

# Las máquinas rozadoras en túneles y minas (\*)

Por LAUREANO CORNEJO ALVAREZ

Ingeniero de Minas  
Agromán, Empresa Constructora, S. A.

*Las máquinas rozadoras constituyen uno de los equipos más utilizados en la construcción de túneles y galerías subterráneas. En el artículo se describe con abundancia de datos prácticos el sistema de trabajo de estas máquinas, tipología, criterios para selección, rendimientos, ventajas y campo de utilización de estos equipos.*

## 1. INTRODUCCION

Dentro de la amplia gama de maquinaria que se utiliza en minería y obras públicas para la excavación de rocas consideraremos aquí únicamente 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.

### 2.2. Sistema de corte

Dos son los sistemas de corte empleados: Ripping y Milling.

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de mayo de 1985.

#### 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.

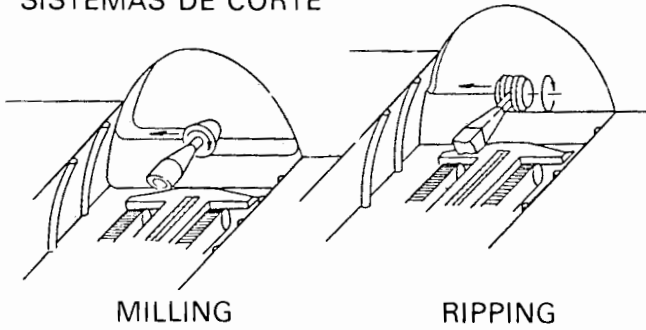
#### 2.2.3. Ventajas e inconvenientes de ambos sistemas

• Ambos sistemas tienen 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.

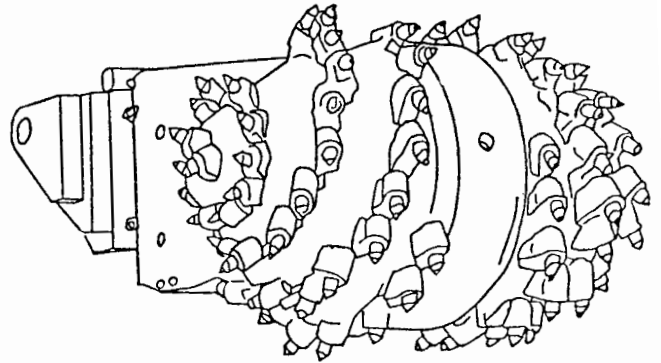
Sin embargo, ensayos realizados demuestran que para un motor de corte de las mismas características, el rendimiento de rozado aumenta hasta un 30 por 100 utilizando el sistema Ripping.

En minería puede tener una buena aplicación

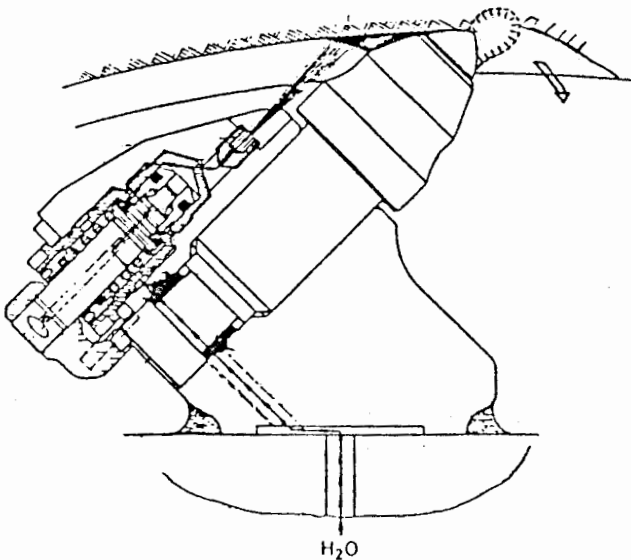
SISTEMAS DE CORTE



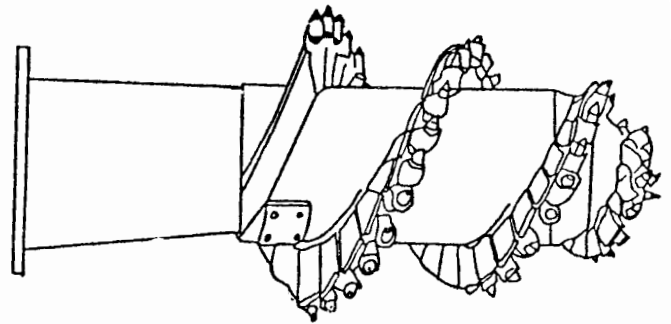
SISTEMAS DE CORTE. TIPOS DE CABEZAL.



ROZADO CON CHORRO DE AGUA  
(Alta presión)



RIPPING



MILLING

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.

