIVIDAD DE LAS ROCAS EN % DE MINERALES ABRASIVOS

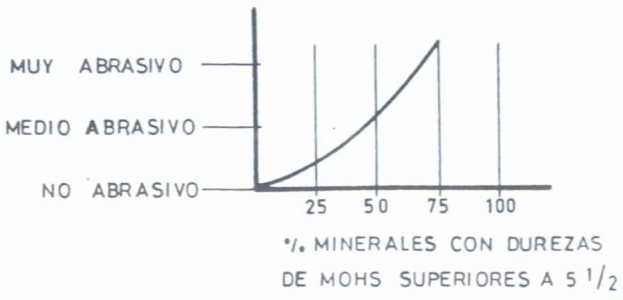


GRAFICO 5

Hay distintos métodos de laboratorio para determinar el índice de desgaste que no vamos a comentar aquí.

Un método muy práctico para determinar la abrasividad es golpear un trozo pesado de roca con el martillo de geólogo; si no se producen chispas, la roca no es abrasiva, si se producen chispas de un modo ocasional la roca tiene una abrasividad media; mucha producción de chispas indican una alta abrasividad de la roca.

En la abrasividad influye también el grado de cementación y el tamaño de los granos.

8. VENTAJAS QUE OFRECE EL EMPLEO DE ROZADORAS

1) Es un sistema que admite alta mecanización.
2) Reduce sobre-excavaciones en relación con el uso de explosivos.
3) No altera prácticamente las características iniciales de la roca.
4) Reduce la cuantía del sostenimiento frente al uso de explosivos.
5) Se adapta mejor que otros sistemas a la ejecución por fases.

En comparación con equipos TBM (TOPOS) presenta las siguientes ventajas:

1) Tiene precios más razonables.
2) Mayor flexibilidad para adaptarse a cualquier cambio de terreno.
3) Se puede utilizar en una amplia gama de secciones, tanto en relación con su forma como en sus dimensiones.
4) Su instalación es mucho más fácil y económica.
5) El porcentaje de mano de obra especializada es menor.
6) En rocas de mala calidad permite un mejor acceso al frente para efectuar los trabajos de sostenimiento.
7) Permite efectuar la excavación en fases, lo que es decisivo en terrenos de mala calidad.
8) El mayor rendimiento de avance del TBM es neutralizado por la incidencia en tiempo de los trabajos de sostenimiento.

9. CAMPO DE UTILIZACION

Como cualquier máquina, su uso tiene unas limitaciones que deben conocerse para acertar en la elección.

Dichas limitaciones son:

9.1. LIMITACIONES TECNICAS

9.1.1. En cuanto a la resistencia de la roca

Cada tipo de máquina tiene su limitación, este límite resulta un tanto indefinido, ya que influyen factores muy importantes como grado de diaclasado, orientación de fracturas y planos de exfoliación.

En el gráfico 6 se observa que el límite para las rozadoras muy pesadas es de 1.500 kgs/cm^2.

El tipo de picas a utilizar es función de la dureza, y viene indicado en el gráfico 7.

c) En rocas sedimentarias muy abrasivas (tipo arenisca).

510-640 kg/cm^2

d) En rocas ígneas en sílice o minerales silíceos.

510-640 kg/cm^2.

A partir de estos límites es necesario efectuar un estudio económico muy minucioso para tomar la decisión.

A la hora de este estudio minucioso hay que valorar también la incidencia que tiene el uso de la rozadora frente a la utilización de explosivos

