 Minería y Geología / v.36 n.3 / julio-septiembre / 2020 / p. 253-267 ISSN 1993 8012

ARTÍCULO ORIGINAL

Caracterización preliminar de las pizarras del depósito Tchihingue (Angola) con fines de uso como roca industrial

Preliminary characterization of slate from Tchihingue deposit (Angola) for use as industrial rock

Claudio Fernández-DaMata[1], Roger Samuel Almenares-Reyes[2*], José Otaño-Noguel[2]

[1]Gabinete Provincial de Industria, Comercio y Recursos Minerales, Huila, Angola

[2]Universidad de Moa, Holguín, Cuba

*Autor para correspondencia: ralmenares@ismm.edu.cu

Resumen

Con el propósito de aprovechar como roca industrial los dos tipos tecnológicos de las pizarras del depósito Tchihingue en Angola se hizo una caracterización química, petrográfica, mineralógica y físico-mecánica de estas rocas. Para ello se empleó espectrometría de absorción atómica, análisis petrográfico en secciones delgadas y difracción de rayos X. La determinación de las propiedades físico-mecánicas se realizó a través del ensayo de abrasión, y resistencia a la flexión y a la compresión. Se obtuvo que las pizarras tienen una composición química mayoritaria de óxidos de silicio, aluminio, hierro y potasio. Tanto la pizarra amarilla como la parda presentan una textura pelítica en una matriz de sericita, que las clasifica como pizarras sericíticas; están compuestas esencialmente por moscovita y cuarzo. Como minerales accesorios, en la pizarra amarilla se identificó la caolinita mientras que en la parda, la hematita, rasgo distintivo de estas. La pizarra parda es más rica en minerales micáceos y la pizarra amarilla presenta mayor contenido de cuarzo. Las propiedades tecnológicas de ambas pizarras son adecuadas para su aplicación como roca industrial, con diferencias poco significativas en cuanto a la resistencia a la flexión. La selección de su potencial puede estar dada desde el punto de vista estético.

Palabras clave: depósito Tchihingue; materiales de construcción; pizarras; pizarras sericíticas; roca industrial**.**

Abstract

The purpose of this study was to carry out a mineralogical, chemical, petrographic and physical-mechanical characterization of the two kinds of slate rocks from Tchihingue deposit in Angola in order to make a good use of them as industrial rocks. The characterization was carried out using Atomic Absorption Spectrometry, thin section petrographic analysis and X-ray diffraction. Determining physical-mechanical properties of the rock was carried out through the abrasion test, and resistance to flexion and compression. It was determined that slates have a majority chemical composition of silicon, aluminum, iron and potassium oxides. Both types have a very fine texture on a sericite matrix, which classifies them as sericitic slates. They are essentially composed of muscovite and quartz. Kaolinite is identified on the yellow slate and hematite on the brown slate as accessory minerals, distinctive features of each slate. Brown slate is richer in micaceous minerals and yellow slate has higher quartz content. The technological properties of these slates are suitable for application as an industrial rock, with little significant difference in flexural strength. The selection of its potential can be given from the aesthetic point of view.

Keywords: Tchihingue deposit; construction materials; slates; sericitic slates; industrial rock.

1. INTRODUCCIÓN

La economía de Angola se ha sustentado básicamente en la minería del petróleo como principal rublo exportable; producto que genera la principal fuente de ingreso de este sector (INE 2014). Actualmente se buscan alternativas para diversificar la minería, teniendo en cuenta que el país cuenta con importantes recursos que no son aprovechados mientras se importan varios productos y materiales.

Las rocas ornamentales se incluyeron en la estrategia de diversificación económica del Gobierno (Ministerio de Geología y Minas 2017). Cabe destacar que los proyectos orientados a las rocas ornamentales han dado resultados casi inmediatamente, por lo que se estima un crecimiento en la inversión en este subsector cada vez mayor.

En los últimos años la producción de rocas ornamentales se ha incrementado, como estrategia de la nación para diversificar la producción minera, y generar ingresos a la economía del país (Queiroz 2017). Sin embargo, hasta ahora la proyección en el sector de las rocas ornamentales ha estado dirigida fundamentalmente a la explotación de yacimientos de mármol y granito y, en

menor magnitud, a la producción de pizarra, roca ornamental que se emplea generalmente como revestimiento y para techar en construcciones civiles.

La pizarra es una roca industrial resistente, inalterable, aislante, impermeable, que cuando presenta una fácil exfoliación se puede transformar en placas para cubierta de edificaciones, recubrimiento de fachadas, pavimentación y se considera uno de los materiales de construcción más lujosos y cotizados (Fernández-Caliani y Galán 1991; Barros-Lorenzo *et al.* 1986; Pérez *et al.* 2012; Cobas 2013; Vázquez *et al.* 2003; Caliani-Fernández y Requena-Abujeta 2016; García-de Celis, González-Fernández y Redondo-Vega 1993; Ruíz-García 1977; Lindoso-Tato 2015).