2.3. Útiles 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.

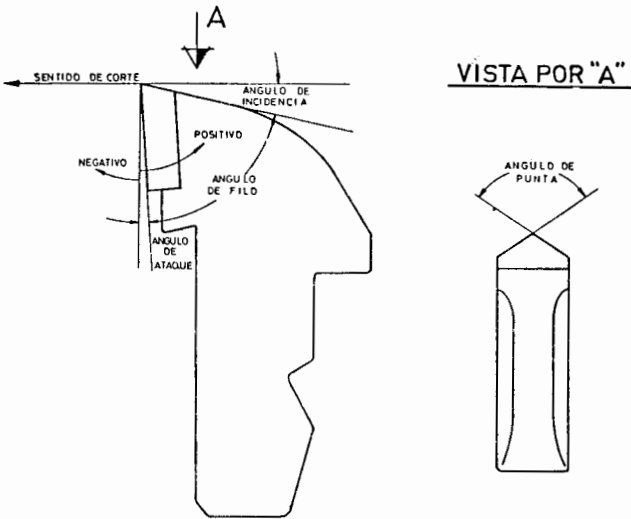
Las picas constan de una pastilla o punto de metal duro (carburo de tungsteno), según el tipo, dentro de una matriz de acero sometida a tratamientos de endurecimiento.

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, 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

GEOMETRIA Y TIPOS DE PICAS



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 kg/cm<sup>2</sup>) 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/minuto por tonelada de material rozado.

2.4. Sistema 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

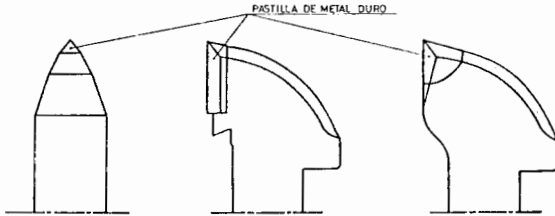
El material cae sobre una mesa recolectora cuya parte superior tiene un movimiento alternativo hacia los lados, empujando el material

PICAS RADIALES

PICA LAPICERO O AUTOAFILANTE

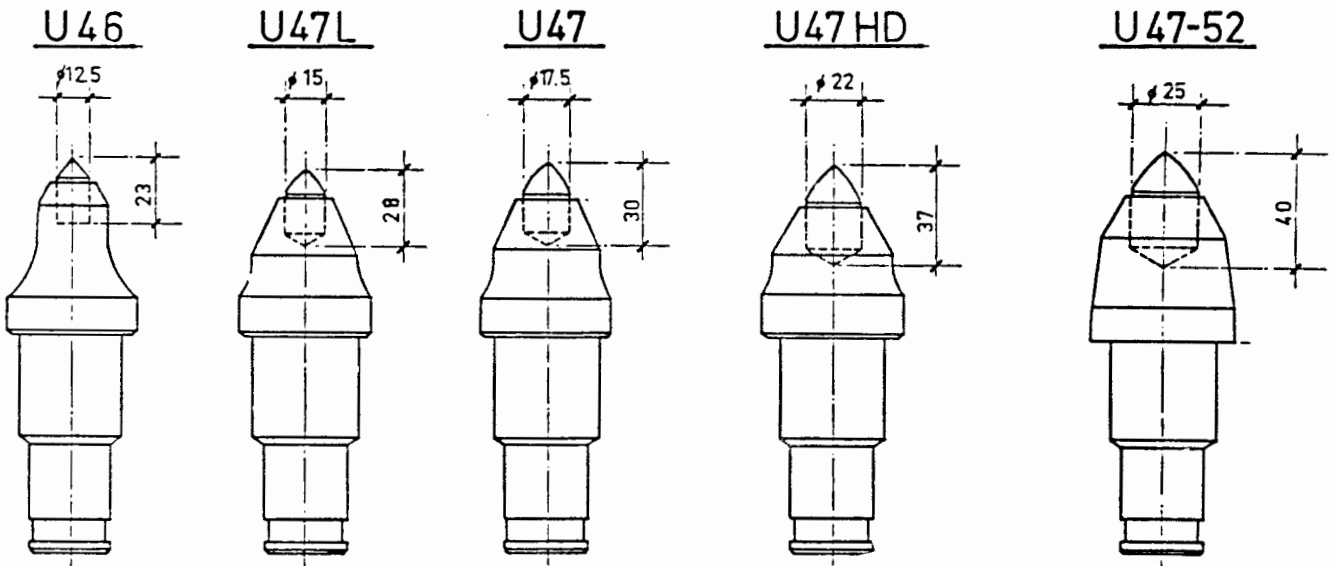
PICA CUCHILLO

PICA DE PASTILLA CILINDRICA



que será el componente principal del costo de la unidad metro cúbico de excavación.

