

# Optimización de la producción de áridos procedentes de canteras con frentes complejos: cantera de Touro, A Coruña (España)

*Improvement of the production of aggregates from quarries located in complex geological settings: Touro quarry, A Coruña (Spain)*

Ana Patricia Pérez Fortes<sup>1</sup>, Pedro Castiñeiras<sup>1</sup> y Maria José Varas Muriel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de CC. Geológicas (UCM), C/ Jose Antonio Novais, (Ciudad Universitaria), 28040 Madrid, España. appfortes@gmail.com; castigar@geo.ucm.es

<sup>2</sup> Dpto. de Geomateriales, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM-CSIC), C/ Jose Antonio Novais, 2 (Ciudad Universitaria), 28040 Madrid, España. mjvaras@geo.ucm.es

## ABSTRACT

*Touro (A Coruña) is a quarry where amphibolite and schist are exploited as crushed aggregates. These materials formed in a complex metamorphic system and it is difficult to classify and separate them. For this reason, affordable techniques that can be used in quarry faces and in simple laboratories were searched to identify and characterize the stone materials. This characterization will help to evaluate "in situ" the quality of stone materials related to future uses. We have developed a petrological classification of the stone materials exploited in Touro. In order to differentiate the quality grades of the Touro quarry lithologies, the classification was completed by studying the stone surface hardness, porosity, expressed as water absorption capacity, and P-wave velocity propagation. On this basis, we concluded that texture, grain size, porosity and surface hardness are valuable "quarry faces" parameters to evaluate the quality of the stone materials. We also propose to separate the materials of the quarry faces by grades of quality to better control the final quarry product.*

**Key-words:** Quarry, aggregate, analytical techniques, classification, quality.

## RESUMEN

*La cantera de Touro (A Coruña) es una explotación a cielo abierto de la que se extraen anfíbolitas y esquistos para su uso como árido de machaqueo. Estos materiales geológicos han sufrido una evolución metamórfica compleja, lo que dificulta su identificación y posterior separación en cantera. Por este motivo, es necesario buscar técnicas analíticas sencillas de campo y laboratorio que permitan identificar y caracterizar el material en los frentes y evaluar su calidad en relación a sus posteriores usos en obra. Con este objetivo, se identificaron las variedades litológicas presentes en los frentes de extracción y se estudió su dureza superficial, porosidad, expresada como la capacidad de absorción del agua, y velocidad de propagación de ondas P. A partir de los resultados obtenidos, se concluyó que la textura, tamaño de grano, porosidad y dureza superficial, son los mejores indicadores de la calidad de los materiales y se propone un sistema de sectorización de los frentes de explotación para un mejor aprovechamiento de los recursos geológicos y un control adecuado de la calidad del producto final en cantera.*

**Palabras clave:** Cantera, árido, técnicas analíticas, sectorización, calidad.

*Geogaceta*, 62 (2017), 111-114  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 3 de febrero de 2017  
Revisión: 16 de abril de 2017  
Aceptación: 26 de abril 2017

## Introducción

Tradicionalmente, en la cantera de Touro, situada en el yacimiento de Arinteiro, se han explotado mineralizaciones de Cu a cielo abierto mediante cortas verticales (Castiñeiras *et al.*, 2002; Gómez Barreiro *et al.*, 2002).

Actualmente, estas cortas de roca poco alterada y con menor contenido en azufre, se explotan para la obtención de áridos de machaqueo utilizados especialmente en firmes de carretera (García *et al.*, 2012).

El aprovechamiento de la cantera, situada en una zona de alta complejidad geológica, está favorecido por el conocimiento previo de la explotación de Cu, aunque todavía se hace difícil la identificación y separación de las diferentes litologías que afloran en los frentes. Dicha separación es fundamental para garantizar la calidad del árido, ya que dichas litologías presentan características petrofísicas dispares. Por este motivo, hemos desarrollado un método para poder discriminarlas fácilmente a pie de corta y mejorar significativamente la producción.