Según comunicación del Ministerio de Geología y Minas (2017) es una prioridad la explotación de nuevos yacimientos de pizarra, debido a las cuantiosas cifras que se invierten por concepto de importación de este material. Investigaciones realizadas por este ministerio en el año 2014 aportan el conocimiento del primer yacimiento de pizarra en Angola (Tchihingue) el cual se localiza en la provincia de Huíla, municipio de Humpata. La explotación racional de este yacimiento requiere de una caracterización que permita el máximo aprovechamiento de la roca. Por lo tanto, esta contribución tiene como objetivo caracterizar las rocas pizarras del depósito Tchihingue en Angola para su utilización como roca industrial, a fin de tributar al conocimiento de las propiedades de cada tipo tecnológico de las rocas para su posterior proceso de explotación y aplicación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del depósito y selección de las muestras

El depósito de pizarra Tchihingue representa un área de 1 km^2 aproximadamente y se localiza en el municipio de Humpata, en la provincia de Huíla. El yacimiento es del Precámbrico, de formación sedimentaria; las pizarras son compactas, distinguiéndose dos tipos litológicos: una pizarra parda (PP) en la parte baja y otra amarilla (PA) en la parte superior, que dan al depósito aspecto estratificado.

La selección de las muestras en el depósito se realizó a partir de la medición del afloramiento y se dividió en un bloque de pizarra parda y uno de pizarra amarilla, tomándose 24 muestras de cada bloque.

2.2. Métodos para la caracterización química, petrográfica y mineralógica

La composición química de las 24 muestras básicas de cada pizarra fue determinada mediante espectrometría de absorción atómica en un

espectrómetro modelo Solar 929 tipo UNYCAM y la composición química de las muestras compósito se obtuvo por la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) en un equipo de la marca Axios.

El estudio petrográfico se efectuó por el método de secciones delgadas, las cuales fueron procesadas utilizando una técnica de pegado con resina acrílica según procedimiento descrito por Solé y otros investigadores (1990). Las secciones fueron leídas en un microscopio Nobel de alta precisión.

Las fases minerales se identificaron mediante difracción de rayos X (DRX) en un difractómetro X'PERT^3 de PANalytical con barrido tipo Gonio en [°2θ], registro angular desde 4,0042 hasta 79,9962; una distancia de paso en °2θ de 0,0080, radiación de Cu y filtro de níquel, diferencia de potencial es de 40 kV y corriente de 30 mA. La calibración del equipo se chequeó con patrón externo de silicio. El análisis cualitativo de fases se hizo con la utilización del programa HighScore de PANalytical y la cuantificación de las fases cristalinas mediante el método de Rietveld.

2.3. Métodos para determinar las propiedades físicas y físico–mecánicas de las rocas pizarras

A las muestras le fueron practicados ensayos para determinar la resistencia al desgaste, la resistencia a la flexión y a la compresión.

Se determinó el desgaste por abrasión de la roca como árido grueso, utilizando la máquina de Los Ángeles marca OHAUS. El procedimiento se describe en la norma cubana (NC 188 2002).

La resistencia a la compresión de la roca se determinó en probetas cortadas según su estratificación en secciones de 6,2 x 6,2 x 6,2 cm^3 con una masa volumétrica de la probeta que varió de 260 a 270 g/cm^3, según la densidad de la roca. Para el ensayo se utilizó un máquina Ibertest de la serie MEH-LC de fabricación española con capacidad de 2 000-3 000 KN.

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó sobre la roca beneficiada preparada en forma de laja. Para realizar los ensayos a la flexión se cortaron cuatro muestras de 12 mm de cada roca y luego fueron sometidas a la presión en la máquina Ibertest descrita anteriormente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de la composición química

Los resultados de los análisis químicos de las muestras básicas se presentan en las Tablas 1 y 2. Aquí se indican los contenidos de óxido de aluminio, óxido de silicio y óxido de hierro para 24 puntos de muestreo del bloque de pizarra

parda (PP) y los 24 puntos del bloque de la pizarra amarilla (PA). Los resultados indican que existe homogeneidad en cuanto a los compuestos mayoritarios de la composición química, lo cual es buen indicio para el completo aprovechamiento de la roca en las diferentes aplicaciones.

Tabla 1. Resumen de la composición química de las 24 muestras de PP

Estadísticos	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3
Promedio	4,84	65,93	19,18
Máximo	5,30	66,90	19,30
Mínimo	4,30	65,20	19,00
Desviación estándar	0,40	0,55	0,09

Tabla 2. Resumen de la composición química de las 24 muestras de PA

Estadísticos	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3
Promedio	2,38	74,37	13,37
Máximo	2,70	74,60	13,60
Mínimo	2,10	74,10	13,10
Desviación estándar	0,23	0,21	0,21

A partir de los resultados de la composición química de las muestras compósitos de la pizarra amarilla y la pizarra parda (Tabla 3) se observa que los compuestos que aparecen como constituyentes en mayores cantidades son los óxidos de silicio, aluminio, magnesio, potasio e hierro, y en menores cantidades óxidos de sodio, titanio, zirconio, bario y azufre. La pizarra parda presenta un contenido de hierro superior en casi el doble de la pizarra amarilla, lo cual es el responsable de la coloración de esta.

En general, se aprecia correspondencia entre los resultados de la composición química de las muestras básicas y la composición química de las muestras compuestas.

Tabla 3. Composición química de las muestras compósito de roca pizarra, %

	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	MgO	SO_3	Otros	PPI
PA	14,03	71,74	2,50	0,41	4,76	0,04	0,04	1,68	0,26	0,28	4,26
PP	17,35	66,29	5,04	0,40	5,27	0,04	0,01	1,20	0,27	0,15	3,98

La composición química de los tipos litológicos de pizarras no varía significativamente en el depósito, solo una pequeña desviación en los contenidos de hierro, aluminio y silicio. Esto parece indicar que hubo un proceso de alteración que provocó que el hierro y parte del aluminio fueran

lavados y se produjo un transporte hacia la base mientras que los demás elementos fueron poco movilizados.

