

Índice de evaluación del riesgo de accidentes por desprendimientos en canteras de roca

An evaluation rate of accidents risks because of rocks falling in rock quarries

Juan M. Rodríguez Z.¹, Leandro A. Monje²

RESUMEN

En Galicia existen alrededor de 280 canteras y minas a cielo abierto, excavadas en roca, la mayoría de ellas dedicadas a las rocas ornamentales y a la producción de áridos, en ellas 6100 personas laboran, un 35% de las cuales están expuestas a los accidentes por caídas de rocas, alcanzando este porcentaje el 80% en el caso de los áridos. Este fenómeno está identificado ahora por las estadísticas. El presente trabajo pretende ser parte de un mayor proyecto subvencionado por la Xunta de Galicia (España) a través de la universidad de Vigo, ETSI de Minas, titulado: «Índice de evaluación del riesgo asociado a caídas de bloques en canteras de Galicia», en el que se ha propuesto y se está ajustando un método empírico de estimación del riesgo de accidentes por desprendimientos (ROFRAQ), con el objeto de detectar los taludes de mayor riesgo y proponer algunas medidas correctoras. En este marco, el trabajo que se presenta analiza dos explotaciones de áridos, proporcionando más de 35 nuevos taludes a la base de datos ya existente.

Palabras clave: Índice, Riesgo, Caída de rocas.

ABSTRACT

In Galicia can be found around 280 quarries and open pits excavated in rock, most of them are ornamental rock and construction aggregates exploitations. 6100 people work in these mines and 35% are exposed to rock fall accidents; this percentage increases up 80% for the case of aggregates quarries. This phenomenon is now in the work safety statistics. The present work is part of wider project sponsored by the Xunta de Galicia (España) through the University of Vigo, ETSI de Minas, entitled «An index to assess the risk of accident due to rock fall in Galician quarries», where an empirical method to evaluate that risk (ROFRAQ) has been created and is being now fine tuned, with the aim of detecting the riskier slopes and propose corrective measures in order to improve the safety standards. Within this frame, the work here presented analyzes two of these quarries, adding more than 35 new slopes to the information existing so far.

Keywords: Rate, risk, rockfall.

INTRODUCCIÓN

Los desprendimientos o caídas de bloques son un riesgo en las explotaciones mineras a cielo abierto (Fig. 1.1). Ocurren de forma relativamente común aunque en la mayor parte de los casos ni suelen producir accidentes ni afectar a las labores mineras. No obstante, pueden causar interrupciones del trabajo, dañando la maquinaria y, en el peor de los casos, poner en peligro las vidas humanas, ya sea por imprudencia,

descuido, inadvertencia o simplemente mala suerte (ANEFA, 1999).

Se puede decir que en Galicia, existe un número aproximado de 3700 personas que están hipotéticamente expuestas a desprendimientos, fenómeno que ha entrado en las estadísticas de siniestralidad, al menos para la provincia de Pontevedra en Galicia, como lo muestra un estudio realizado por Rey (2000) que indica que en los últimos 18 años, han ocurrido 7

1 Master internacional aprovechamiento sostenible de los recursos minerales - RED DESIR.

2 Universidad de Vigo.

accidentes a personas por fenómenos de inestabilidad de taludes, de los cuales 4 fueron debido a roturas generales de taludes y los 3 restantes a causa del desprendimiento de bloques. De un total de 30 accidentes, es decir, el 10% del total de accidentes ocurridos en los últimos 18 años, se debieron a fenómenos de desprendimientos. A la estadística anterior faltaría añadir los daños que en mayor o menor gra-

do afectan a la maquinaria, lo cual obviamente es más difícil de cuantificar, ya que no suelen aparecer en los informes, tratándose muchas veces de golpes menores. A la luz de los resultados de estas estadísticas y ante la inexistencia o desconocimiento de alguna herramienta técnica que permitiera evaluar estos fenómenos en explotaciones a cielo abierto, surge la idea de llevar a cabo un proyecto de investigación.

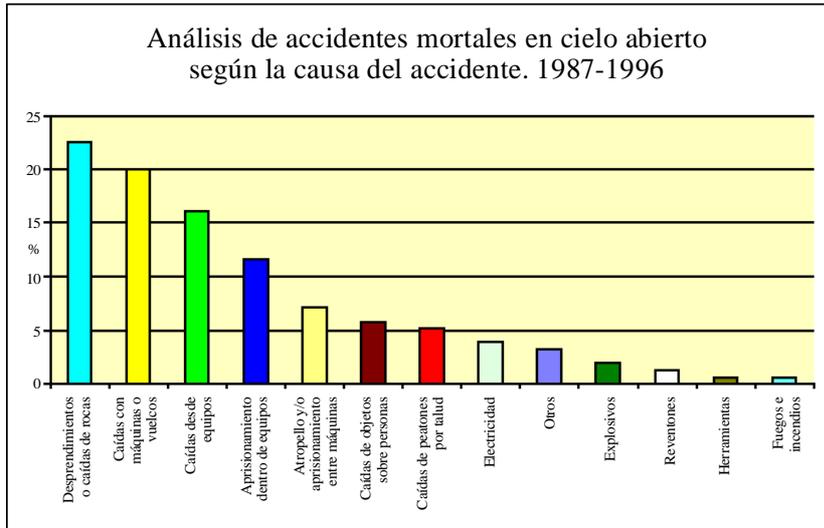


Tabla 1. Plantilla RHRS modificada.