Con este objetivo, se llevó a cabo un reconocimiento geológico de detalle de los materiales acompañado del análisis de la dureza superficial de los frentes de extracción en campo y del estudio de algunas de las propiedades petrofísicas de los materiales en laboratorio.

Posteriormente, se evaluó la influencia de dichas propiedades en el comportamiento del material una vez machacado y clasificado como árido. Para ello, se tuvieron en cuenta parámetros como el tamaño de grano, textura y porosidad de la roca, ya que estas propiedades son consideradas como

los factores más importantes que condicionan tanto la calidad como la durabilidad de una roca utilizada como árido de machaqueo (Rigopoulos *et al.*, 2012).

### Encuadre geológico

La cantera de Touro está situada en el macizo de Arinteiro, en el que afloran materiales de la Unidad de O Pino y de la Unidad de Arinteiro (Fig. 1), pertenecientes a las Unidades Superiores del Complejo de Órdenes (Gómez Barreiro, 2007).

La Unidad de O Pino se compone de metasedimentos que aparecen apilados en una potente secuencia de tipo *flysch* (Castiñeiras, 2005) constituida principalmente por gneises pelíticos con granate, estauroilita y distena; y gneises semipelíticos con granate, que son los más abundantes en la zona. Ambos materiales presentan una fábrica planolínica y una textura con porfiroblastos de granate y, en el caso de los gneises pelíticos o esquistos, estauroilita y agregados de distena pseudomorfizando a andalucita (Castiñeiras, 2005).

La Unidad de Arinteiro está compuesta por metagabros, anfibolitas y anfibolitas graníferas, niveles métricos de anfibolitas pobres en calcio y rocas de silicatos cálcicos. Además, debido a la compleja estructura del macizo, con gran cantidad de cabalgamientos, también aparecen milonitas y filonitas.

### Metodología

En la cantera de Toruro afloran anfibolitas y metasedimentos. Dichos metasedimentos se corresponden con esquistos con distena y paragneises. El protolito de los primeros es de carácter pelítico, mientras que el de los segundos es una semipelita (son más cuarzofeldespáticos, tienen menos micas y un aspecto más gneisico).

La toma de muestras y metodología de trabajo efectuada se basó en la zonación de los frentes realizada por el personal técnico de la cantera (Fig. 2).

En función de dicha zonación se hicieron los siguientes trabajos de campo:

- Inspección visual de cada zona delimitada de los frentes de extracción y descripción macroscópica de sus materiales en función de aspectos composicionales, texturales y estructurales.
- Medida de la dureza superficial del material de los frentes con un martillo de Schmidt (González de Vallejo *et al.*, 2002). En total,