3.2. Resultados del análisis petrográfico

En el análisis petrográfico de la secciones de láminas delgadas realizado se puede describir que las muestras de pizarra parda presentan un 70 % de sericita, 20 % de cuarzo y 10 % de material oxidado (Figura 1) y las muestras de roca de pizarra amarilla presentan un 60 % de sericita, 35 % de cuarzo y 5 % de material oxidado (Figura 2).

En ambas muestras se observa, según su granulometría, una textura pelítica. La matriz está compuesta por sericita, que es mineral considerado como el embrión de las micas, dado a que comparten quimismo y estructuras cristalinas similares. En la pizarra parda, al parecer, esta matriz es ligeramente más rica en minerales micáceos. La presencia mayoritaria de sericita en ambas pizarras sugiere un metamorfismo de bajo grado, lo que soporta su clasificación como pizarras sericíticas.

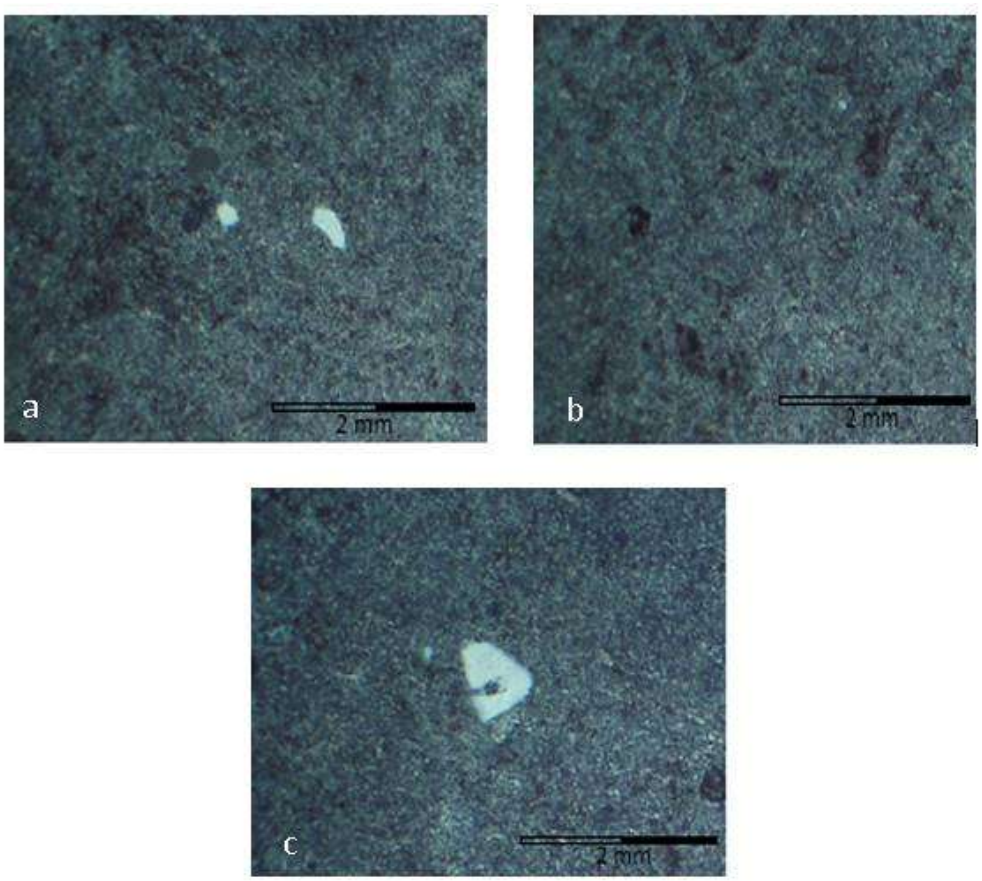

Figura 1. Sección delgada de la roca pizarra parda. a) Foto muestra An_1 (4x) parda: Vista general de matriz, cuarzo y las zonas oxidadas. b) Foto muestra An_1 (4x) parda. Zonas oxidadas dentro de la matriz. c) Muestra An_1 (10x) parda. Grano de cuarzo en matriz pelítica.

