

Ensayo de Modelización Numérica Mediante UDEC del Proceso de Lajado de Pizarras de Techar

/ FERNANDO GÓMEZ-FERNÁNDEZ (1*), RAFAEL JUÁREZ (1), ALEJANDRO GANCEDO (2), ANA M. CASTAÑÓN (1)

(1) Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas. Universidad de León. C/ Jesús Rubio 2. 24004, León (España).

(2) ITASCA Consulting Group, Inc. Polígono empresarial ASIPO 1. Llanera. 33428, Asturias (España).

INTRODUCCIÓN

La influencia de la microtextura en el proceso de lajado y en el "espesor comercial mínimo" (ECM) de las placas de pizarra de techar se ha puesto cualitativamente de manifiesto en trabajos previos (Gómez-Fernández et al., 2009). El ECM es el espesor mínimo y constante al que se pueden obtener placas de forma sistemática y rentable a partir de un determinado macizo rocoso. Las pizarras de ECM bajo, que permiten la realización de placas delgadas, son pizarras de grano fino con microtextura lepidoblástica (Fig. 1).

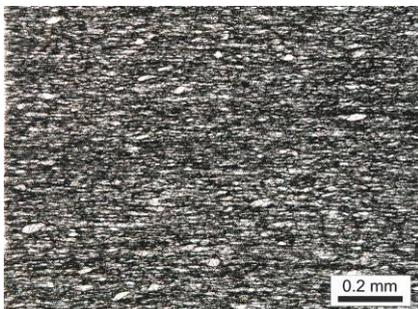


fig 1. Microfotografía de una pizarra con textura lepidoblástica. Microscopía óptica, Luz natural.

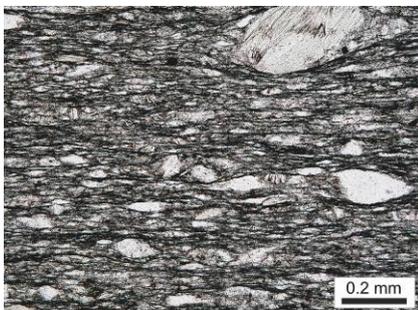


fig 2. Microfotografía de una pizarra con textura pórfido-lepidoblástica. Microscopía óptica, Luz natural.

Sin embargo, las pizarras de microtextura pórfido-lepidoblástica (Fig. 2), con elementos porfídicos de gran tamaño, no permiten la obtención de placas finas y se comercializan en

placas de mayor grosor.

El rendimiento económico de una explotación pizarrera está inversamente relacionado con el ECM, por lo que en algunos casos, la determinación del ECM sobre testigo de sondeo permitirá evitar la apertura de bancos fallidos y la consiguiente producción de estériles, en un sector en el que estos (97% del material movido en cantera) generan un altísimo impacto ambiental.

Partiendo de la base de que los modelos numéricos son adecuados para comprobar hipótesis y entender comportamientos, este trabajo es un primer acercamiento a la modelización del proceso de lajado de las pizarras ornamentales. Los objetivos últimos de esta línea de investigación son: (1) la cualificación y cuantificación de las variables microtexturales que determinan el ECM; (2) la cuantificación predictiva del ECM a partir del análisis microtextural en testigo de sondeo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Software

El análisis numérico mediante códigos de Elementos Finitos o Diferencias Finitas es común en mecánica de rocas, cuando estas se consideran sólidos continuos. Sin embargo, en rocas resistentes con discontinuidades puede ser más adecuado el uso de códigos que consideran el medio discontinuo por implementación de un sistema de bloques de geometría definida por el espaciamiento y la orientación de las juntas (Distinct Element Method). En la modelización que nos ocupa se ha utilizado el programa UDEC (Universal Distinct Element Code, Versión 4.01) puesto a punto por ITASCA Consulting Group Inc., que simula la respuesta en 2D de un medio discontinuo sometido tanto a cargas estáticas como

dinámicas (Cundall, 1980; Israelsson, 1996) y que permite la modelización de grandes desplazamientos entre bloques e incluso colapsos. Para los casos en que la deformación de los bloques no puede ser ignorada, UDEC incluye un modelo que utiliza una discretización interna de los bloques en zonas que se analizan de forma análoga a como lo haría un código de Elementos Finitos. La deformabilidad de las discontinuidades entre bloques y las características friccionadas de las mismas son representadas mediante ecuaciones de muelles que permiten evaluar las fuerzas tangenciales y normales entre bloques.