GRAFICO 6

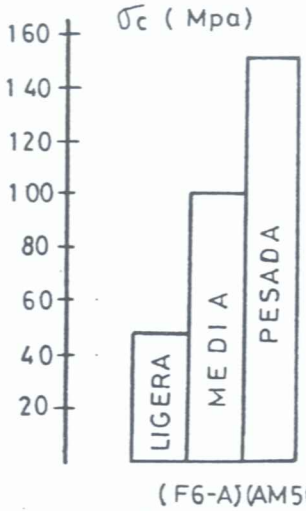


GRAFICO 7

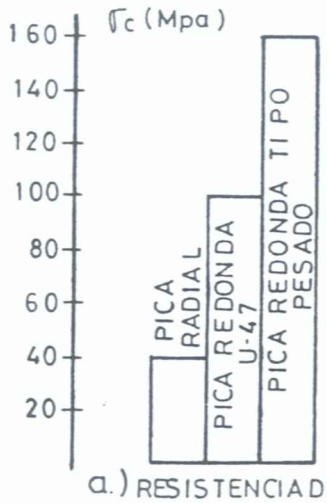
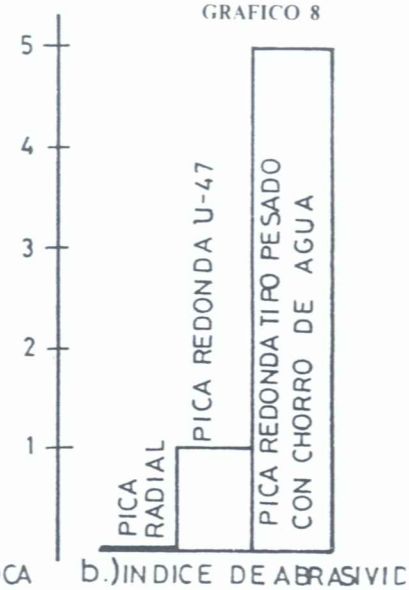


GRAFICO 8



9.1.2. En cuanto a la abrasividad

Teniendo en cuenta la abrasividad, el campo de utilización de los distintos tipos de picas viene indicado en el gráfico 8.

9.2. LIMITACIONES ECONOMICAS

Antes de decidir cualquier utilización de una máquina rozadora debe comprobarse primeramente que ésta es técnicamente posible y después si es una solución más económica que cualquier otro sistema constructivo.

En estos momentos los límites económicos son:

a) Para rocas sedimentarias no abrasivas (tipo caliza).

1.150-1.410 kg/cm^2

b) Para rocas sedimentarias de abrasividad media (tipo pizarras).

770-960 kg/cm^2

en el sentido de disminuir los costos tanto de sostenimiento como de revestimiento; si el tramo del túnel, en el que resulta antieconómico el empleo de la rozadora, es corto en comparación con el resto, puede ser una decisión económicamente acertada su utilización.

De todos modos siempre cabe en estos casos la utilización esporádica de explosivos o la moderna técnica del Water Jet a muy alta presión hasta 3.850 kg/cm^2 como etapa previa.

Estos límites económicos se ensancharán sin duda en los próximos años de la mano de la tecnología desarrollada del Water Jet, del aumento de potencia de la cabeza de corte y de nuevos materiales y diseños en las picas.

10. LOS METODOS CONSTRUCTIVOS Y LAS ROZADORAS

Las rozadoras son las máquinas adecuadas para efectuar la excavación en fases, adaptando

las dimensiones de cada fase, a las características de estabilidad del terreno. Sus características fundamentales son la flexibilidad y la movilidad.

Estas máquinas están de actualidad; en estos momentos tenemos trabajando en nuestras obras de Agromán 4 equipos: 2 en la obra de Daule-Peripa (Ecuador), 1 en el proyecto de López-Angostura (República Dominicana) y la otra en los túneles de Calahonda (Granada); también se han empleado otras máquinas en los túneles del Ferroñés-La Miranda, en Asturias, en el túnel de Benimar (Almería) y en los túneles de Turís (Valencia).

Nuestra experiencia con las máquinas rozadoras es satisfactoria variando de unas obras a otras principalmente los coeficientes de eficiencia, de tiempo disponible para el rozado, los desgastes de picas y otros elementos. El consumo de picas más elevado se produce en los túneles de Calahonda, con un consumo medio de 0,25 Ud/m^3 debido al elevado contenido en el sílice de la roca, principalmente micasquistos y filitas.

