

# Procedimiento de dimensionado eficiente de pavimentos con mármol blanco procedente de la comarca de Macael

E. GARZÓN (\*)

**RESUMEN** Se presenta un SIG desarrollado sobre las explotaciones de mármol de la comarca de Macael. Dicho SIG se ha elaborado con el programa ARCVIEW v3.2, trabajando con una ortofotografía de la comarca, dividida en regiones numeradas (canteras). De cada una de estas canteras se han tomado tres muestras, determinado su composición química y resistencia a flexión. Además se ha colocado sobre la ortofoto otra información como caminos.

Con este SIG se pueden ver las carencias en infraestructuras que presentan las canteras. Además nos permite dimensionar pavimentos con los valores de resistencia máxima a flexión de cada cantera, lo que va a significar un ahorro importante en el material utilizado. Por último el SIG se convierte en una poderosa herramienta que nos permite clasificar el mármol blanco de la comarca según composición química y/o resistencia máxima a flexión, además de ser un instrumento vivo al que le podemos ir incorporando nueva información.

## PROCEDURE OF MEASURED EFFICIENT OF PAVEMENTS WITH WHITE MARBLE PROCEEDING FROM MACAEL'S AREA

**ABSTRACT** A system GIS is presented developed on the exploitations of marble of the district of Macael. This GIS has been elaborated with the program ARCVIEW v3.2, working with an orthophotography of the district, divided in numbered regions (quarries). Of each of these quarries have taken three samples, certain its chemical composition and resistance to bending. It has also been placed on the orthophoto another information like roads.

With this GIS the lacks can be seen in infrastructures that present the quarries. It also allows us calculate pavements with the values of maximum resistance to bending of each quarry, what will mean an important saving in the used material. Lastly the GIS becomes a powerful tool that allows us to classify the white marble of the district according to chemical composition and/or maximum resistance to bending, besides being an alive instrument to which we can go him incorporating new information.

**Palabras clave:** Sistema Información Geográfica, Mármol blanco, Macael.

**Keywords:** System of Geographical Information, White marble, Macael.

## 1. INTRODUCCIÓN

España es el tercer productor mundial de mármol tras Italia y China, correspondiéndole una cuota del 15,9%, situándose las principales canteras en las provincias de Alicante, Almería, y Murcia (81,6%). En la provincia de Almería, la extracción y transformación se concentra en la comarca del alto Almanzora, en torno a los núcleos de Macael y Olula [Servicio de Estudios de la Fundación Cajamar, 2007].

La principal fuente de riqueza de la comarca es la Industria de la piedra natural, que actualmente se está viendo afectada por la crisis del sector de la construcción, sufriendo los

males derivados de la sobrecapacidad. No obstante esta industria supone el 6% del producto Interior Bruto provincial (2007), mientras que el empleo representa el 30% del sector Industrial y el 2% del total [Servicio de Estudios de la Fundación Cajamar, 2007]. Dicha actividad tiene una extraordinaria importancia para la provincia de Almería, ya que el sector del mármol es el tercer sector productivo de la provincia tras la agricultura y la industria turística.

La piedra natural puede tener infinidad de usos; como elemento estructural, pavimentos, aplacado, ornamentación etc. Para poder ser destinada a una aplicación u otra es necesario conocer sus características físico-químicas y mecánicas. Entre las características físicas están la densidad, el color, la porosidad, la compacidad y la dureza; entre las químicas, la composición, la durabilidad y la resistencia a los agentes agresivos; y entre las mecánicas, la resistencia a los distintos esfuerzos a que sean sometidas [Carretero, 1995].