Plantilla RHRS modificada Categoría		Criterio de valoración y puntuación			
		3 Puntos	9 Puntos	27 Puntos	81 Puntos
Altura del talud		25 pies (7,6 m)	50 pies (15,2 m)	75 pies (22,9 m)	100 pies (30,5 m)
Efectividad de la cuneta de recepción		Buena	Moderada	Limitada	Nula
Geología	Condición estructural	Juntas discontinuas con orientación favorable	Juntas discontinuas con orientación variable	Juntas discontinuas con orientación adversa	Juntas continuas con orientación adversa
	Fricción de la junta	Rugosa e irregular	Ondulada	Plana	Con relleno
Tamaño del bloque individual		1 pie (0,3 m)	2 pies (0,6 m)	3 pies (0,9 m)	4 pies (1,2 m)
Volumen de rocas a caer por evento		3 yardas ³ (2,3 m ³)	6 yardas ³ (4,6 m ³)	9 yardas ³ (6,9 m ³)	12 yardas ³ (9,2 m ³)
Clima y presencia de agua en el talud		Baja a moderada precipitación; sin períodos de heladas, ni agua en el talud	Moderada precipitación o con períodos cortos de heladas o presencia intermitente de agua en el talud	Alta precipitación o con largos períodos de heladas o presencia continua de agua en el talud	Alta precipitación y largos períodos de heladas o continua presencia de agua en el talud y largos períodos de heladas
Historia de caída de bloques		Pocas caídas	Caídas ocasionales	Muchas caídas	Caídas constantes

METODOLOGÍA

La metodología empírica nueva usada para el desarrollo del proyecto es la denominada ROFRAQ (Rock-Fall Risk Assessment for Quarries). Siendo un método empírico se pretende contrastarla con metodología previa existente enfocada a carreteras como lo son RHRS (Rockfall Hazard Rating System, Pierson 1990) desarrollada a mediados de los años 80 para el Estado de Oregon (EE.UU.) y RHRON (Ontario Rockfall Hazard Rating System, Senior 2002) el cual fue desarrollado a mediados de los

años 90 basado en el RHRS, método que revisa, cambia y se adapta a las condiciones del Estado Canadiense de Ontario. Fue necesario, debido a las características propias de los métodos existentes (su base de desarrollo fueron las carreteras y no así canteras) hacer algunas modificaciones para poder adaptarlos a taludes de canteras. La metodología ROFRAQ cuenta con dos versiones, una que está enfocada a bancos y otra a taludes, la diferencia estriba en la capacidad de las bermas entre bancos de capturar rocas caídas, lo cual es obvio, no existe en un banco.

Tabla 2. Fórmula para estimar el valor del exponente «x».

Parámetro	Fórmula para estimar el valor del exponente, x
Altura de talud	$X = \text{altura de talud en pies} / 25 = \text{altura en metros} / 7,5$
Anchura de calzada	$X = [52 - (\text{anchura de calzada en pies})] / 8$
Tamaño de bloque	$X = \text{dimensión del bloque en pies}$
Volumen	$X = \text{volumen en piescúbicos} / 3$

Tabla 3. Plantilla RHRON modificada.

IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR		Cantera:	ZONA N°: Talud									
Posición:		p.k.	al (EWNS) del cruce entre y									
Identificación	Parámetro (P)	Valor (V)	Índice (R)									
			bueno	malo								
P1 Hist	Historia / evidencias de caídas	Sólo valoración	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P2 Qmax	Mayor caída potencial m ³	m ³	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P3 ΣQtot	Total de caídas / deslizamientos potenciales	m ³	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P4 Firr	Irregularidad de la cara del talud	M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P5 Loose	Apertura de juntas en talud	Sólo valoración	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P6 Jop	Persistencia-orientación de las juntas	Sólo valoración	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P7 UCS	Resistencia a compresión simple	MPa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P8 Phip	Resistencia al corte	Ángulo fricción pico φb °	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DATOS SUPLEMENTARIOS DE JUNTAS. Se necesitan sólo para analizar inestabilidades por deslizamiento		Persistencia: % Longitud de traza: m	Relleno tipo: Espesor mm									
Peor familia es: con buz: ° y dir. buz.: °	Amplitud rugosidad mm / 10 cm Ondulación m / m	Bloques encastrados: (S/N) JRC: (0-20) φb = °	F = JCS / UCS JCS: MPa									
P9 Block	Tamaño de bloque	cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P11 Wtab	Nivel freático (% sobre altura de talud)	%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P12 Height	Altura de talud (para mayor riesgo posible)	m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P13 Cang	Ángulo de cabeza del talud = tan-1(V12/V14)	°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P15 Deff	Efectividad de retención de las bermas	Estimación %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F1 Magnitud	(R2 + R3 + R12)/3	/ 9										
F2 Inestabilidad (Descripción del tipo más probable de inestabilidad): F2 Pequeñas caídas sueltas / vuelco (R1+ R9 + R11 + R4 + R5 + R6)/6 /9 F2 Deslizamiento (plano, cuñas Tal. de muro) (R1+ R9 + R11+ R5 + R6 + R8)/6 /9												
F3 Alcance	(R4 + R13 + R15)/4	/ 9										
RHRON básico = (F1 + F2 + F3) / 3		_____ / 9										
Evaluación realizada por:			Fecha:									
PLANILLA DE DATOS DE CAMPO DEL RHRON DETALLADO PRIMARIO												

En la plantilla modificada RHRS se incluye el análisis de 7 aspectos (ver Tabla 1) que una vez evaluados, valorados y sumados permiten clasificar y ordenar los taludes según su nivel de riesgo asociado a posibles desprendimientos. Cada aspecto a analizar representa un elemento importante que contribuye al riesgo general. Con objeto de permitir cierta flexibilidad al clasificar, en la evaluación de la influencia relativa de las condiciones, que son muy variables, se utiliza un sistema de valoración exponencial desde 1 a 100 puntos. En algunos de los aspectos a evaluar se pueden calcular valores exactos del exponente x de la función $y = 3^x$.

Las fórmulas que nos dan el valor de este exponente se presentan en la Tabla 2.

