

# Caracterización petrofísica de areniscas del Eoceno Medio – Superior del Pirineo Occidental

Petrophysical characteristics of the middle-upper Eocene sandstones of the western Pyrenees

J. Gisbert, O. Buj y B.Franco

Facultad de ciencias de la Tierra, Departamento de Petrología y Geoquímica. C/ Pedro Cerbuna s/n C.P. 50.009 Zaragoza. gisbert@unizar.es, oscarbuj@unizar.es, f\_belen@hotmail.com

## ABSTRACT

In this work we have studied six varieties of Tertiary sandstone from the Pyrenees, they are all litharenites with medium grain size between 0,1 a 0,25 mm and porosity between 0,4 - 4%. Some petrographical and physical parameters (Mineralogical composition, absorption, free porosity, apparent density) and mechanical properties (compression and flexion strength resistance ) have been studied in order to establish a relation between them. The statistic study has showed the correlation between compression strength resistance and petrographical parameters. The content in cement has resulted to give the best correlation with mechanical properties.

Key words: sandstone, petrophysics, durability, petrography, western Pyrenees

Geogaceta, 38 (2005), 239-242

ISSN: 0213683X

## Introducción

Este trabajo se enmarca en un estudio más amplio, de catalogación de todas las rocas aragonesas de usos constructivos, promovido por la Consejería de Industria de la DGA y realizado en colaboración con empresas de cantería. En esta publicación caracterizamos seis variedades de areniscas Eocenas de la zona surpirenaica, que forman parte de formaciones terciarias que se extienden desde el pirineo Aragonés hasta el pirineo Navarro. Estas areniscas presentan un valor industrial notable debido a las excelentes propiedades para usos constructivos que poseen, lo que ha inducido una importante actividad empresarial en el ramo de la cantería en la zona.

Para la caracterización de estos materiales se ha realizado una descripción de los afloramientos en cantera y un desmuestre para la caracterización petrográfica, de las propiedades hídricas y geomecánicas.

## Situación geográfica y geológica

Las rocas objeto de estudio se localizan en el Prepirineo Navarro – Aragonés y forman parte de la Cuenca de Jaca-Pamplona y de la Cuenca de Ainsa. Sus nombres como piedras de cantería son: piedra de Yesa (Término municipal de Yesa), piedra de Martes (Término municipal de Martes), piedra de Sinués (Tér-

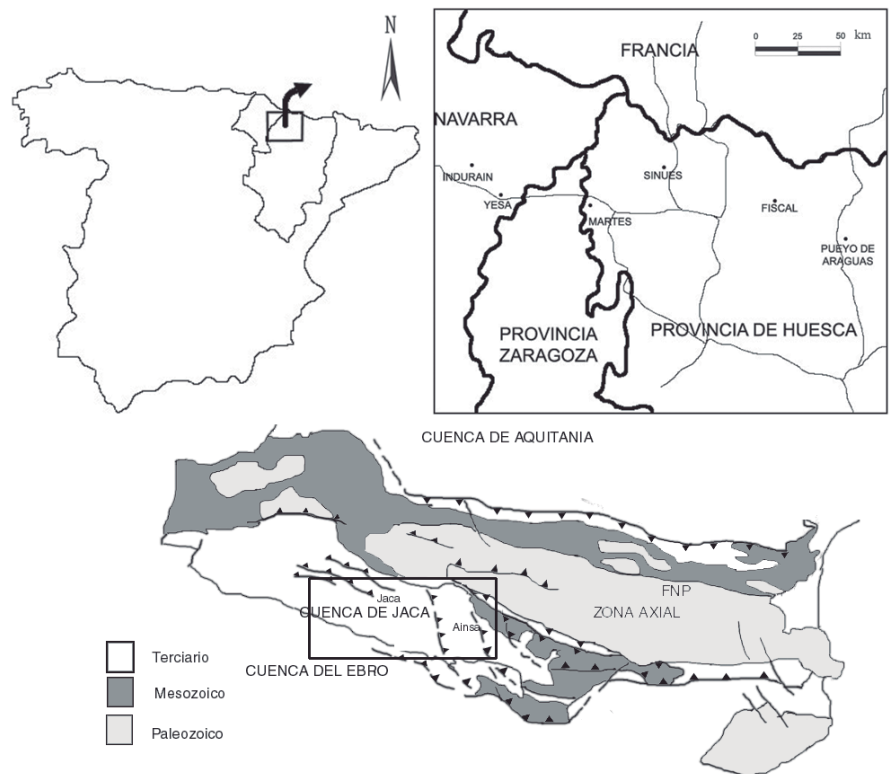


Fig. 1.- Localización geográfica y geológica del área de estudio. Modificado de Teixell 1996.

