

Correlaciones entre tamaño de cuña y pieza caída en taludes rocosos con índices de fisuras (J_v) bajos

Bruno Fernández
Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica
Geotechnical Engineer
Dept. de Ingeniería Civil-Transportes
ETSI Caminos, UPM

Manuel G. Romana
Profesor Titular de Universidad
Associate Professor
Dept. de Ingeniería Civil-Transportes
ETSI Caminos, UPM

RESUMEN

La caída de bloques de desmontes excavados en roca de obras lineales constituye un problema serio en el ámbito de la conservación y mantenimiento de infraestructuras lineales. El conocimiento en detalle de las características del macizo rocoso del talud y la capacidad de prevención o mitigación de los daños derivados de los desprendimientos constituye una herramienta fundamental y necesaria. En este trabajo se ha estudiado 13 taludes en la zona norte de la comunidad de Madrid, con alturas comprendidas entre 4 y 12m y materiales como granitos, calizas o pizarras, y 11 taludes en la provincia de Ciudad Real, excavados en calizas y cuyas alturas van de 4 a 20m. A través del análisis de parámetros como el índice J_v , RQD, volumen de bloque caído y volumen de bloque que falla, se contrastan expresiones propuestas por otros autores, especialmente Palmstrom. Los resultados encontrados son consistentes, pero no responden a las expresiones publicadas. Se explicitan las relaciones encontradas y se apuntan algunas explicaciones acerca de las diferencias, siempre dentro del ámbito del análisis de taludes excavados en roca.

PALABRAS CLAVE: Talud rocoso, cuña, bloque, J_v , RQD

1. INTRODUCCIÓN

En las carreteras, los taludes excavados en roca constituyen una de las unidades a las que se debe prestar una especial atención en el ámbito del mantenimiento y conservación. El peligro más común en este tipo de taludes es la caída de bloques rocosos, cuyas consecuencias pueden ir desde obstrucción de la cuneta por bloques centimétricos, hasta cortes de tráfico por caídas de grandes bloques métricos en la calzada. Incluso, aunque esto ocurre con menor probabilidad, puede haber heridos y muertos al ser alcanzados los vehículos por las rocas desprendidas.

Por tanto, la mayor o menor peligrosidad de la caída de bloques viene determinada por el tamaño de los mismos. Este tamaño depende esencialmente de las características de las discontinuidades del macizo rocoso, en concreto de la orientación, espaciado y continuidad.

De este modo, un buen análisis de las familias de fracturas de la roca permite analizar con facilidad la posible existencia de potenciales roturas en el talud.

Dentro de los parámetros a medir en un macizo rocoso de un talud, destaca el índice de discontinuidades por metro cúbico, conocido como J_v (*Volumetric Joint Count, Palmstrom, 1982*). Este índice indica el número de discontinuidades existentes en 1 m^3 de macizo rocoso. Este dato se determina midiendo las discontinuidades que aparecen en el afloramiento, en tres direcciones perpendiculares de 1m de longitud. En el afloramiento, para facilitar el cálculo, J_v sería el número de discontinuidades por longitud de medida.

Por otro lado, como indican Romana et al. ([20]), en los taludes rocosos pueden considerarse dos tamaños de bloque diferentes: el bloque que falla y el bloque recogido. Por una parte, el bloque que falla puede no ser único, esto es, puede contener en sí mismo algunas juntas, ya que las características de las discontinuidades no son uniformes, aún dentro de una misma familia. En estos casos, en general se producirá el fallo a favor de algunas discontinuidades que tienen una resistencia inferior a la media, y siempre con el mecanismo que cinemáticamente sea posible. Una vez fallado el bloque, si contiene juntas, lo habitual es que los impactos con el paramento del talud sean suficientes para disgregar el bloque en partículas más pequeñas. Éste es el bloque recogido, que es el que cae al pie del talud, y que condiciona la energía cinética que hay que absorber para contener los fragmentos.

Los resultados presentados son parte de los trabajos de investigación desarrollados en el ámbito de la ingeniería de taludes en roca para realización de la Tesina del Máster “Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica” del CEDEX y la UPM, logrando obtener conclusiones acerca de las relaciones entre los parámetros antes citados.

Dicho análisis se ha realizado sobre 13 taludes en la zona norte de la comunidad de Madrid con alturas comprendidas entre 4 y 12m y materiales como granitos, calizas o pizarras (foto 1), así como de de 11 taludes estudiados en Ciudad Real para un proyecto de investigación anterior (COTA, 2008, [20]), excavados en calizas y cuyas alturas van de 4 a 20m.



Foto 1. Panorámica de talud rocoso (Comunidad de Madrid).

2. RELACIONES ENTRE PARÁMETROS

2.1. Relación entre índice J_v y volumen de bloque caído

Palmstrom, en 1995 [16], publicó distintas relaciones entre el tamaño de bloque (V_b) y J_v , bajo las leyes de una misma familia de discontinuidades:

$$V_b = \beta \times J_v^{-3}$$

donde β es el factor de forma del bloque, cuyo valor es 27 para bloques cúbicos, 28 a 32 para bloques tabulares, 33 a 59 para bloques algo planos o algo prismáticos, 60 a 200 para bloques largos o planos y mayor de 200 para muy planos o muy largos.

En esta fórmula publicada por Palmstrom, el factor básico es la inversa del cubo de J_v , J_v^{-3} (o lo que es lo mismo $1/J_v^3$). En la figura 1 se representa la relación para $\beta = 27$ y J_v entre 5 y 20. Se aprecia que la ley es claramente curva, Por lo tanto, el hecho de que se trate de una ley curva indica que la representación gráfica de la línea de tendencia de la ley sea una curva.

El registro del volumen de bloque caído en las cunetas y arcenes de los taludes estudiados (11, en la Comunidad de Madrid), ha permitido relacionar este parámetro con el índice J_v , para de esta manera contrastar la validez de la fórmula de Palmstrom.

