

Actualización y mejora del RMR

El sistema *RMR* fue puesto a punto por el Profesor *Bieniawski*, hace 41 años, para clasificar geomecánicamente los macizos rocosos y, desde entonces, se ha convertido en un referente mundial; junto con el sistema *Q*, desarrollado por *Barton*. En el 25 aniversario de la última modificación del *RMR* se ha mejorado este índice; manteniendo su estructura; pero modificando los criterios de valoración e incorporando el efecto de la alterabilidad de la matriz rocosa por el agua. Este trabajo se ha realizado, entre 2012 y 2014, con una financiación parcial del *CDTI*; trabajando con una base de datos de *Geocontrol*, que cuenta con 2.298 frentes de túneles en los que se había calculado el *RMR89*.

Palabras clave: ALTERABILIDAD DE LA MATRIZ ROCOSA, CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS, RMR 14, RMR 89.

B. CELADA (*); **I. TARDÁGUILA (*)**; **A. RODRÍGUEZ (**)**; **P. VARONA (***)**; **y Z.T.BIENIAWSKI (****)**
 (*) **GEOCONTROL, S.A., Madrid (España).** (**) **CDIAM, Madrid (España).** (***) **GEOCONTROL Ltda., Santiago (Chile).** (****) **BIENIAWSKI Design Enterpr., Arizona (EEUU)**

El sistema *Rock Mass Rating (RMR)* fue presentado hace 40 años por el Profesor *Bieniawski* (1973), y actualizado en 1989. Desde entonces se ha convertido en una referencia mundial para clasificar los macizos rocosos, establecer sus propiedades tenso-deformacionales y estimar empíricamente el sostenimiento de las excavaciones subterráneas; al igual que el *Sistema Q*, desarrollado por *Barton* (1974).

El *RMR* clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, valorando cinco parámetros; de acuerdo a los criterios presentados en la *Tabla I*.

I.- CLASSIFICATION PARAMETERS																
RMR (1) UNIAxIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF INTACT ROCK																
σ _{ci} (kg/cm ²)	>2.500	1.000-2.500	500-1.000	250-500	50-250	<10										
RATING	15	12	7	4	2	0										
RMR (2+3) RQD AND SPACING OF JOINTS																
JOINTS PER METER	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RATING	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	16	17
JOINTS PER METER	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
RATING	17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	
JOINTS PER METER	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
RATING	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	4	3	3	2	2	
JOINTS PER METER	46	47	48	49	50											
RATING	1.5	1	1	0.5	0											
RMR(4) JOINT'S CONDITION																
PERSISTENCE	<1 m	1-3m	3-10m	10-20m	20m											
	6	4	2	1	0											
APERTURE	0	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	> 5 mm											
	6	5	4	1	0											
ROUGHNESS	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickenside											
	6	5	3	2	0											
INFILLING	NONE	HARD FILLING <5mm	HARD FILLING >5mm	SOFT FILLING	NONE											
	6	4	2	2	0											
WEATHERING	UNWEATHERED	SLIGHTLY	UNWEATHERED	SLIGHTLY	UNWEATHERED											
	6	5	3	1	0											
RMR (5) GROUNDWATER CONDITIONS																
STATE	DRY	DAMP	WET	DRIPPING	FIOWING											
RATING	15	10	7	4	0											

Parameter		Range of values						
1	Strength of intact rock material	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range-uniaxial compressive test is preferred		
	Uniaxial comp. strength	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities	>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Couge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation >5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0	
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m) (Joint water press)/(Mayor principal σ)	None	< 10	10-25	25-125	> 125	
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing	
	Rating	15	10	7	4	0		

[TABLA I]. - Criterios para calcular el RMR, Bieniawski (1989).

Los criterios mostrados en la *Tabla I* sirven para calcular el *RMR básico (RMRb)* que es característico de cada macizo rocoso.

Para tener en cuenta el efecto de la orientación del eje de un túnel respecto a la familia más importante de discontinuidades del terreno, el *RMR* se corrige con los criterios mostrados en la *Tabla II*.

STRIKE PERPENDICULAR TO TUNNEL AXIS				Strike parallel to Tunnel Axis		Irrespective of Strike Dip 0°-20°
Drive with dip		Drive against dip				
Dip 45-90	Dip 20-45	Dip 45-90	Dip 20-45	Dip. 45-90	Dip 20-45	
Very favorable	Favorable	Medium	Unfavorable	Very unfavorable	Medium	Medium
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

[TABLA II]. - Ajuste RMR según la orientación del túnel respecto a discontinuidades principales.