*Fig. 1. - Geographical and geological location of the study area. Modified from Teixell 1996.*

mino municipal de Sinués), piedra del Alto Aragón (Término municipal de Fiscal) y piedra de Pueyo (Término municipal de Pueyo de Araguas) (Fig. 1), ade-

más de estas hay dos piedras mas con uso industrial, de la misma edad geológica y tecnológicamente afines que no se incluyen en el presente estudio. Son las pie-

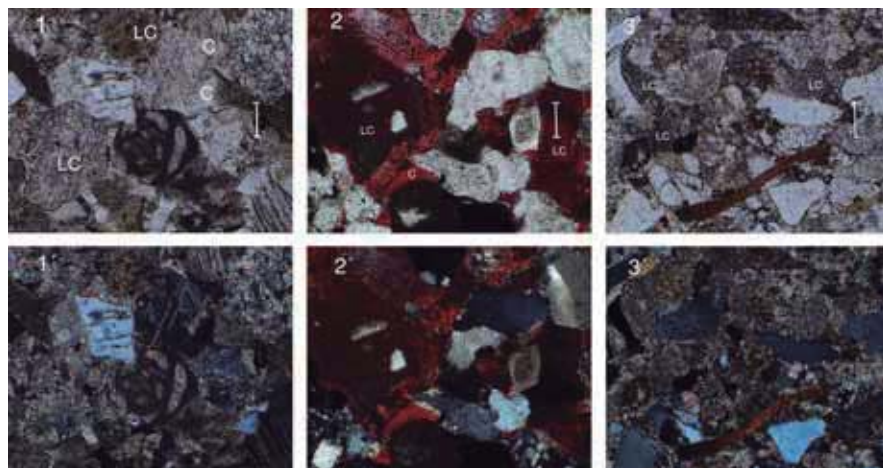


Fig. 2.- Láminas delgadas de las areniscas observadas al microscopio petrográfico x 10. Escala 100µm. 1-2-3 nículos paralelos. 1'- 2'- 3' cruzados (C – cemento, Cd – cemento dolomítico, LC – líticos carbonatados).

1- 1' Fiscal. Se observan feldespatos, fósiles, cuarzos y fragmentos de roca.

2- 2' Martes. Se observa un clasto con cemento syntaxial dolomítico, cuarzos y fragmentos de roca.

3- 3' Sinues. Se observan biotitas, cuarzos y fragmentos líticos.

Fig. 2.- Thin section of the sandstone observed under the petrographic microscopic x 10. Scale 100µm. 1-2-3 parallel nicols. 1'- 2'- 3' crossed nicols (C – cement, Cd – dolomitic cement LC – carbonate lithic).

1- 1' Fiscal. Feldspars, fossils, quarts and lithic fragments are appreciated.

2- 2' Martes. Syntaxial dolomitic cement, quarts and lithic fragments are observed.

3- 3' Sinues. Biotites, quarts and lithic fragments, from part of these rocks.

dras de Indurain (Navarra) y de Santa Cruz de Serós (Huesca).

Las rocas de Sinués, Fiscal y del Pueyo de Araguas son de Edad Cuisiense – Luteciense y pertenecen al Grupo de Hecho. El Grupo Hecho se genero como consecuencia de los movimientos tectónicos ocurridos al iniciarse el Eoceno, que preconfiguraron la cuenca «flysch», surco subsidente alargado según la dirección pirenaica que fue rellenado por terrígenos depositados por corrientes de turbidez (Puigdefábregas, 1975). Dentro de esta cuenca las facies fluviales y deltaicas se localizan al E en la zona del Esera, mientras que hacia el W (zona de Broto) se localizan las facies Flysch (sedimentos turbidíticos profundos: Grupo de Hecho).

La Piedra del Alto Aragón se localiza en la parte más proximal del Flysch eoceno de la Cuenca de Jaca, mientras

que la piedra de Pueyo se localiza hacia el SE esta zona que se caracteriza por el paso a facies de margas de talud con presencia de paquetes arenosos turbidíticos, pasando a facies deltaicas en la zona del Esera (Oliva, 2000).