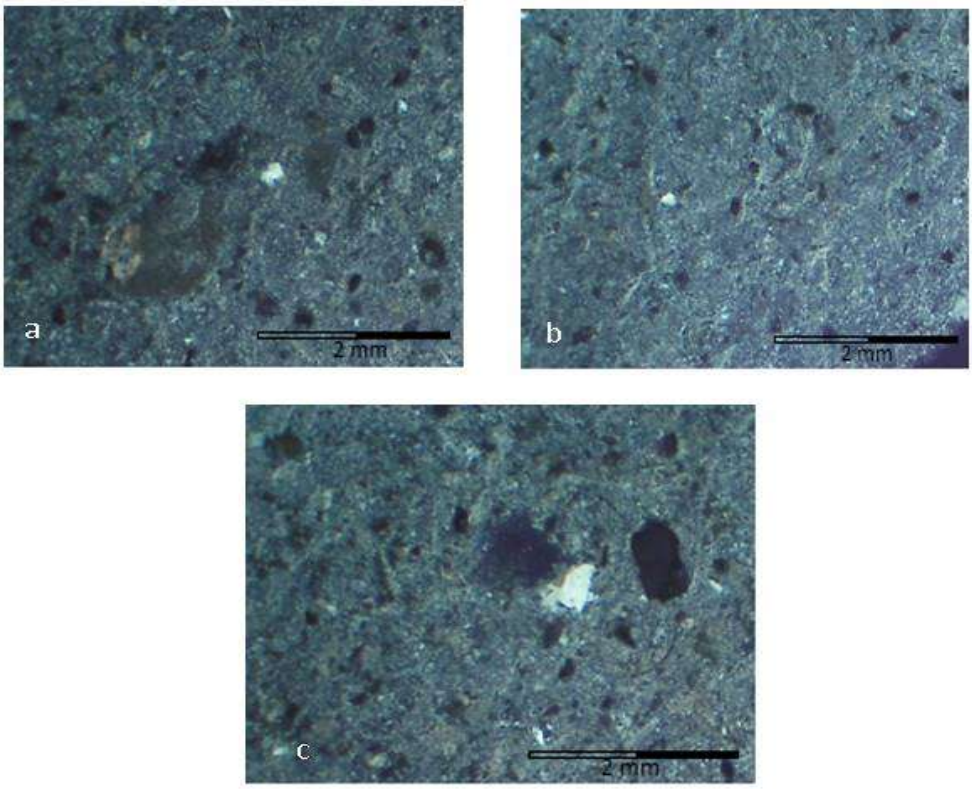

Figura 2. Sección delgada de la roca pizarra amarilla. a) Foto Muestra An_2 (4x) amarilla. Vista general de matriz, cuarzo y las zonas oxidadas. b) Foto Muestra An_2 (4x) amarilla. Zonas oxidadas dentro de la matriz. c) Foto Muestra An_2 (4x) amarilla. Grano de cuarzo en matriz pelítica.

3.3. Resultados de la caracterización mineralógica

Los componentes mayoritarios de las rocas pizarras caracterizadas mediante difracción de rayos X se presentan en las Figuras 3 y 4. En el difractograma de la muestra de pizarra parda (Figura 3) se puede observar la presencia de moscovita, cuarzo y hematita como fases predominantes. En el difractograma de la muestra de pizarra amarilla (Figura 4) se percibe también la presencia de cuarzo y moscovita pero acompañada de caolinita. No se identifica fase mayoritaria de hierro, resultado que está en correspondencia con su bajo contenido en la muestra según se evidencia en la composición química. La composición y coloración más clara indica que estas rocas han sufrido mayor proceso de alteración (Vázquez *et al.* 2003).

La presencia de moscovita justifica los relativamente altos contenidos de potasio, aluminio y sodio en las muestras. En la pizarra amarilla el contenido de aluminio no está únicamente asociado a la presencia de moscovita sino que también se asocia a la caolinita. En cambio, en la pizarra parda parece estar solo asociado a la moscovita.

En la composición semicuantitativa determinada mediante DRX por el método de Rietveld (Tabla 4) los valores relativamente altos de aluminio de la pizarra parda, en comparación con la pizarra amarilla, parece estar en correspondencia con el contenido de las fases portadoras de aluminio. La pizarra parda, con un contenido en la muestra de 50 %, y la pizarra amarilla, con un contenido de 42 % de fases portadora de aluminio con similar contenido estequiométrico de este metal (moscovita: 38,40 % de Al_2O_3 y caolinita: 39,50 % de Al_2O_3).

Tabla 4. Composición mineralógica semicuantitativa de las muestras de pizarra, %

Muestra/Fase	Moscovita	Cuarzo	Caolinita	Hematita
Pizarra Amarilla	38	58	4	-
Pizarra Parda	50	47	-	3

Desde el punto de vista cualitativo, los resultados están en correspondencia con lo observado en el análisis petrográfico. Las diferencias composicionales solo obedecen a pequeñas variaciones cuantitativas de estos grupos de minerales esenciales y a la presencia de algunos accesorios característicos como la hematita de la pizarra parda y caolinita en la pizarra amarilla.