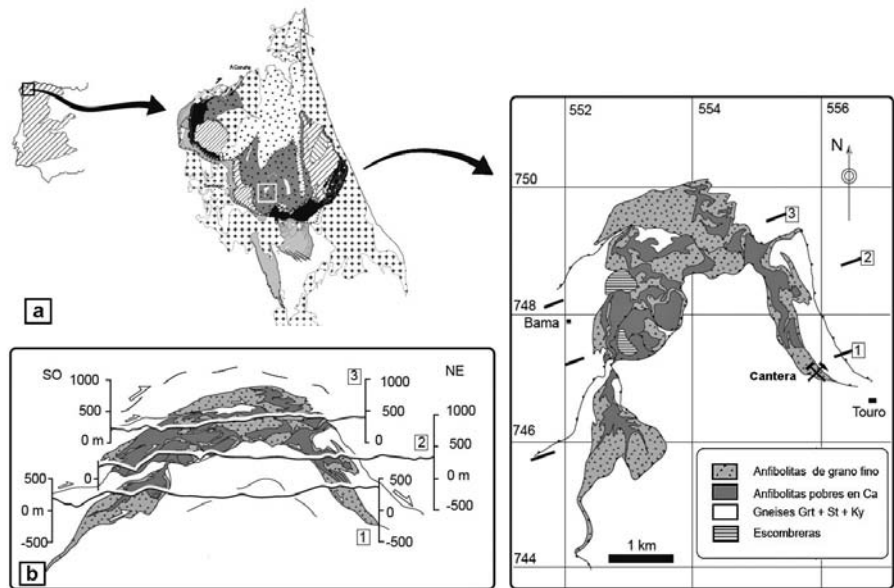


Fig. 1. Mapa geológico (a) y cortes simplificados (b) del macizo de Arinteiro (Castiñeiras *et al.*, 2002).

Fig. 1. Simplified geological map (a) and profiles (b) of Arinteiro massif (Castiñeiras *et al.*, 2002).

se realizaron 313 medidas repartidas en las 4 zonas de extracción.

- Toma de muestras representativas de cada sector (Tabla I) para su posterior caracterización petrológica y petrofísica en laboratorio.

Finalmente, en laboratorio se utilizaron las siguientes técnicas y ensayos:

- Análisis petrográfico de las muestras recogidas en campo (UNE-EN 12407: 2007).
- Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica (UNE-EN 13755:2008).
- Determinación de la velocidad de propagación de ondas P, Vp (UNE-EN 14579:2005).

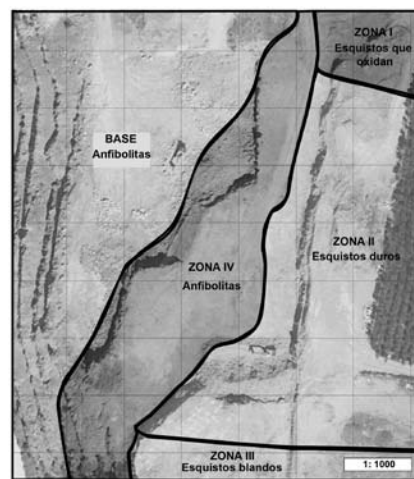


Fig. 2. Clasificación de los materiales en explotación realizada por el personal técnico de la cantera de Touro, A Coruña.

Fig. 2. Material classification by technical professionals of Touro quarry, A Coruña.

Con los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio se realizó una sectorización de los frentes en función de la calidad estimada.

### Resultados

#### Descripción macroscópica de los frentes de extracción

En la zona I, denominada "zona de esquistos que oxidan" en cantera (Fig. 2), se observaron esquistos muy fracturados y afectados por un plegamiento intenso, lo que facilita la alteración de la roca por circulación de fluidos.

En la zona II, denominada "zona de esquistos duros" en cantera (Fig. 2), se observó una litología esquistosa más homogénea y menos fracturada que la anterior. Son esquistos grises de grano fino con una foliación muy marcada.

En la zona III, denominada "zona de esquistos blandos" en cantera (Fig. 2), los materiales estaban muy degradados. Los esquistos presentes son muy lajosos y micáceos y, en consecuencia, fácilmente fisibles. En general, el material aparece disgregado y con colores rojizos a pardos, debido a procesos de oxidación. Este material se mezcla con los esquistos de la zona II para obtener el árido comercial.

En la zona IV, denominada "zona de anfibolitas" en cantera (Fig. 2), aparecen los materiales más homogéneos y menos frac-

Zona	Clasificación cantera	Nº Muestras	Litología
I	Esquisto que oxida	5	Paragneis
II	Esquisto duro	8	Paragneis / Esquisto distena
III	Esquisto blando	4	Esquisto distena
IV	Anfibolita	7	Anfibolita/Filonita

**Tabla I.- Localización y número de muestras recogidas en los frentes explotables de la cantera de Touro, A Coruña y litologías explotables.**

*Table I.- Location and number of samples studied from the quarry faces of Touro, A Coruña and lithologies from the quarry faces.*

turados. En general, se encuentran anfibolitas de grano fino, con venas de mármol y cuarzo de espesor centimétrico.