La piedra de Martes es de edad Bartonense, y pertenece a los tramos basales de la Fm Belsué-Atares. Esta es una formación deltaica, constituida por una alternancia de areniscas y margas que lateralmente pasan a las margas de Pamplona. La cantera de Martes se localiza en la zona de contacto de la Fm Belsué-Atarés con la Fm Margas de Pamplona.

La piedra de Yesa es de edad Priabonense y pertenece al «Flysch» de Yesa, que corresponde a niveles turbidíticos (canales en forma de cuerpos aislados e irregulares de talud formando lentejones de arenisca) en las facies marinas profun-

das de las margas de Pamplona (Puigdefábregas 1975).

En cuanto a su composición petrográfica, la presencia abundante de líticos calcíticos (de tipo fósil e intraclasto) es muy probable que indique un origen del sedimento turbidítico en una plataforma con abundante sedimentación carbonatada; casos de Yesa, Fiscal y Sinues. Por otra parte la mayor abundancia de líticos siliciclásticos indicaría un retrabajamiento directo de terrígenos continentales (Martes y Pueyo).

### Características de campo

La piedra de Yesa se explota en estratos de areniscas de 0,4 a 1,8 m intercalados con niveles margosos de espesor semejante y buzando 35 a 45° hacia el Este. La explotación coincidió temporalmente, con la construcción de varias urbanizaciones en la margen derecha del río Aragón y a la altura de la cerrada del pantano, y ceso al finalizar las obras asociadas.

La piedra de Martes es explotada por la empresa Olnasa a partir de bancos de 1-3 m de espesor apoyados unos sobre otros sin intercalaciones lutíticas y buzando 30 – 40 ° al Sur.

La piedra del alto Aragón es explotada por la empresa Piedra del Alto Aragón en una cantera con bancos de hasta 1m de espesor, y buzamiento muy suave (10°) hacia el Sur. El espaciado es de 1-5 m siendo lo normal de 2m intercalados con capas margosas.

La piedra del Pueyo de Araguas se explota por el ayuntamiento de esta localidad en canteras con estratos de gran continuidad lateral de hasta 0,8 m de potencia que aparecen intercalados con capas margosas.

En todos los casos son bancos gris/azulados (casi negros en el caso de la Piedra del Alto Aragón) con ribetes marrones en las fisuras por oxidación superficial.

### Caracterización petrofísica

La caracterización petrofísica de estas rocas se ha realizado con el fin de

| Muestra | % Calcita | % Dolomita | % Cuarzo | % Feldesp. | % Micas | %Otros (Lit. metamórficos) | % Matriz y Ox. Fe | Relación Carb/Silicato | Relación Calcita/Cuarzo |
|---------|-----------|------------|----------|------------|---------|----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| PUEYO   | 16,7      | 7,3        | 30,0     | 3,2        | 5,5     | 30,9                       | 6,3               | 0,3                    | 0,6                     |
| FISCAL  | 52,8      | 5,2        | 13,3     | 4,9        | 4,4     | 14,8                       | 4,4               | 1,5                    | 4,0                     |
| SINUES  | 58,2      | 4,4        | 15,2     | 1,4        | 2,8     | 9,3                        | 8,6               | 2,2                    | 3,8                     |
| MARTES  | 43,1      | 4,9        | 22,9     | 0,6        | 0,8     | 23,2                       | 4,5               | 1,0                    | 1,9                     |
| YESA 1  | 57,4      | 1,9        | 25,9     | 1,3        | 0,9     | 6,4                        | 6,1               | 1,7                    | 2,2                     |
| YESA 2  | 50,0      | 0,6        | 35,5     | 1,3        | 0,6     | 5,8                        | 6,1               | 1,2                    | 1,4                     |

Tabla I.- Composición mineralógica (%). Contaje de 500 puntos por lámina.

Table I.- Mineralogical composition (%). We have counted 500 points by thin section.

| Muestra | Clastos Q | Clastos Fto | Cemento | % Matriz/Ox Fe | Frag. Lit. ( Met ) ( cal ) (dolo) | Selección |
|---------|-----------|-------------|---------|----------------|-----------------------------------|-----------|
| PUEYO   | 30,0      | 3,2         | 4,4     | 6,3            | 56,1 (61,2; 24,3; 14,5)           | 1,3       |
| FISCAL  | 13,9      | 5,2         | 18,8    | 4,6            | 57,5 (27,0; 63,5; 9,5)            | 1,3       |
| SINUES  | 15,2      | 1,4         | 20,2    | 8,6            | 54,5 (18,0; 73,5; 8,5)            | 1,4       |
| MARTES  | 23,1      | 0,6         | 11,3    | 4,5            | 60,4 (39,1; 52,6; 8,3)            | 1,4       |
| YESA 1  | 26,2      | 1,3         | 32,0    | 6,1            | 34,3 (19,4; 74,8; 5,8)            | 1,4       |
| YESA 2  | 35,5      | 1,3         | 28,4    | 6,1            | 28,7 (20,7; 77,0; 2,3)            | 1,6       |

Tabla II.- Composición textural de las areniscas.

