



Petrografía y mineralogía de las pizarras para cubiertas de la Península Ibérica en relación con su calidad

V. CÁRDENES^{1*}, A. RUBIO ORDÓÑEZ¹, A. LÓPEZ MUNGUIRA² Y C. MONTERROSO³

¹Área de Petrología y Geoquímica, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, c/Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España.

²Área de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura 06071, Badajoz, España.

³Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, España.

*e-mail: cardenes@geol.uniovi.es

Resumen: España es el principal exportador mundial de pizarras, debido tanto a la calidad excepcional de sus yacimientos como a los avances tecnológicos que se han ido incorporando en los últimos años en el proceso productivo. La calidad comercial de una pizarra viene determinada por los ensayos de la norma UNE EN 12326 de pizarra para cubiertas que contempla, entre otros, el ensayo de análisis petrográfico y la determinación mineralógica mediante rayos X. En este artículo se caracterizan pizarras de cada distrito minero de la Península Ibérica mediante estas dos técnicas, junto con la determinación del Índice de Kubler, hallándose una serie de parámetros mineralógicos y petrográficos que determinan su calidad comercial.

Palabras clave: pizarra para cubiertas, UNE EN 12326 análisis petrográfico, difracción rayos X, Índice de Kubler.

Abstract: Spain is the world's leader exporter of roofing slate, due to the exceptional quality of its deposits and the technological advances in quarrying that have been incorporating on late years to the productive process. The commercial quality of a roofing slate is determined after the essays of standard UNE EN 12326. Two of these essays are petrological analysis and X-ray diffraction, which characterize the mineralogy and structure of the slate. These techniques, along with the determination of Kubler Index, may determine the commercial quality of roofing slates. In this paper we establish a set of petrographical and mineralogical parameters which may be used to determine the commercial quality.

Keywords: roofing slate, UNE EN 12326, petrographical analysis, X-ray diffraction, Kubler Index.

España es, en la actualidad, el principal productor mundial de pizarra para cubiertas. Las mejoras en los procesos de extracción y elaboración que se han venido incorporando al sector en los últimos años han incrementado de manera considerable el rendimiento de los yacimientos menos productivos, al tiempo que la investigación en nuevos usos de la pizarra está abriendo nuevos e interesantes mercados. Sin embargo, el desarrollo de nuevos países productores, como

China, India y Brasil, amenaza la hegemonía española en el mercado mundial de pizarras para cubiertas.

En la Península Ibérica, los yacimientos de pizarra se encuentran en el noroeste y en Extremadura, en el dominio del Macizo Varisco (García-Guinea *et al.*, 1997), siendo los afloramientos más importantes los de Galicia (Ourense) y León. Desde un punto de vista estratigráfico la Formación Luarca constituye el prin-