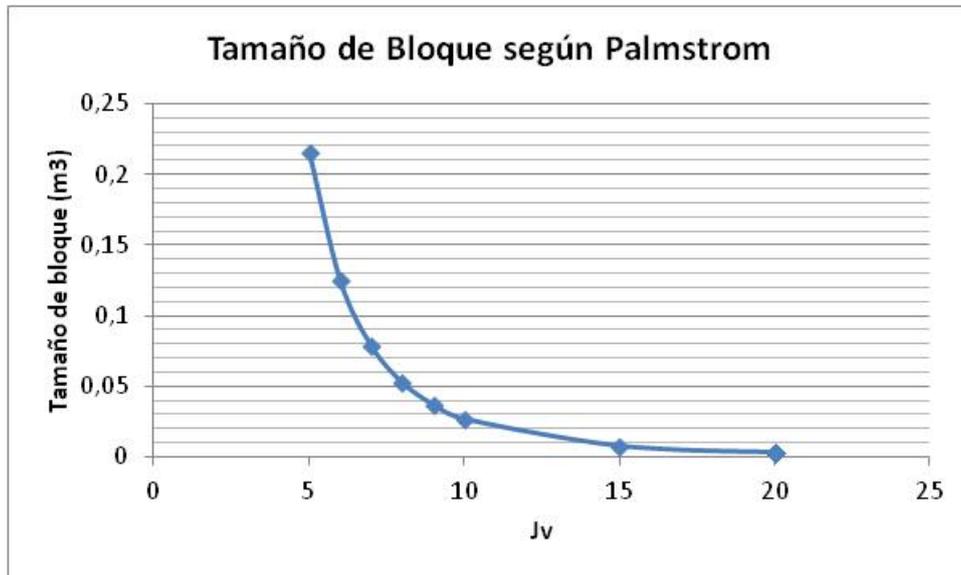


Figura 1. Relación J_v -volumen de bloque propuesta por Palmstrom, 1995.

Esta forma no coincide en absoluto con la encontrada en campo, que se incluye como figura 2. Claramente, en los 11 taludes medidos, la relación que se puede ajustar es lineal, y no la cúbica inversa. La correlación, además tiene un R^2 razonablemente bueno, igual a 0,86.

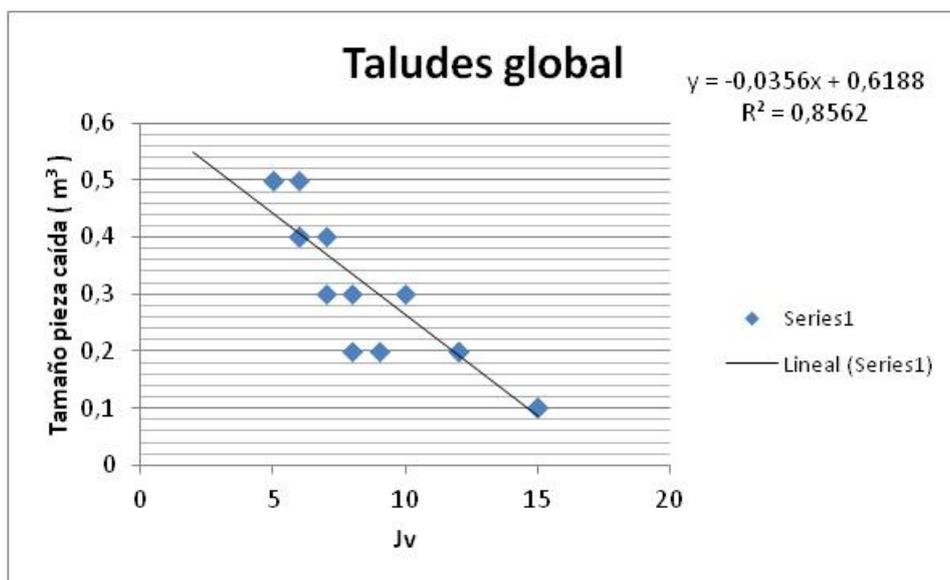


Figura 2. Relación J_v con tamaño pieza caída.

Para comprobar que esta correlación sería lineal también con la inversa de J_v , se ha dibujado la función, obteniendo como resultado de $1/J_v$ con el volumen de pieza caída la siguiente:

$$V_b \text{ (m}^3\text{)} = 2,953 \text{ (1/J}_v\text{)} - 0,0804$$

En este caso, se obtiene también una línea recta con un varianza explicada bastante buena ($R^2 = 0,906$) tendencia mejor que la anterior (figura 3). Por tanto, tampoco se cumple estrictamente la Ley de Palmstrom. De esta manera, los valores del volumen de bloque, para un índice J_v dado, son menores que los indicados por Palmstrom.

Finalmente, se ha comprobado el ajuste del volumen de bloque con la inversa del cubo de J_v (figura 4). En este caso, el R^2 es algo menor, 0,8279 cuando se calcula el término independiente, con un coeficiente obtenido de 52,15 y un término independiente de 0,1476. Con ello se ve un segundo problema de la correlación de Palmstrom, esto es, que el coeficiente β presenta una gran variabilidad (de 27 a 60, para bloques prismáticos), y no es sencillo estimarla a priori.

Aún se presenta un tercer problema: al anular este término independiente, la correlación baja a R^2 insignificantes, de 0,3498 (figura 5), y el coeficiente cambia significativamente, subiendo a 82,15 (que sigue estando dentro de los valores admitidos por Palmstrom). La correlación con $1/J_v$ es mucho más sólida: al anular el término independiente el coeficiente cambia menos (baja de 2,95 a 2,39) y sigue siendo buena ($R^2 = 0,8692$).