(\*) Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Contratado-Doctor del Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería, La Cañada de San Urbano - 04120 - Almería, Spain. Email: egarzon@ual.es

Las discontinuidades estratigráficas, los cambios laterales de facies, la mayor o menor fracturación, la existencia de pliegues y otros factores geológicos presentes en un yacimiento, pueden implicar cambios significativos de las propiedades de un material pétreo, en distancias horizontales y verticales muy cortas. En este sentido el uso de mármol blanco como elemento de pavimentación se enfrenta a las fracturas que aparecen en las baldosas. Este problema puede solucionarse tomando en consideración aquellas propiedades más directamente relacionadas con la resistencia mecánica, en concreto el valor de su resistencia a flexión para el dimensionado del espesor de las baldosas.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) particularizan un conjunto de procedimientos que tienen una representación gráfica, sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos, que son susceptibles de algún tipo de medición respecto al tamaño y dimensión relativa a la superficie de la Tierra [Peña, 2006]. Además, el SIG cuenta con una base de datos gráficos y descriptivos con información georreferenciada. Se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización georreferenciada. Se trata, por tanto, de poderosas herramientas debido a la capacidad que poseen estos SIG para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales. Esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis [Figueira, Fra, Rodríguez, Romero, 2007], [Tena, Gutiérrez, Martín, 2007]. Estos SIG se han aplicado al estudio de los recursos naturales, abarcando campos como el uso de los recursos tanto renovables como no renovables, el planeamiento ambiental y el análisis de impactos ambientales [Basildo y López, 1998]. Dentro de este ámbito se hace necesario desarrollar un SIG para clasificar el mármol blanco extraído de las diferentes canteras de la comarca de Macael.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El plan de trabajo se desarrolla sobre la base del mapa de canteras de mármol blanco que se explotan en la comarca de

Macael. De cada cantera se han recogido tres muestras. Estas son individualmente clasificadas según lugar de procedencia. Seguidamente en cada una de las muestras se han determinado los contenidos de  $\text{CaCO}_3$ , Ca, Mg,  $\text{CO}_3$  2Ca mediante una valoración con EDTA y Espectrometría de Masas Atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP masas).

Posteriormente en el laboratorio mecánico se preparan las probetas con unas dimensiones normalizadas [UNE-EN 12372, 2007], ayudándonos para el corte de una sierra y seguidamente se secan. La rotura a flexión se hace con el equipo de Ibertest (Figura 1), que se calibra antes de cada ensayo introduciendo las dimensiones de cada probeta, la velocidad de carga (0.1 KN/s), y la distancia entre rodillos que aunque la norma establece que sea de cinco veces el espesor de la probeta, esto nos obligaría a ajustes sucesivos con lo que fijamos esta distancia en 150 mm. Por último se hace la rotura a flexión de las probetas, siguiendo la norma UNE-EN 12372, [2007].

### 2.1. DIMENSIONADO DE PAVIMENTOS

Para el dimensionado vamos a distinguir entre baldosas de interior y exterior:

- a) En las baldosas de interior el espesor de la baldosa se calcula utilizando la expresión:

$$e = \sqrt{\frac{2400LP}{R_f W}} \quad (1)$$

Donde:

e = Espesor mínimo de la baldosa en mm ( $\geq 10$  mm en suelos y  $\geq 20$  mm en escaleras).

L = Longitud nominal de la baldosa en mm.

W = Anchura nominal de la baldosa en mm.

R<sub>f</sub> = Resistencia a la flexión en MPa.

P = Carga de rotura en KN en el caso de pavimentos interiores peatonales y escaleras se adopta el valor de 0.75 KN.

- b) Para dimensionar el espesor de las baldosas exteriores la fórmula a usar es la misma, lo único que varía es el valor de carga de rotura (P) que se adopta 3.50 KN en zonas de jardines y balconadas.



FIGURA 1. Detalle de equipo para rotura a flexión de probetas de mármol.

## 2.2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO PARA LA COMARCA DE MACAEL

El programa utilizado para desarrollar el SIG es el ARCVIEW v. 3.2, el cual se caracteriza por aportar las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los pasos seguidos han sido:

- 1) Con los análisis mecánicos y químicos realizados a cada zona de muestreo, se le asignan unas coordenadas UTM para ello nos ayudamos de una malla de polígonos que nos divide una ortofotografía de la Comarca de Macael en regiones numeradas, donde cada región se corresponde con una concesión de explotación en manos del Ayuntamiento.
- 2) Seguidamente se crea un tema que visualmente corresponde con un punto que representa una cantera, a este se le asocia una tabla de propiedades donde colocamos los componentes químicos principales y el valor de la resistencia a flexión.