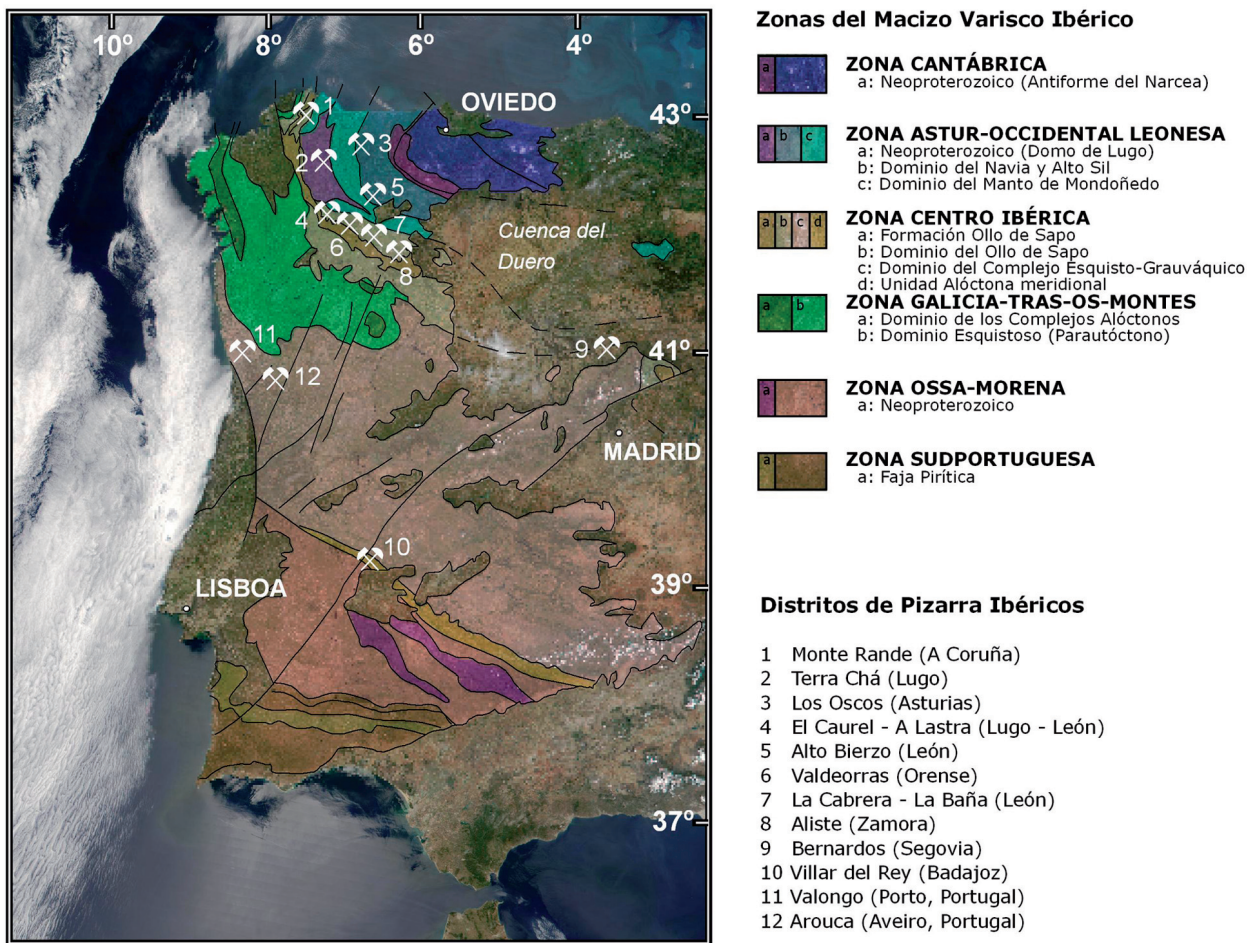


Figura 1. Localización de los distritos pizarros en la Península Ibérica. En Cárdenes *et al.* (2008).

cial litotecto en toda la Península (Lombardero *et al.*, 2002), seguido por la Formación Rozadais (Barros, 1989). En conjunto, se pueden diferenciar claramente diez zonas extractivas de pizarra españolas, más dos en Portugal (Cárdenes *et al.*, 2008).

El término comercial de una roca no siempre coincide con la denominación científica. Bajo el término comercial de *pizarra* se agrupan todo tipo de rocas capaces de exfoliar en planchas más o menos uniformes, como por ejemplo lutitas, areniscas de grano fino, pizarras *s.s.*, micaesquistos y cuarcitas. Sin embargo, el término comercial *pizarra para cubiertas* corresponde a una facies metamórfica concreta, con unas características petrológicas, mineralógicas y texturales comunes en gran parte de los yacimientos de la Península Ibérica. Esta coincidencia casi exacta entre la definición científica y el término comercial es debida a que los requisitos comerciales que ha de cumplir una pizarra para cubiertas son muy estrictos, y sólo coinciden con un tipo especial de rocas metamórficas de bajo grado. Según la norma UNE EN 12326 de

pizarra para cubiertas, una pizarra para cubiertas es una “*pedra que es fácilmente exfoliable en láminas delgadas a lo largo de un plano de exfoliación, resultante de un flujo de esquistosidad originado por un metamorfismo de muy bajo o bajo grado debido a una compresión tectónica. Se distingue de una pizarra (roca) sedimentaria, que invariablemente se exfolia a lo largo de un plano de sedimentación o estratificación. La pizarra se origina a partir de rocas sedimentarias arcillosas y pertenece petrográficamente a un intervalo que empieza en el límite entre las formaciones metamórficas y sedimentarias y termina en las formaciones filíticas epizonal-metamórficas*”. Esta definición incide en dos aspectos fundamentales, la existencia de una esquistosidad o pizarrosidad penetrativa y un rango metamórfico comprendido entre la anquizona y la epizona, que se correspondería a las facies de los esquistos verdes. No hace ninguna referencia a la composición, si bien ésta es muy homogénea en prácticamente todas las pizarras. La asignación de la calidad comercial de una pizarra para cubiertas se hace hoy en día mediante los requerimientos del mercado y los ensayos de la norma

	Edad	Columna tipo y unidad geológica	Distrito de pizarra/ dominio geológico	Litología
DEVÓNICO	Superior	Unidad Gévora	10 Villar del Rey / Sinclinal de la Codosera	Pizarras negras en niveles decamétricos de grano fino y alta fisibilidad, con intercalaciones de metarenisca sobre todo a techo.
	Medio			
	Inferior			
SILÚRICO	Pridoli	Fm. Losadilla Fm. Rozadais	5 Valdeorras / Sinclinal de Truchas 7 La Cabrera / Sinclinal de Truchas	Pizarras grises de grano medio con intercalaciones arenosas.
	Ludlow			
	Wenlock			
	Llandovery			
ORDOVÍCICO	Superior	Fm. Luearca / Fm. Valongo	1 Monte Rande / Anticlinorio del Ojo de Sapo 3 El Caurel / Sinclinal del Caurel 4 Los Oscos / Anticlinorial del Narcea 5 Valdeorras / Sinclinal de Truchas 6 Alto Bierzo / Sinclinal de Vega de Espinareda 7 La Cabrera / Sinclinal de Truchas 8 Aliste / Sinclinal de Alcañices 11 Valongo / Sinclinal de Valongo 12 Arouca / Sinclinal de Valongo	Pizarras grises de grano medio con alta fisibilidad, nódulos ocasionales y algunos sulfuros de hierro.
	Ashgill			
	Caradoc			
	Medio			
	Dobrotviense			
	Oretaniense			
	Inferior			
	Arenig			
Tremadoc	Pizarras del Soldón	5 Valdeorras / Anticlinorial del Piornal	Pizarras, metareniscas y cuarcitas, abundantes sulfuros de hierro.	
CÁMBRICO	Superior	Grupo Cándana	2 Terra Chá / Manto de Mondoñedo	Intercalaciones de pizarras verdes y grises con cuarcitas y metareniscas. Niveles calcáreos a techo y muro. Tramo medio de la formación <i>Serie de Cándana</i> . Cubos de pirita de hasta 5 cm de arista en pizarras.
	Medio			
	Inferior			
PRECÁMB		Capas de Sta. María	9 Bernardos / Complejo Esquisto - Grauwackico	Limolitas grises claras sin sulfuros de hierro, fisibilidad media.