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



## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

hacia los transportadores (tipo Westfalia WAV 178, 170, etcétera).

mas primeramente descritos los utilizados para máquinas de mayor potencia.

### 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 siste-

## 3. TIPOS DE MAQUINAS

### 3.1. Máquinas ligeras

Características:

Peso: <20 toneladas.

Potencia de la cabeza de corte: <50 kw.

Dureza máxima de roca:  $R_c < 300 \text{ kg/cm}^2$ .

Las máquinas más representativas figuran en la tabla 1.

### 3.2. Máquinas de peso medio

Características:

Peso: Entre 20 y 40 toneladas.

Potencia en cabeza de corte: <100 kw.

Dureza máxima de la roca:  $R_c < 800 \text{ kg/cm}^2$ .

Las máquinas más representativas figuran en la tabla 2.

TABLA 1.—ROZADORAS LIGERAS

Modelo	Dimensiones: largo, ancho, alto (metros)	Altura máx. corte, anchura máx. corte (metros)	Peso (tonel.)	Potencia (kw.)		Principio de corte	Velocidad de translación
				Cabeza de corte	Total		
ALPINE MINER F6-A Austria	6,89 2,— 1,53	4,— 4,90	12	30	60	Ripping	
WESTFALIA FL-3R-40 R.F.A.	5,72 1,22 1,60	3,80 4,—	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 Japón	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,— 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.

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

TABLA 2.—ROZADORAS DE PESO MEDIO

Modelo	Dimensiones: largo, ancho, alto (metros)	Altura máx. corte, anchura máx. corte (metros)	Peso (tonel.)	Potencia (kw.)		Principio de corte	Velocidad de translación
				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 Japón	14,11 3,— 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,— 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,—	38	110	202	Ripping	2 km/h.

TABLA 3.—ROZADORAS PESADAS

Modelo	Dimensiones: largo, ancho, alto (metros)	Altura máx. corte, anchura máx. corte (metros)	Peso (tonel.)	Potencia (kw.)		Principio de corte	Velocidad de translación
				Cabeza de corte	Total		
MITSUI S-125 Japón	12,54 2,80 2,15	4,66 5,—	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,—-2,40	5,— 6,90	63	160	264	Milling	42 m/min.
ALPINE MINER AM-75 Austria	9,— 2,80 1,45	5,18 6,85	43	160	195	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 MAV-170 R.F.A.	12,15 3,50-4,20 3,—	5,40 6,30	55	200	290	Ripping	0,45-1,6 km/h.

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

TABLA 4.—ROZADORAS MUY PESADAS

Modelo	Dimensiones: largo, ancho, alto (metros)	Altura máx. corte, anchura máx. corte (metros)	Peso (tonel.)	Potencia (kw.)		Principio de corte	Velocidad de translación
				Cabeza de corte	Total		
WESTFALIA WAV-178 R.F.A.	13,— 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,— 1,80	6,55 7,60	74	225	450	Ripping	
<b>ROZADORAS EQUIPADAS CON CHORRO DE AGUA A ALTA PRESION</b>							
ANDERSON RH-25 U.K.	7,50 2,75 1,60	4,20 6,—	25,4	82	164	Milling	«Peso medio»
ANDERSON RH-22 U.K.	8,69 3,51 2,05	5,— 5,50	35	90	180	Milling	«Peso medio»
ANDERSON RH-1/4	9,73 3,51 2,43	6,— 6,40	66	112	224	Milling	«Pesada»

### 3.3. Máquinas pesadas

Características:

Peso: Entre 40 y 60 toneladas.

Potencia en la cabeza de corte: 110-220 kw.

Dureza máxima de la roca:  $R_c < 1.000 \text{ kg/cm}^2$ .

Las máquinas más representativas figuran en la tabla 3.

### 3.4. Máquinas muy pesadas

Características:

Peso: Entre 60 y 80 toneladas.

Potencia de la cabeza de corte: 200-300 kw.

Dureza máxima de la roca:  $R_c \ll 1.200 \text{ kg/cm}^2$ .

Las máquinas más representativas figuran en la tabla 4.

## 4. CRITERIOS PARA LA ELECCION DE UNA ROZADORA

### 4.1. Resistencia a compresión 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 5 indica esta relación basada en la práctica.

TABLA 5

Resistencia de la roca $R_c \text{ kg/cm}^2$	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

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

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 necesario, 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  $\log \sigma_c = 0,00014 \gamma R + 3,16$ ,  $\gamma$  peso de la muestra seca lb/ft. R = media de valor obtenidos.

### 4.2. Rendimiento de rozado

El rendimiento de rozado, medido en metros cúbicos sobre perfil, depende principalmente de la resistencia a compresión simple y de la potencia de la cabeza de corte, para una misma relación  $\sigma_c/\sigma_t$  entre la resistencia a compresión y tracción de la roca, una relación óptima de ésta varía entre 10/1 y 15/1.