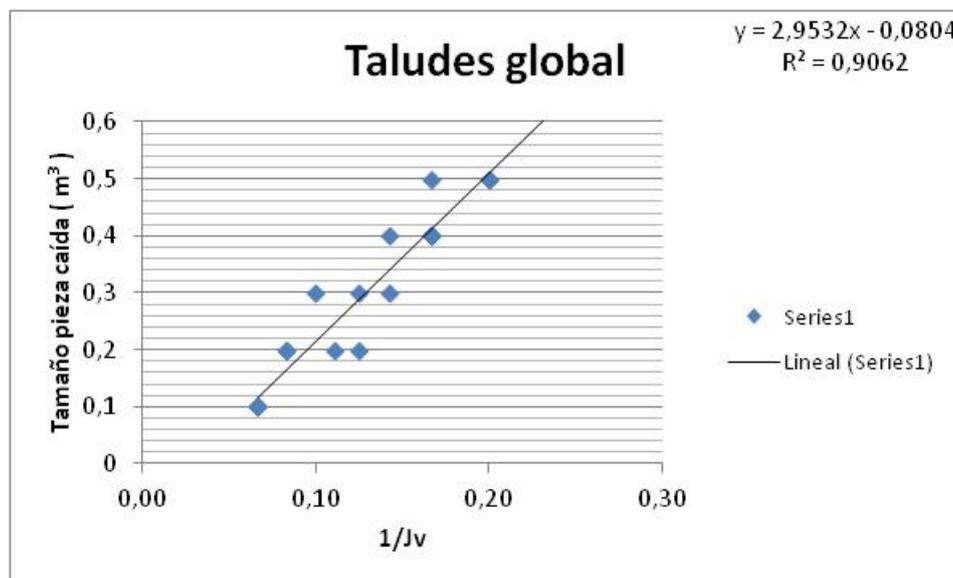


Figura 3. Relación $1/J_v$ con tamaño pieza caída

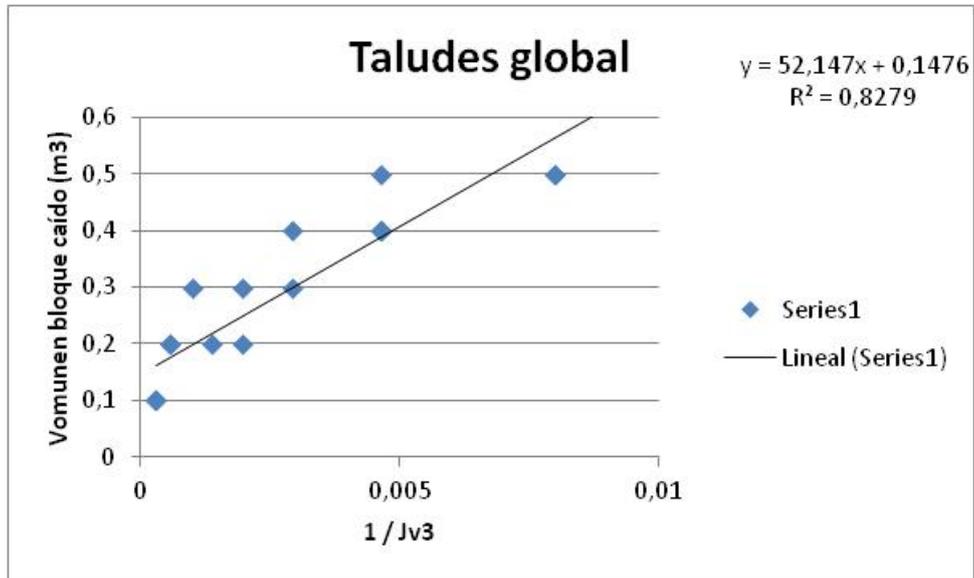


Figura 4. Relación $(1/Jv)^3$ con el tamaño de pieza caída

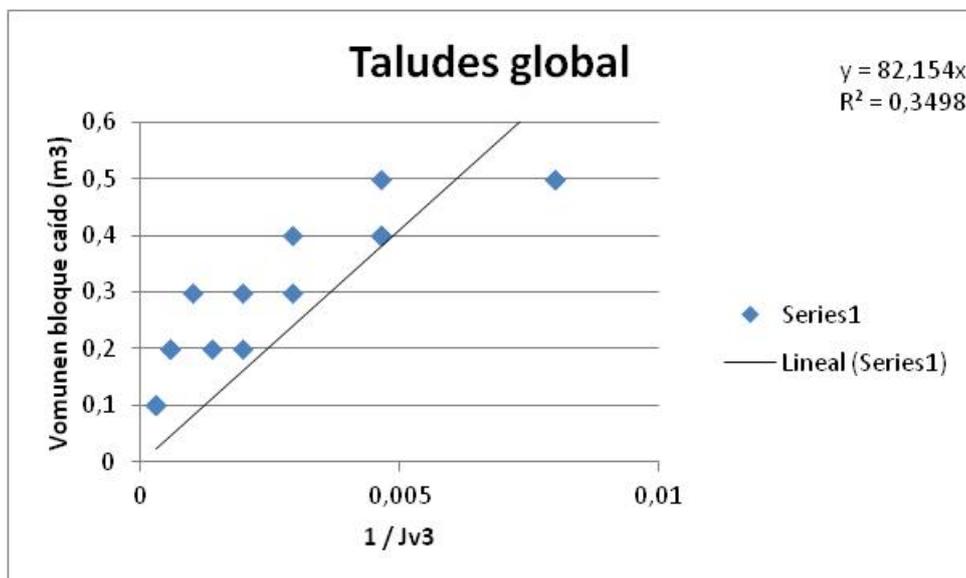


Figura 5. Relación $(1/Jv)^3$ con el tamaño de pieza caída sin término independiente (pasando por el origen de coordenadas)