- 3) De cada elemento o cantera hacemos un hiperenlaces a una fotografía de las probetas preparadas para el ensayo de resistencia a flexión, el valor de resistencia, los gráficos obtenidos en los ensayos de rotura a flexión y los espesores de diseño para pavimentos exteriores e interiores realizados con este mármol.

- 4) Se incluyen temas sobre cotas del terreno, caminos y viales que añadimos a la vista.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de información geográfico desarrollado para la comarca de Macael nos permite situar sobre la ortofoto de la zona: todos los viales existentes, concesiones de explotación y los puntos de muestreo. Observando que la red de viales existentes cuentan con muchas curvas y en algunas canteras se carece de viales permanentes, lo que encarece enormemente los costes de explotación (Figuras 2 y 3). Igualmente si entra-

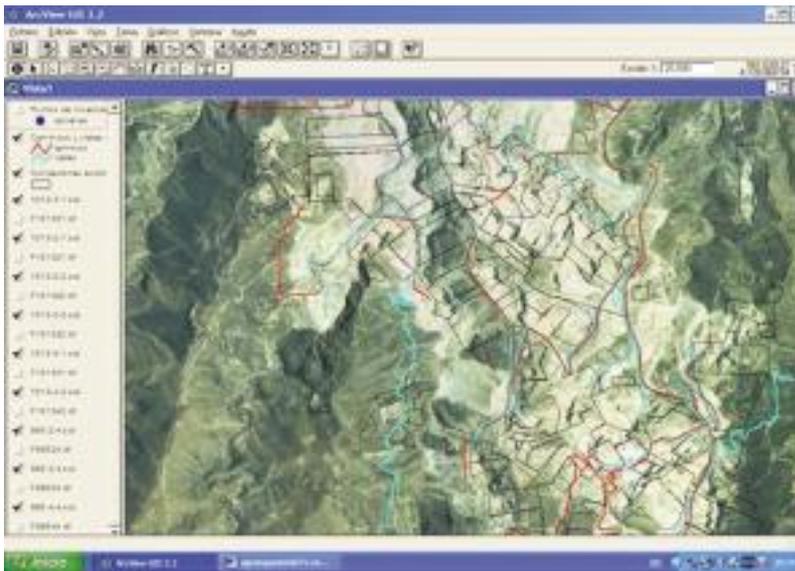


FIGURA 2. Localización mediante SIG de los caminos y concesiones de explotación utilizados para la extracción de mármol blanco.

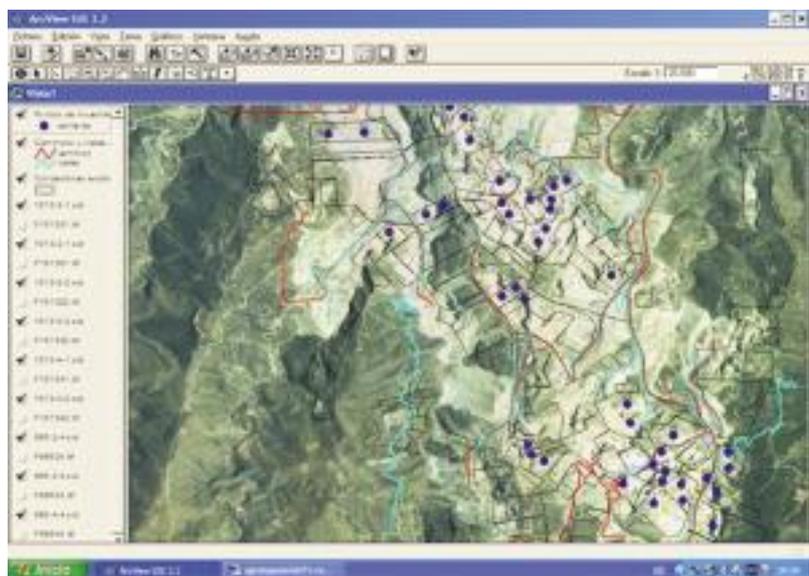


FIGURA 3. Localización mediante SIG de los puntos de muestreo (de color azul).

mos en un punto de muestreo podemos saber los contenidos de:  $\text{CaCO}_3$ , Calcio, Magnesio,  $\text{CO}_3\text{2Ca}$  y la resistencia máxima a flexión (Figura 4).