La tabla 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 compresión simple del terreno ( $\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup> )					
	1.200	1.000	500	300	200	80
	Rendimiento m <sup>3</sup> /hora ( $C_E = 1,00$ ) $R_i$					
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

Los rendimientos que figuran en la tabla 6 hay que afectarlos de un coeficiente que llama-

remos de eficiencia, definido del siguiente modo:

TABLA 7

Grado	Condiciones del trabajo	Coefficiente 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 importante de las distintas máquinas; estos 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 geométricos

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 geomecánicos

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 cali-

TABLA 8.—RATIOS COMPARATIVOS ENTRE ROZADORAS

Modelo de rozadora	Precio (C)	Potenc. motor corte (P <sub>c</sub> )	Potencia total (P <sub>T</sub> )	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 F6-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		
MITSUMI 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		
MITSUMI 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		
MITSUMI 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		



dad; 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 se recogen las pendientes máximas de algunas de las máquinas.

#### 4.6. Presión 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 9 se recogen algunos datos relativos a pendientes.

#### 4.7. Características específicas de cada máquina

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.
- 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:

$$R_{EXD} = C_E \times R_I \times n \times C_1 \times C_D$$

donde:

$R_{EXD}$  = rendimiento de excavación/día en metros cúbicos (sobre perfil).

$C_E$  = coeficiente de eficiencia (ver tabla 7).

$R_I$  = rendimiento instantáneo de excavación en m<sup>3</sup>/hora (sobre perfil), ver tabla 6.

$n$  = número de horas trabajadas al día.

TABLA 9

Máquina	Angulo con la horizontal 2	Pendiente (porcentaje)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )
<i>Alpine:</i>			
FG-A .....	±16°	29	1,4
AM-50 .....	±18°	32	1,4
AM-75 .....	±20°	36	1,1
AM-100 .....	±20°	36	1,6
<i>Westfalia:</i>			
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
<i>Salzgitter:</i>			
125-E .....	±18°	32	0,9
STM-100 .....	±18°	32	1,0
STM-160 .....	±18°	32	1,0
<i>Paurat:</i>			
E-169 .....	±18°	32	2,0
<i>Demag:</i>			
VS-3 .....	±12°	21	1,45
<i>Eickhoff:</i>			
ET-160 .....	±20°	36	1,4

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

$C_1$  = coeficiente de tiempos muertos, no disponible, en cada relevo.

$C_D$  = coeficiente de tiempo disponible para el rozado (tabla 10).

El coeficiente  $C_D$  se define del siguiente modo:

TABLA 10

C <sub>D</sub> (%)	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:

$$\begin{aligned} C_E &= 0,86 \\ R_i &= 15 \text{ m}^3/\text{h.} \\ h &= 24 \text{ h.} \\ C_1 &= 0,875 \\ C_D &= 0,20 \end{aligned}$$

Resulta:

$$R_{EXD} = 0,86 \times 15 \times 24 \times 0,87 \times 0,2 = 54 \text{ m}^3/\text{día}$$

Si la superficie rozada es de 60 m<sup>2</sup>, 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:

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

$C_{EX}$  = Costo de excavación que comprende:  
Costo de máquina (depreciación e intereses).

Repuestos y reparaciones.

Lubricantes, aceite hidráulico, etcétera.

Energía.

Mano de obra.

$C_p$  = Costo de picas.

$C_i$  = Costo de instalación.

$V$  = M<sup>3</sup> totales rozados.

#### 6.1. Costo de excavación

El costo de excavación se obtiene de la expresión  $C_{EX} = \frac{P}{R_{EXD}}$  P pesetas/día;  $R_{EXD}$  m<sup>3</sup>/día (rendimiento).

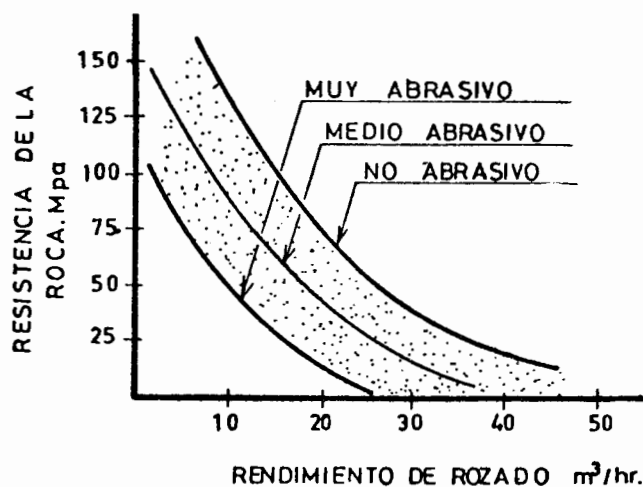


Gráfico 1.—Rendimiento de rozado.