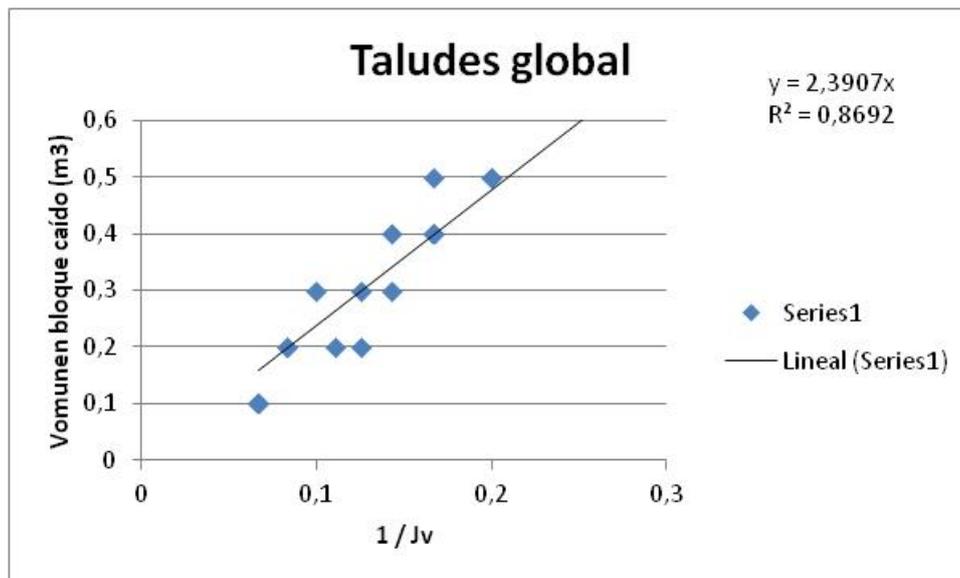


Figura 6. Relación (1/Jv) con el tamaño de pieza caída sin término independiente (pasando por el origen de coordenadas)

¿A qué se deben estas diferencias? Probablemente, al hecho de que la relación de Palmstrom es puramente geométrica, y no tiene en cuenta que ante un posible descalce del bloque en el talud, la roca, al tener una reducida resistencia a tracción, sufre rotura frágil (especialmente en el caso de materiales fracturados), yendo a formas menos oblongas y deformadas de los bloques. Así mismo, muchas rocas sufren una cierta decompresión tras la excavación, por lo que aumenta la probabilidad de rotura. Todo ello provoca una disminución del tamaño de bloque con respecto del teórico, que Palmstrom no tuvo en cuenta.

Por lo tanto, se confirma que Palmstrom intuía con gran acierto que el volumen de bloque caído se relaciona bien con Jv. Sin embargo, para terrenos fracturados (Jv>3), como son los de las zonas estudiadas, es más razonable utilizar una ley que dependa de 1/Jv y no tanto de Jv⁻³. La ecuación obtenida es

$$V_b \text{ (m}^3\text{)} = 2,953 (1 / J_v) - 0,0804$$

Si bien los resultados e consideran representativos, sería aconsejable ajustarlos localmente a otras litologías y zonas diferentes a las estudiadas (granitos y calizas de la Comunidad de Madrid y Ciudad Real).

3. RELACIÓN ENTRE BLOQUE QUE FALLA Y BLOQUE CAÍDO

Como se ha mencionado, en los desmontes es frecuente observar que existen dos tamaños de bloque diferentes (foto 2): el del bloque que falla (volumen que cae en un único fallo en un instante dado) y el del bloque caído (ya disgregado en la cuneta, arcén, etc.). De este modo, el tamaño del bloque que falla será siempre mayor o igual al del bloque unitario caído, dada la disgregación a través de las juntas producida en el bloque durante la caída.



Foto2. Detalle de talud rocoso con bloques que fallan y bloques caídos en la cuneta (Ciudad Real).

El análisis detallado de los taludes ha permitido relacionar el volumen del bloque que falla con el volumen de bloque caído que se ha encontrado en las cunetas y arcenes. Dado que solamente se ha podido tomar datos de los bloques caídos de los taludes de Madrid, se hace la relación para esta zona (figura 7). Por otro lado, los bloques que fallan son, en algunos casos, intuidos, dada la gran dificultad de su observación directa en el momento del fallo.

Como se puede observar, se obtiene un línea de tendencia bastante buena ($R^2= 0,82$), a pesar de que se considera que la relación no es predictiva, es decir, no permite elaborar una norma más que para la zona observada, ya que se apoya en un conjunto reducido de taludes próximos.

$$V_{\text{bloque caído}} (\text{m}^3) = 0,926 \times (V_{\text{bloque fallado}}) - 0,085$$

Por tanto, según lo observado se puede concluir que:

1. Se obtiene una ley válida entre el volumen de bloque caído y el volumen de bloque fallado. Esta relación es, de carácter local (granitos y calizas de zona norte de Madrid), con lo que debe ser validada y ajustada en otras litologías y zonas geográficas.
2. Los fallos son mayores que las piezas caídas, para J_v apreciables. Esto es debido a la ya comentada disgregación de los bloques durante su caída por el paramento del talud. Dado que los bloques pequeños y disgregados del bloque que falla tienen menor energía y el centro de gravedad más alto, la energía que se debe disipar mediante medidas de sostenimiento, debe ser energía cinética de la suma de los bloques caídos, no la del bloque que falla, cuya energía es mayor. Esta ley tiene muy pocos precedentes en la literatura, ya que en general se analiza la cuña más grande compatible cinemáticamente. Así, para los terrenos fracturados, la roca se parte por las juntas, con lo que depende del índice J_v . Mientras, para rocas menos fracturadas ($J_v < 3$), el tamaño de bloque caído depende de la resistencia a la compresión simple al romper y no tanto de J_v .

