

GRADO EN INGENIERIA Y TECNOLOGIA DE  
MINAS

# TRABAJO FIN DE GRADO

*TUNEL CARRETERO EN LA N-625.  
(CORIGOS-ASTURIAS)*

*ANEJO 3- MÉTODO CONSTRUCTIVO*

**Alumno/Alumna:** MILAGROS, LOPEZ, ENRIQUE

**Director/Directora (1):** GALLO, LAYA, JAVIER

**Curso:** 2017-2018

**Fecha:** 15-02-2018



**Anejo Método Constructivo**



Contenido

1	Objeto del Presente Anejo .....	6
2	Métodos Constructivos de túneles en Roca .....	7
3	Elección del sistema constructivo.....	8
3.1	Recomendaciones acerca de la excavación de Romana (2001) en base al RMR	8
3.1.1	TBM Abierto. ....	10
3.1.2	Rozadora.....	11
4	Conclusiones.....	14



**Listado de Tablas**

Tabla 2-1 Métodos de excavación subterránea. (Javier Gallo Lara, Heriberto Pérez Acebo, David García Bragado) ..... 7

Tabla 3-1 Principales parámetros a considerar en la elección del sistema de excavación. (Zufferri Arqué, 2010) ..... 10

Tabla 3-2 Comparativa entre los índices de Schimazek y Cerchar. (The Cerchar Abrasivity Index Applicatibily to dredging rock.WEDA XXXII Technical Conference & TAMU 43 Dredging Seminar)..... 12

Tabla 3-3 Relación entre Schimazek y la rozabilidad. (Túneles y Obras Subterráneas.Ebah.)..... 12

Tabla 3-4 Escala de utilización de las rozadoras en roca compacta. (Romana) ..... 13

Tabla 3-5 Relación entre cuarzo equivalente y abrasividad. (Lopez Jimeno et al. Manual de túneles y obras subterráneas.pp 1082) ..... 13



**Tabla de Ilustraciones**

Ilustración 1 Recomendaciones para la excavación de túneles de 10-14 m de ancho.  
(Romana, 2001) ..... 9

Ilustración 2 Rangos donde se pueden emplear los métodos de perforación y voladura y  
rozadoras. (Isakson ,2002)..... 11





## **1 Objeto del Presente Anejo**

Una de las decisiones más importantes en el proyecto de construcción de un túnel es la selección del método constructivo con el que se llevara a cabo la obra.

Al margen de las clasificaciones basadas en el origen geológico, tradicionalmente se han considerado otras características físicas para la clasificación del terreno, evaluando cuales resultaban más idóneas como vía para la determinación del sistema de excavación más adecuado. Pueden destacarse los siguientes:

- Dureza.
- Resistencia Mecánica.
- Abrasividad.
- Densidad.
- Factor de Esponjamiento.
- Tenacidad.
- Tamaño de Bloque

En el presenta Anejo se presentara y se justificara el método constructivo elegido para el proyecto.



## 2 Métodos Constructivos de túneles en Roca

Los métodos constructivos dependen, en primer lugar y de forma fundamental, del tipo de terreno a atravesar. De este modo cabe hablar por separado de:

- Excavación de túneles en Roca.
- Excavación de túneles en suelos o terrenos blandos.

Para no realizar una exposición de los diferentes métodos existentes para cada tipo de terreno, quedaría fuera del ámbito del presente proyecto, nos centraremos en los principales métodos de construcción de túneles en roca.

Los métodos de excavación de túneles en Roca son prácticamente dos:

- Excavación mediante explosivos.
- Excavación mecánica mediante TBM (Tunneling Boring Machines) o Topos.

Métodos de Excavación Subterránea	
Excavación con Explosivos	-
Excavación mecánica con máquinas de ataque puntual	Rozadoras o Minadores
	Excavadoras con martillo hidráulico y fresadoras
Excavación mecánica con tuneladoras (Topos)	Topos (TBM para rocas)
Excavación mecánica con tuneladoras (Escudos)	Hidroescudos (Hydroshields)
	Escudos de presión de tierras (EPB)
	Doble Escudo (Double Shield)
	Escudo Mixto (Mixshield)
	Escudo de roca

Tabla 2-1 Métodos de excavación subterránea. (Javier Gallo Lara, Heriberto Pérez Acebo, David García Bragado)





### **3 Elección del sistema constructivo**

Existen diversos sistemas a través de los cuales, sin una fiabilidad exacta, se puede tener una idea sobre los métodos constructivos que mejor pueden adaptarse a la obra.

