

# Caracterización resistente de áridos carbonáticos en Granada según criterios de la instrucción EH-91

I. VALVERDE ESPINOSA (\*)  
D. LOPEZ MARTIN (\*\*)  
E. SEBASTIAN PARDO (\*\*\*)  
J. SORIANO CARRILLO (\*\*\*\*)

**RESUMEN.** El artículo analiza el cambio conceptual en el tratamiento de los áridos por la instrucción EH-91.

La introducción del desgaste y la friabilidad suponen la intención de establecer un mínimo de calidad mecánica en los áridos.

Desde esta perspectiva, se analiza el comportamiento de algunos materiales carbonatados empleados como árido para hormigón.

## DURABILITY OF CARBONATE AGGREGATES IN GRANADA ACCORDING TO REGULATION EH-91

**ABSTRACT.** The article analyzes the conceptual change in how aggregates are treated due to the new EH-91 regulation.

The inclusion of tests on erosion and friability means there is an attempt to establish minimum-performance standards of quality in aggregates.

From this perspective, the behavior of several carbonate materials used as aggregates in concretes is analyzed.

## INTRODUCCION

Fue la Instrucción EH-88 la que introdujo mayor número de innovaciones, en lo relativo a los áridos, desde que la primera viera la luz en el año 63. En su Artículo 7.3. **Prescripciones y ensayos**, dentro de las Condiciones físico-mecánicas que deben cumplir los áridos se limita las resistencias al desgaste de la grava y la friabilidad de la arena, determinadas con arreglo a las normas de ensayo UNE 83.116 y UNE 83.115 respectivamente.

En el PG-3/75 ya se incluía la determinación del desgaste de Los Angeles, como ensayo que pretende reproducir los efectos mecánicos a que se encuentran sometidos los áridos en el seno de un firme. No ocurre así con los áridos para hormigón estructural. La introducción del desgaste y la friabilidad en la actual Instrucción supone la intención de establecer un mínimo de calidad mecánica en los áridos y no puede entenderse como una reproducción de las condiciones de servicio.

Existe la posibilidad de ensayar a compresión simple o a tracción brasileña muestras talladas de roca, obtenidas en cantera. Se trata de un método que permite obtener de modo cierto la resistencia a compresión de la roca y, aceptando las

hipótesis del ensayo brasileño, la resistencia a tracción. Por contra, hay que decir que el método resulta laborioso y poco económico, pues precisa de la previa obtención y tallado de cada probeta. El número de éstas se eleva si se pretende un muestreo exhaustivo del yacimiento. Además, la heterogeneidad del frente puede anular la representatividad de las muestras ensayadas.

Otro inconveniente es la imposibilidad de aplicar estos ensayos a los depósitos granulares sueltos destinados a la explotación de áridos. Incluso en el caso de canteras en rocas masivas, los procesos de elaboración y clasificación del árido pueden hacer variar sustancialmente la composición del producto inicial del elaborado.

En base a esto podemos concluir que la única opción que tenemos para conocer de modo representativo la calidad existente del árido es ensayar el mismo, en los tamaños finales que se comercializa. Determinar sobre tal materia su resistencia a compresión y tracción de modo directo resulta difícil. Los métodos propuestos para aproximarse a estos parámetros se basan en determinar otros comportamientos mecánicos que se suponen íntimamente ligados con las resistencias citadas, pues evolucionan en el mismo sentido.

Clasificamos estos ensayos en cuatro grupos, en función de las sollicitaciones a que se somete el árido:

1. Ensayos de resistencia a la fragmentación bajo sollicitaciones estáticas.
2. Ensayos de resistencia a la fragmentación bajo sollicitaciones dinámicas.
3. Ensayos de resistencia a la fragmentación frente a impactos.
4. Ensayos de resistencia al desgaste por rozamiento con superficies metálicas.

(\*) Dr. Ciencias Geológicas. Departamento de Construcciones Arquitectónicas (Universidad de Granada).

(\*\*) Arquitecto Técnico. Departamento de Construcciones Arquitectónicas (Universidad de Granada).

(\*\*\*) Dr. Ciencias Geológicas. Departamento de Mineralogía y Petrología (Universidad de Granada).