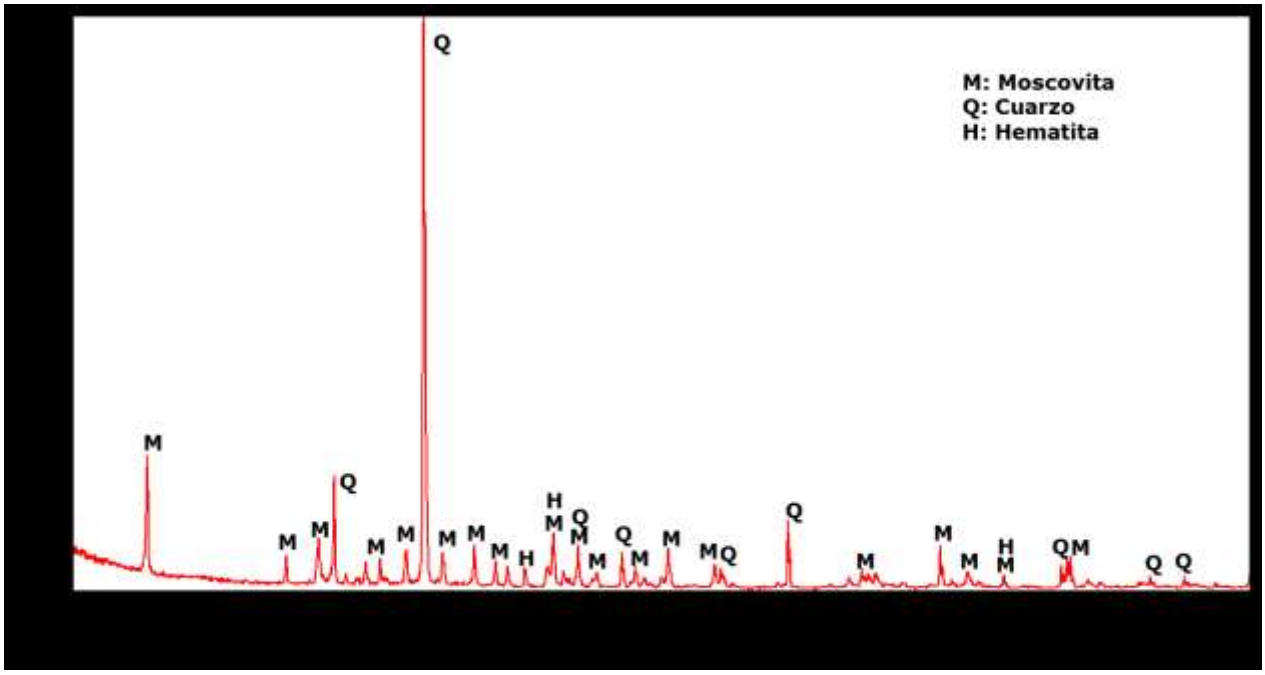

Figura 3. Difractograma de la muestra de pizarra parda.

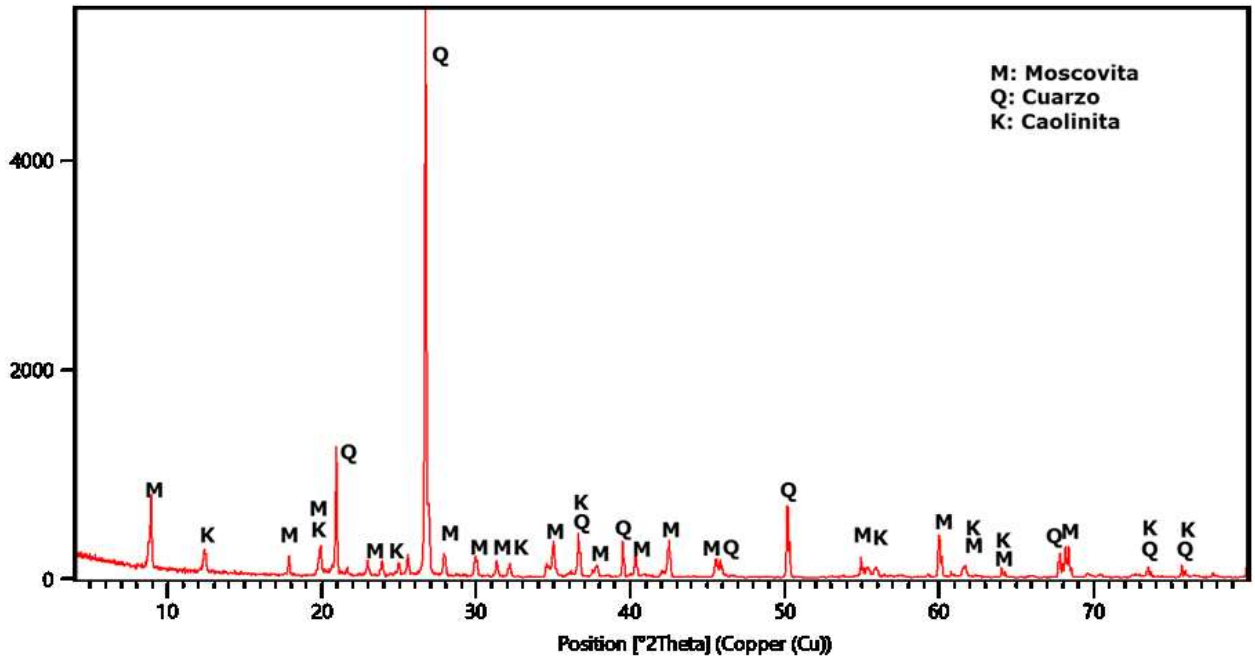

Figura 4. Difractograma de la muestra de pizarra amarilla.

3.4. Resultados de la caracterización física y físico–mecánica

El resultado del ensayo abrasión se presenta en la Figura 5. Como se advierte no superan el 30 % de desgaste, siendo el de mayor resistencia a este la pizarra parda. Los resultados están relacionados con la composición de ambas pizarras. En este caso, la pizarra amarilla, la cual ha sufrido mayor alteración, es menos resistente al desgaste en comparación con la pizarra parda, menos alterada y con minerales más resistentes. La utilización apropiada de estas pizarras estará determinada por el lugar de donde será empleado.