Su sistema de trabajo altera mínimamente las características iniciales de la roca y permite conseguir unos perfiles de excavación de formas curvas y redondeadas. Todas estas características hacen que el sistema de trabajo impuesto por las máquinas esté en perfecta consonancia con los fundamentos de trabajo del nuevo Método Austríaco, de construcción de túneles. En las figuras números 5, 6 y 7 pueden verse algunos de los sistemas constructivos en los que el elemento excavador principal es una máquina rozadora.

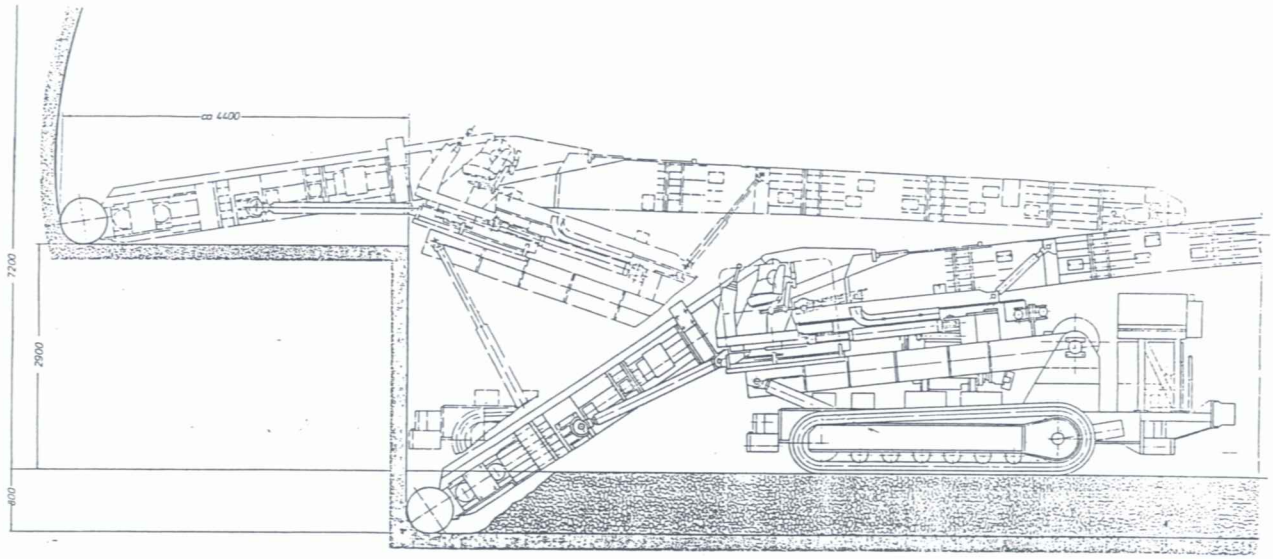


Fig. 5.

TUNELES DE BOCHUM CONSTRUCCION POR EL NMA (1982)