(\*\*\*\*) Dr. Ciencias Geológicas. Centro de Estudios Técnicos Aplicados del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente).

El ensayo de **Desgaste en la máquina de Los Angeles**, aplicado a la fracción grava, pertenece al tercer grupo. En este ensayo se determina la resistencia a la fragmentación del árido, principalmente, y entendemos que al desgaste producido sobre una superficie metálica.

El método de ensayo, recogido en nuestro país en las Normas UNE 83.116 y NLT 149/72, consiste en someter a una determinada familia granulométrica de grava al impacto de un determinado número de bolas de acero, llamado «carga abrasiva», en el seno de un cilindro metálico en rotación. A tal efecto el cilindro está dotado en su interior de un resalte que voltea el árido y la carga abrasiva en cada giro, generando los impactos. El coeficiente de desgaste se mide como evolución granulométrica, determinada sobre el tamiz 1,6 UNE, de la fracción ensayada.

El ensayo de **Friabilidad de las arenas** lo incluimos en el cuarto grupo. Se realiza en la máquina de Micro-Deval. Como en los restantes ensayos Deval, el esfuerzo a que se somete la arena es el de desgaste por rozamiento. Ahora bien, tal parámetro resulta difícil de medir en el tamaño arena, excepto en materiales débiles o poco resistentes, pues, en general, la evolución granulométrica de las arenas resulta

lenta y conduce a ensayos largos. El desgaste se complementa con solicitaciones de impacto dinámico producidas por una carga abrasiva, también consistente en bolas de acero. El ensayo se realiza en presencia de agua y por lo tanto se trata de un coeficiente húmedo, más desfavorable, en general, que el coeficiente seco.

El método de ensayo, recogido en nuestro país en la norma UNE 83.115, consiste en medir la evolución de tamaño de una determinada granulometría de la fracción arena en el seno de un cilindro en rotación, con una carga abrasiva y en presencia de agua. La muestra de ensayo se prepara con el material que pasa por el tamiz 2 mm UNE y que retiene el tamiz 0,1 mm UNE.

Con el presente trabajo se ha pretendido caracterizar mecánicamente los áridos de empleo más extendido en Granada, bajo los criterios innovadores introducidos por la Instrucción.

## MATERIALES ESTUDIADOS

Pertenecen a once canteras muestreadas que se localizan en rocas carbonatadas: dolomías pertenecientes a los mantos