Estos sistemas permiten realizar una clasificación de los materiales en base a su excavabilidad.

Sistemas como:

- Clasificación de Franklin (1971).
- Método de Atkinson (1971).
- Clasificación de Weaver (1975).
- Método de Kirsten (1982).
- Método de Singh et al. (1989).
- Método de Scoble y Muftuoglu (1984).
- Método de Hadjigeorgiou y Scoble (1984).

Todos estos sistemas no son muy fiables, ya que la ejecución de una obra subterránea está totalmente ligada al terreno, el cual no siempre es predecible y puede presentar problemas y dificultades que pueden hacer que el método constructivo considerado como óptimo, no se ajuste a lo esperado.

Por tanto uno de los principales aspectos a considerar para la estimación del método constructivo es el reconocimiento del terreno a atravesar.

Romana (2001) propuso unas recomendaciones acerca de la excavación en base al RMR de Bieniawski.

#### **3.1 Recomendaciones acerca de la excavación de Romana (2001) en base al RMR**

A continuación se presentan las recomendaciones para la excavación de túneles propuestas por Manual Romana Ruiz (2001).

RMR	CLASE	LONGITUD DE PASE (m)		PARTICIÓN DE LA SECCIÓN	MÉTODO DE EXCAVACIÓN
		MÁXIMA	RECOMENDADA		
100	I a		≥ 5	SECCIÓN COMPLETA	TBM ABIERTO
90	I b		≥ 5		
80	II a	16.0	≥ 5	CALOTA Y DESTROZA	VOLADURAS
70	II b	9.5	4/6		
60	III a	6.0	3/4	GALERÍA DE AVANCE	ROZADORA
50	III b	4.0	2/3		
40	IV a	2.5	1/2	GALERÍAS MÚLTIPLES	FRESADO
30	IV b	1.75	1		
20	V a	1.0	0,5/0,75	CONTRABO VEDA	ESCARIFICACIÓN/PALA
10	V b		0,5		
0					

73.1

Notas  
 1 La unidad para el pase es el metro (m)  
 2 El pase máximo es el límite teórico según BIENIAWSKI  
 3 El pase recomendado se refiere a la excavación en calota/avance y en caso de que exista galería de avance a la excavación de ensanche (y no a la propia galería)  
 4 Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente  
 5 Las líneas de trazas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces

Ilustración 1 Recomendaciones para la excavación de túneles de 10-14 m de ancho. (Romana, 2001)

Como notas generales habría que puntualizar los siguientes aspectos para la utilización de la tabla:

- Se trata de túneles y obras subterráneas con ancho de excavación entre 10 y 14 metros.
- Puede añadirse al RMR un segundo factor de ajuste ,  $\Delta RMR$ , según el método de excavación:
  - o TBM ,  $\Delta RMR=10$
  - o Excavación mecánica ,  $\Delta RMR=5$

- Voladuras cuidadosas ,  $\Delta RMR=0$
- Voladuras deficientes ,  $\Delta RMR=-5/-10$

Partiendo con que tenemos un RMR de 73.1, podemos observar en la ilustración 1, que nos situaríamos dentro del rango de aplicación de TBM Abierto, Voladuras y Rozadoras.

### 3.1.1 TBM Abierto.

El uso de tuneladoras abiertas es ventajoso cuando las necesidades de sostenimiento son reducidas y ese sostenimiento puede instalarse detrás de la cabeza de perforación.

En general puede esperarse un funcionamiento satisfactorio si el macizo rocoso es de calidad buena ( $RMR < 60$ ) y tolerable si es de calidad media a buena ( $50 < RMR < 60$ ). Si el RMR es inferior a 50 la excavación se convierte en muy trabajosa.