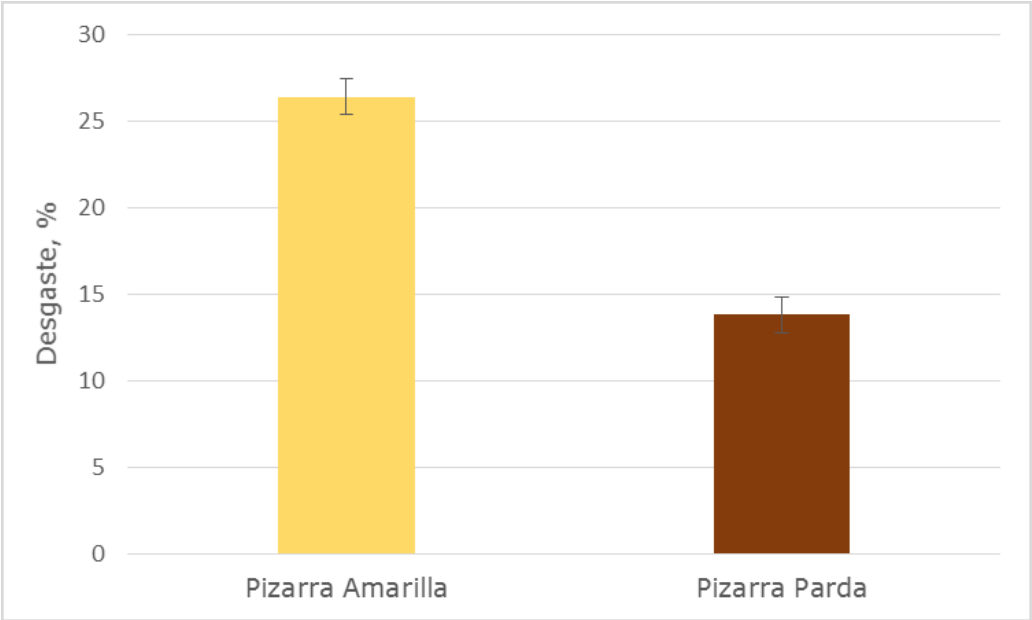

Figura 5. Desgaste promedio de las rocas pizarras.

En la Figura 6 se presentan los resultados promedios del ensayo de resistencia a la compresión de las pizarras. Se observa que la resistencia a la compresión se comporta de forma similar al resultado de la prueba de abrasión. En este caso, la pizarra amarilla presenta valores más bajos, aquí puede influir de forma similar el proceso de alteración que ha sufrido.

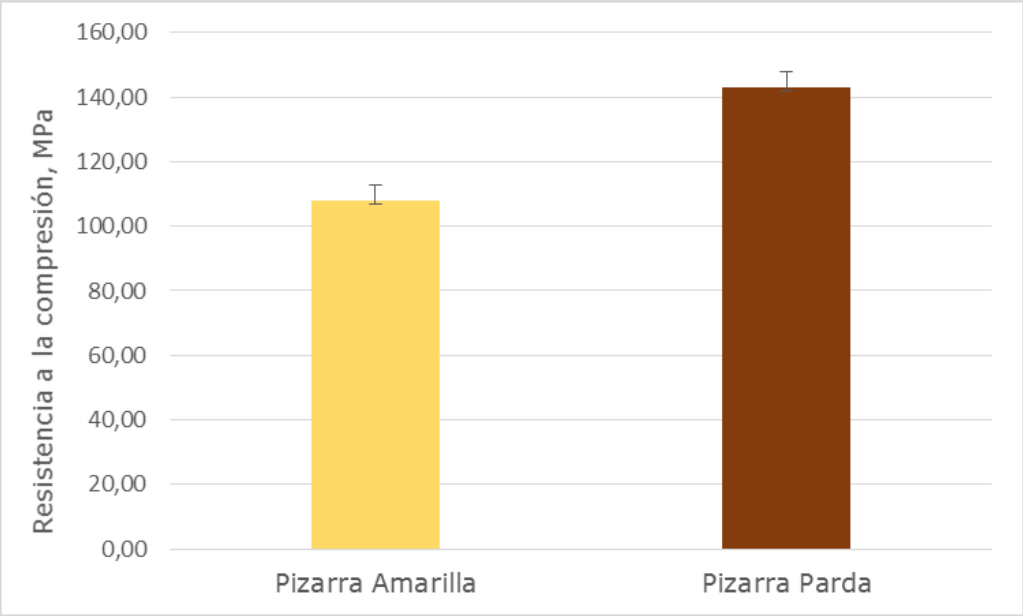

Figura 6. Resistencia a la compresión promedio de las rocas pizarras.

Similar tendencia se percibe en los resultados de resistencia a la flexión que se presentan en la Figura 7 pero con diferencias poco perceptibles. La diferencia en sus propiedades tecnológicas no limita su aplicación para ser empleadas como roca industrial.

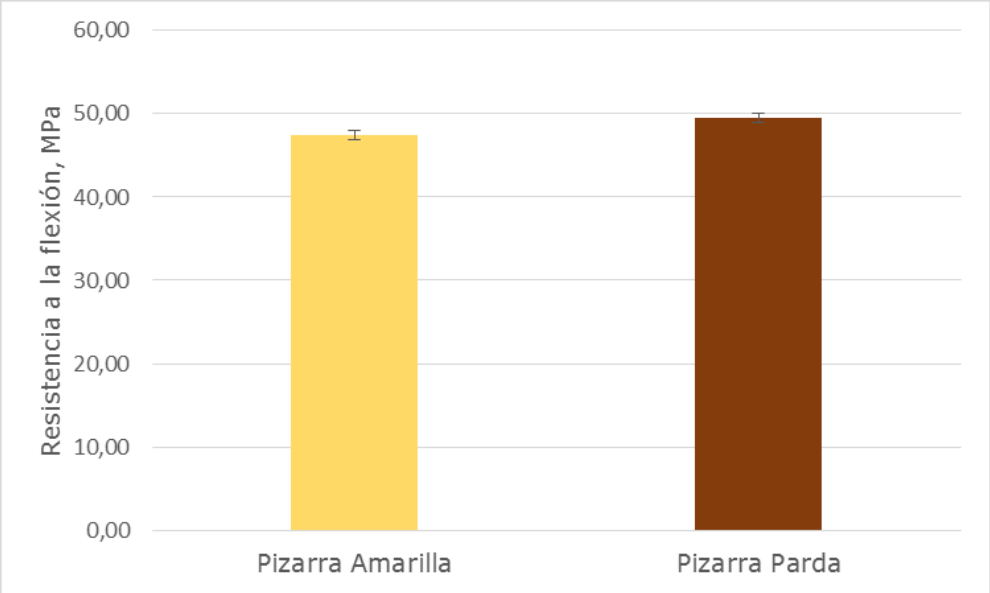

Figura 7. Resistencia a la flexión promedio de las rocas pizarras.