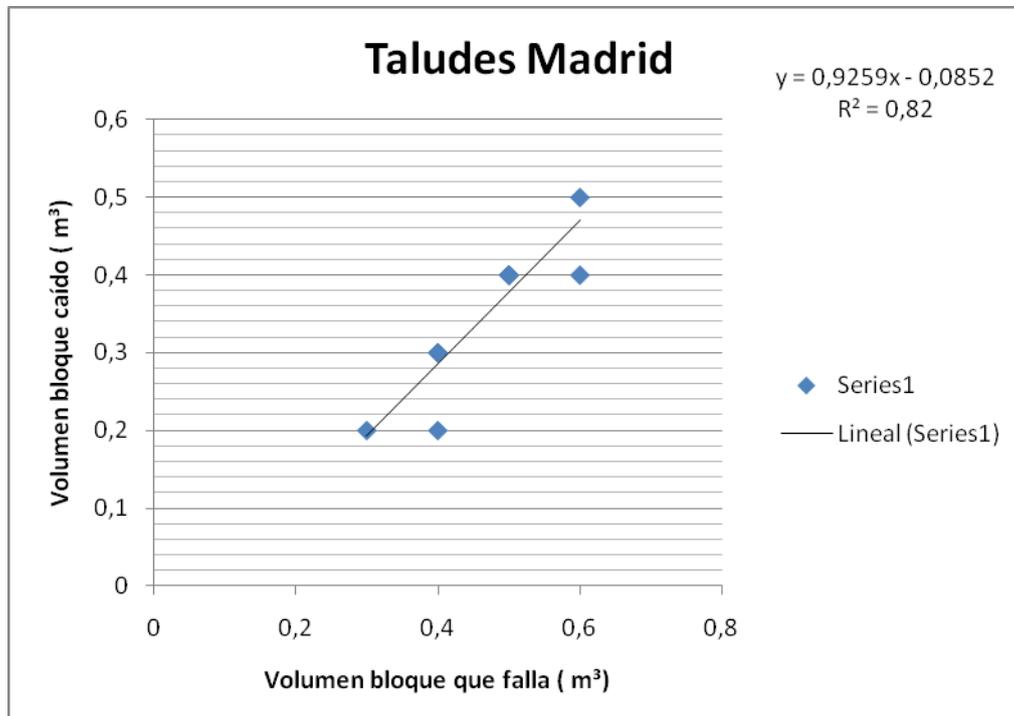


Figura 7. Relación tamaño de fallo

Este último apartado tiene importancia si se aplica al dimensionamiento de zonas de recogida de los bloques, como son los cunetones y las cunetas amplias. Para su dimensionamiento existen dos criterios conocidos. Ritchie, en 1963 [18], partiendo de ensayos en granitos en California, estableció un criterio para el dimensionamiento (tabla 1). Las dimensiones propuestas son apreciables, llegando a los 7 m de anchura. Castañeda en 1976 [21], en la zona de Bilbao, tras un estudio de taludes en calizas, margas, lutitas y areniscas blandas, propuso otro criterio para las dimensiones de los cunetones, notoriamente inferiores a las de Ritchie, y también apoyadas en ensayos reales (tabla 2).

Romana, en sus recomendaciones del índice SMR [24?], y tras experiencias en taludes de autopistas en España y Latinoamérica, establece una frontera en la aplicación de uno u otro criterio en una resistencia a compresión simple de la roca de 25 MPa. Si la roca es más dura, será necesario dimensionar con Ritchie. Si la roca es más blanda, bastará con el criterio de Castañeda. Lo que subyace en esta frontera es la consideración de que una roca blanda se rompe en su caída, y una dura no, con lo que conserva su integridad y la elevada energía cinética que es preciso absorber en el cunetón, ya que Romana no dice nada de tamaños de bloque.

Tabla 1. Dimensionamiento de cunetas (Ritchie, 1963)

ALTURA (m)	PENDIENTE TALUD				
	1H:4V/ 1H:3V	1H:2V	3H:4V	1H:1V	5H:4V
4,5-9	3x0,9	3x0,9	3x1,2	3x0,9	3x0,9
9 a 18	4,5x1,2	4,5x1,2	4,5x1,8	4,5x1,2	3x1,5F
18 a 30	6x1,2	6x1,8F	6x1,8	4,5x1,8F	4,5x1,8F
>30	6x1,2	7,5x1,8	7,5x2,4	4,5x1,8F	4,5x1,8F

F significa que la profundidad del cunetón puede ser 1,2 m con una valla incluida

Tabla 2. Dimensionamiento de cunetas (Castañeda, 1976)

ALTURA (m)	PENDIENTE TALUD		PENDIENTE TALUD
	1H:4V/ 2H:3V	ALTURA(m)	
10 a 25	2,2X1,2	6 a 20	2,2x1,2
25 a 40	3,2X1,6	>20	3,5x1,8
>40	3,7X2,0		

En este sentido, de la observación de los taludes incluidos en este estudio se deduce que los bloques caídos son más reducidos que los fallados, y que esta reducción se produce por un fallo a través de las juntas. Por tanto, si J_v es apreciable, la resistencia a compresión

simple (RCS) no tiene mucha influencia en el fraccionamiento del bloque, ya que la roca se partirá por las juntas, no a través de su matriz. Sin embargo, si J_v es bajo, el bloque, al caer, no se partirá, o se partirá por su matriz rocosa, por lo que en el fenómeno influye más la RCS que la J_v .

La ley obtenida entre tamaño de bloque caído y J_v permite establecer una frontera de decisión más completa entre el dimensionamiento de cunetas de Ritchie o Castañeda, mejorando el criterio publicado por Romana dentro de las recomendaciones de medidas en taludes basadas en el SMR.

Así, debe emplearse el criterio de Castañeda para:

- i. rocas con J_v superior a 7, que se disgregarán por tener discontinuidades con escasa resistencia a tracción, sea cual sea su resistencia
- ii. rocas con cualquier J_v y una resistencia reducida (no hay razón para dudar del criterio de Romana, que establece los 25MPa), cuyas cuñas se romperán al caer sin necesidad de tener planos de debilidad

Con esto el criterio de Ritchie quedaría reducido a:

- i. rocas con RCS superior a 25 MPa y J_v inferior a 7, en las que las cuñas o bloques no se disgregarán

4. RELACIÓN ENTRE RQD Y J_v

La relación entre el índice J_v y el RQD de un macizo rocoso puede ser expresada de diversas formas. Así, diversos autores, como Hudson y Priest en 1979 [10], Sen y Eissa en 1991 [25] y Palmstrom en 1974 [14] propusieron fórmulas para el cálculo del tamaño de bloque (tabla 3).