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.

El coeficiente  $C_D$  se obtiene de la tabla 10 o mediante el gráfico 2 propuesto por Karl H. Gehring; determinan para un m<sup>3</sup> el tiempo inver-

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

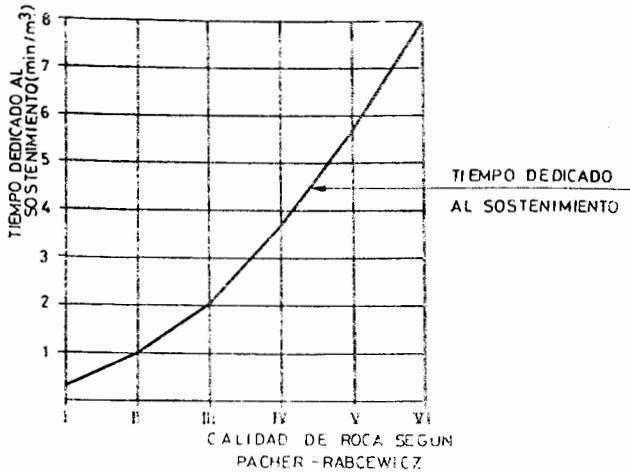


Gráfico 2.

tido 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  $m^3$ , tablas 6 y 7.

$t_2$  =  $t_1 + t_0$ .

$t_0$  = tiempo invertido en el sostenimiento por metro cúbico, gráfico 2.

### 6.2. Costo de picas

El costo de picas viene determinado por su desgaste medido en unidades/ $m^3$ . En este desgaste influyen principalmente:

- La abrasividad de la roca.
- La resistencia a compresión 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  $\sigma_c = 1.000 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_t = 120$  y un índice de abrasividad Shimazek de uno, 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.

Conocido el precio de la pica (2.500-3.000 pesetas), se obtiene el costo de picas en pesetas/ $m^3$ .

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.

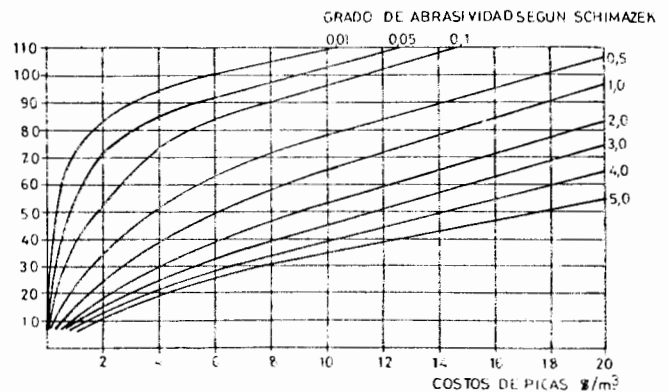


Gráfico 3.

TABLA 11

Resistencia de la roca $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de minerales abrasivos						
	15	25	35	50	60	70	80
Desgastes (unidades/ $m^3$ )							
200-300	0,04-0,08	0,08-0,12	0,13-0,17	0,2 -0,24	0,24-0,28	0,27-0,3	0,32-0,3
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	0,4 -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

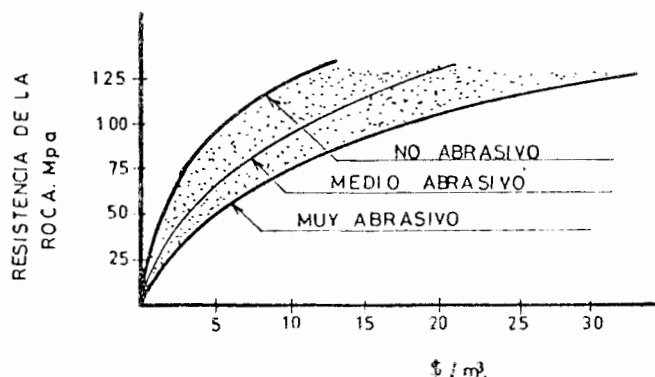


Gráfico 4.—Costos de picas.

### 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 aquéllos 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.

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.

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

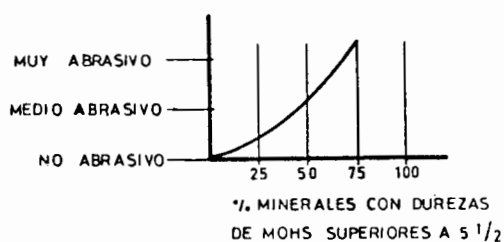


Gráfico 5.