Leyenda geológica

	Intercalaciones de pizarra, cuarcita y arenisca		Pizarra con laminaciones arenosas
	Pizarra		Arenisca
	Pizarra limolítica		Cuarcita
	Caliza		Niveles vulcano-sedimentarios

Canteras activas

	< 5 Canteras
	5 - 15 Canteras
	> 15 Canteras

Figura 2. Situación estratigráfica y columnas esquemáticas de las formaciones productivas, junto con el número de canteras activas en cada formación.

UNE EN 12326. A pesar de que esta norma contempla la utilización de la difracción de rayos X y análisis petrográfico para caracterizar el material, estas técnicas no suelen ser utilizadas por los productores de pizarra para vender su producto. Esto es posiblemente debido al desconocimiento de estas técnicas y su interpretación por parte de los empresarios e ingenieros que redactaron las normas. Un mayor desarrollo de estas técnicas permitiría determinar la calidad

comercial de la pizarra de manera más rápida y económica que con el resto de ensayos de la norma, lo cual puede ser muy útil en situaciones en las que se requiera conocer la calidad de la pizarra con rapidez, como en la prospección de nuevos yacimientos. Con el presente trabajo se pretende describir de manera sucinta las principales características petrográficas de las pizarras para cubiertas de la Península Ibérica en función de su calidad.