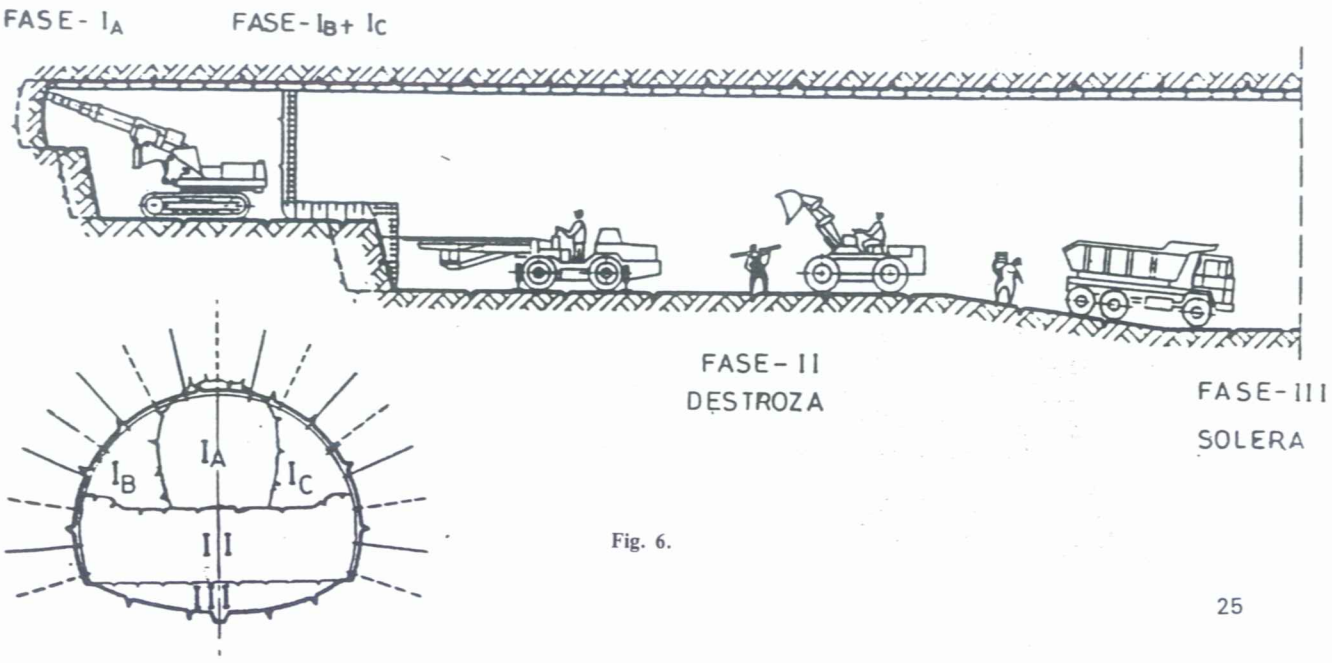


Fig. 6.