### 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 técnicas

##### 9.1.1. En cuanto a la resistencia de la roca

Cada tipo de máquinas tiene su limitación; este límite resulta un tanto indefinido, ya que in-

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

GRAFICO N° 6

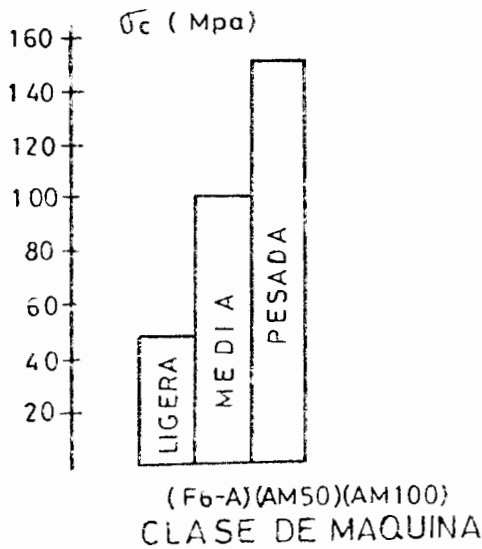


GRAFICO N° 7

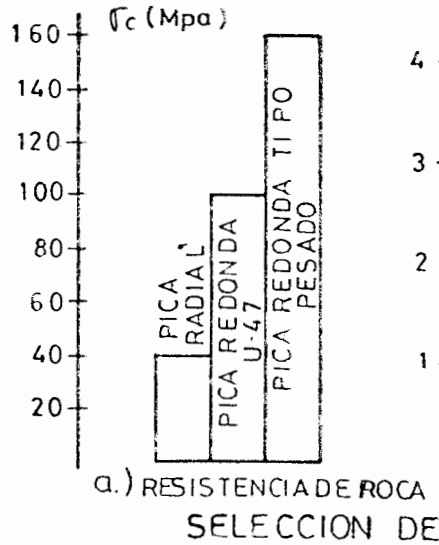
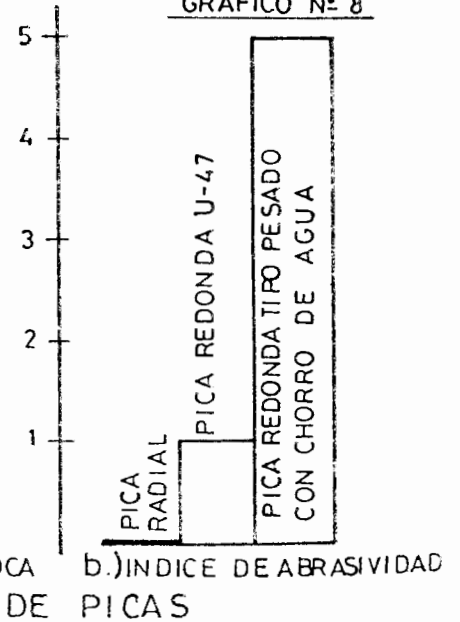


GRAFICO N° 8



fuyen 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 kg/cm<sup>2</sup>.

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

### 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 económicas

Antes de decidir cualquier utilización de una máquina rozadora debe comprobarse primero 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<sup>2</sup>
- b) Para rocas sedimentarias de abrasividad media (tipo pizarras):  
770-960 kgs/cm<sup>2</sup>

- c) En rocas sedimentarias muy abrasivas (tipo arenisca):

510-640 kg/cm<sup>2</sup>

- d) En rocas ígneas en sílice o minerales síliceos:

510-640 kg/cm<sup>2</sup>

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 en el sentido de disminuir los costos tanto de sostenimiento como de revestimiento; si el tramo de 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<sup>2</sup> 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 cuatro equipos: dos en la

obra de Daule-Peripa (Ecuador), uno en el proyecto de López-Angostura (República Dominicana) y la otra en los túneles de Calahonda (Granada); también se han emplado otras máquinas en los túneles del Ferroñés-La Miranda, en Asturias; en el túnel de Beninar (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 con-