#### *Análisis petrológico y mineralógico de los frentes de extracción*

En la zona I ("esquistos que oxidan") de extracción afloran paragneises con venas de cuarzo. Dichos paragneises presentan texturas grano-lepidoblásticas con tamaños de grano medio a fino. En general, estas rocas están formadas por cuarzo, plagioclasa, moscovita, biotita y granate. Localmente, se detectaron apatito, circón y minerales opacos, que podrían corresponderse con sulfuros y/o ilmenita.

En la zona II ("esquistos duros"), las muestras analizadas corresponden a una alternancia de paragneises y esquistos con distena. Los paragneises presentan una textura grano-lepidoblástica con tamaños de grano medio a fino. La mineralogía de esta litología consiste en cuarzo, plagioclasa, biotita, moscovita y granate. En menor proporción se detectaron minerales opacos (ilmenita y/o sulfuros), apatito y circón. Por el contrario, los esquistos con distena presentan texturas lepidograno-blásticas con tamaños de grano de medio

a fino. Están compuestos de cuarzo, plagioclasa, biotita, moscovita, granate, distena, estauroilita y minerales opacos (ilmenita y/o sulfuros).

La zona III ("esquistos blandos") se corresponde con los esquistos con distena descritos en la zona II y presenta también venas de cuarzo.

En la zona IV ("anfibilas") las muestras analizadas se corresponden con anfibilas y filonitas. Las anfibilas presentan texturas nematoblásticas de grano fino a muy fino y su mineralogía se compone principalmente de anfíbol, plagioclasa, clinozoisita, cuarzo, minerales opacos (ilmenita/sulfuros), clorita, calcita y epidota. Las filonitas aparecen como bandas intercaladas entre las anfibilas y presentan tamaños de grano de fino a medio con textura granoblástica. La mineralogía que presentan es clorita, plagioclasa, anfíbol (actinolita), clinozoisita, moscovita, biotita, cuarzo y opacos (sulfuros).

De acuerdo con las descripciones anteriores, se constata una falta de correspondencia entre las zonas delimitadas por el personal de cantera y la distribución de litologías, tal como se muestra en la tabla I.

#### *Análisis petrofísico de los frentes de extracción*

Los resultados del análisis petrofísico de las muestras, junto con los valores medios de dureza superficial medidos en campo se muestran en la tabla II.

Las anfibilas son las que menor coeficiente de absorción, mayor Vp y mayores valores de dureza superficial presentan, lo que indica que son rocas compactas y resistentes (Tabla II).

Por el contrario, los esquistos con distena que afloran en la zona III son las rocas que presentan peores valores de coeficiente de absorción, de Vp y de dureza superficial (Tabla II), por lo que son rocas poco resistentes. Debido a sus valores de coeficiente de absorción (Coeficiente de absorción  $\geq 2$ , UNE-EN 13043:2003) se degradan con facilidad.

#### *Sectorización por calidades de los frentes de extracción*

A partir de los resultados obtenidos mediante los diferentes ensayos y técnicas de identificación empleadas, se han clasificado los frentes en función de su grado de calidad (Fig.3).

El sector I, en el que afloran las anfibilas, es el que presenta una mayor calidad. Por el contrario, el sector III, correspondiente a los mayores afloramientos de esquisto con distena presentes en la cantera (Zona III), es el que presenta una calidad menor. Es incluso desaconsejable su uso atendiendo a los valores generales de coeficiente de absorción ( $>2\%$ ; Tabla II).

Finalmente, el sector II engloba a las zonas I y II diferenciadas en cantera. Aunque los paragneises de la zona I tienen procesos de oxidación superficial más intensos que los descritos en la zona II, y una mayor porosidad (Tabla II), presentan valores de dureza similares por lo que han sido incluidos en el mismo sector de calidad.