En el año 2000, *Geocontrol* introdujo una modificación en los criterios para calcular el *RMRb* sustituyendo la valoración del *RQD* y del *espaciado de las discontinuidades* por la valoración del número de juntas por metro en el frente de la excavación y ampliando los criterios de valoración de las características de las discontinuidades; tal como se muestra en la *Tabla III*.

[TABLA III]. - Criterios para calcular el RMRb utilizados por Geocontrol desde 2000.

Con estas modificaciones se elimina la dificultad de determinar el *RQD* en los frentes de excavación y se mejora la valoración del estado de las juntas en el terreno.

En 2012 *Geocontrol* inició un proyecto de I+D con el objetivo de mejorar las prestaciones del *RMR*, que ha finalizado en 2014. Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el *CDTI*.

El RMR actualizado

En el *RMR actualizado*, que se denomina *RMR14*, se han revisado los criterios para calcular el *RMRb* y éste se corrige con dos nuevos factores.

De acuerdo con esto, el *RMR* actualizado se calcula mediante la expresión:

$$RMR = (RMR_b + F_o) \cdot F_e \cdot F_s \quad (1)$$

Donde:

RMR_b = *RMR básico* del macizo rocoso, sin corregir por la orientación del túnel.

F_o : factor que considera la orientación del eje del túnel respecto a la familia de discontinuidades más importantes del terreno.

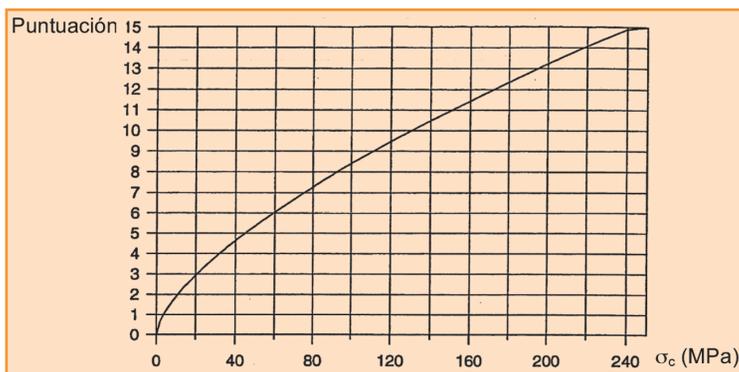
F_e : factor que considera el mejor comportamiento del terreno cuando se excava con tuneladoras.

F_s : factor que considera el efecto de la plastificación del terreno en el frente del túnel.

Estructura del RMR 14

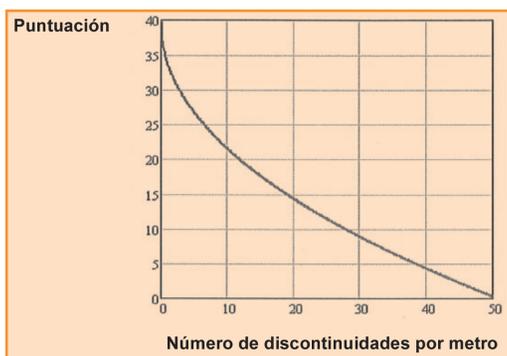
La estructura del **RMR14** mantiene tres de los parámetros que integran el **RMR89**: resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta, número de juntas por metro, y efecto del agua.

Las valoraciones de estos parámetros son las mismas que las del **RMR89**; es decir la resistencia a compresión uniaxial tiene un valor máximo de 15 puntos y su valoración se hace mediante la gráfica presentada en la **Fig. 1**.



[Figura 1].- Puntuación de la resistencia a compresión simple de la roca intacta (σ_c).

El número de juntas por metro se valora con la gráfica de la **Fig. 2** y su valor máximo es 40 puntos, *Lawson- Bieniawski* (2013).



[Figura 2].- Puntuación del número de discontinuidades por metro.

Finalmente el *efecto del agua*, que tiene un máximo de 15 puntos, se valora de acuerdo con los criterios clásicos; que se presentan en la **Tabla IV**.

ESTADO DEL TERRENO	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Flujo de Agua
Valoración	15	10	7	4	0

[TABLA IV].- Valoración de la presencia de agua en el frente.

Los dos nuevos parámetros incluidos en el nuevo **RMR** son la resistencia de las juntas y la alterabilidad del terreno por efecto del agua.