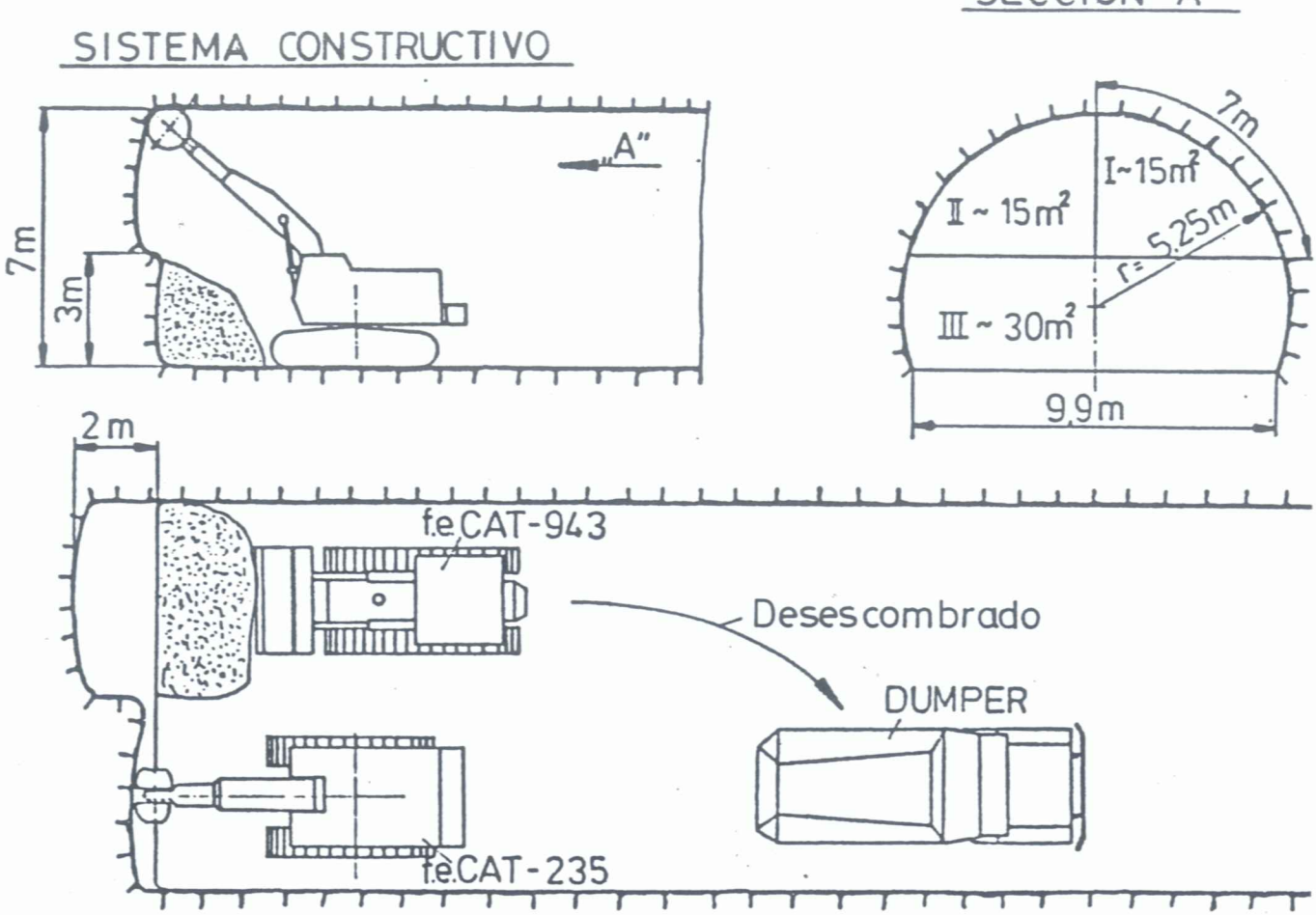
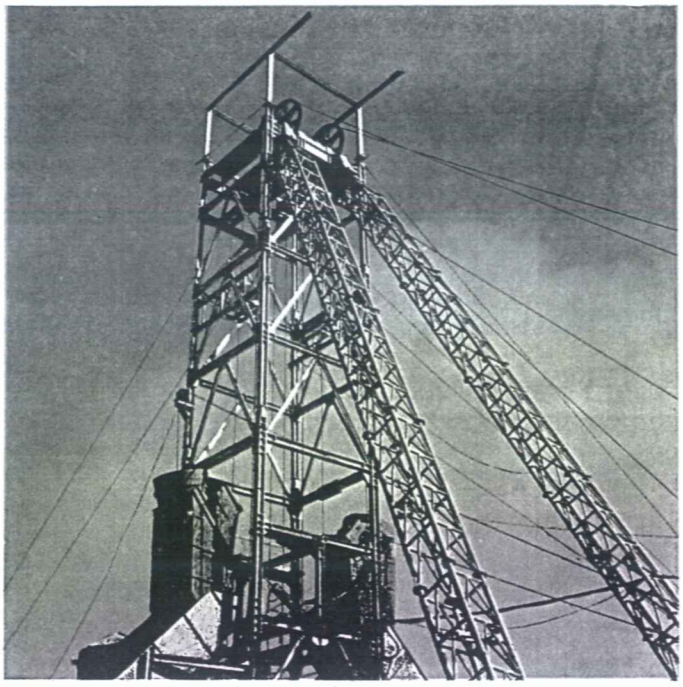


Fig. 7.

OBRAS SUBTERRANEAS, S. A.



Contratista de obras públicas y mineras

Especializada en:

- PROFUNDIZACION DE POZOS.
- TUNELES Y GALERIAS.
- CHIMENEAS Y COLADEROS.
- CENTRALES SUBTERRANEAS.
- PREPARACION Y PUESTA EN EXPLOTACION DE YACIMIENTOS MINEROS.
- EDIFICACION INDUSTRIAL.

López de Hoyos, 13 - MADRID - 6
Teléfono: 262 45 12