La plantilla modificada RHRON se basa en el análisis de 13 categorías o aspectos, entre otros no contemplados en el RHRS (comparar Tabla 1 y 3). Estas categorías se valoran en el RHRON linealmente con un escala entre 0 = «bueno» y 9 = «malo». La planilla incluye columnas para anotar tanto el valor de los parámetros como sus índices o valoraciones («ratings») que se corresponden con la escala de 0 (bueno) a 9 (malo). Hay que exceptuar los parámetros P1, P5 y P6, que carecen de valor numérico específico y se valoran directamente en términos índice. Para

una mejor homologación de criterios y facilidad Senior (2002) propuso unas tablas conversión que muestran la correlación entre los valores de los parámetros y sus índices o valoraciones de 0 a 9 correspondientes.

El punto de partida de $ROFRAQ_{Taludes}$ y $ROFRAQ_{Bancos}$, Alejano (2005) es el hecho de que para que ocurra un accidente asociado a un desprendimiento en una cantera, se deben de producir de manera sucesiva y encadenada los siguientes fenómenos (ver Tabla 4):

- a) Que exista uno o varios bloques o una masa de roca más o menos separada del macizo rocoso en el talud.
- b) Que ese(os) bloque (s) o masa de roca esté(n) relativamente próximos al equilibrio.
- c) Que tenga lugar un fenómeno desestabilizador (voladura, precipitación...) que haga inestable el elemento rocoso.
- d) Que este material rocoso inestable caiga siguiendo un trayectoria tal que alcance, en todo o en parte, los bancos de trabajo y, típicamente, la plaza de la cantera.
- e) Que al menos un bloque de roca impacte con una máquina o un trabajador en el banco de trabajo.

Tabla 1.4. Plantilla ROFRAQ

Cantera:		Orientación:				Fecha:							
¿Existen bloques de roca que puedan caer? (A)													
Nº de familias de juntas (a)		Persistencia de las discontinuidades (b)		Presencia de fallas (c)		Daños por sobre-voladura observados (d)		Saneamiento de bancos y limpieza de bermas (e)		Presencia de bloques en el talud (f)		Altura del banco (m) (g)	
0-1	0.5	< 1m	0.6	no	0	Precorte	- 2	Saneamiento y limpieza regular y efectiva	- 3	Gran cantidad de bloques	7 - 10	< 5	0.2
2	1	1-3	0.8	1 pequeña	0.5	Se ven las cañas	- 0.5	Se sanea y limpia en general	- 1	Bastantes bloques	3 - 7	10	0.4
3	3	3-10	1	1 grande	1	No hay daño	0	Ocasional	0	Algunos bloques	1 - 3	12	0.5
4	5	10-20	1.2	2 fallas	1.5	Daños leves	1	Poco e irregular	1	Bloques ocasionales	0.1 - 1	15	0.6
5->	7	>20	1.4	muchas	2	Alta fracturación	2.5	No se sanea ni se limpian bermas	3	Muy pocos bloques	0 - 0.1	> 20	0.8
$A = ((axb) + c + d + e + f) \times g_n / 2$												$(10 > A_{ban} > 0)$	

¿Están los bloques de roca próximos al equilibrio? (B)										
Basados en estudios geotécnicos, análisis de discontinuidades y los datos observados en el talud; realizar el siguiente análisis siguiendo las indicaciones.										
Indicar en la casilla correspondiente mediante una letra (A, B, C, etc.) los mecanismos observados, inferidos o estimados.					Indicar el porcentaje del talud afectado por cada uno de los mecanismos observados, según se indica.				Promedio multiplicado por factor de peso de mecanismo (Pi)	
Simples (factor de peso = 0.8)		Complejos (factor de peso = 1.1)		Evolutivos (factor de peso = 1.4)	Observado en sitio	Detectado en el estudio geotécnico	Por presencia de bloques	Promedio		
Rotura plana	Migueo		Vuelco de bloques		A					
Rotura tipo cuña	Bloques sueltos		Vuelco por flexión		B					
Rotura circular	Roturas mixtas		Taludes de muro		C					
$B = 10 \times \prod_{i=1}^n [1 - (Pi/100)]$										$(10 > B > 0)$

¿Pueden ocurrir fenómenos que desequilibren al bloque? (C)										
Máxima precipitación en 24 horas para un periodo de retorno de 50 años (a)		Período promedio en días libre de heladas para 0°C (b)		Presencia de agua en el talud (c)		Grado de meteorización/ erosión (d)		Vibración por voladuras (Carga específica) (e)		
< 50 mm	0.1	> 300	0.1	Seco	0	No afectado	0	< 250 gr/m³	0.1	
50 - 80 mm	0.5	250 - 300	0.4	Ligeramente húmedo	0.1	Ligero	0.1	250 - 400 gr/m³	0.5	
80 - 110 mm	1.5	200 - 250	1	Húmedo	0.3	Moderado	0.3	400 - 550 gr/m³	1	
110 - 150 mm	4	150 - 200	2	Goteando	0.7	Alto	0.7	550 - 700 gr/m³	1.5	
> 150 mm	6	< 150	2.5	Chorreado	1	Descompuesto	1	> 700 gr/m³	2	
$C = a + b + c + d + e$										$(10 > C > 0)$

¿Llegarán a la zona de trabajo las rocas que caen del banco con posibilidad de causar daño? (D_{ban})							
Pendiente de banco (\hat{a}_b)		Altura de banco (b_b)		Irregularidad (C_b)		Saneado del banco (d_b)	
90°	0,5	? 5 m	0,2	Muy baja	0,7	Siempre	0,2
80°	0,7	10	0,6	Baja	0,75	General	0,5
70°	0,8	12	0,75	Media	0,8	Ocasional	0,7
60°	0,9	15	0,8	Alta	0,9	Rara vez	0,9
50° y menor	1	? 20 m	1	Muy alta	1	Nunca	1