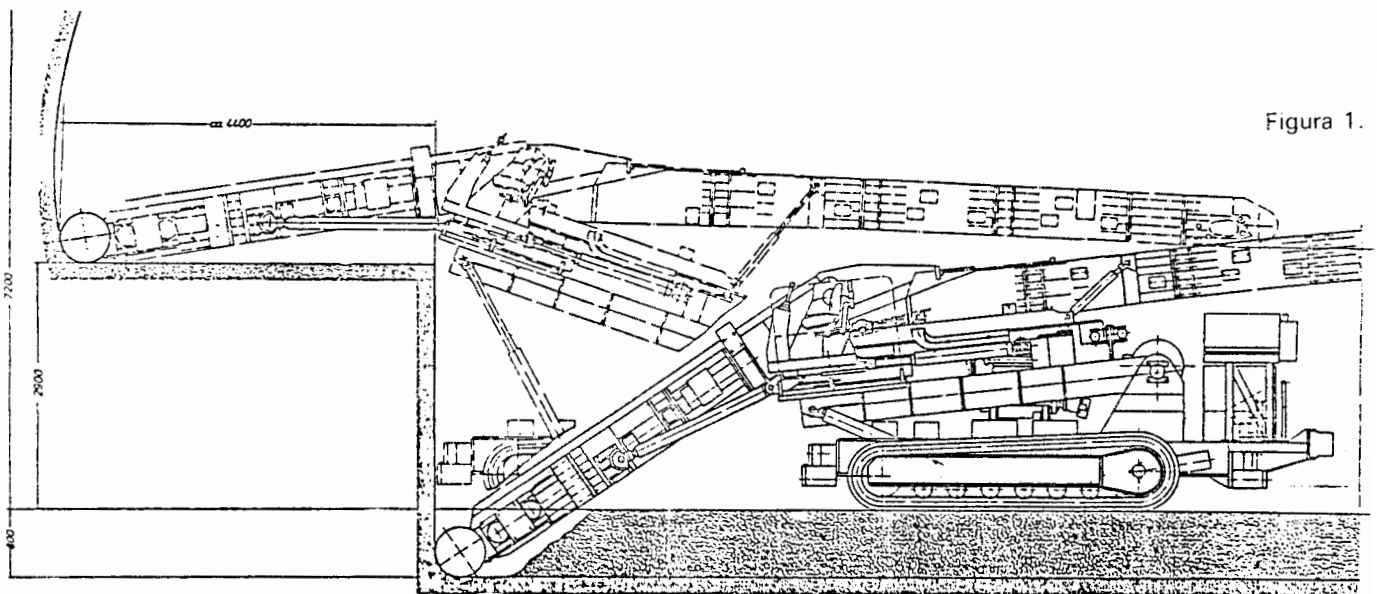


Figura 1.