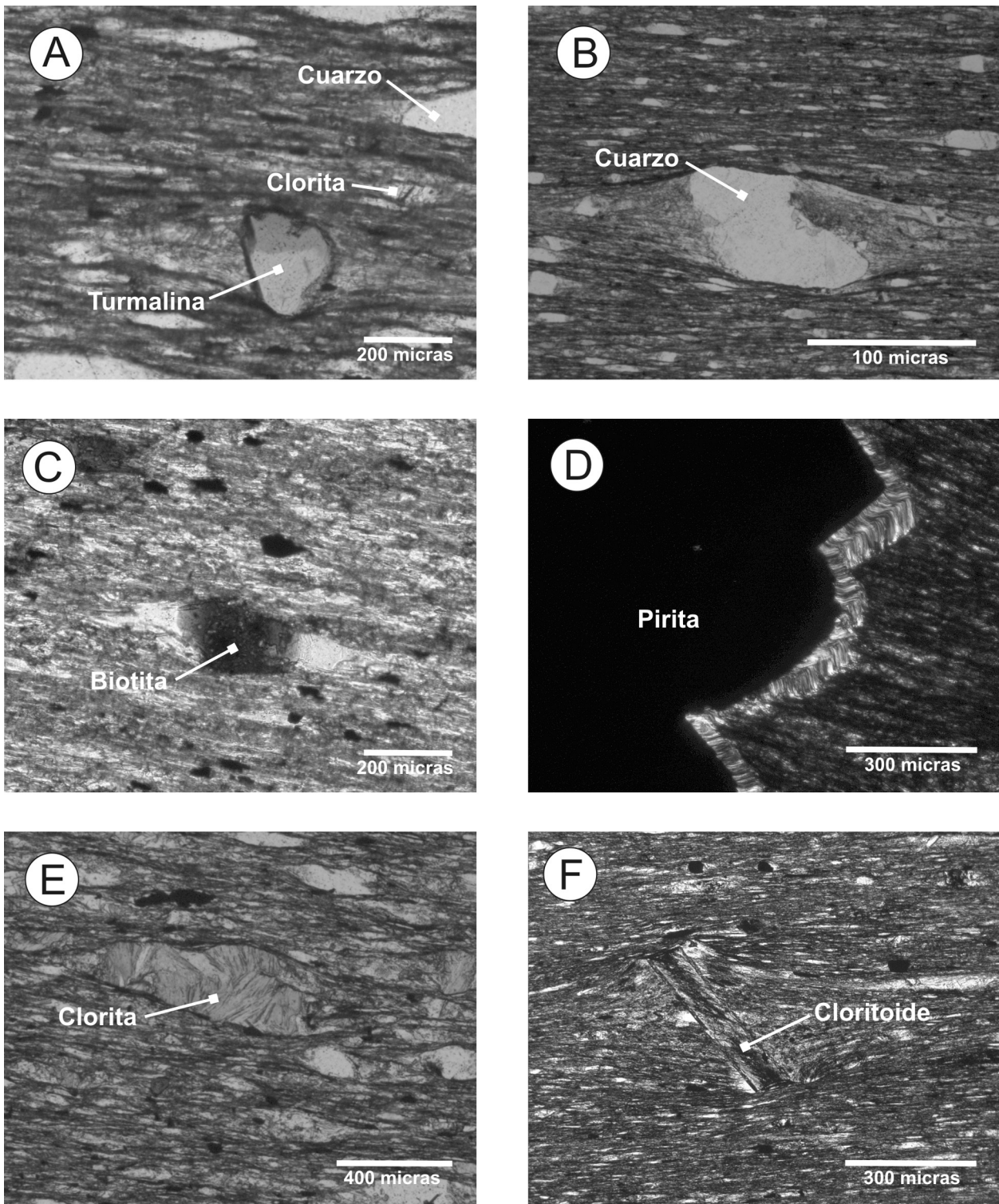


Figura 3. Imágenes de distintos minerales componentes de las pizarras. A: Fragmento de turmalina subredondeado con desarrollo de colas de presión, Distrito La Baña, Formación Casaio. B: Clasto de cuarzo con desarrollo de colas de presión. Distrito La Baña, Formación Losadilla. C: Blasto de biotita, Distrito Bernardos, Capas de Santa María. D: Cristal de pirita con desarrollo de estructuras tipo *fringe* en cuarzo, Distrito Valdeorras, Formación Pizarras de Luarca. E: Blasto de clorita pre-sincinemático, desarrollando colas de presión de clorita + cuarzo, Distrito Valdeorras, Formación Casaio. F: Blasto idiomorfo de cloritoide sin a postcinemático, incluyendo la foliación, Distrito Valdeorras, Formación Pizarras de Luarca.

Antecedentes bibliográficos

Los estudios geológicos, petrológicos y científicos en general sobre las pizarras son escasos en comparación con otras rocas ornamentales, como el mármol y el granito. Esto puede ser debido a varios factores, como el secretismo propio de las empresas del sector (algo también común en otros sectores), el aislamiento geográfico de las principales cuencas pizarreras (Valdeorras y La Baña), y la ausencia de problemas para vender pizarra hasta hace unos años, lo que hacía innecesarios cualquier tipo de estudio que ayudara a la comercialización. Los primeros estudios generales fueron realizados o subcontratados por el IGME, siendo los más relevantes los siguientes: ADARO (1981, 1984, 1985), Gómez-Moreno *et al.* (1984), IGME (1991) y Barros y Rodríguez-Suárez (1994). Como trabajos más específicos, centrados en mineralogía y petrología de las pizarras y su relación con la calidad de las mismas, destacan García-Guinea *et al.* (2000); García-Guinea *et al.* (2002), relacionados con la pérdida de fisibilidad de la pizarra, y Cárdenes *et al.*

(2009) relacionado con la oxidación de sulfuros de hierro. Otros autores se han centrado en el uso de las técnicas de análisis petrográfico mediante lámina delgada (Blanco *et al.*, 1989; Lombardero, 1994; Wagner *et al.*, 1997; Wagner, 2007)

Distritos mineros de pizarra para cubiertas

La división de los afloramientos de pizarra en doce distritos mineros (Fig. 1) se hizo siguiendo criterios geológicos y geográficos. La primera referencia que hay a los diez distritos pizarreros que se reconocen en España se puede encontrar en IGME (1991), desarrollándose esta clasificación con mayor profundidad en Wagner *et al.* (1994, 1995), donde además se revisan los yacimientos de pizarra en Europa. Posteriormente se añaden los dos distritos portugueses (Cárdenes *et al.*, 2008), quedando los distritos en doce (Fig. 2). El tamaño de los distritos varía enormemente, estando constituidos algunos por una sola cantera (Villar del Rey, Arouca, Los Oscos) mientras que otros superan largamente las cincuenta canteras (Valdeorras, La Baña).