La *Resistencia de las juntas* se valora considerando los cuatro aspectos siguientes:

- Continuidad de las juntas.
- Rugosidad de las juntas, medida por el *Joint Roughness Coefficient (JRC)*.
- Tipo de relleno en las juntas.
- Grado de meteorización de los labios de la junta.

Finalmente la alterabilidad se evalúa según los resultados obtenidos con el *Slake Durability Test*; definido en la norma ASTM D4644-87.

Los criterios para valorar los dos nuevos parámetros se han determinado de la forma que se explica en el posterior apartado de *alterabilidad de la matriz rocosa*.

Parámetros de corrección

El **RMRb** debe ser corregido mediante los tres parámetros que se describen a continuación.

Orientación del eje del túnel

Para tener en cuenta el efecto de la orientación del eje del túnel respecto a las discontinuidades mayores presentes en el terreno, se propone que se siga utilizando el criterio actualmente empleado; de acuerdo con lo presentado en la anterior **Tabla II**. Este parámetro de corrección se denomina F_o .

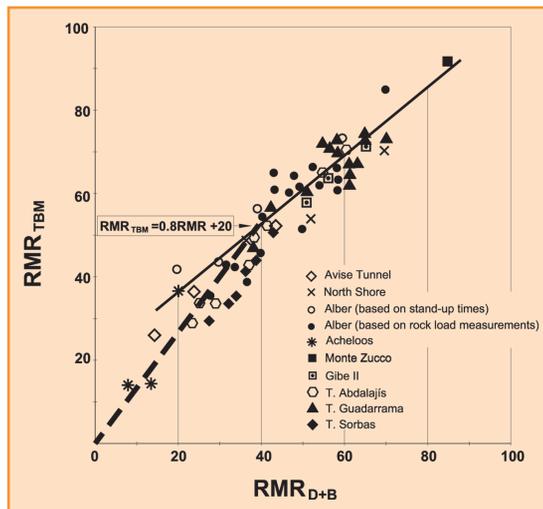
Excavación mediante tuneladoras

La excavación mediante tuneladoras mejora el comportamiento tenso-deformacional del terreno excavado; mejorando también, el **RMR** determinado en frentes excavados con explosivos.

Los trabajos de investigación, realizados por *Geocontrol* en este proyecto, han puesto de manifiesto que los explosivos en túneles excavados en terrenos con $35 < RMR < 80$ sólo afecta a muy pocos centímetros de la roca remanente; si la voladura está correctamente dimensionada y ejecutada.

Por ello; en la práctica del diseño de túneles este efecto puede considerarse poco significativo.

El efecto positivo de la excavación con medios mecánicos ha sido investigado por *Alber* (1993), fue actualizado por *Bieniawski* (2011) y ha sido precisado con nuevos datos aportados por *Geocontrol*, **Fig. 3**.



[Fig. 3].- Correlación entre el RMR y RMR_{TBM}

A la vista de los datos contenidos en la **Fig. 3** resulta que la correlación propuesta por *Alber* es muy buena para $RMR > 40$; pero por debajo de este valor es demasiado optimista. Por ello se propone una nueva curva de correlación; que está marcada a trazos en la **Fig. 3**.

Si se comparan los valores del **RMR** con los correspondientes del **RMR_{TBM}**, considerando la nueva correlación propuesta, se tienen los resultados que se indican en la **Tabla V**.

RMR	20	40	60	80
RMR _{TBM}	21	53	70	85
$\frac{RMR_{TBM}}{RMR}$	1,05	1,32	1,16	1,06

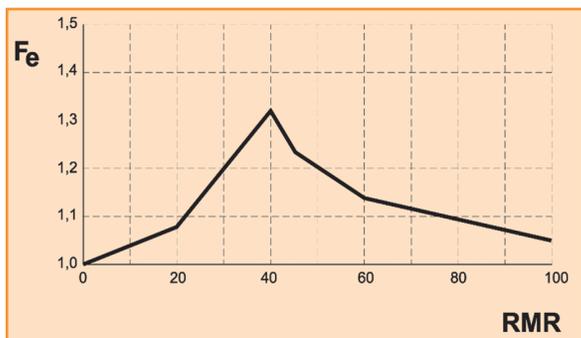
[TABLA V].- Correlación entre el RMR y RMR_{TBM}

De acuerdo con lo anterior la expresión para el cálculo del factor F_e es:

$$\text{para } RMR < 40: F_e = 1 + 2 \cdot \left(\frac{RMR}{100} \right)^2 \quad (2)$$

$$\text{para } RMR > 40: F_e = 1.32 - \frac{\sqrt{(RMR - 40)}}{25} \quad (3)$$

En la Fig. 4 se representa F_e en función del RMR .