La limitación primordial de utilización de este tipo de máquinas la impone la longitud del túnel a construir, tal que permita asumir la inversión elevada que amortice el precio de la máquina. Se considera que la longitud mínima del túnel para que sea viable su utilización deberá ser de 3 km de largo (túneles largos y muy largos)

Principales parámetros en la elección del sistema constructivo		
Naturaleza del terreno	Terrenos Rocosos	Explosivos y Topos
	Terrenos Suelos	Martillos hidráulicos, fresadoras, rozadoras o minadores, TMB con escudo y EPB.
Resistencia del Terreno	Resistencia a compresión	Método de Excavación
	<50 MPa(500 kg/cm <sup>2</sup> )	Martillos hidráulicos , fresadoras y TBM con escudos y EPB
	<100 MPa	Rozadoras o Minadores
	<250MPa	Topos o TBM para rocas
	80-700 MPa	Explosivos
Geometría de la sección	Circular	TBM y Topos
	Abovedada	Rozadoras o Minadores , explosivos , martillos hidráulicos , métodos tradicionales en general
Longitud del túnel	Largos y muy largos	TBM , Topos y Explosivos
	Cortos y largos	Martillos Hidráulicos , Fresadoras , Rozadoras y Explosivos

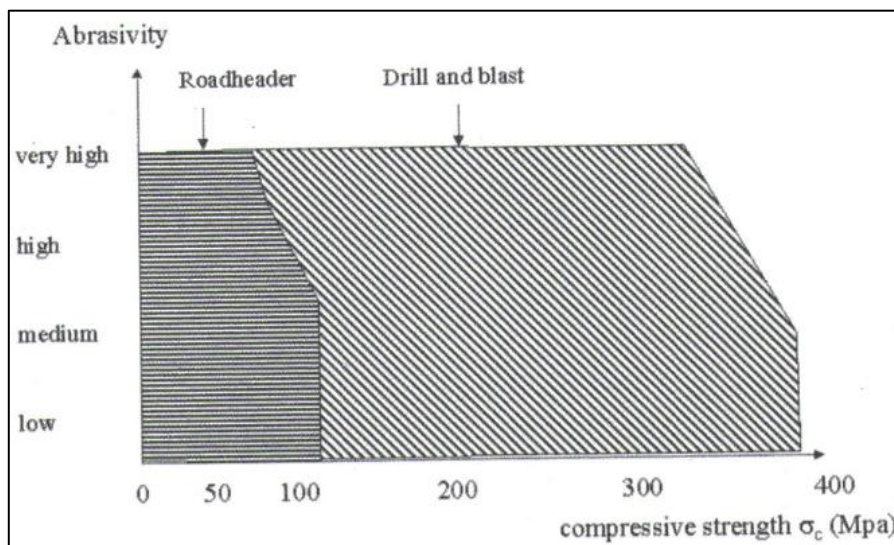
Tabla 3-1 Principales parámetros a considerar en la elección del sistema de excavación. (Zuferri Arqué, 2010)

### 3.1.2 Rozadora

Teóricamente la rozadora puede utilizarse en gran variedad de terrenos desde RMR 30 hasta RMR 90.

Su limitación no será la calidad global del macizo rocoso, sino la resistencia mecánica, a tracción y compresión de la roca matriz.

Tal y como podemos ver en la Tabla 3-1, con una resistencia del terreno aproximándose a 250 MPa, se recomienda el uso de explosivos quedando restringido el uso de rozadoras para terrenos con una resistencia menor de 100MPa.



*Ilustración 2 Rangos donde se pueden emplear los métodos de perforación y voladura y rozadoras. (Isakson ,2002)*

Además si tenemos en cuenta los índices de abrasividad de Schimazek y de Cerchar vemos que debido a la alta abrasividad del material a atravesar sería económicamente inviable debido a la influencia de la abrasividad en los:

- Desgaste en los útiles de corte.
- Coefficiente de Utilización de la máquina, debido al tiempo que transcurre en el cambio de los útiles de corte.