Tabla 3. Fórmulas que relacionan J_v con RQD (fuente: varias)

AUTORES	EXPRESIÓN	NOTAS
Palmstrom (1974)	$RQD=115-3,3J_v$	
Hudson y Priest (1979)	$RQD=100e^{-0,1\lambda} (1+0,1\lambda)$	λ : frecuencia absoluta de la discontinuidad
Sen y Eissa (1991)	Vincularon gráficamente la ecuación de Hudson y Priest al tamaño V , a la forma del bloque, y a J_v .	

Sobre la base de los trabajos de Sen y Eissa, Palmstrom, en 2005 [17] propone unos límites para la relación entre J_v y RQD (límite superior propuesto por Palmstrom y límite inferior adaptado por Romana et al., en 2009 [20], como se indica en la figura 8). Dado que encontrar un valor de J_v superior a 80 es bastante raro (salvo en pizarras, argilitas o similares), los límites son:

- Límite inferior: $RQD = 115 - 3,3 J_v$
- Límite inferior: $RQD = 106 - 1,33 J_v$
- Valor representativo: $RQD = 110 - 2,08 J_v$ si $RQD \geq 25$
 $RQD = 60 - 0,8 J_v$ si $RQD < 25$

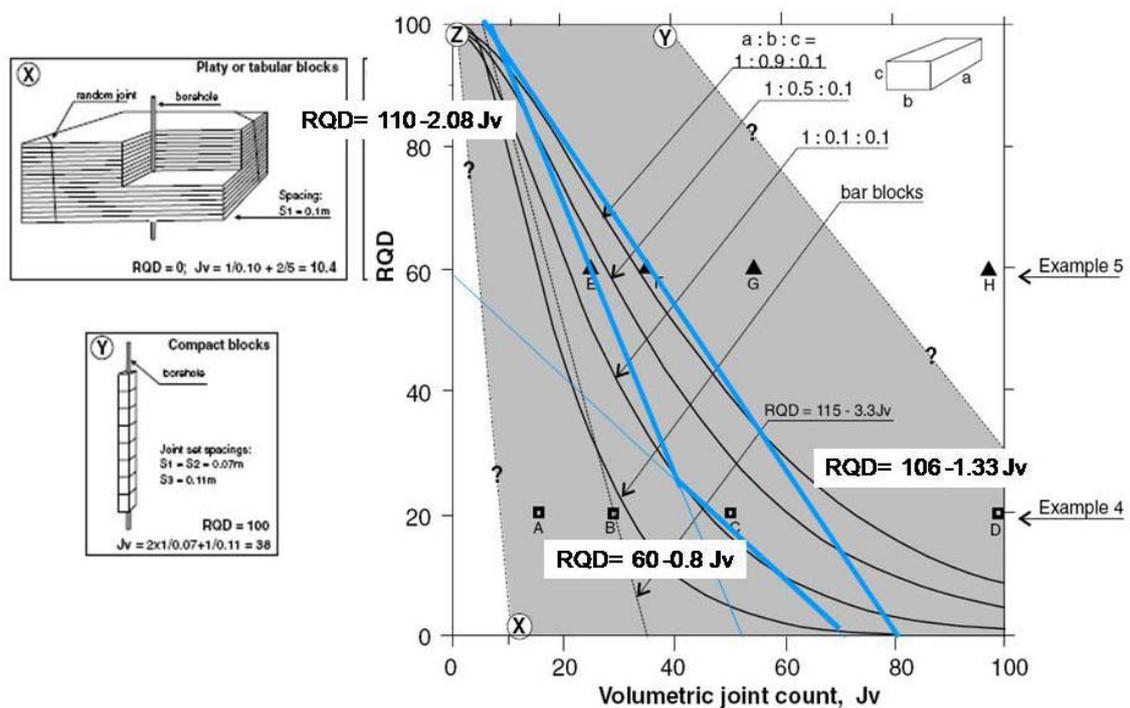


Figura 8 Tamaño de bloque en relación con J_v y RQD. Adaptación de Palmstrom (2005). Fuente: Romana. M.G. 2009

El estudio detallado de las características de los desmontes ha permitido analizar la relación de los RQD vistos en talud con J_v . Así, como se observa en la figura 9, se obtiene una buena relación para los taludes de Madrid ($R^2 = 0,68$, relativamente bajo)