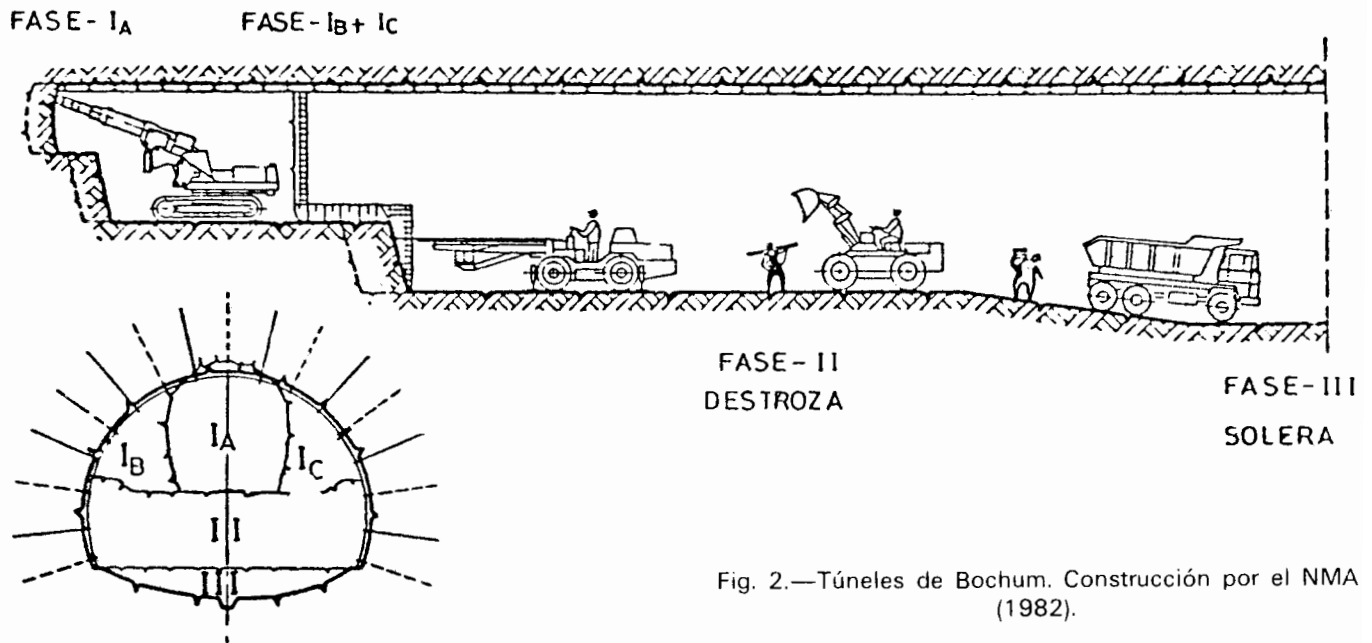
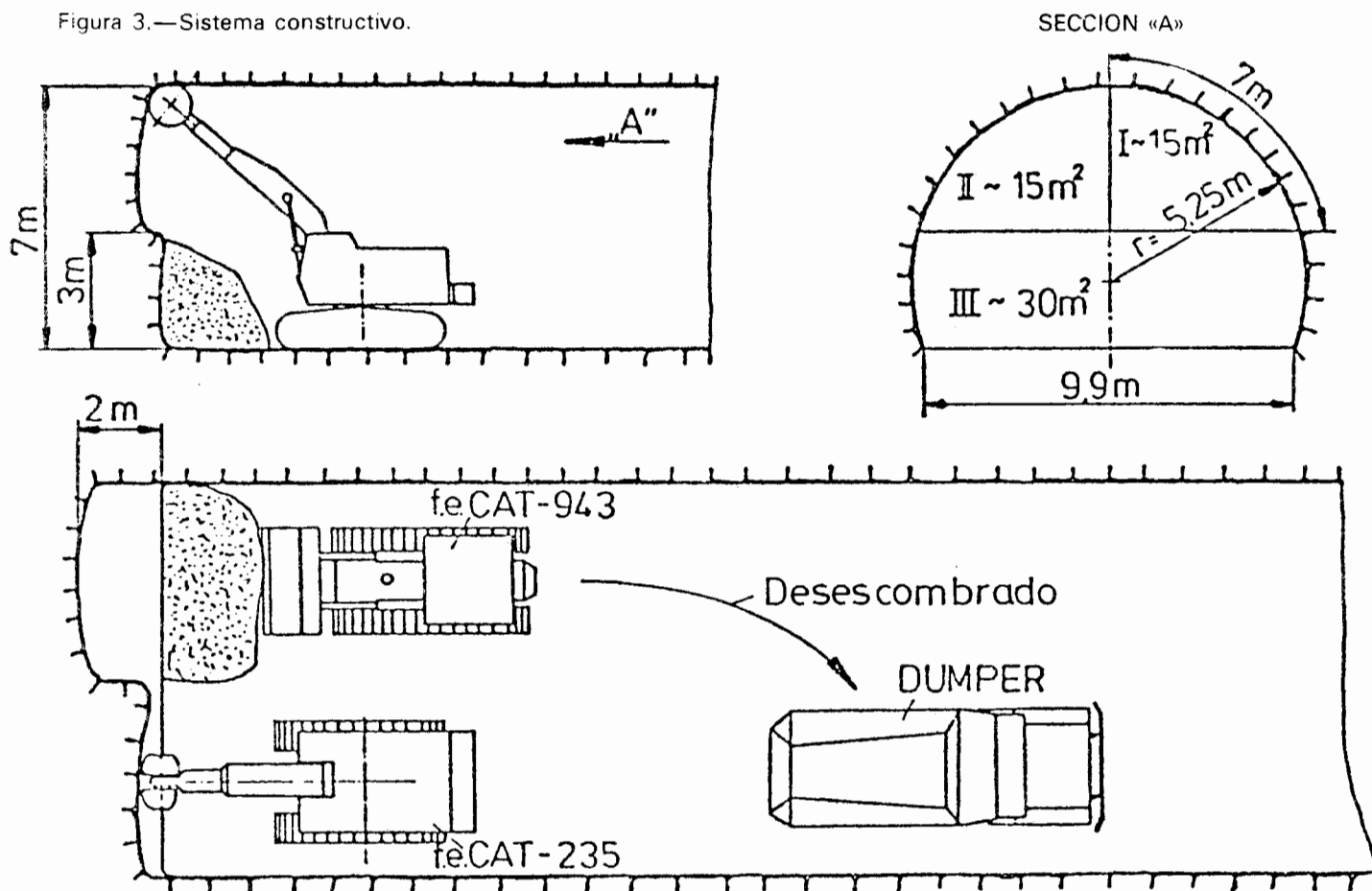


Fig. 2.—Túneles de Bochum. Construcción por el NMA (1982).

## LAS MAQUINAS ROZADORAS EN TUNELES Y MINAS

Figura 3.—Sistema constructivo.



sumo de picas más elevado se produce en los túneles de Calahonda, con un consumo medio de  $0,25\text{ ud/m}^3$ , debido al elevado contenido en 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 1, 2 y 3 pueden verse algunos de los sistemas constructivos en los que el elemento excavador principal es una máquina rozadora.

**Laureano Cornejo Alvarez**



Ingeniero de Minas. Promoción 1969 de la Escuela de Madrid.

Desarrolla su actividad profesional en Agromán Empresa Constructora, S. A., desde 1969 en la División de Investigación y Métodos y más específicamente en el campo de las obras subterráneas. Es autor de publicaciones sobre maquinaria y tecnología de túneles, así como trabajos

sobre el uso de los explosivos en las obras subterráneas.

Ha intervenido como ponente en cursos nacionales y congresos internacionales sobre métodos constructivos en las obras subterráneas.