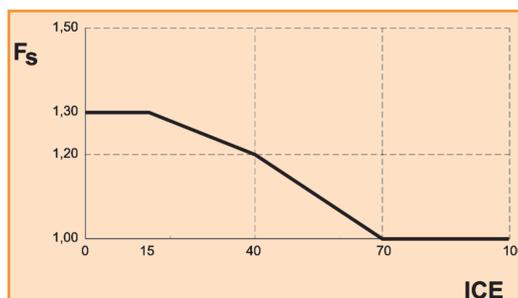
[Fig. 4].- Cálculo F_e en función del RMR .

ICE	Comportamiento del frente del túnel
> 130	Completamente elástico
70-130	Elástico con incipiente plastificación
40-69	Moderadamente plastificado
15-39	Intensamente plastificado
< 15	Totalmente plastificado

[TABLA VII].- Plastificación del frente de un túnel.

para introducir variaciones significativas en la determinación del RMR .

Para valorar los efectos de la plastificación en el frente se han analizado los RMR 's de la base de datos; en los cuales se podía comprobar el RMR utilizando sondeos perforados en las proximidades de los frentes analizados. De esta forma se ha considerado que el Factor F_s debe variar entre 1 y 1,3; tal como se ilustra en la Fig. 5.



[Fig. 5].- Valores de F_s en función del ICE .

Influencia de la plastificación del frente

Cuando se observa el estado de fracturación del frente de un túnel, para determinar su RMR ; lo que se aprecia es la combinación de la fracturación natural del terreno y la inducida por efecto de la plastificación del frente.

De acuerdo con esto, en los frentes con una plastificación intensa, la fracturación observada será más acusada que la que tendría el mismo frente situado a una profundidad mucho menor; en la que el terreno excavado tuviera un comportamiento elástico.

Esta circunstancia hace necesario establecer un nuevo factor (F_s) con el que se corrija el efecto minorante de la plastificación del frente.

Para calcular F_s resulta útil el Índice de Comportamiento Elástico (ICE); propuesto por Bieniawski y Celada (2011), que está definido por las ecuaciones:

$$\text{para } K_0 \leq 1: ICE = \frac{3704 \sigma_{ci} \cdot e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3 - K_0) \cdot H} \cdot f \quad (3)$$

$$\text{para } K_0 \geq 1: ICE = \frac{3704 \sigma_{ci} \cdot e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3K_0 - 1) \cdot H} \cdot f \quad (4)$$

Donde:

σ_{ci} : Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta (MPa).

K_0 : Coeficiente de reparto de las tensiones naturales.

H : Profundidad a la que se encuentra el frente del túnel (m).

F : Factor de forma del túnel, definido en la Tabla VI.

TIPO DE EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA	F
Túnel circular de 6 m de diámetro.	1,3
Túnel circular de 10 m de diámetro.	1,0
Túnel convencional de 14 m de anchura.	0,75
Cavernas (25 m de ancho x 60 m de alto)	0,55

[TABLA VI].- Valores del factor de forma F .

El ICE permite predecir el comportamiento tenso-deformacional de los frentes de los túneles, clasificándolos en las cinco categorías que muestran la Tabla VII.

De acuerdo con lo anterior, sólo los frentes de excavación en los que $ICE < 70$ presentaran deformaciones suficientemente importantes

La gráfica de la Fig. 5, puede ajustarse con las siguientes expresiones:

$$- ICE < 15: F_s = 1,3$$

$$- 15 < ICE < 70: F_s = 1,3 - 0,6 \left(\frac{ICE}{100} \right)^2 \quad (5)$$

$$- ICE > 70: F_s = 1$$

Criterios para valorar los nuevos parámetros del RMR

Ya se ha indicado que en la actualización del RMR se han mantenido dos parámetros del $RMR89$: resistencia a compresión uniaxial y efecto del agua y que se han unificado el RQD y el espaciado de las juntas; factores que son englobados por el número de juntas por metro.