3.5. Valoración sobre la aplicación como roca industrial

A partir de los estudios geológicos realizados en el depósito de las rocas pizarras que se han analizado en este trabajo sugieren que tienen condiciones propicias para su explotación. Y para considerar su utilización la roca debe reunir una serie de características petrológicas y mineralógicas, así como fenómenos adicionales y factores que afectan la calidad, que rara vez se consideran, como la alteración y la durabilidad (Cárdenes *et al*. 2010).

Dentro de las características fundamentales de la roca es necesario valorar su composición mineralógica, homogeneidad, microtextura y las características macroscópicas (principalmente los aspectos estéticos) de la pizarra (Fernández-Maroto 2018). En cuanto a los aspectos de durabilidad es importante tener en cuenta la presencia de minerales accesorios como los sulfuros de hierro y los carbonatos (Cárdenes *et al*. 2014; Cárdenes, Cnudde y Cnudde 2015; Cárdenes *et al*. 2016; Cárdenes *et al*. 2010; Cárdenes y Rubio-Ordóñez 2008; Gómez-Fernández *et al*. 2009).

En ambas pizarras caracterizadas la presencia de minerales laminares (filosilicatos), como la moscovita, favorece mejores superficies de foliación, que podrían destinarse a la elaboración de placas para cubiertas. No presentan carbonatos, carbono y sulfuros de hierro que son componentes no deseados, esto las hace más estables ante los procesos de alteración.

Es necesario precisar que en la pizarra amarilla, al parecer, presenta un mayor grado de trasformación por la presencia de minerales arcillosos como la caolinita, lo que puede influir en la durabilidad de la pizarra que se utiliza en exteriores. En la pizarra parda, la forma en que se encuentra el hierro (hematita) en la muestra no crea posibilidades futuras de alteración por la posible oxidación, esta solo tiene mayor influencia en la coloración de las mismas, incidiendo en la estética.

De acuerdo con la composición mineralógica, textural y microestructural de estas pizarras, las diferentes posibilidades de aplicación hay que buscarlas esencialmente en los aspectos estéticos y en las propiedades tecnológicas.

La elección para ser utilizadas depende de las preferencias del color para la elaboración de piezas. Si se prefiere color claro, la elección estaría determinada por la materia prima con bajos contenidos en óxido de hierro, como la pizarra amarilla, y si se prefiere colores rojos se elige la pizarra parda.

La referencia de aplicación en cuanto a las propiedades tecnológicas estará determinada por las prestaciones que debe mostrar la pizarra ante determinada aplicación. En este sentido, para aplicaciones donde se necesite mayor resistencia al desgaste y mayor resistencia a la compresión, se recomienda el uso de las pizarras pardas. En cambio, si la necesidad está determinada por su resistencia a la flexión no existe mayor diferencia entre ambas pizarras.

Teniendo en cuenta lo anterior, las principales aplicaciones que pueden encontrar las pizarras analizadas son en tejas para cubiertas, pavimentos y muros de mampostería, adoquines, escalones, baldosas, áridos y revestimiento interior y exterior. Para las aplicaciones específicas es necesario practicar los ensayos físico-mecánicos, recomendaciones de las normas vigentes en función del destino final de la pizarra.

4. CONCLUSIONES

- Las pizarras del depósito Tchihingue se caracterizan por una composición química mayoritaria de óxidos de silicio, aluminio, hierro y potasio. El contenido relativamente elevado de hierro distingue a la pizarra parda y es el responsable de su coloración. Se observa una homogeneidad composicional en ambas pizarras.

- La textura pelítica en una matriz de sericita que presentan estas pizarras las clasifica como pizarras sericíticas, las cuales están compuestas esencialmente por cuarzo y moscovita. La pizarra parda es más rica en minerales micáceos y la pizarra amarilla presenta mayor contenido de cuarzo. Como características distintivas en la pizarra amarilla se identifica como mineral secundario la caolinita y en la parda la hematita.

- Las propiedades tecnológicas (abrasión, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión) de estas pizarras las hacen adecuadas para su aplicación como roca industrial, con diferencias poco significativas en cuanto a la resistencia a la flexión. La selección de su potencial puede estar dado desde el punto de vista estético (coloración).

5. REFERENCIAS

Barros-Lorenzo, J. C.; Castaño, M.; Hacar-Rodríguez, M. P.; Lombardero, M. y Olmo-Sanz, A. del. 1986: *Metodología de investigación de los yacimientos de pizarras para cubiertas*. ISSN 0213-4497.

Cárdenes, V. y Rubio-Ordóñez, A. 2008: Petrología de la pizarra para cubierta y sus factores de calidad. *Tierra y Tecnología*, 34: 91-96.

Consulta: 25/01/2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236865267_Petrologia_de_la_pizarra_para_cubiertas_y_sus_factores_de_calidad.

Cárdenes, V.; Cnudde, J. P.; Wichert, J.; Large, D.; López-Mungira, A. y Cnudde, V. 2016: Roofing slate standards: A critical review. *Construction and Building Materials*, 115: 93-104. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.042.

Cárdenes, V.; Cnudde, V. y Cnudde, J. P. 2015: Petrography of roofing slate for quality assessment. In: 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Delft, The Netherlands. 17-19 June. p. 61-69.