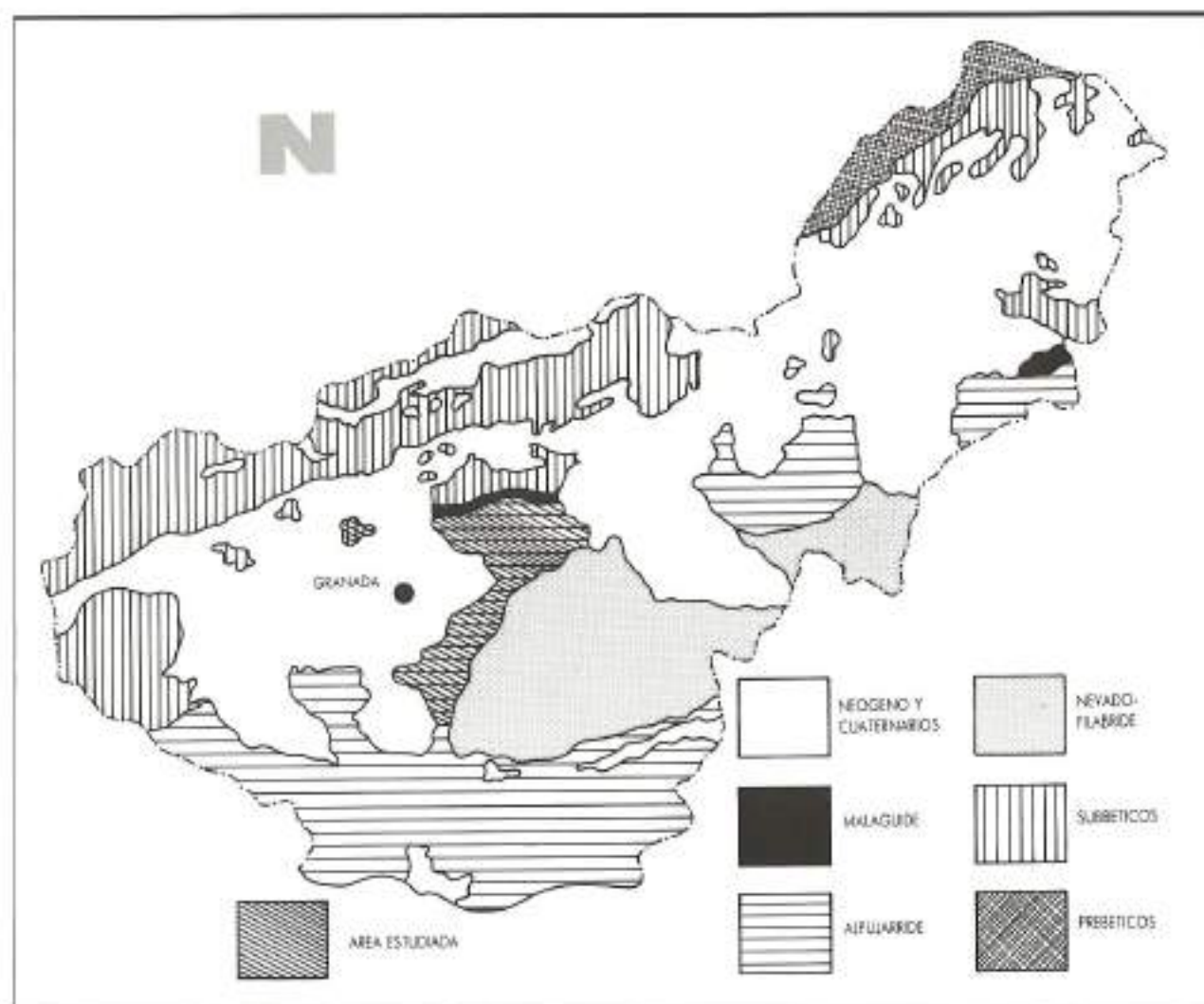


FIGURA 1. Localización geográfica del área estudiada.



intermedios del Complejo Alpujárride (sector oriental de la Depresión de Granada), con un contenido en dolomita superior al 95 %, y calizas del subbético medio (Sierra Elvira), con un contenido en calcita entre el 65 y 95 %, no superando la dolomita el 30 % (fig. 1).

### TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS

El material ensayado procede del propio producto comercializado por cada cantera, seleccionando los tamaños más representativos y a la vez necesarios para preparar las muestras en condiciones normalizadas de ensayo.

Las determinaciones a que se sometió el árido fueron:

- Resistencia al desgaste de la grava (UNE 83.116).
- Friabilidad de la arena (UNE 83.115).

Además se realizó una caracterización de los materiales ensayados mediante:

- Análisis mineralógico por difracción de rayos X.
- Microscopía electrónica de barrido (MEB) con espectrometría de dispersión de energía de rayos X (DEX).
- Estudio de resistencias a compresión en los hormigones confeccionados con estos áridos.

Para la resistencia al desgaste de la grava se seleccionaron las granulometrías «A» y «G» de las propuestas en la norma de ensayo, de acuerdo con criterios de representatividad.

### RESULTADOS

Los coeficientes de desgaste y friabilidad obtenidos para las distintas muestras, se recogen en la tabla 1.

| LOCALIZACIÓN         | CANTERA | FRIABILIDAD | DESGASTE DE LA GRAVA |    |
|----------------------|---------|-------------|----------------------|----|
|                      |         |             | A                    | G  |
| COMPLEJO ALPUJARRIDE | BG1     | 23          | 44                   | 48 |
|                      | BG2     | 29          | 31                   | 33 |
|                      | HS1     | 25          | 28                   | 30 |
|                      | PG1     | 27          | 22                   | 26 |
|                      | PD1     | 35          | 26                   | 26 |
|                      | PD2     | 24          | 28                   | 40 |
|                      | PD3     | 23          | 41                   | 50 |
|                      | PD4     | 27          | 25                   | 30 |
|                      | DC1     | 67          | 32                   | 31 |
| SIERRA ELVIRA        | AT1     | 21          | 28                   | 29 |
|                      | AT2     | 23          | 26                   | 26 |

TABLA 1. Resultados de friabilidad y de desgaste, granulometrías A y G.