Tanto por 1 de tiempo en que el banco del trabajo presenta la orientación que se analiza

Nº voladuras con esta orientación

Nº de voladuras año

$$D_{ban} = 10 \times (a_b \times b_b \times c_b \times d_b \times e_b) \quad (0 < D_{ban} < 10)$$

Daño potencial: ¿Impactará el bloque que cae a una maquina? ($E_{maq-ban}$)							
Tamaño de un bloque (si cae un solo bloque) (1a)		Volumen total de rocas por caer (si cae un conjunto de bloques) (1b)		% del tiempo que está la máquina bajo el banco (c-banco)		% de ocupación de la maquina frente longitud banco (d-banco)	
< 0.001 m ³	0,9	< 0.1 m ³	1	Días/año	Ancho de la/s máquina/s frente a la longitud del banco en porcentaje:	Cercanía de la maquina al pie del banco (x/H _{banco}) (e-banco)	
0.001 - 0.1 m ³	1	0.1 - 5 m ³	1,5	Relevos/día		Muy cerca (x/H _{banco} < 20%)	10
0.1 - 1 m ³	1,2	5 - 50 m ³	2	Horas/relevo		Cerca (10% < x/H _{banco} < 40%)	5
> 1 m ³	1,5	> 50 m ³	2,5	% total		Media (25% < x/H _{banco} < 80%)	1
						Lejos (50% < x/H _{banco} < 150%)	0,1
						Muy lejos (x/H _{banco} > 150%)	0,01

$$E_{maq-ban} = e-banco \times (c-banco/100) \times (d-banco/100) \times (1a \text{ ó } 1b) \quad (10 > E_{maq-ban} > 0.00025)$$

Daño potencial: ¿Impactará el bloque que cae a una persona? ($E_{pers-ban}$)							
Tamaño de un bloque (si cae un solo bloque) (1a)		Volumen total de rocas por caer (si cae un conjunto de bloques) (1b)		% del tiempo que está los operarios al pie del banco (c-banco)		% ocupación de persona frente a longitud del banco (d-banco)	
< 0.001 m ³	0,9	< 0.1 m ³	1	Días/año	Ancho de la/s persona/s (1 m.) frente a la longitud del banco en porcentaje:	Cercanía de la persona al pie del banco (x/H _{banco}) (e-banco)	
0.001 - 0.1 m ³	1	0.1 - 5 m ³	1,5	Relevos/día		Muy cerca (x/H _{banco} < 20%)	10
0.1 - 1 m ³	1,2	5 - 50 m ³	2	Horas/relevo		Cerca (10% < x/H _{banco} < 40%)	5
> 1 m ³	1,5	> 50 m ³	2,5	% total		Media (25% < x/H _{banco} < 80%)	1
						Lejos (50% < x/H _{banco} < 150%)	0,1
						Muy lejos (x/H _{banco} > 150%)	0,01

$$E_{pers-ban} = e-banco \times (c-banco/100) \times (d-banco/100) \times (1a \text{ ó } 1b) \quad (10 > E_{pers-ban} > 0.00025)$$

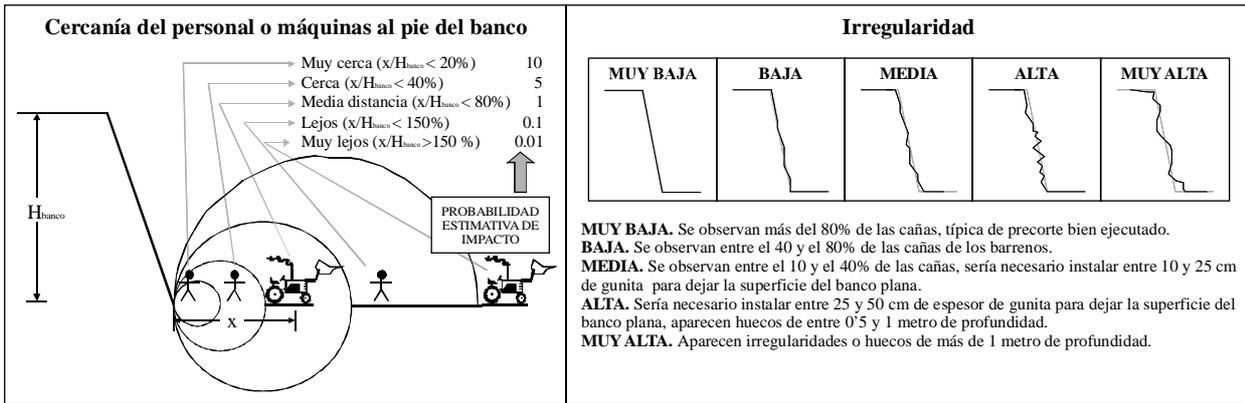
$$E_{ban} = 10 - [(10 - E_{maq-banco}) \cdot (10 - E_{pers-banco}) / 10]$$

Historial de caída de bloques (F)						
No se han registrado	Muy pocas caídas	No hay datos, ni observaciones fiables	Ocasionales	Muchas caídas de bloques sin accidentes	Muchas caídas de bloques con al menos un accidente	Caídas constantes de bloques con más de un accidente
0.75	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5

$ROFRAQ_{banco}^{Básico}(\%) = (A_{ban} \times B \times C \times D_{ban}) / 100 =$	$ROFRAQ_{banco} = (A_{ban} \times B \times C \times D_{ban} \times E_{ban} \times F) =$
$ROFRAQ_{pers}^{banco} = (A_{ban} \times B \times C \times D_{ban} \times E_{pers-ban} \times F) =$	$ROFRAQ_{maq}^{banco} = (A_{ban} \times B \times C \times D_{ban} \times E_{maq-ban} \times F) =$
Probabilidad estimativa de que se produzca un accidente por caída de bloques = $ROFRAQ / 10.000 =$	