Table II.- Textural composition of sandstones.

evaluar la calidad del material como piedra de cantería. Para ello se ha realizado un estudio petrográfico y la caracterización hídrica y mecánica.

**Petrografía**

El tamaño de grano, forma y selección de las areniscas estudiadas son muy homogéneos (clastos de angulosos a subangulosos con tamaños medios de 0,1 a 0,25 mm) con selecciones (So) de 1,3 a 2 (gráficas de estimación visual Beard 1997). En todos los casos las rocas son litoarenitas (Tabla I) ( Fig. 2) en las que los fragmentos de rocas son bien carbonatados o de rocas metamórficas/volcánicas (filitas/felsitas)

Los fragmentos carbonatitos son de caparzones calcíticos (mayoritariamente foraminíferos), intraclastos (micritas con deformaciones plásticas), clastos de esparita (generalmente monocristalina que en muchos casos podrían ser feldespatos reemplazados) y clastos de dolomita esparítica claramente detríticos y que están presentes en todas las rocas estudiadas (Fig.2.1-1').

Los clastos metamórficos (filitas) son mayoritariamente agregados cripto-cristalinos de cuarzo, feldespato y micas. Los fragmentos de rocas volcánicas son en muchos casos indistinguibles de los primeros y por ello se describen conjuntamente. En los clastos en que la textura volcánica es clara, todo indica que son fragmentos de rocas Stephano-Pérmicas.

El cemento es de calcita esparítica y microesparita. Hay cementos sintaxiales de cuarzo que interpretamos en todos los casos como heredados ya que mucho cuarzo debe provenir de areniscas precedentes y no hay pruebas de autigénesis de cuarzo en las rocas investigadas; de forma limitada hay cementos sintaxiales de dolomita (Fig 2 2-2').

No hay ninguna roca con grandes porcentajes de feldespato, pero las areniscas del grupo Hecho (Pueyo, Fiscal y Sinues) son las que tienen más feldespatos y también más micas. Esta característica es además un hecho composicional diferen-

cial respecto a las otras rocas estudiadas (Fig 2 3-3').

Los espacios intergranulares son reducidos (10% Pueyo), intermedios (15-22-28% en Martes, Fiscal, Sinues) o elevados (38-34% en Yesa).

**Discusión de los parámetros composicionales**

Desde un punto geográfico los afloramientos de la roca estudiada van de Este (Pueyo de Araguas) a Oeste (Yesa) y es previsible que la consiguiente variación de área fuente influya en la composición de las areniscas. El parámetro que sigue una pauta geográfica más marcada es el de los líticos dolomíticos (Tabla II) que disminuyen progresivamente desde Este hacia el Oeste.

Las areniscas del Grupo Hecho (Sinues, Fiscal, Pueyo) se caracterizan por un mayor contenido en micas y feldespatos, las turbiditas en las margas de Pamplona (Yesa) por poseer un sedimento mas elaborado (sublitoarenitas) y