Generación del Mallado

Se ha partido de imágenes de electrones retrodispersados (SEM; Fig. 3), tomadas en variedades de pizarra de techar con las microtexturas citadas.

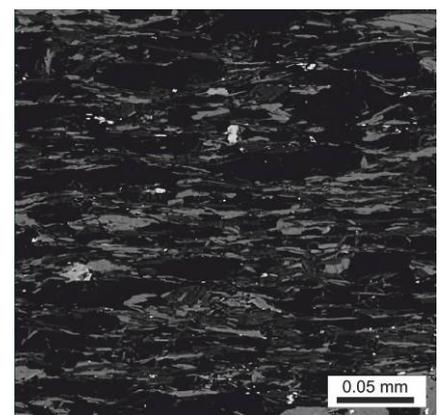


fig 3. Imagen de electrones retrodispersados (SEM) de una pizarra con textura pórfido-lepidoblástica.

La modelización de la microtextura de las pizarras comerciales se ha realizado en función de sus dos elementos principales (Gómez-Fernández et al., 2009): matriz y elementos porfiroideos.

La matriz de la roca se ha simulado con un modelo dividido en bloques limitados

palabras clave: Modelización numérica, UDEC, Fisibilidad, Pizarras de Techar.

key words: Numerical Modelling, UDEC, Fissility, Roofing Slates.

por líneas subhorizontales que simbolizan la esquistosidad y por líneas subperpendiculares que unen las anteriores (Fig. 4).

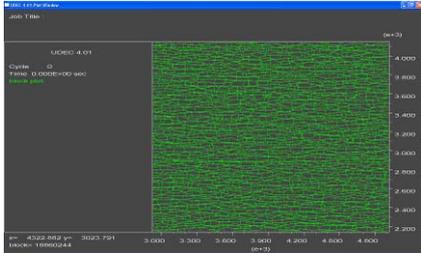


Fig. 4. UDEC. Mallado que modeliza la matriz de la roca.

Por lo que respecta a los elementos porfiroides se partió de observaciones y medidas realizadas mediante microscopía óptica en muestras de pizarra (Tabla 1), asumiéndose para ellos una forma elíptica, con una distribución triangular de su semieje mayor y de su excentricidad. Sin embargo, el modelo adoptado en la práctica introduce algunas limitaciones a las observaciones microscópicas, con objeto de mantener la operatividad del sistema informático. Todo el procedimiento se realiza a partir de un generador gaussiano de números aleatorios al que se le introducen la longitud media y la anchura media de los elementos porfiroides, la excentricidad, así como las respectivas desviaciones estándar y la función inversa de la distribución triangular asumida. La posición de cada uno de los elementos porfiroides se obtuvo a partir de un generador uniforme de números aleatorios.

Elementos porfiroides	Media	σ
Semieje mayor (μm)	70	(40)
Semieje menor (μm)	20	(15)
Excentricidad	0,85	
Número/ mm^2	36	(26)

Tabla 1. Geometría y distribución de los elementos porfiroides. σ = desviación estándar.

Modelo Constitutivo y Propiedades

En la selección del modelo de comportamiento se han asumido dos hipótesis: (1) que la fractura que se genera es de carácter intergranular y que la rigidez de los elementos porfiroides es al menos un orden de magnitud superior a la de la matriz que

los une (lo que conduce a considerar los elementos porfiroides como bloques rígidos); (2) que las juntas tienen un comportamiento elasto-plástico frágil, ya que una vez superado un cierto estado tensional y acumulada una determinada deformación cortante plástica, sus propiedades resistentes decaen hasta un valor residual que permanece constante.

Condiciones Iniciales y de Contorno

Las propiedades iniciales utilizadas, que definen la relación tensión-deformación, se encuentran reflejadas en la Tabla 2, asumiéndose que la magnitud de las propiedades resistentes es isotrópica en las distintas juntas que limitan los bloques.