Evaluación preliminar del riesgo del talud en función de los resultados del ROFRAQ _{maq} ^{banco}					
MUY BAJO RIESGO	BAJO RIESGO	RIESGO BAJO A MEDIO	RIESGO MEDIO	ALTO RIESGO	RIESGO MUY ELEVADO
No hacer nada	Realizar seguimiento	Puede ser necesario tomar medidas simples de seguridad: Que la excavadora sólo retire material de lejos del frente, parar en épocas de lluvia fuerte.	Es necesario tomar medidas de seguridad, mejoras en saneo y limpieza, control de voladuras, etc.	Requiere rediseño, disminuir la altura de banco, regularizar saneo, etc.	Revisión del plan de labores, rediseñar voladura tipo, etc.
Inf. a 10	10 - 25	26 - 100	101 - 250	251 - 1000	Sup. a 1000
Evaluación preliminar del riesgo del talud en función de los resultados del ROFRAQ _{pers} ^{banco}					
MUY BAJO RIESGO	BAJO RIESGO	RIESGO BAJO A MEDIO	RIESGO MEDIO	ALTO RIESGO	RIESGO MUY ELEVADO
No hacer nada	Realizar seguimiento	Puede ser necesario tomar medidas simples de seguridad: Limitar el paso de personal en épocas de lluvia y tras las voladuras.	Es necesario tomar medidas de seguridad, mejoras en saneo y limpieza, control de voladuras, etc.	Requiere rediseño, disminuir la altura de banco, regularizar saneo, etc.	Revisión del plan de labores, rediseñar voladura tipo, etc.
Inf. a 4	4 - 10	10 - 40	40 - 100	100 - 400	Sup. a 400

Tabla 1.4. Plantilla ROFRAQ (continuación)



Lógicamente, la probabilidad de que un accidente tenga lugar será la probabilidad de que estos cinco fenómenos ocurran sucesivamente y, por lo tanto, se podrá calcular como el producto de las probabilidades de individuales de cada uno de estos factores.

El producto de las valoraciones de cada uno de los cinco fenómenos básicos señalados, multiplicado por un factor corrector asociado al historial de caídas y accidentes en la explotación, dará el valor final del valor empírico denominado ROFRAQ, que representará una estimación de la tendencia a que ocurran accidentes asociados a desprendimientos de rocas en la cantera. A partir de este valor se podrá clasificar el talud atendiendo al nivel de riesgo y a las medidas correctoras que, en su caso, sería conveniente llevar cabo para disminuir el nivel de riesgo y llevarlo a valores razonables.

En el trabajo se obtuvo información de dos canteras (PO-03 y PO-04) localizadas ambas en la comunidad autónoma de Galicia, cada una de las canteras

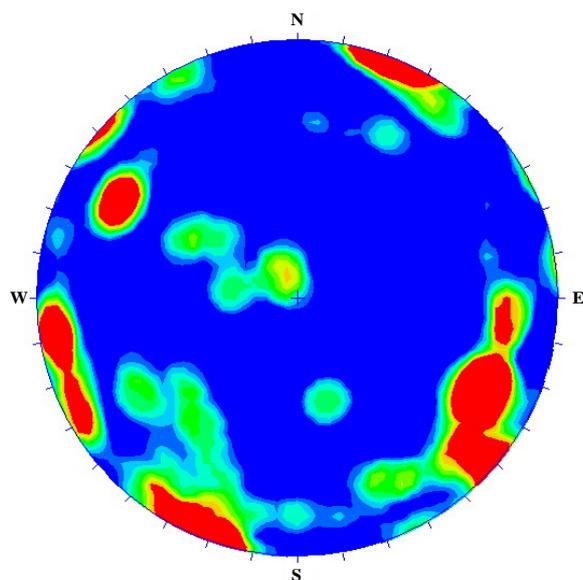


Figura 1.2. Concentración de polos, base para obtener las familias de fracturas (PO-03) (RockFall, 2002).

fue seccionada en taludes de tal forma que cada uno de ellos tuviera su orientación propia procurando estuviera constituido de un macizo rocoso de las mismas características y de ser posible que los taludes coincidieran entre bancos.

RESULTADOS

A partir de la información de cada una de las canteras se dibujaron estereogramas de concentración de polos (Fig. 2) los cuales proporcionaron las familias de fracturas (Tabla 5 y 6) además de las características principales de cada una de las familias como son: continuidad según rumbo y buzamiento, espaciado, rugosidad, resistencia compresiva y meteorización.

Tabla 5. Familias de fracturas obtenidas (PO-03).

Familia	Dip/Dip direction
J1	86/025
J2	83/066
J3	78/298
J4	67/119
J5	11/132

Para ambas canteras el procedimiento fue el mismo por lo que las familias de fracturas también fueron obtenidas.

Tabla 6. Familias de fracturas obtenidas (PO-04).

Familia	Dip/Dip direction
J1	88/323
J2	81/218
J3	32/081
J4	00/46

Cada una de las fracturas tiene sus propias características que se resumen en el cuadro de diagnóstico (Tabla 7 y 8).

Tabla 7. Resumen de características de las familias de fracturas (PO-03).

Fam	Dip	Dip direct.	Cont. Rumbo	Cont. Buz	Espaciado	JRC	JCS	Meteorización
J1	86	25	>20	10-20	>2	6-8	36,7	II
J2	83	66	1-3	3-10	0,6 a 2	4-6	35,3	II
J3	78	298	>20	>20	0,6 a 2	6-8	29,7	II
J4	67	119	>20	>20	0,6 a 2	8-10	34	II
J5	11	132	3-10	3-10	0,6 a 2	8-10	35,1	II

Después de haber analizado toda la información y tener los datos específicos que cada una de la metodología pide podemos seguir adelante y evaluar cada uno de los taludes con cada método.