### **Discusión**

La complejidad geológica del área de estudio provoca la mezcla de materiales durante el proceso de producción del árido, ya que la separación de los mismos en el frente es económicamente inviable. Por este motivo, para tener un mayor control de las propiedades de los áridos producidos es necesario evaluar las características de los materiales que lo componen por separado.

Zonas de extracción	Litologías	Dureza (1-60 U. S)	Coef. Abs (%)	Vp (m/s)
I	Paragneises (pequeñas intercalaciones esquistos)	42 ± 8	1,38 ± 1,41	4210 ± 1319
II		49 ± 6	0,48 ± 0,31	5297 ± 807
III	Esquistos distena	24 ± 2	4,66 ± 4,31	3259 ± 1250
IV	Anfibolita (pequeñas intercalaciones de filonitas)	51 ± 1	0,24 ± 0,13	5696 ± 888

Nota: Coef. Abs (%)= Coeficiente de Absorción; Vp (m/s)= Velocidad de propagación de ondas P.

**Tabla II.- Localización y número de muestras recogidas en los frentes explotables de la cantera de Touro, A Coruña y litologías explotables.**

*Table II.- Location and number of samples studied from the quarry faces of Touro, A Coruña and lithologies from the quarry faces.*

Las litologías que conforman los frentes de explotación de la cantera de Touro son paragneises, esquistos con distena, anfibolitas y filonitas. Los paragneises y esquistos con distena se mezclan durante el proceso de producción para obtener el árido denominado comercialmente esquisto, mientras que las anfibolitas y las filonitas se mezclan para obtener el árido denominado anfibolita.

La anfibolita es la variedad pétreo que presenta menor tamaño de grano y estructura interna más masiva. Esto se traduce en una mayor dureza y, por tanto, resistencia de la roca. Además, la capacidad de absorción del agua es casi nula (Tabla II), lo que hace que estos materiales sean poco susceptibles a ser degradados.

Por el contrario, los esquistos con distena son los materiales que presentan mayor tamaño de grano y una estructura interna más foliada. Además, es la variedad litológica de menor dureza y mayor capacidad de absorción de agua (Tabla II). Esto provoca que estos materiales se degraden con facilidad.

Los resultados obtenidos están de acuerdo con los valores de calidad del árido facilitados por la cantera. El valor de la resistencia a la fragmentación (Desgaste de Los Ángeles, UNE-EN 1097-2:2010) del árido de anfibolita es 12 mientras que para los esquistos es 19, lo que confirma que los esquistos son menos resistentes que la anfibolita.

De acuerdo con esto, se concluye que la textura, tamaño de grano, porosidad, expresada

como el coeficiente de absorción del agua, y la dureza superficial son buenos indicadores de la calidad del material. Proponemos el valor límite del 2% de absorción del agua utilizado en áridos de mezclas bituminosas (UNE-EN 13043:2003) como índice de calidad inicial en los frentes, aunque este valor podría ser incluso más estricto, ya que durante el machaqueo del árido se abre una nueva porosidad por impacto (Pérez Fortes *et al.*, 2012). Habría que realizar más ensayos para fijar un buen límite para este parámetro.

Por último, sugerimos sectorizar los frentes de extracción de las canteras de árido empleados en carreteras en función de su grado de calidad para realizar un mejor aprovechamiento de los recursos y control de la calidad del producto final, tomando como punto de partida el procedimiento de sectorización que ADIF ya realiza para la homologación de sus canteras suministradoras de balasto (P.A.V. 34-0.0, 2007).

## Conclusiones

De los materiales estudiados, anfibolita y paragneis son los más aptos para su uso en obra civil, mientras que se desaconseja el uso del esquisto con distena.

El análisis petrográfico (composición y textura) de los frentes de extracción es primordial para la identificación y clasificación de los materiales y un mayor control de la calidad del producto acabado.