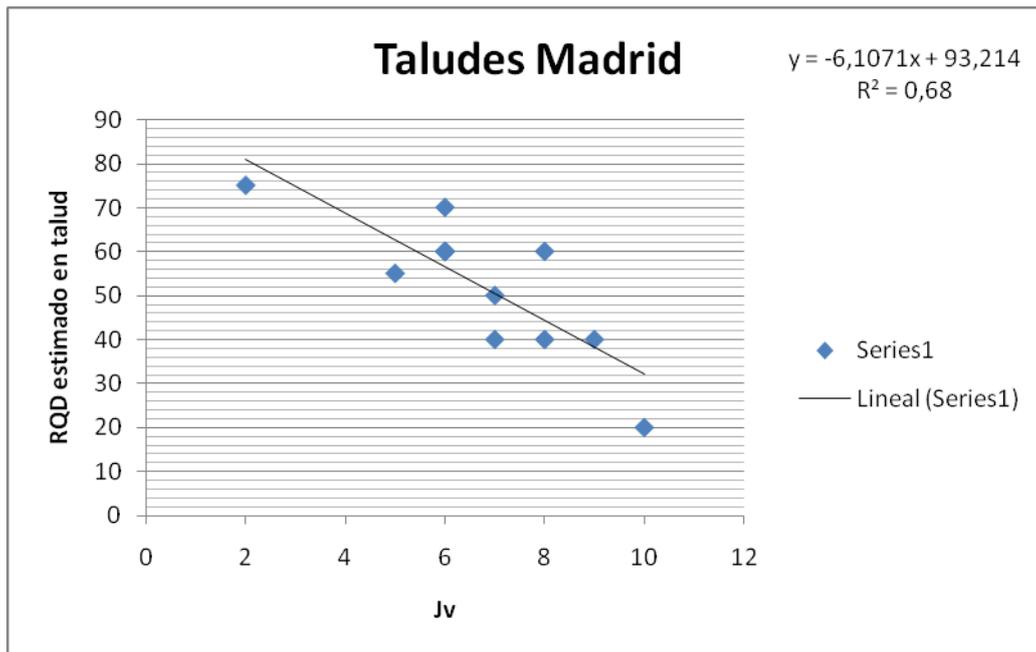


Figura 9. Relación entre Jv y RQD estimado en el talud (Madrid)

En el gráfico de Palmstrom (2005), que relaciona Jv con RQD para distintos tipos de formas del bloque (aguja, laja y forma prismática), se ha comprobado que los valores de los taludes de Madrid (Jv entre 2 y 10, y RQD entre 20 y 75) caen en una zona no clasificada y definida con un interrogante (foto 3 y figura 10). Los datos recogidos en esta figura evidencian que los puntos quedan en el extremo de la región propuesta por Palmstrom

Esto indicaría que en estos materiales estudiados, el planteamiento propuesto por Palmstrom no es válido en este ámbito, siendo preferible la ley obtenida:

$$RQD = 93,2 - 6,1 Jv$$

Si bien, como ya se ha comentado, su correlación es peor que las demás examinadas en este artículo.



Foto 3. Talud con RQD de 40% y J_v medio de 8 (Comunidad de Madrid).

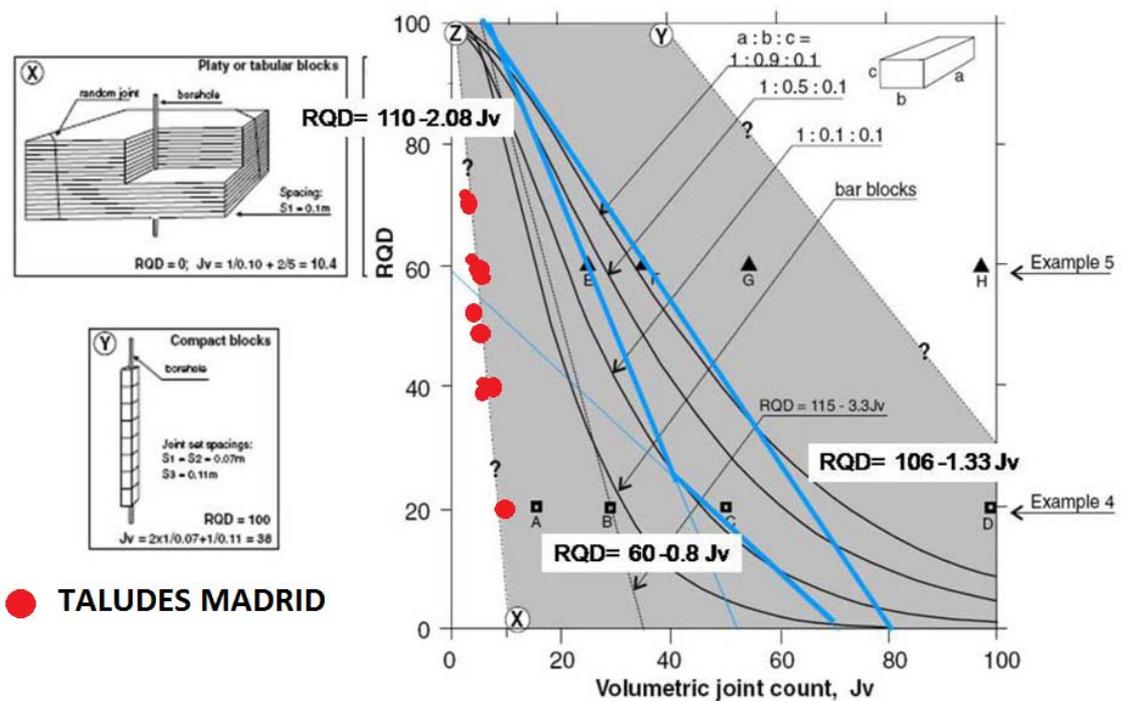


Figura 10. Inclusión de datos de taludes de Madrid en gráfica de Palmstrom (2005) que relacionan J_v con RQD. Los RQD de los taludes son estimados en el talud.

Nuevamente ¿por qué se encuentran estas diferencias? El propio Palmstrom (2005) afirma que *“resultó difícil relacionar el RQD con otras medidas de discontinuidades, ya que el RQD es un parámetro unidimensional y una media basada únicamente en piezas de más de 10 cm. Para los resultados presentados se han empleados simulaciones de bloques del mismo tamaño y forma atravesados por un supuesto sondeo”*. En resumen, nuevamente Palmstrom tiene en cuenta únicamente una geometría teórica. La expresión más conocida de Palmstrom ($RQD = 115 - 3.3 J_v$) está incluida en la descripción del sistema Q de Barton (1974).

Es sospechoso el hecho de que los resultados obtenidos en este estudio estén alineados, y fuera del rango de Palmstrom. Los resultados, que son característicos de las zonas de Madrid, demuestran que la ley de Palmstrom no es universal. Lo que sugiere es el hecho de que la expresión de Palmstrom es más indicada para J_v elevados (por encima de 15, al menos) y no debiera utilizarse más que con fines indicativos en rangos inferiores. Para valores de J_v bajos es preciso medir el RQD en algún sondeo, más que partir de las expresiones de Palmstrom.