Además cada punto se le relaciona una foto de las probetas rotas a flexión, junto a los diagramas de rotura y a la resistencia a flexión máxima. Y una tabla que nos permite dimensionar tanto pavimentos interiores, exteriores y baldosas de escaleras, utilizando el valor de resistencia máxima a flexión de las probetas ensayadas (Figura 5). Observando que en los pavimentos interiores y en las baldosas de escalera, el espesor comercial esta siempre por encima del espesor de cálculo, sin embargo en los pavimentos exteriores registran espesores de calculo mayores que el espesor comercial. Esto implicaría un riesgo alto de producirse rotura a flexión (Figura 6).

Por último el SIG desarrollado nos permite hacer grupos con el mismo nivel de Carbonato de Calcio, Mg, Ca,  $\text{CO}_3\text{2Ca}$  y de resistencia máxima a flexión (Figuras 7, 8 y 9). Observado que todas las muestras superan el 50% de carbonato de calcio, que divide las rocas carbonatadas en calizas y dolomías [UNE 22181, 1985]. Por tanto se trata de calizas con un contenido de calcita entre el 50-100%. Igualmente se ve que la mayor parte de las canteras superan el 90% de  $\text{CaCO}_3$ , salvo en la cantera 10 donde se registro un contenido del 52% de calcita, que se vio acompañado de un aumento de dolomita (Figura 7). También se ha observado que no existe ninguna correlación entre la composición química y la resistencia máxima a flexión de las muestras.

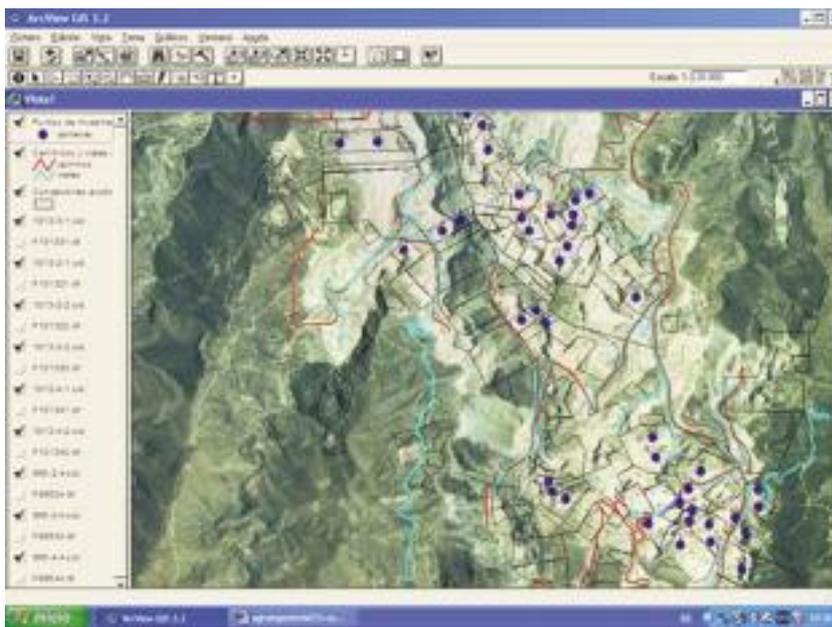


FIGURA 4. Detalle del SIG, dónde se muestra los valores registrados para los diferentes parámetros estudiados y vinculados a un punto determinado.