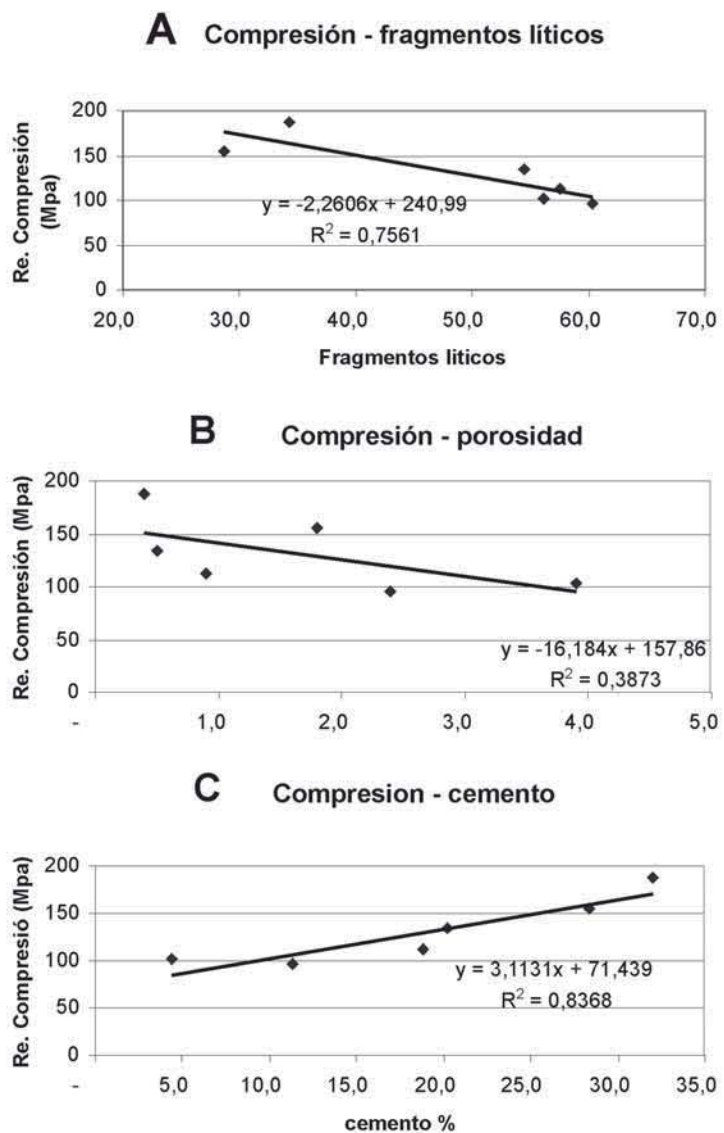


Fig.3 Diagramas de variación. A) resistencia a compresión vs. Fragmentos líticos B) resistencia a compresión vs. Porosidad C) resistencia a compresión vs. cemento.

Fig. 3 Variation diagrams. A) Compression strength resistance vs. Lithic fragments B) compression strength resistance vs. porosity C) compression strength resistance vs. cement.

| Muestra                   | Absorción | Porosidad abierta | Densidad Aparente       | Resistencia compresión | Resistencia flexión | Color    |
|---------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|----------|
| Piedra de Pueyo           | 1,52%     | 3,86%             | 2,55 gr/cm <sup>3</sup> | 102,31 Mpa             | 26,99 Mpa           | N3       |
| Piedra Alto Aragón Sinues | 0,33%     | 0,90%             | 2,68 gr/cm <sup>3</sup> | 112,64 Mpa             | 27,62 Mpa           | N3       |
| Piedra de Martes          | 0,15%     | 0,50 %            | 2,70 gr/cm <sup>3</sup> | 133,7 Mpa              | 13,7 Mpa            | N3       |
| Piedra de Yesa 1          | 0,90%     | 2,40%             | 2,64 gr/cm <sup>3</sup> | 96 Mpa                 | 22,1 Mpa            | N4       |
| Piedra de Yesa 2          | 0,10%     | 0,42%             | 2,68 gr/cm <sup>3</sup> | 187,5 Mpa              | 28,3 Mpa            | 10YR 5/4 |
|                           | 0,67      | 1,76%             | 2,62 gr/cm <sup>3</sup> | 154,8 Mpa              | 15,4Mpa             | 10YR 4/4 |

Tabla III.- Propiedades físicas y mecánicas de las seis variedades de areniscas.

Table III.- physical and mechanical properties of the six sandstone varieties.

las areniscas de la Formación Belsué-Atares (Martes) por una composición muy litoarenítica pobre en feldespatos y escasa en fragmentos calcáreos.

La baja porosidad se interpreta como resultado de unos altos espesores de sedimentos y el consiguiente enterramiento profundo, seguido de fuertes presiones dirigidas durante el plegamiento alpino.

#### Caracterización hídrica y mecánica

En este trabajo se muestran aquellos ensayos que consideramos son los más determinativos para caracterizar la calidad de estas areniscas como piedras de cantería. Los datos de los ensayos se muestran en la tabla III.

Los ensayos de absorción, porosidad y densidad aparente se han realizado según la norma: UNE-EN 722-11: 2001. Los resultados del ensayo de absorción indican que estas rocas presentan una absorción muy baja, siendo inferior al 1,5 % y porosidades menores al 4%. Esta configuración del sistema poroso implica que la circulación de agua en su interior será reducida, factor de gran importancia dado el papel que juega la misma en la alteración de los materiales. La densidad aparente es similar en todas ellas estando comprendida entre 2,58 y 2,68.