Distrito	Minerales principales	Minerales accesorios	IAM
1 – Monte Rande	Micas (40 – 45) Clorita (20 – 22)	Cuarzo (25 – 28) Feldespato (5 – 10)	Rutilo, Turmalina, Opacos, Sulfuros de Hierro 30 – 40
2 – Terra Cha	Micas (40 – 50) Cuarzo (10 – 20) Carbonates (0 – 10)	Clinocloro (15 – 25) Feldespato (15 – 25)	Pirita, Turmalina, Zircon 60 – 90
3 – El Caurel	Cloritas (30 – 40) Cuarzo (15 – 25) Cloritoide (3 – 15)	Micas (30 – 40) Feldespato (0 – 10)	Sulfuros de Hierro, Rutilo, Turmalina, Opacos 60 – 90
4 – Los Oscos	Cloritas (35 – 40) Cuarzo (15 – 20)	Micas (30 – 35) Feldespato (0 – 10)	Rutilo (Leucoxeno), Smithita, Opacos 80 – 90
5 – Valdeorras*	Micas (30 – 50) Cuarzo (20 – 30)	Cloritas (15 – 35) Feldespato (0 – 10),	Cloritoide, Rutilo (Leucoxeno), Turmalina, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro, Carbonatos 50 – 80
Valdeorras**	Micas (35 – 45) Cuarzo (25 – 35)	Cloritas (20 – 40) Feldespato (0 – 15)	30 – 60
6 – Alto Bierzo	Micas (35 – 45) Cuarzo (20 – 25)	Cloritas (35 – 43) Feldespato (0 – 10)	Rutilo, Turmalina, Monacita, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro, Carbonatos 30 – 50
7 – La Cabrera	Micas (35 – 45) Cuarzo (25 – 35)	Cloritas (20 – 40) Feldespato (0 – 10)	Rutilo, Turmalina, Monacita, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro, Carbonatos 30 – 60
8 – Aliste	Cloritas (30 – 45) Cuarzo (5 – 20) Cloritoide (0 – 10)	Micas (35 – 40) Feldespato (0 – 5)	Rutilo, Turmalina, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro 40 – 60
9 – Bernardos	Cloritas (35 – 40) Biotite (20 – 30)	Cuarzo (25 – 35)	Rutilo, Zircón, Sulfuros de Hierro 80 – 110
10 – Villar del Rey	Micas (35 – 40) Cloritas (25 – 30) Cloritoide (8)	Cuarzo (25 – 30) Feldespato (0 – 5)	Rutilo, Turmalina, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro 40 – 60
11 – Valongo	Micas (40 – 45) Cuarzo (15 – 20) Cloritoide (16)	Cloritas (20 – 25) Feldespato (10 – 20)	Rutilo, Turmalina, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro 20 – 50
12 – Arouca	Micas (35 – 40) Cuarzo (10 – 15) Cloritoide (18)	Cloritas (20 – 25) Feldespato (10 – 20)	Rutilo, Turmalina, Zircón, Opacos, Sulfuros de Hierro 20 – 50

Tabla I. Minerales identificados mediante análisis petrográfico de lámina delgada y valores del Índice de Apilamiento de Micas (IAM). Entre paréntesis los intervalos porcentuales calculados mediante estimación visual. Modificado de Cárdenes *et al.* (2008).

Metodología

Se recogieron muestras de pizarra en cantera o nave de elaboración en los doce distritos de pizarra de la Península Ibérica. Por cada distrito y formación explotada se recogieron dos muestras en distintas canteras (siempre que fue posible), hasta un total de 20 muestras. Cada muestra consistió en un bloque de 20×30 cm, con 2-3 cm de espesor de pizarra de primera calidad comercial. La longitud de los bloques coincide con la dirección de la pizarrosidad, como requisito necesario para elaborar la placa de pizarra. Se elaboraron láminas delgadas en cada bloque según los tres planos principales del elipsoide de deformación interna, a saber: XY (foliación tectónica), XZ e YZ, siendo X la dirección paralela a la lineación mineral o de estiramiento (ver, por ejemplo, Passchier y Trouw, 2005). Los análisis de lámina delgada se realizaron en el Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, utilizando un microscopio Carl Zeiss Universal, siguiendo las directrices de la norma UNE EN 12326 para análisis petrográfico en pizarras para cubiertas.

La norma contempla el cálculo del Índice de Apilamiento de Micas (IAM) mediante la fórmula: abundancia de niveles de mica (mm) × espesor medio de los niveles de micas (mm) × 10. Este índice describe el grosor y abundancia de los niveles de mica y está directamente relacionado con la resistencia a flexotracción de la pizarra (Cardenes *et al.*, *en prensa*). El cálculo de este índice ha de hacerse a 400 aumentos utilizando un ocular micrométrico. Este índice es una medida indirecta del grado de metamorfismo, ya que en rocas de igual composición y tamaño de grano el IAM será mayor en aquellas que hayan sufrido mayor metamorfismo, debido a la mayor recristalización de los niveles de mica. Además, el grado de desarrollo de la pizarrosidad se ha de indicar según el esquema propuesto en el anejo A de la citada norma.

Los análisis de rayos X (método del polvo) se llevaron a cabo en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. Se utilizó un difractómetro Philips PW 1830, con cátodo de Cu y una longitud de onda $K\alpha = 1,54051$. El registro angular fue de 3° a $65^\circ 2\theta$, medido con un registrador digital Philips PW 1710. Los difractogramas fueron estudiados con el software X Powder (versión 2008) para obtener los valores cualitativos y semi-cuantitativos de los análisis. La determinación del Índice de Kubler (IK) se hizo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Extremadura, siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo de la IGPC 294 IC (Kisch, 1991).

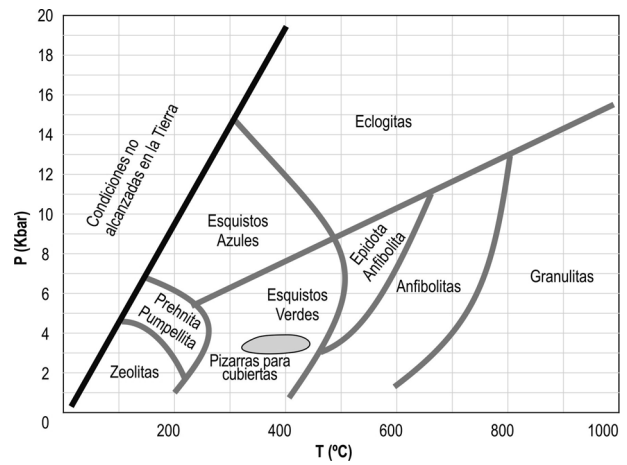


Figura 4. Diagrama de estabilidad de las facies metamórficas con el campo de formación de las pizarras para cubiertas. Modificado de Spear (1993).