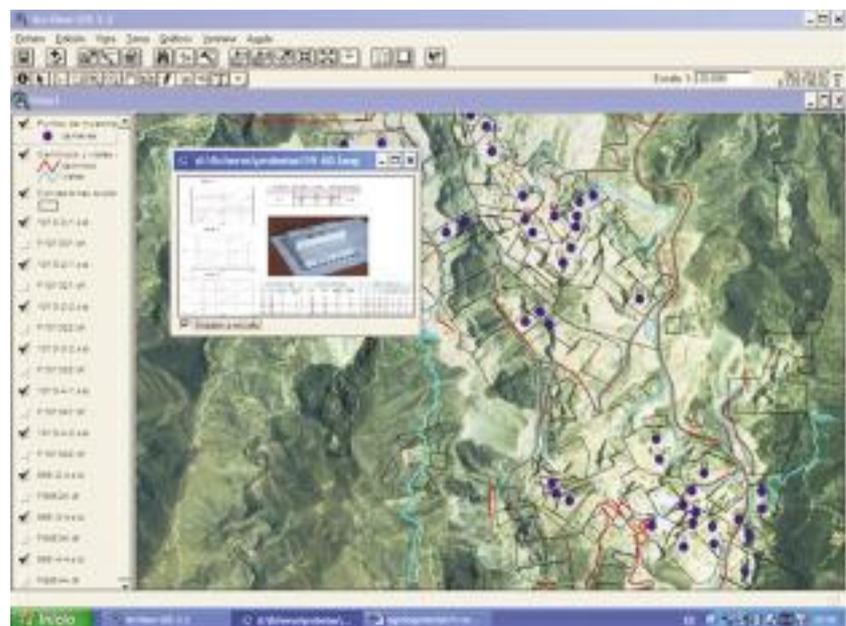


FIGURA 5. Detalle del SIG, dónde se muestran las gráficas del ensayo de resistencia a flexión, fotos de las muestras y dimensionado de pavimentos, vinculados a un punto determinado.

#### 4. CONCLUSIONES

La aplicación de un sistema de información geográfico, al estudio y explotación de las canteras de mármol de la comarca de Macael, ha permitido detectar las deficiencias en infraestructuras viales que presentan algunas canteras. También podemos ver las características químicas y mecánicas (resistencia a flexión) de cada cantera, de una forma visual, pulsando con el ratón en cada punto. Y un aspecto muy importante es que podemos dimensionar pavimentos de mármol teniendo en consideración la resistencia máxima a flexión de cada cantera, esto permite un ahorro de material, ya que se utilizan valores reales.

De la misma forma el SIG desarrollado permite hacer regiones con un nivel determinado de Ca, Mg,  $\text{CaCO}_3$  o/y de re-

sistencia máxima a flexión, lo que va a posibilitar una explotación diferencial, más acorde con las características tecnológicas de la materia prima.

Por último el SIG se convierte en una herramienta viva, a la que se le pueden ir incorporando nuevos datos (ensayos, caminos nuevos, empresas que tiene la concesión, etc.), que permitan una explotación, desde los puntos de vista técnico, medioambiental y económico mucho más eficiente.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

Basildo y López, 1998. Aproximación bibliográfica a los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Ordenación del



FIGURA 6. Resistencia a flexión y dimensionado de pavimentos de mármol blanco de Macael (muestras 59 y 60).