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se han caracterizado relaciones entre los parámetros de cuantificación de juntas, especialmente el J_v , y factores como el tamaño de bloque caído, observable en la cuneta, y, cuando ha sido posible, entre el bloque que falla y el bloque caído. Se han estudiado un total de 13 taludes en la zona norte de la comunidad de Madrid, con alturas comprendidas entre 4 y 12m y materiales como granitos, calizas o pizarras, así como de 11 taludes estudiados en Ciudad Real para un proyecto de investigación anterior (COTA, 2008), excavados en calizas y cuyas alturas van de 4 a 20m.

Se han propuesto leyes para la relación entre J_v y el tamaño de bloque que mejoran las predicciones hechas por Palmstrom, proponiéndose que se basen en el inverso de J_v en lugar de su cubo. La correlación es de una buena calidad, con buena distribución para J_v entre 5 y 10.

Finalmente, se ha evaluado la relación propuesta por Palmstrom entre el RQD y el J_v , concluyendo que su aplicación para J_v bajos no es fiable, salvo como valores orientativos.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio de Geotecnia del CEDEX y a la Universidad Politécnica de Madrid la oportunidad de desarrollar y publicar estos trabajos, que junto con otros han constituido una tesina del Máster “Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica”.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A.M. (1988): "Estimating weak rock strength". AIME Annual General Meeting. Arizona.
- [2] AYALA F.J. et al. (1987): "Manual de Taludes". Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- [3] BARTON et al. (1977): "The shear strength on rock joints in Theory and Practice". Rock Mechanics, 10.
- [4] CASTAÑEDA R. et al. (1988): "Estudio geológico y geotécnico de la autopista 420 (Coll de la Teixeta- Coll Negre) in Tarragona. No publicado. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona (1988).
- [5] CHIKEN J. C. et al (1998): "The philosophy of risk". Ed. Thomas Telford Publishing, London.
- [6] FOOKES P.G. et al. (1988): "Rock weathering in engineering time". Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v.21.
- [7] GONZÁLEZ DE VALLEJO, L; FERRER, M.; ORTUÑO, L. Y OTEO, C. (2003): "Ingeniería Geológica". Pearson Education. Madrid.
- [8] GOODMAN, R.E. (1989): "Introduction to rock mechanics", 2^a ed. Wiley, New York.
- [9] HALL B.E. (1985): "Preliminary estimation of slope angles". Symp. On Rock Mass Characteristics. Pp 12-121, South African National Group on Rock Mechanics Johannesburg.
- [10] HUDSON, J.A. y PRIEST, S.D. (1979): "Discontinuities and rock Mass Geometry". Int. Journal of Rock Mechanics, Mining science and Geomechanics, 13.
- [11] ISRM (1981): "Rock characterization. Testing and monitoring. ISRM suggested methods. Brown, E.T. Ed. Commission on testing and monitoring . International Society for rock mechanics. Pergamon Press
- [12] LEE, Y. H., KIM, J. R., KIM, D. H. Y KANG, H. B (2007) A New Approach for Estimating Rock Slope Stability Using Logistic Regression Analysis. TRB anual Meeting 2007, Washington, EE.UU.
- [13] ORR C.M (1996) "Use of Rock Mass Rating (RMR) system in assessing the stability of rock slopes". En "Milestone in Rock Mechanics". Balkema
- [14] PALMSTROM A., 1974. Characterization of jointing density and the quality of rock masses (in Norwegian). Internal report, A.B. Berdal, Norway, 26 p.
- [15] PALMSTROM, A., (1982). The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. Proc. 4th Conf. Int. Assoc. Eng. Geol., vol 5, New Delhi, pp. 221-228.

- [16] PALMSTROM A., (1995). RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, University of Oslo, Department of Geology. 405 p.
- [17] PALMSTROM, A. (2005): “Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)”. Published in Tunnels and Underground Space Technology.
- [18] RITCHIE A.M (1963): “The evaluation of rockfall and its control”. Highway Research Record. No. 17.
- [19] ROMANA M. G. (2010): “Una propuesta de sistema de toma de decisiones asociadas a operaciones de conservación de taludes en suelos y roca”. Ingeoter 13, cap.6, 2010.
- [20] ROMANA M. G. et al. (2009): “Comportamiento de Taludes en roca como amenaza para la seguridad en infraestructuras del transporte. (COTA), publicado en “VII Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables, 2009 (Barcelona).
- [21] ROMANA M. (1985): “New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes”. Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas.
- [22] ROMANA M. (1993): “A geomechanics classification for slopes; Slope Mass Rating” (En “Comprehensive Rock Engineering” Ed. J. Hudson) Pergamon . Vol 3 .
- [23] ROMANA M. (2007): “Clases de inestabilidades en taludes y laderas en roca “. Máster en Mecánica de Suelo e Ingeniería Geotécnica CEDEX, 2011.
- [24] ROMANA, M. (1995): “The geomechanics classification SMR for slope correction” Proc. (Int. ISRM Congress (Fujiii ed.).
- [25] SEN, Z. y EISSA, E.A. (1991):“Volumetric Rock Quality Designation”.Journal of Geotechnical Engineering, no. 117, vol. 9.
- [26] SOUTO J. et al. (2009):” Algunas Consideraciones sobre la Estabilidad de Taludes en Roca: Índices Correctores del Sistema SMR Aplicables a la Cuenca Vasco- Cantábrica y Valoración de la Influencia de Elementos Geológicos Singulares en la Estabilidad de Taludes”. Publicado en Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables”, 2009.
- [27] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. (1988): “Highway Slope Maintenance and Slide Restoration Workshop”. Federal Highway Administration.
- [28] VARNES, D. J. (1978): “Slope movements: types and processes, in: Landslide analysis and control”. Transportation Research Board, Special Report 176, Washington, D.C.
- [29] WHITESIDE P.G.D (1986). :”Rockfall and its control”. Disc to Session 7. In Symposium on Rock Engineering and Excavation in an Urban Environment. I.M.M, Hong Kong (1986).