Para pasar los valores IK a valores CIS (*Crystallinity Index Standard*) (Warr y Rice, 1994) se utilizó la fórmula $IK = 0,674CIS + 0,052$. Los límites de la Anquizona se asumen a 0,59 y 0,33 2θ (Brime, 1999).

Resultados

Análisis petrográfico

La mineralogía de la pizarra para cubiertas es, por lo general, bastante monótona, reduciéndose a unos pocos minerales principales (cuarzo, cloritas, mica blanca y biotita, albita y, en algunos distritos, cloritoide) presentes en casi todas las pizarras (Fig. 3, Tabla I), y una serie de minerales accesorios (sulfuros de hierro, carbonatos, turmalina, rutilo, leucóxeno, etc.). Estos minerales generalmente se identifican con precisión durante el análisis petrográfico en lámina delgada (Cárdenes y Rubio-Ordoñez, 2008). Es frecuente identificar estructuras de deformación asociadas a la deformación Varisca, como sombras de presión en porfidoblastos y porfidoclastos, pizarrosidad (slaty cleavage), crenulación con micropliegues y estructuras tipo *fringe* (Passchier y Trouw, 2005). Desde un punto de vista textural se distingue la textura lepidoblástica, característica de las Pizarras de Luarca, y una textura porfido-lepidoblástica, típica en las pizarras del Ordovícico Superior.

Desde el punto de vista del metamorfismo, las pizarras para cubiertas de la Península Ibérica presentan paragénesis minerales típicas de las facies de los esquistos verdes (Fig. 4), con diferencias de grado metamórfico entre algunas zonas (mayor grado en Bernardos, con presencia de biotita como mineral

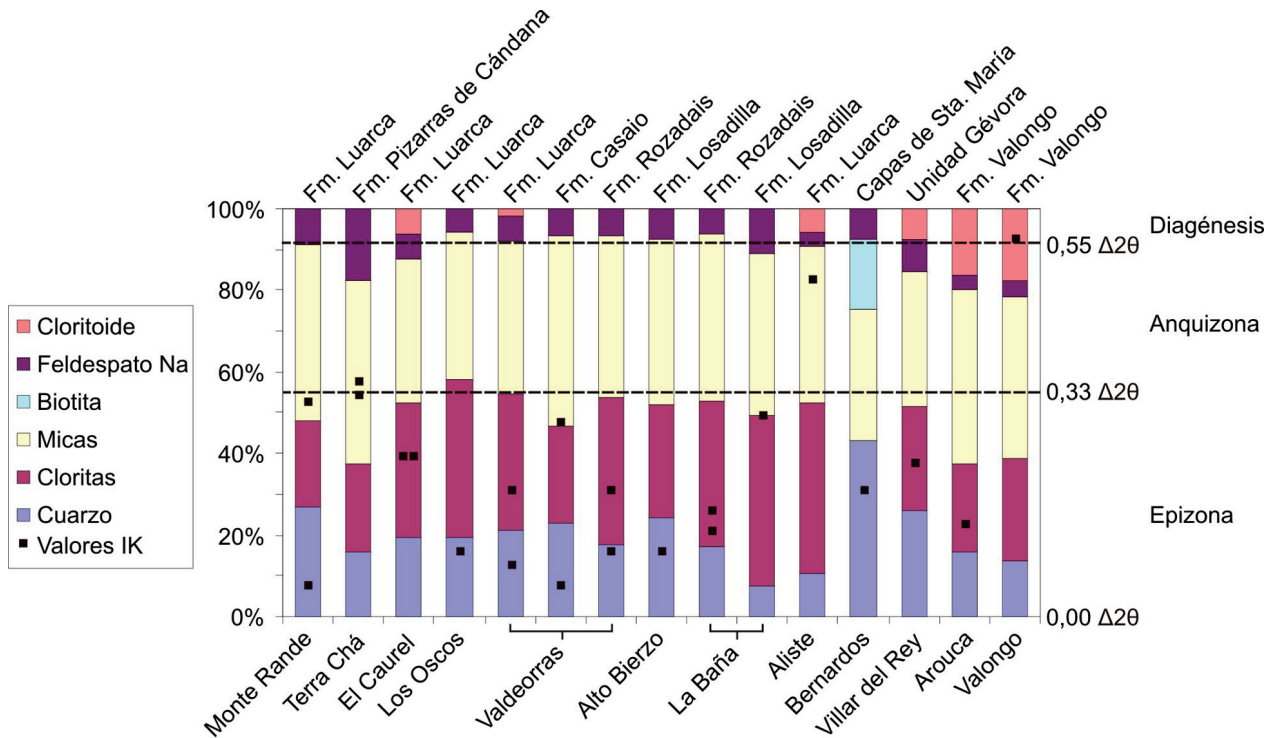


Figura 5. Resultados de la determinación mineralógica semi-cuantitativa hecha mediante Rayos X (eje E izquierda), junto con los valores del Índice de Kubler (eje Y derecha) calculados en muestras provenientes de los doce distritos pizarrosos de la Península Ibérica.