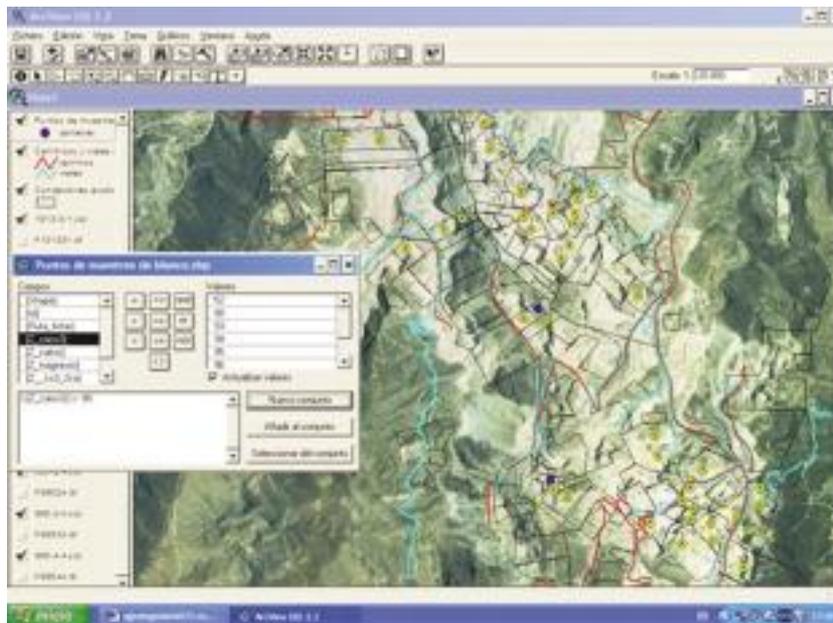


FIGURA 7. Puntos de muestreo dónde los contenidos de  $\text{CaCO}_3 > 90$  (puntos amarillos).



FIGURA 8. Puntos de muestreo dónde los contenidos de Mg>1 (color amarillo).

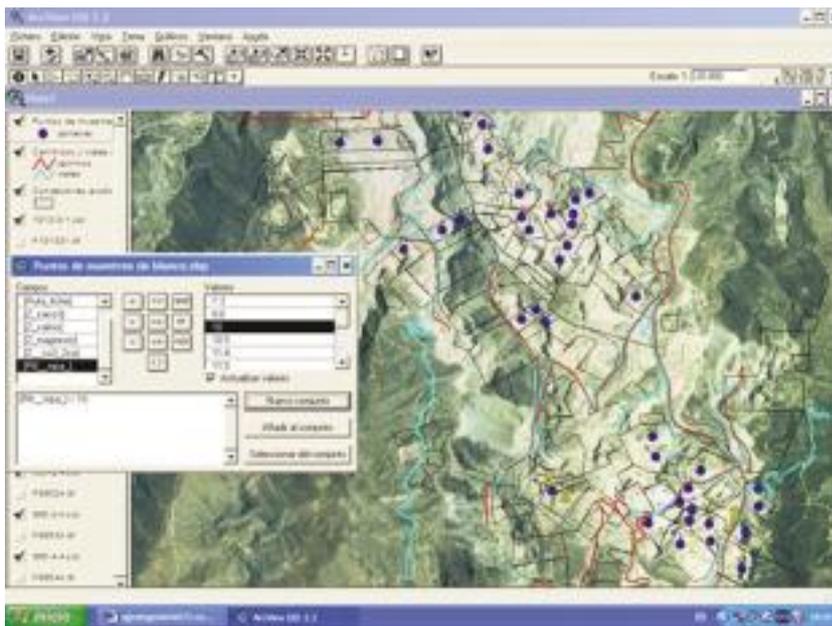


FIGURA 9. Puntos de muestreo dónde la resistencia máxima a flexión<10 (color amarillo).

Territorio y los Recursos Naturales. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, **18**: 319-335.

Carretero A., 1995. La industria del mármol en Almería, Universidad de Almería, Servicio de publicaciones.

Figueira J.R., Fra U., Rodríguez I., Romero A., 2007. Aplicación de los SIG para la gestión de datos de inundaciones históricas en Extremadura (SIGIHEX). Mapping (Madrid), **6**: 10-12.

Peña J., 2006. Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. Editorial ECU, Alicante.

Servicio de Estudios de la Fundación Cajamar, 2007. El Sector del Mármol en la Provincia de Almería, Nuevos desafíos. Fundación Cajamar, Cajamar, Almería.

Tena M.T., Gutiérrez J.A., Martín E., 2007. Aplicación de un SIG a la cartografía regional de Áreas con parámetros físico-geológicos y usos de una Cuenca experimental (Provincia de Cáceres). Mapping (Madrid) **7**: 64-68.

UNE-EN 12372, 2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada. AENOR.

UNE 22181, 1985. Mármoles y calizas ornamentales. Clasificación. AENOR.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto CTQ 2005-00998, cofinanciado con fondos FEDER.