La porosidad, expresada como coeficiente de absorción de agua, y la dureza superficial son parámetros determinables de forma económica y sencilla que pueden aplicarse a los materiales de los frentes para estimar su calidad.

La sectorización de los frentes en función de su grado de calidad puede mejorar el control del producto final en cantera.

## Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por el programa S2013/MIT-2914 (GEOMATERIALS-2CM) y becas FPI CEDEX (BOE 27/06/2009). Los autores también quieren agradecer a Jose Pedro Calvo Sorando, Catedrático de Petrología y Geoquímica de la Facultad de CC. Geológicas de la UCM sus comentarios sobre el texto publicado.

## Referencias

- Castiñeiras, P., Gómez Barreiro, J., Martínez Catalán, J. R. y Arenas, R. (2002). *Geogaceta* 32, 83-86.
- Castiñeiras, P. (2005). *Origen y evolución tectono-termal de las unidades de O Pino y Cariño (Complejos Alóctonos de Galicia)*. Eds. Seminario de Estudos Galegos, Area de Xeoloxía e Minería, and Laboratorio Xeolóxico de Laxe. O Castro. Serie Nova Terra, 28. Coruña, España. 279 p.
- García, F. M., Vázquez, F. M. y Olano, C. N. (2012). *Boletín das ciencias* 25(76), 65-66.
- Gómez Barreiro, J. L., Castiñeiras, P., Martínez Catalán, J. R. y Arenas, R. (2002). *Geogaceta* 32, 87-90.
- Gómez Barreiro, J. (2007). *La Unidad de Fornás: Evolución tectonometamórfica de SO del Complejo de Órdenes*. Eds. Seminario de Estudos Galegos, Santiago de Compostela, and Area de Xeoloxía e Minería. Edición do Castro. Serie Nova Terra, 32. Coruña, España. 334 p.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall, Madrid, pp. 346-348.
- Adif (2007). *Pliego de Prescripciones Técnicas Administrativas para el suministro y utilización del balasto*. (7ª Edición). P.A.V. 3-4-0.0: 2007.
- Pérez Fortes, A. P., Cano Linares, H., Varas Muriel, M. J. y Castiñeiras García, P. (2012). En: *III Congreso Nacional de Áridos*. Fuego Editores. 508-513p.
- Rigopoulos, I., Tsikouras, B., Pomonis, P. y Hatzipanagiotou, K. (2012). *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 45(4), 423-433.
- AENOR (2010). *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación*. UNE-EN 1097-2: 2010 Madrid.
- AENOR (2007) *Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico*. UNE-EN 12407: 2007 Madrid.
- AENOR (2007). *Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas*. UNE-EN 13043: 2007 Madrid.
- AENOR (2008). *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*. UNE-EN 13755: 2008 Madrid.
- AENOR (2005). *Métodos de ensayo de piedra natural. Determinación de la velocidad de propagación del sonido*. UNE-EN 14579: 2005 Madrid.

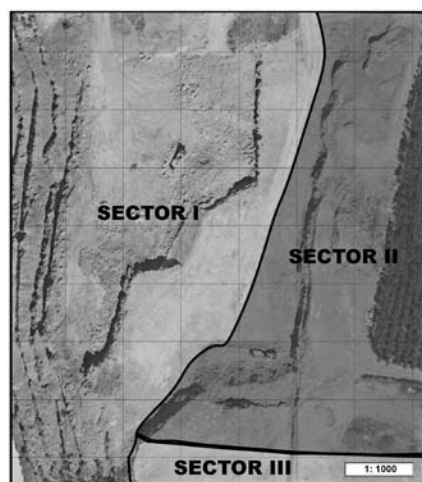


Fig. 3. Sectorización de los frentes explotables de la cantera de Touro, A Coruña a partir de su litología y propiedades petrofísicas medidas.

Fig. 3. Quality sectors of Touro quarry materials based on the lithology classification and measured petrophysical properties.