Estos tres factores se evalúan con los mismos criterios utilizados en el $RMR89$; de modo que, para calcular el nuevo RMR , sólo hay que establecer los criterios para valorar la resistencia de las juntas y la alterabilidad de la matriz rocosa.

Resistencia de las juntas

La resistencia de las juntas se valora de acuerdo con los criterios contenidos en la Tabla VIII; que se derivan de la Guidelines for Classification of Discontinuity Conditions, Bieniawski (1989), lo cual supone que la mayor puntuación de este parámetro sea de 20 puntos.

Continuidad	< 1 m	1-3m	3-10m	> 10m
	5	4	2	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento
	5	3	1	0
Relleno	Duro		Blando	
	< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm
	5	2	2	0
Alteración	Sin alteración	Poco alterado	Muy alterado	descompuesto
	5	3	1	0

[TABLA VIII].- Criterios para valorar la resistencia de las discontinuidades.

Alterabilidad de la matriz rocosa

Para definir los criterios que permitan evaluar la alterabilidad de la matriz rocosa se ha trabajado con la base de datos de *Geocontrol*, integrada por 2.298 determinaciones del *RMR* en frentes de túneles.

El valor medio del *RMR básico*, sin corregir por la orientación del túnel, de esta base de datos es de 51 puntos y su histograma de frecuencias es el que se muestra en *Fig. 6*.



[Fig. 6].- Histograma de frecuencia del *RMR89* de la base de datos de *Geocontrol*.

El mayor valor del *RMR89*, en la base de datos, es de 73 puntos y el menor de 15; con lo cual el rango de la base de datos cubre 58 puntos del *RMR*.

En esta base de datos el 68,5% de los casos está comprendido entre 65 y 40 puntos; que concuerda bien con el rango de *RMR* en el que se mueven los terrenos, cuando no se corrige el *RMR* por las discontinuidades.

En la *Fig. 6* también se observa que sólo hay cinco casos con *RMR* > 70; lo cual indica que el *RMR89* tiende a concentrar excesivamente los valores en el tercio central de su rango.

Ya se ha indicado que la alterabilidad de la matriz rocosa puede determinarse mediante el *Slake Durability Test*; definido en la norma *ASTM D 4644-87*, que permite obtener el índice I_{d2} . Para definir los criterios para evaluar el índice I_{d2} se han hecho las cuatro hipótesis; que se presentan en la *Tabla IX*.

Hipótesis	VALORES DEL I_{d2} (%)					
	<98	95-98	85-95	60-85	30-60	<30
RMR14-I	10	8	6	4	2	0
RMR14-II	10	10	10	8	4	0
RMR14-III	10	9	8	2	1	0
RMR14-IV	10	10	9	3	1	0

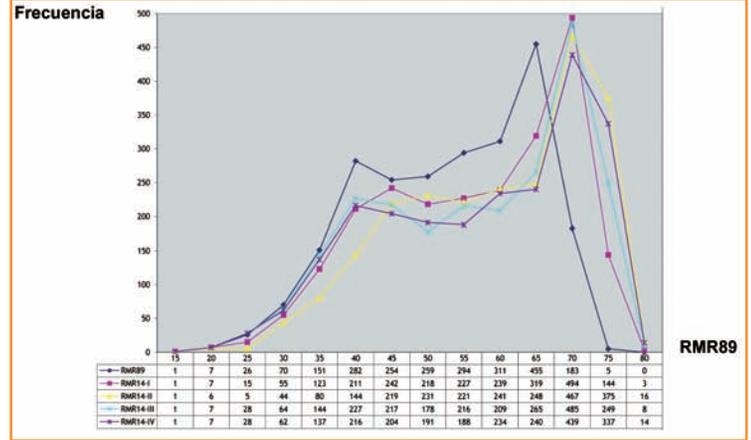
[Tabla IX].- Hipótesis analizadas para escoger los criterios de evaluación del I_{d2} .

En la *Fig. 7* se muestran los histogramas de frecuencia de las cuatro hipótesis planteadas para valorar la alterabilidad junto con el de la clasificación *RMR89*.

En esta figura se aprecia claramente que los criterios que conforman la hipótesis *RMR14-II* producen el efecto deseado de desplazar la población del tercio central del rango hacia el tercio superior.

Si se asigna un coeficiente de correlación $R=1$ al *RMR89* resulta que el coeficiente de correlación del *RMR14-II* es de $R=0,982$; con lo cual se comprueba que, a pesar de que el *RMR14-II* desplaza la población hacia los valores altos del *RMR*, esto no empeora significativamente la correlación.