índice, o de menor grado en la zona de los Ocosos, con presencia únicamente de clorita como mineral índice). La paragénesis más común es la de clorita + moscovita ± albíta (+ cloritoide).

Petrográficamente las pizarras para cubiertas se pueden agrupar en dos grandes grupos texturales: Por un lado están aquellas “pizarras comerciales” que petrológicamente no lo son, y que se corresponden con meta-areniscas a meta-grauvacas de grano fino a muy fino, donde predominan los clastos de cuarzo, y pizarras *s.s.*, donde predominan sobre todo los blastos micáceos, generalmente de moscovita + clorita.

Meta-areniscas a meta-grauvacas: se identifica un cortejo de clastos claramente de origen sedimentario, que suele estar constituido por cuarzo, plagioclasas (transformadas en albíta), turmalina, y minerales pesados (circones, etc.), junto a una matriz en origen arcillosa y ahora recrystalizada, desarrollándose blastos de clorita y/o moscovita de gran tamaño. Generalmente dentro de esta matriz es posible observar la presencia de blastos de pequeño tamaño de turmalina y minúsculos blastos de grafito. Debido a la presencia de los clastos y también a los blastos metamórficos se forman sombras de presión con desarrollo de cuarzo y clorita, indicando el carácter pre o sin-cinemático de los blas-

tos. En algunas pizarras pertenecientes a la Formación Rozadais es frecuente encontrar clastos de naturaleza carbonatada, que suelen desarrollar sombras de presión con carbonato cálcico-magnésico y clorita.

Pizarras s.s.: están mayoritariamente compuestas por filosilicatos, siendo la presencia de cuarzo accesoria, con escasos clastos, y se desarrollan sobre todo blastos, tanto de clorita o clorita + moscovita como de cloritoide en aquellas pizarras de composición adecuada. Los blastos de cloritoide siempre son sin o post-cinemáticos en relación con la esquistosidad principal, que es un clivaje pizarroso, mientras que los de clorita o clorita + moscovita son sin-cinemáticos. Una diferenciación entre las zonas que presentan pizarras con cloritoide es el tamaño de los blastos, que varía de unas zonas a otras. También se desarrollan turmalinas metamórficas, generalmente post-cinemáticas, grafito, leucoxeno, etc.

En ambos grupos es típica la presencia de minerales opacos, generalmente sulfuros de hierro, y que aparecen bien como cristales individuales y con morfologías que indican su carácter post-cinemático, o bien en forma de agregados microcristalinos framboidales sin-deposicionales y que suelen desarrollar sombras de presión con formación de cuarzo y cloritas.

Difracción de Rayos X e Índice de Kubler

La caracterización cualitativa y semi-cuantitativa de las fases minerales mediante difracción de Rayos X arroja unos porcentajes minerales muy similares para todas las pizarras del estudio (Fig. 5), con variaciones en las proporciones de los minerales principales. Estas proporciones no difieren mucho de las estimaciones visuales hechas con microscopio petrográfico, como tampoco de las halladas por Ward y Gómez-Fernandez (2003) utilizando el método Rietveld.

Los resultados del Índice de Kubler muestran que la mayor parte de las pizarras se encuentran en la epizona. Las pizarras con valores altos del Índice de Kubler presentan también cloritoide, lo que sugiere que la aparición de este mineral está más relacionada con la

composición del protolito que con el grado metamórfico que sugiere el IK (Fernández y Moro, 1993).

Conclusiones

Desde un punto de vista mineralógico, las mejores pizarras para cubiertas tienen valores de IAM superiores a 50, homogeneidad en el tamaño de los clastos de cuarzo, relación mica/clorita igual a 1, ausencia de cloritoide y condiciones metamórficas correspondientes a la Epizona. La composición mineral ideal sería de 35% cloritas, 35% micas y 30% cuarzo, sin sulfuros de hierro ni carbonatos.

Se puede deducir la calidad comercial de la pizarra de manera rápida y barata utilizando difracción de rayos X y análisis petrográfico.