Clasificación	C.A.I (10 <sup>-1</sup> mm)	Tipo de Roca	F de Schimazek (N/mm)
No abrasiva	<0,5	Caliza Joven	<0,5
Muy ligeramente abrasiva	<1,2	Caliza Joven	<0,5
Ligeramente Abrasiva	1,2 -2,5	Arenisca Joven	0,5-2
Medianamente Abrasiva	2,5-3,5	Granito Meteorizado /Dolerita	2-4
Moderadamente Abrasiva	3,5-4,0	Arenisca	4-5
Abrasiva	4,0-4,2	Granito/Esquisto/Piroxenita	5-8
Altamente Abrasiva	4,2-4,5	Anfibolita	8-11
Extremadamente Abrasiva	>4,5	Cuarcita/Gneiss/Pegmatita	>11

Tabla 3-2 Comparativa entre los índices de Schimazek y Cerchar. (The Cerchar Abrasivity Index Applicability to dredging rock.WEDA XXXII Technical Conference & TAMU 43 Dredging Seminar)

La cuarcita que tendremos que atravesar es una roca extremadamente abrasiva con un valor Cerchar de más de  $4.5 \times 10^{-1}$  mm y Schimazek mayor de 11 N/mm (obteniendo con esto una rozabilidad muy mala con rendimientos de excavación bajos, 6-10 m<sup>3</sup>/h).

COEFICIENTE DE ABRASIVIDAD F (kp/cm)	ROZABILIDAD	
	CALIFICACIÓN	m <sup>3</sup> /h
0,2 - 0,3	Muy buena	45 - 65
0,3 - 0,4	Buena	30 - 45
0,4 - 0,5	Moderada	20 - 30
0,5 - 0,6	Regular	15 - 20
0,6 - 0,8	Mala	10 - 15
0,8 - 1,0	Muy mala	6 - 10

Tabla 3-3 Relación entre Schimazek y la rozabilidad. (Túneles y Obras Subterráneas.Ebah.)

Siguiendo con las recomendaciones de Romana (2001), este propuso una escala de utilización de las rozadoras en roca compacta en función del peso de la rozadora<sup>1</sup> y la resistencia a compresión simple de la matriz.

<sup>1</sup> El peso es la variable más significativa para el rendimiento, ya que es este quien constituye la reacción necesaria para producir el empuje sobre el frente. A mayor peso, mayor capacidad tendrá la rozadora.



RC (MPa)	CONDICIONES DE EXCAVACIÓN	PESO DE ROZADORAS (t)		
		30 - 50	50 - 80	> 80
2 - 6	Problemas de apoyo	Adecuado	Posible	-
6 - 12	Problemas de apoyo	Adecuado	Adecuado	Posible
12 - 20	Normales	Posible	Adecuado	Adecuado
20 - 60	Normales	-	Adecuado	Adecuado
60 - 120	Inviabilidad económica	-	-	¿Posible?
> 120	Imposible	-	-	-

Tabla 3-4 Escala de utilización de las rozadoras en roca compacta. (Romana)

Como vemos en la tabla anterior sería inviable económicamente la utilización de Rozadoras, sea cual sea su peso.

El cuarzo equivalente, se utiliza para evaluar el efecto de los minerales en el desgaste, este queda definido como:

$$Q = 1.00 * (\%Cuarzo) + 0.33 * (\%Feldespato) + 0.4 * (\%Filosilicato) + 0.03 * (\%Carbonato)$$

La cuarcita es una roca que intrínsecamente tiene un porcentaje de cuarzo equivalente muy elevado lo que se traduce en que la viabilidad de la excavación mecánica es inviable económicamente.

CUARZO EQUIVALENTE (%)	VIABILIDAD DE LA EXCAVACIÓN MECÁNICA
< 40	Viable económicamente
40 - 60	Posible. Los costes crecen con el contenido en cuarzo equivalente
60 - 80	Posible. Costes altos, rendimientos bajos
> 80	Inviabilidad económica

Tabla 3-5 Relación entre cuarzo equivalente y abrasividad. (Lopez Jimeno et al. Manual de túneles y obras subterráneas.pp 1082)



#### **4 Conclusiones**

El túnel se realizara mediante perforación y voladura ya que, como hemos visto en los apartados anteriores, debido a la longitud, abrasividad y resistencia del material a atravesar sería inviable económicamente realizarlo mediante métodos mecánicos.

El método de perforación y voladura es uno de los más utilizados en túneles de roca, sobre todo cuando esta es muy resistente, abrasiva o se encuentra en estado masivo.