De acuerdo con todo lo anterior, los criterios para tener en cuenta la alterabilidad de la matriz rocosa en el *RMR14* son los que se muestran en la *Tabla X*.



[Fig. 7].- Histograma de frecuencia para las cuatro hipótesis de evaluación del I_{d2} .

Alterabilidad I_{d2} (%)			
< 85	60 - 85	30 - 60	< 30
10	8	4	0

[Tabla X].- Criterios para la evaluación de la alterabilidad de la matriz rocosa.

Cálculo del RMR14

En la *Tabla XI* se presentan los criterios para calcular los cinco parámetros que integran el *RMR14*; sin corregir el efecto de orientación del eje del túnel respecto a las discontinuidades, de la influencia de la plastificación del frente y sin tener en cuenta la posible excavación con tuneladoras.

1. Strength of Intact Rock	2. Number of discontinuities				
3. Discontinuities Condition					
Continuity	< 1 m	1-3m	3-10m	> 10m	
	5	4	2	0	
Roughness	Very rough	Rough	Smooth	Slickensided	
	5	3	1	0	
Gouge infilling	Hard		Soft		
	< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm	
	5	2	2	0	
Weathering	Unweathered	Moderately weathered	Highly	Decomposed	
	5	3	1	0	
4. Presence of water					
Ground state	Dry	Slightly wet	wet	Dripping	Water flow
Assessment	15	10	7	4	0
5. Alterability					
Alterability I_{d2} (%)					
> 85	60-85	30-60	< 30		
10	8	4	0		

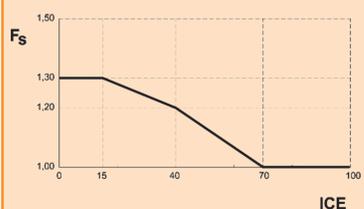
[Tabla XI].-Criterios para calcular el *RMR14* básico.

Los tres factores de correlación se calculan de acuerdo con la información contenida en la **Tabla XII**.

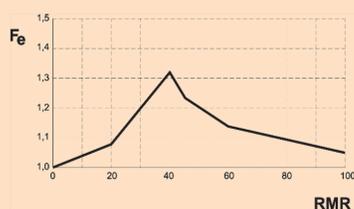
1.- F_0 . Dirección del eje del túnel respecto a la dirección de la familia principal de discontinuidades.

PERPENDICULAR				PARALELA		INCLINACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES
AVANCE A FAVOR DE LA INCLINACIÓN		AVANCE EN CONTRA DE LA INCLINACIÓN		INCLINACIÓN (°)		
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	MENOR DE 20°
0	-2	-5	-10	-12	-5	

2.- F_s . Plastificación del frente



3.- F_e . Excavación con tuneladoras



■ [TABLA XII].- Evaluación de los factores de corrección del RMR14.

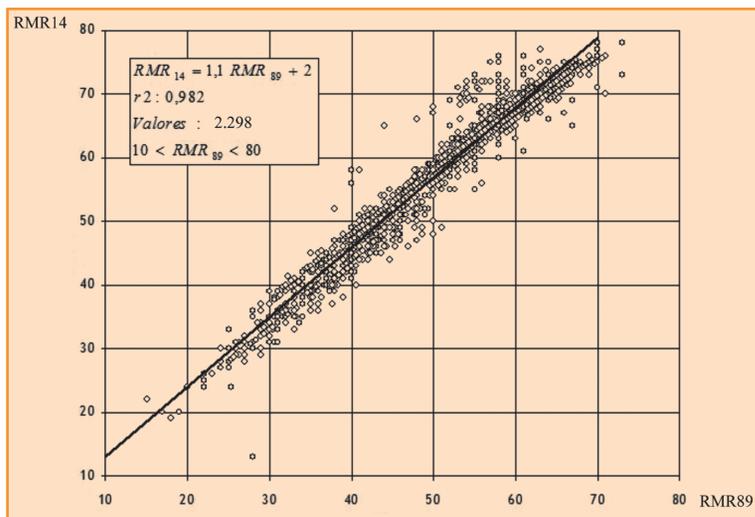
Correlación entre RMR89 y RMR14

Para poder actualizar la importante información que se ha generado en base al RMR; al utilizar el RMR14 es necesario disponer de una correlación entre ambos índices.