Tabla 8. Resumen de características de las familias de fracturas (PO-04).

Fam	Dip	Dip direct.	Cont. Rumbo	Cont. Buz	Espaciado	JRC	JCS	Meteorización
J1	88	323	3-10	10-20	0,6 a 2	4-6	107	II
J2	81	218	>20	10-20	0,6 a 2	4-6	102	II
J3	32	081	1-3	1-3	>2	6-8	75	II
J4	00	046	1-3	1-3	0,6 a 2	4-6	84	II

Los resultados de las evaluaciones según la cantera se muestran en las tablas 1.9 y 1.10.

Tabla 9. Puntuación obtenida de cada uno de los bancos evaluados por tres métodos. (PO-03 bancos).

	ROFRAQ	RHRS	RHRON
1A	2,0	68,0	34,0
1B	5,5	108,0	39,5
1C	5,8	110,0	58,0
1D	7,4	99,0	52,8
1E	8,3	150,0	47,5
1F	6,9	135,0	54,3
1G	3,5	93,0	38,3
1H	3,3	111,0	39,8
1I	4,6	99,0	42,0
2A	5,5	74,0	41,7
2B	4,5	77,0	47,2
2C	7,9	132,0	55,9
2D	7,8	91,0	55,6
2E	4,9	135,0	51,9
2F	2,2	62,0	36,1
2G	5,3	144,0	55,2
2H	4,8	91,0	42,0
2I	3,1	130,0	51,9
3A	3,4	69,0	52,2
3B	4,0	93,0	49,1
3C	8,3	140,0	52,5
3D	4,1	99,0	42,6
3E	8,0	135,0	54,0
3F	3,2	99,0	47,8
3G	4,9	99,0	39,8
3H	6,9	144,0	60,2

Tabla 10. Puntuación obtenida de cada uno de los bancos evaluados por tres métodos. (PO-04 bancos).

	ROFRAQ	RHRS	RHRON
1B-1	4,3	171,00	38,0
1B-2	7,5	197,00	45,7
1C	5,4	179,00	44,8
1D	3,3	182,00	41,4
2A	6,5	165,00	38,6
2B-1	5,6	172,00	34,3
2B-2	4,6	-	34,3
2C	4,2	124,00	36,1
2D	5,8	118,00	42,9
2E	6,5	216,00	47,2
2F	2,8	161,00	41,4
3A	1,8	87,00	33,0
3B	1,6	100,0	38,6
3C	1,3	100,0	28,4
3D	8,9	183,00	48,8
3G	3,8	98,00	34,0

Cada uno de los recuadros sombreados de las Tablas 9 y 10 nos muestran los valores mas altos (mayor probabilidad de caídos de rocas), nótese la buena relación entre las metodologías para mostrar taludes de riesgo. Además de evaluar los bancos, es necesario tomar en cuenta aquellos taludes que estén formados por mas de un banco por lo que la evaluación de un talud nos dará información diferente a la puntuación de un banco, de aquí que los resultados de taludes estén dados en la Tabla 11 en este caso solo se obtuvieron datos de PO-04 ya que la distancia entre bancos de la cantera PO-03 era de gran magnitud y no representaba un riesgo como lo son los bancos continuos.

Tabla 11. Puntuación obtenida al evaluar los taludes con las tres metodologías (PO-04 taludes).

ROFRAQ talud	RHRS	RHRON
3,4154	295,00	50,00
5,6579	305,00	51,23
6,5962	363,00	51,23
3,9917	330,00	50,00
3,7560	356,00	51,23
23,8994	330,00	54,32
5,3213	272,00	48,15
5,2577	230,00	48,77

En las Figs. 3, 4 y 5 se muestran los resultados contrastados de la cantera PO-03 de bancos y podemos ver aún mejor la relación que tiene la metodología empírica con la ya existente. Junto a cada una de las graficas aparece R^2 que nos indica la similaridad de los datos entre los métodos contrastados, tal resultado es relativamente aceptable.

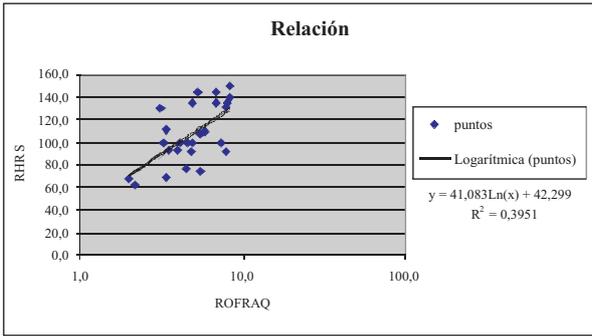


Figura 3. Relación ROFRAQ contra RHRS para la cantera PO-03 bancos.

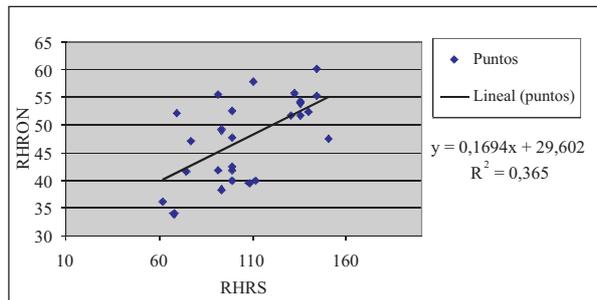


Figura 4. Relación RHRON contra RHRS para la cantera PO-03 bancos.