El procedimiento de lajado de las pizarras consiste en esencia en golpear con un punzón un bloque de material apoyado en su base de forma que la orientación del punzón sea paralela a la esquistosidad. Para simular este efecto, se construye un soporte fijo sobre el que se apoya el bloque, que no tiene restricción alguna. Entre dicho bloque y el apoyo se introduce una interfase con una fricción de 5° . En lo que se refiere al punzón, se construye un bloque rígido que penetra en la muestra a una velocidad constante de $1e^{-5}$ m/s en un proceso que podemos denominar cuasi-estático.

RESULTADOS

Los resultados se presentan en términos cualitativos, observando como evoluciona la densidad de juntas que pasan a resistencia residual, pues se asume que será por dichas juntas por las que progresa la fractura.

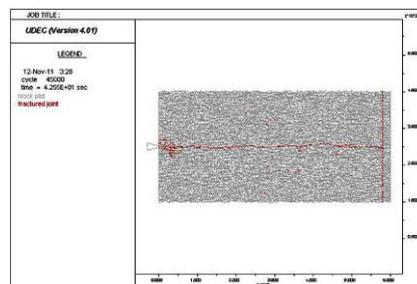


Fig. 5. UDEC. Modelización de la fracturación (en rojo) de un bloque que reproduce la textura lepidoblástica.

Para obtener una visión dinámica del

Elásticas		Plásticas		Residuales	
Rigidez normal (Pa)	$1e^{10}$	Fricción ($^\circ$)	20	Fricción ($^\circ$)	5
Rigidez cortante (Pa)	$1e^{10}$	Cohesión (Pa)	$1e^5$	Cohesión (Pa)	0
		Tensión (Pa)	$1e^4$	Tensión (Pa)	0
		Dilatancia ($^\circ$)	0		

Tabla 2. Propiedades de las juntas.

proceso de rotura las sucesivas salidas gráficas del programa se suceden en una presentación. En el modelo que imita la textura lepidoblástica se genera una fractura neta que progresa linealmente a partir del punto de impacto del punzón (Fig. 5), siguiendo una única trayectoria. Sin embargo, en el modelo pórfido-lepidoblástico la fracturación avanza siguiendo trayectorias curvadas de límites difusos (Fig. 6).

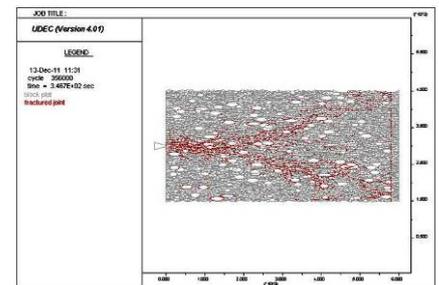


Fig. 6. UDEC. Modelización de la fracturación (en rojo) de un bloque que reproduce la textura pórfido-lepidoblástica.

CONCLUSIONES

Los resultados de la modelización realizada son conformes con la hipótesis de partida, según la cual la presencia de elementos porfiroides es un factor negativo que condiciona la fisibilidad de las pizarras comerciales. Este trabajo supone el primer paso en la elaboración de un modelo que permita llegar a cuantificar el ECM de un macizo rocoso a partir de la geometría y distribución de sus elementos microtexturales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto LE289A11-2 de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León. La investigación ha sido desarrollada fundamentalmente en las dependencias de ITASCA Consulting Group Inc. en Llanera (Asturias) y en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC, Madrid), durante una estancia de investigación.

REFERENCIAS

- Cundall, P.A. (1980): UDEC — a generalized distinct element program for modelling jointed rock. Peter Cundall Associates, Report PCAR - 1 - 80, U.S. Army, European Research Office, Rotterdam.
- Gómez-Fernández, F., Castaño, M.A., Bauluz, B., y Ward, C.R. (2009): Optical microscope and SEM evaluation of roofing slate fissility and durability. Mater. Construc. 59 (296), 91-104. DOI: 10.3989/mc.2009.44007.
- Israelsson, J. I. (1996): Short Descriptions of UDEC and 3DEC. Developments in Geotech. Engin, 79, 523 - 528.