Bibliografía

- ADARO (1981): *Investigación de pizarras en el Permiso de Investigación Villar del Rey (Badajoz)*. Informe realizado para el IGME, 54 pp.
- ADARO (1984): *Investigación de pizarras en Abejeda (Zamora)*. Informe realizado para el IGME, 60 pp.
- ADARO (1985): *Investigación de pizarras en Valdeorras (Orense)*. Informe realizado para el IGME, 35 pp.
- BARROS, J. C. (1989): Nuevos datos geológicos y cartográficos sobre el flanco Sur del Sinclinorio de Truchas. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 14: 93-116.
- BARROS, J. C. y RODRÍGUEZ-SUAREZ, J. I. (1994): *Investigación de pizarras en la Sierra del Caurel (León - Lugo)*. Informe realizado para el IGME, 248 pp.
- BLANCO, M., TABOADA, J. y MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R. (1989): Incidencia de las características mineralógicas y texturales en algunas propiedades de las pizarras de techar. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 14: 247-254.
- BRIME, C. (1999): Metamorfismo de bajo grado: ¿diferencias en escala o diferencias en grado metamórfico? *Trabajos de Geología*, 21: 61-66.
- CÁRDENES, V. y RUBIO-ORDOÑEZ, A. (2008): Petrología de la pizarra para cubiertas y sus factores de calidad. *Tierra y Tecnología*, 34: 91-96.
- CÁRDENES, V., PARADELO, R. and MONTERROSO, C. (2009): Passivation techniques to prevent corrosion of iron sulphides in roofing slates. *Corros. Sci.*, 51: 2387-2392.
- CÁRDENES, V., DE LA HORRA, R., MONTERROSO, C., GARCÍA-GUINEA, J. y PAIS, V. (2008): Depósitos de pizarras para cubiertas en la Península Ibérica. *Sociedad Geológica de España, VII Congreso Geológico de España, Las Palmas de Gran Canaria*, 453.
- CÁRDENES, V., RUBIO-ORDOÑEZ, A., LÓPEZ-MUNGUIRA, A., DE LA HORRA, R., MONTERROSO, C., PARADELO, R. and CALLEJA, L. (en prensa). Mineralogy and modulus of rupture of roofing slate: Applications in the prospection and quarrying of slate deposits. *Eng. Geol.*
- UNE-EN 12326-1 (2005): *Productos de pizarra y piedra natural para tejados y revestimientos discontinuos*. Partes 1 y 2. Ediciones AENOR, Madrid, 96 pp.
- FERNÁNDEZ, A. y MORO, M. C. (1993): Presencia de cloritoide en las pizarras ordovícicas del Sinforme de Alcañices (Zamora). *Geogaceta*, 14: 140-142.
- GARCÍA-GUINEA, J., CÁRDENES, V., CORRECHER, V., DELGADO, A., LOMBARDEO, M. and BARROS, J. C. (2000): Dehydroxylation and Ostwald ripening effects in roofing slates. *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.*, 39: 589-594.
- GARCÍA-GUINEA, J., CÁRDENES, V., LOMBARDEO, M. and DESILONIZ, M. (2002): Determination of iron sulphides in roofing slates from the north west of Spain. *Mater. Construcc.*, 56: 55-63.
- GARCÍA-GUINEA, J., LOMBARDEO, M., ROBERTS, B. y TABOADA, J. (1997): Spanish Roofing Slate Deposits. *T. I. Min. Metall. B.*, 106: 205-214.
- GÓMEZ-MORENO, G., HACAR, M., LOMBARDEO, M., RUBIO ÚBEDA, V., BARROS, J. C., PÉREZ-ESTAÚN, A. y GONZÁLEZ-LODEIRO, F. (1984): *Estudio geológico minero de los niveles de pizarras para cubiertas en el Sinclinal de Truchas (Orense-León)*, 78 pp.
- KISCH, H. J. (1991): Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction setting, and interlaboratory samples. *J. Metamorph. Geol.*, 9: 665-670.
- IGME (1991): *Pizarras de España*. Ministerio de Industria y Energía. Secretaria de la Energía y Recursos Minerales, 115 pp.
- LOMBARDEO, M. (1994): Caracterización de las pizarras para cubiertas mediante técnicas petrográficas. *Canteras y Explotaciones*, 325: 71-85.

- LOMBARDERO, M., GARCIA-GUINEA, J. and CÁRDENES, V. (2002): The Geology of Roofing Slate. *En*: C. BRISTOW and B. GANIS (eds): *Industrial Minerals and the Extractive Industry Geology*, Geological Society Publishing House, Bath, 59-66
- PASSCHIER, C. W. and TROUW, R. A. J. (2005): *Microtectonics*. Springer-Verlag, 365 pp.
- SPEAR, F. S. (1993): *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, 799 pp.
- WAGNER, W. (2007): The basics of test methods of slates for roofing and cladding. Grundlagen für die Prüfung von Dach- und Wandschiefern. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158: 785-805.
- WAGNER, W. BAUMANN, H., NEGEDANK, J. and ROSCHIG, F. (1997): Geological, petrographic, geochemical and petrophysical investigations on roofing slates. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen*, 53: 131-184.
- WAGNER, W., LE BAIL, R., HACAR, M. and STANEK, S. (1994): European Roofing Slates Part 1: Remarks to the Geology of Mineral Deposits. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 40: 68-74.
- WAGNER, W., LE BAIL, R., HACAR, M. and STANEK, S. (1995): European Roofing Slates Part 2: Geology of Selected Examples of Slates Deposits. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, 41: 21-26.
- WARD, C. and GÓMEZ-FERNANDEZ, F. (2003): Quantitative mineralogical analysis of Spanish roofing slates using the Rietveld method and X-ray powder diffraction data. *Eur. J. Mineral.*, 15: 1051-1062.
- WARR, L. N. and RICE, H. N. (1994): Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *J. Metamorph. Geol.*, 12: 141-152.