Los ensayos mecánicos realizados han sido Resistencia a la compresión (UNE-EN 1926: 1999) sobre probetas cúbicas de 7cm de arista y aplicando la carga en dirección perpendicular a la estratificación y Resistencia a flexión bajo carga concentrada UNE-EN 12372:1999.

Los valores tanto de resistencia a compresión como de resistencia a flexión de estas rocas eocenas son muy elevadas, como referencia se puede citar que duplican los valores de resistencia a compresión de las areniscas Miocenas del valle del Ebro (Gisbert, 2004) y los triplican en

el caso de la resistencia a flexión, siendo ambos valores similares a los de resistencia de los granitos (anuario Roc Maquina 2004).

#### Discusión de los parámetros mecánicos

Hemos realizado una correlación estadística entre los valores de resistencia geomecánica y los parámetros texturales y composicionales de las probetas ensayadas. En primer lugar destaca la escasa correlación ( $R^2 = 0,39$ ) entre la resistencia mecánica a la compresión y la porosidad abierta, a pesar de estar documentada una buena correlación entre ambas (Winkler 1994). La causa de esta baja correlación es probable que sea el relativamente pequeño intervalo de porosidades abiertas 0,5 - 4 %. La correlación entre la resistencia mecánica a la compresión y la composición textural es siempre superior a la anterior, destacando la correlación con el porcentaje de cemento ( $R^2 = 0,84$ ) y con el porcentaje de clastos de fragmentos de roca ( $R^2=0,76$ ) (Fig. 3), por el contrario la correlación entre resistencia a compresión y composición mineralógica es también baja.

No hemos encontrado ninguna correlación entre la resistencia mecánica a la flexión y la porosidad abierta y/o los parámetros mineralógicos y texturales, por lo que hay que concluir que la relación con esta variable geomecánica es muy compleja.

#### Conclusiones

-Las piedras de cantería caracterizadas corresponden a seis variedades de areniscas Eocenas del Prepirineo Navarro-Aragonés, que presentan unas características que le confieren una gran calidad como piedra de cantería, las areniscas son en todos los casos litoarenitas, del

tipo filarenitas en el caso del Pueyo de Araguias y calclititas en los demás casos.

- Presentan una absorción y porosidad abierta muy bajas, especialmente las areniscas de Yesa y Fiscal. Esta baja porosidad le da gran resistencia al material ante las heladas y en general frente a los fenómenos atmosféricos.

- Elevada resistencia tanto a compresión como flexión. Destacando la elevada resistencia a la compresión en las areniscas de Yesa pertenecientes a la Fm Margas de Pamplona y la elevada resistencia a la flexión de la piedra de Fiscal y del Pueyo ambas pertenecientes al grupo de Hecho así como la piedra de Yesa.

- El estudio estadístico indica la relación existente entre la resistencia a la compresión con las características composicionales en mayor medida que con la porosidad. Existe un aumento en la resistencia a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de cemento y disminuye el de fragmentos de roca.

#### Agradecimientos

A la Consejería de Industria del Gobierno de Aragón por la cesión de los datos geomecánicos de Fiscal y de Pueyo de Araguias, y a la empresa Olnasa, S.L por la cesión de los datos geomecánicos de Yesa, Martes y Sinues. Así mismo al Gobierno de Aragón por la concesión de una beca predoctoral al segundo de los autores (O.B.) gracias a la cual se ha realizado parte de este trabajo.

#### Referencias:

- Beard, D.C. y Weyl, P.K. (1997). *Diagenesis of sandstone*. AAPG reprint series, 20.
- Gisbert, J.(2004). *La piedra natural en Aragón*. Gobierno de Aragón, Departamento de Industria, Comercio y Turismo. 271 p.
- Oliva, B. (2000). *Estructura del frente surpirenaico en el sector central de la Cuenca de Jaca Pamplona*. Tesis de Licenciatura. Univ. de Zaragoza, 100 p.
- Puigdefábregas, T. (1975). *La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca*. Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos, 104 p.
- Roc Maquina (2004). *La piedra natural en España*. Directorio
- Teixell, A. (1996): *The Anso transect of the southern Pyrenees: basement and court crust geometrics*. Journal Geological Society of London (London) 153, 301-310
- Winkler, E. M. (1994). *Stone in architecture*. Springer, 313 p.