Para encontrar esta correlación se ha trabajado con los 2.298 casos de la base de datos de Geocontrol y se ha obtenido la expresión:

$$RMR_{14} = 1,1 \cdot RMR_{89} + 2$$

En la **Fig. 8** se presenta la correlación obtenida.



■ [Figura 8] .- Correlación entre RMR14 y RMR89.

Nuevos desarrollos

Una vez que se ha puesto a punto el RMR14 hay que desarrollar las herramientas que permitan que extienda su utilización; reemplazando al anterior RMR89.

Para ello, Geocontrol está trabajando en un programa informático que consta de los siguientes módulos:

- I.- Cálculo del RMR14.
- II.- Ajuste del criterio de Hoek-Brown para la roca intacta (m_i).
- III.- Ajuste del criterio de Hoek-Brown para el macizo rocoso (m_r, S_r).

IV.- Diseño empírico del sostenimiento de excavaciones subterráneas.

Se espera poder difundir este programa informático, a través de la web de Geocontrol, en el otoño de 2014; que será de acceso libre.

Conclusiones

Desde su presentación en 1973 el RMR se ha mantenido como una herramienta de aceptación mundial para clasificar el comportamiento de los macizos rocosos y caracterizar sus propiedades tenso-deformacionales.

A lo largo de las últimas décadas se han producido innovaciones para mejorar el RMR que se han incorporado en la actualización realizada en este trabajo; que es fruto de un proyecto de investigación de Geocontrol, financiado parcialmente por el CDTI.

El RMR14 mantiene una estructura similar a la del RMR89; aunque se ha modificado la valoración de la resistencia de las discontinuidades y se ha incorporado la evaluación de la alterabilidad de la matriz rocosa.

Adicionalmente; además del factor de corrección por la orientación del túnel, ya utilizado en el RMR, en el RMR14 se han incluido dos nuevos factores de corrección: uno para el caso en que la excavación sea realizada mecánicamente y otro para tener en cuenta el efecto de la plastificación del frente del túnel en el que se determina el RMR.

En el otoño de 2014 se espera poder difundir, con acceso libre a través de la web de Geo-control, un programa informático que permita calcular el RMR14, establecer las propiedades tenso-deformacionales del macizo rocoso y aproximar empíricamente el sostenimiento a emplear en los túneles.

Bibliografía

- ALBER, G. 1993. *Classifying TBM contracts*. *Tunnels & Tunnelling*, v. December, p.41-43.
- BARTON, N.R.; LIEN, R.; LUNDE, J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. *Rock Mechanics and Rock Engineering* (Springer) 6(4):189-236.
- BARTON, N. and BIENIAWSKI, Z.T. 2008. *Setting the record straight about RMR and Q*. *Tunnels & Tunnelling*, v. February, p.26-29.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1973. *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. *The Civil Engineer in South Africa*, 15, p.335-343.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: a Complete Manual*. John Wiley and Sons, New York.
- BIENIAWSKI, Z.T.; CELADA, B.; AGUADO, D. AND RODRÍGUEZ, A. 2011. *Forecasting tunnelling behavior*. *Tunnels&Tunnelling International*, v. August, p.39-42.
- BIENIAWSKI, Z.T.; 2011. *Errores en la aplicación de las clasificaciones Geomecánicas y su corrección*. *Jornada sobre la Caracterización Geotécnica del Terreno*. Adif. Madrid.
- DE OLIVEIRA, TALITA. 2007. *Contribuição à classificação geomecânica de maciços rochosos utilizando o Sistema RMR*. *Monografía de Trabalho de Formatura (TF-07/42)*. Orientador: Prf. Dr. Lindolfo Soares. Universidad de Sao Paulo, Instituto de Geociencias, Brasil.
- GEOCONTROL S.A. 2012. *Actualización del Índice Rock Mass Rating (RMR) para mejorar sus prestaciones en la caracterización del terreno*. Centro para el Desarrollo Técnico Industrial (CDTI). Proyecto: IDI-20120658. Madrid, España.
- LOWSON, ALEX AND BIENIAWSKI, Z.T. 2013. *Critical Assesment of RMR based Tunnel Design Practices a Practical Engineer's Approach*. RETC 2013. Washington, D.C. USA.



GEOCONTROL, S.A.

Cristóbal Bordiú, 19 -21, 5°
28003 Madrid

☎: +34 915 531 763 • Fax: +34 915 549 396

E-mail: geocontrol@geocontrol.es

Web: www.geocontrol.es