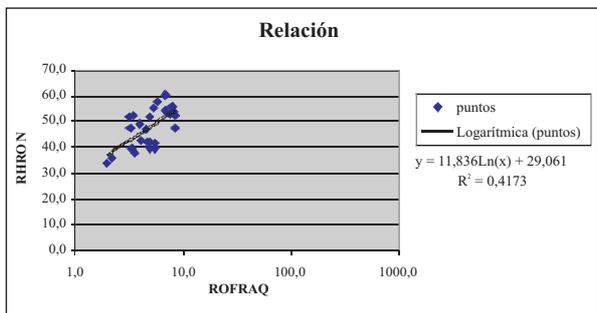


Figura 5. Relación ROFRAQ contra RHRON para la cantera PO-03 bancos.

Estos mismos resultados (para bancos) se obtuvieron para la cantera PO-04 (Figs. 6, 7 y 8) y de igual forma la relación entre la metodología es aceptable.

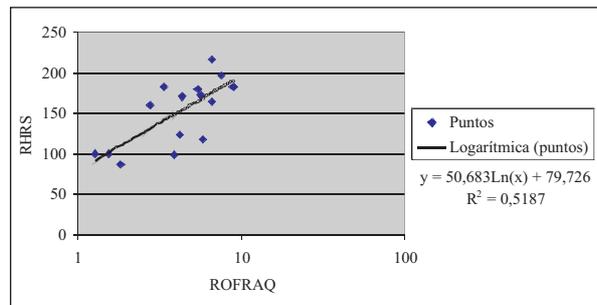


Figura 6. Relación ROFRAQ contra RHRS para la cantera PO-04 bancos.

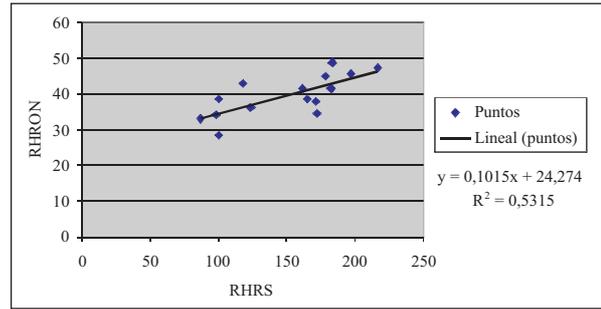


Figura 7. Relación RHRON contra RHRS para la cantera PO-04 bancos.

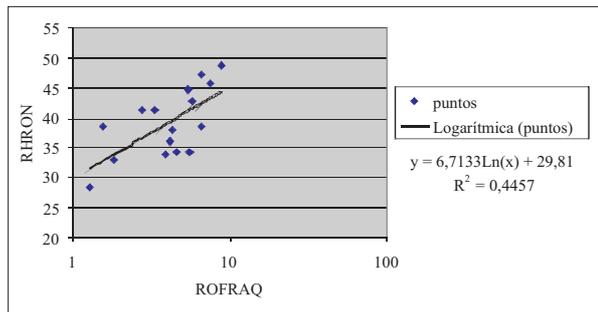


Figura 8. Relación ROFRAQ contra RHRS para la cantera PO-04 bancos.

Estas mismas situaciones las tenemos con los taludes que de igual forma se comparan en las Fig. 9, 10 y 11.

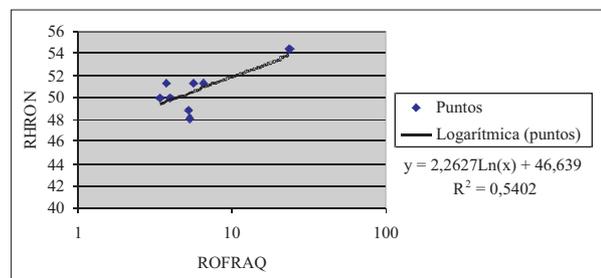


Figura 9. Relación ROFRAQ contra RHRON para la cantera PO-04 taludes.

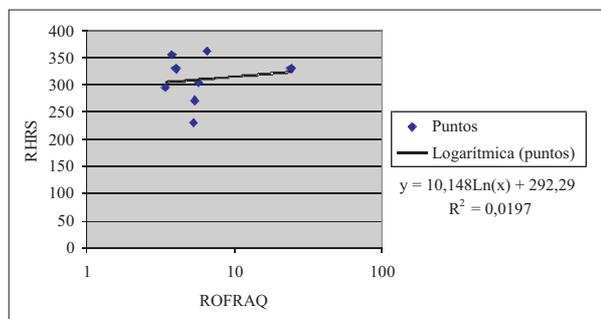


Figura 10. Relación ROFRAQ contra RHRS para la cantera PO-04 taludes.

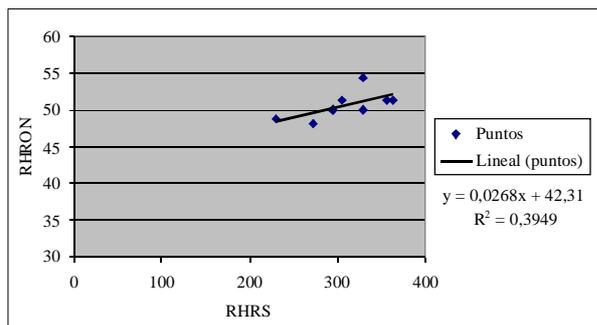


Figura 1.11. Relación RHRON contra RHRS para la cantera PO-04 taludes.

Al observar los rangos en los que los diferentes métodos se manejan podemos observar que estamos en una zona «segura», es decir, los riesgos son mínimos y por la misma razón y al encontrarse esta metodología en desarrollo es necesario obtener información a partir de canteras de más alto riesgo o con caídos de rocas más periódicos.

La probabilidad de que suceda un accidente esta contemplada dentro de la metodología ROFRAQ y se basa en las dimensiones y el tiempo que una(s) persona(s) o máquina(s) permanecen frente al talud (bloque «E» de la metodología ROFRAQ).