Cárdenes, V.; Rubio-Ordóñez, Á.; Wichert, J.; Cnudde, J. P. y Cnudde, V. 2014: Petrography of roofing slates. *Earth-Science Reviews*, 138: 435-453. ISSN 00128252. DOI 10.1016/j.earscirev.2014.07.003.

Cárdenes, V.; Rubio-Ordóñez, A.; López-Munguira, A. y Monterroso, Y. C. 2010: Petrografía y mineralogía de las pizarras para cubiertas de la Península Ibérica en relación con su calidad. *Trabajos de Geología*, 30: 412-420.

Cárdenes, V.; Rubio-Ordóñez, A.; López-Munguira, A.; De La Horra, R.; Monterroso, C.; Paradelo, R. y Calleja, L. 2010: Mineralogy and modulus of rupture of roofing slate: Applications in the prospection and quarrying of slate deposits. *Engineering Geology*, 114(3-4): 191-197. ISSN 00137952. DOI 10.1016/j.enggeo.2010.04.016. Consulta: 25/01/2020. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.04.016.

Cobas, M. 2013: Un estudio constata que la pizarra es el producto más sostenible para cubiertas. *La Voz de Galicia*. Consulta: 25/01/2020. Disponible en: http://www.lavozdegalicia.es/noticia/ourense/2013/11/23/estudio-constata-pizarra-producto-sostenible-cubiertas/0003_201311O23C9992.htm.

Fernández-Maroto, G. 2018: Rocas Industriales y Ornamentales. Curso. 2018. Cantabria, España: Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada.

Fernández-Caliani, J. C. y Galán, E. 1991: Las pizarras de la faja pirítica ibérica (zona sur-portuguesa): geologia, mineralogia y aplicaciones industriales. *Estudios Geológicos*, 47: 295-303.

Fernández-Caliani, J. C. y Requena-Abujeta, A. A. 2016. *Minerales y rocas industriales de Huelva*. Sevilla, España: Editorial Universidad de Sevilla.

García-De Celis, A. J.; González-Fernández, A. M. y Redondo-Vega, J. M. 1993: La Explotación de Pizarras Ornamentales en Castilla y León. *ERIA: Revista cuatrimestral de geografía*, 32: 251-264.

Gómez-Fernández, F.; Castaño, M. A.; Bauluz, B. y Ward, C. R. 2009:

Evaluación de la fisibilidad y durabilidad de pizarras de techar mediante microscopía óptica y SEM Optical microscope and SEM evaluation of roofing slate fissility and durability. *Materiales de Construcción*, 59(296): 91-104. DOI 10.3989/mc.2009.44007.

INE. 2014: O País. Luanda, Angola. Consulta: 25/01/2020. Disponible en: http://www.ine-ao.com/oPais.htm.

Lindoso-Tato, E. 2015: La industria de la pizarra española en perspectiva histórica. *Investigaciones de Historia Económica-Economic History Research*, 11(1): 52-61. DOI 10.1016/j.ihe.2014.03.013.

Ministerio de Geología y Minas. 2017: Portal do Ministério da Geologia e Minas. Consulta: 25/01/2020. Disponible en: www. mgm.gov.ao.

NC 188. 2002: Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo. La Habana, Cuba. Consulta: 25/01/2020. Disponible en: www.cubaindustria.cu.

Pérez, C.; Reyes-Hernando, O. V.; Rodà, I.; Álvarez-Pérez, A.; Gutiérrez, A.; Domènech-De La Torre, A. y Royo-Plumed, H. 2012: Use of marmora in the ornamental program of Las Pizarras Roman site (ancient Cauca, Segovia, Spain).

Queiroz, F. 2017: Descubierto en Angola el mayor área de granito negro del mundo. *Ropema*. Consulta: 22/01/2020. Disponible en: http://www.decorropema.com/2016/11/15/descubierto-en-angola-el-mayor-area-de-granito-negro-del-mundo/#:~:text=Ge%C3%B3logos%20angole%C3%B1os%20descubrieron%20a%20mediados,esta%20piedra%20en%20el%20mundo.

Ruíz-García, C. 1977: Aplicaciones del microscopio en relación con la calidad de las pizarras de techar. *Boletín geológico y minero*, 88(1): 72-77. ISSN 0366-0176.

Solé, A.; Guillén, J.; Parga, J.; Tirados, J. y Fernández, M. 1990: Nueva técnica de pegado con resina acrílica para preparar láminas delgadas para microscopía óptica. *Acta geológica hispánica*, 25(3): 221-226. ISSN 2173-6537.

Vázquez, M.; Jiménez-Millán, J.; Sánchez-Jiménez, C. y Parras, J. 2003: Composición y propiedades cerámicas de las pizarras de la Zona Centro Ibérica del Macizo Ibérico Meridional (Norte de Jaén, España). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 42(4): 215-221.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo.

Contribución de los autores

CFDM: concepción del estudio, ejecución de los análisis, evaluación de resultados experimentales de la caracterización física, redacción, revisión y aprobación de la versión final. RSAR: evaluación de los resultados de la caracterización química y mineralógica, redacción, revisión y aprobación de la versión final. JAON: evaluación de los resultados experimentales, revisión y aprobación de la versión final

ORCID

CFDM, https://orcid.org/0000-0002-8422-0830

RSAR, https://orcid.org/0000-0002-7185-7330

JAON, https://orcid.org/0000-0002-3586-113X

Recibido: 04/03/2020
Aceptado: 15/05/2020