CONCLUSIONES

Cantera PO-03

- Esta cantera, por los resultados obtenidos, se considera de muy bajo riesgo tanto para el personal como para la maquinaria.
- El buen uso de bermas amplias baja los riesgos y mejora la seguridad al no contar con bancos que se prolonguen por más de 20 m.
- El Talud obtenido con el método ROFRAQ con el mayor riesgo es el 3E que muestra fallas subverticales con un nivel freático visiblemente alto lo que aumenta la presión hidrostática sobre el talud, de igual forma se detectan algunas rocas en situación de caída en la parte superior central del banco.
- De los resultados de probabilidades de que suceda un accidente en un año tenemos 0,021973 ó 2 accidentes por cada 100 años.

Cantera PO-04

- La cantera PO-04, por los resultados obtenidos, se considera de muy bajo riesgo tanto para el personal como para la maquinaria.
- Al usar el método ROFRAQ taludes el riesgo para la maquinaria aumenta debido a la suma de varios bancos, lo que nos muestra que el efecto escala es de importancia en estos casos.

- La diferencia en los riesgos entre ROFRAQ bancos y taludes se debe a la suma de bancos que eliminan o mantienen una berma de poca anchura incapaz de recibir los caídos generando en ocasiones taludes de hasta 40 metros de altura.
- El talud que presenta más riesgo, dentro de ser bajo, es el talud 3E, donde se observa el mecanismo de inestabilidad por vuelco y se han observado bastantes rocas desprendidas, por lo que el método es capaz de identificar el talud a priori invisible.
- De los resultados de probabilidades de que suceda un accidente en un año tenemos 0,03113 ó 3 accidentes por cada 100 años.
- El buen control y uso de bermas permitiría bajar los riesgos considerablemente.

De la metodología

RHRS

- Esta metodología permite evaluar un talud en forma rápida, práctica y simple, también puede ser utilizada para cualquier condición geológica, geomorfológica, y geográfica.
- El método no impone valores límites, es decir, los rangos de riesgo bajo o alto pueden ser definidos por los usuarios.
- La asignación de los valores, en algunos casos dados por la expresión de $3x$, resulta difícil de extrapolar en algunas situaciones fuera del ámbito de carreteras.
- La asignación de valores exponenciales en base 3, se puede correr el riesgo de evaluar por encima de lo debido un talud al sumar dos o más características con valores extremos, no siendo representativo de la realidad del talud.
- Al ser un método aditivo se les da un peso igual a cada una de las características.

RHRON

- La metodología al tomar en cuenta diversas características de los macizos rocosos mejora la perspectiva y provee de más información a los investigadores (comparado con su predecesor RHRS).
- Al ser un método aditivo se les da un peso a cada una de las características.

ROFRAQ

- El método presentado, todavía en fase de desarrollo, está básicamente enfocado a las explotaciones a cielo abierto de Galicia, aunque a priori nada impide su extrapolación a canteras de rocas duras de climas templados.

- Los datos utilizados para su ajuste se basan en explotaciones de no muchos bancos (hasta 10) en rocas duras de canteras de áridos, materiales de construcción y rocas ornamentales.
- El uso de un «peso» o mayor valor sugiere la importancia de estos puntos en particular frente a los demás.
- Los niveles de correlación obtenidos indican un nivel de analogía razonable, pero no muy alto, entre los distintos métodos. Esto se debe más al bajo nivel de variabilidad de los taludes a que el nivel de correlación no sea muy alto.

Del proyecto principal

- Se está actualmente llevando a cabo una fase de recopilación de datos de campo en más de 100 frentes de 15 canteras, cuyos resultados permitirán terminar de realizar un ajuste fino de la metodología.
- ROFRAQ pretende ser una herramienta útil tanto a las empresas y jefes de mina, como a la Administración y empresas aseguradoras, en el sentido de ofrecer un método de estimación de riesgos asociados a desprendimiento de rocas, para, a partir de ahí, proponer las medidas correctoras necesarias en lo que concierne a aspectos de seguridad y económicos.
- Las características de ROFRAQ, en cuanto a los rangos numéricos y el significado de estos, proporcionan una clave para entender los resultados a todas las personas que lean la documentación sin importar que tengan conocimiento profundo o ligero de la metodología.
- El método si se implementa por parte de una administración aspiraría a evitar algunos de los ac-

cidentes que se producen. Además se tiene la impresión de que un adecuado mantenimiento de taludes contribuye a una mejor gestión de las explotaciones, que podría absorber el coste de la implementación del método; sin contar con el elevado coste de la siniestralidad que la empresa no suele contemplar en sus predicciones, apareciendo no obstante en sus balances.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alejano **Leandro R.** (junio, 2005) *Índice de evaluación del riesgo asociado a caídas de bloques en la cantera de áridos de Couso (Pontearreas)*. Estudio que se enmarca dentro del proyecto: «Índice de evaluación del riesgo asociado a caídas de bloques en canteras de Galicia».
2. Asociación Nacional Española de Fabricantes de Áridos (1999). *Prevención de riesgos laborales. Guía de evaluación en canteras y graveras*.
3. Rey, J. (2000). *Siniestralidad en las explotaciones mineras*. Ponencia presentada en el marco de las I Jornadas de formación en seguridad minera. Universidad de Vigo, Vigo.
4. RockFall (2002). Statistical analysis of Rockfalls. <http://www.rocscience.com/roc/software/RocFall.htm>.
5. Pierson, L.A., Davis, S.A. & Van Vickle (1990). *Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual*. Edit. Federal Highway Administrations, report FHWA-OR-EG-90-01, U.S. Department of Transportation.
6. Senior, S.A. (2002). *Ontario Rockfall Hazard Rating System. Field Procedures Manual*. REPORT DRAFT. Materials Engineering & Research Office. 2003. Ontario, Canada. 36 pp.