A la vista de estos resultados observamos que la gran mayoría de los materiales se ajustan a las limitaciones de la Instrucción EH-91. Tales limitaciones son idénticas a las establecidas en la normativa francesa.

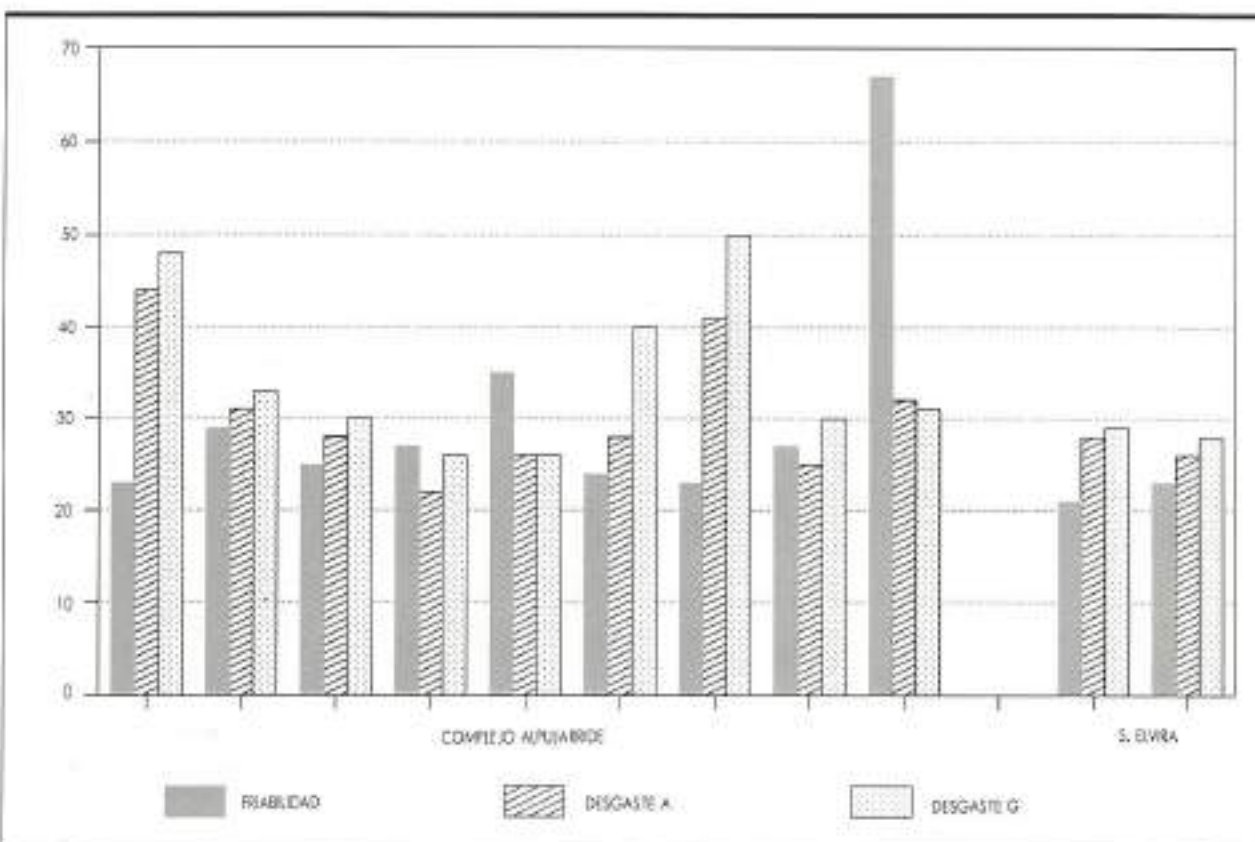


FIGURA 2. Coeficientes de desgaste de la grava (granulometrías «A» y «G») y friabilidad de la arena.

En cuanto al desgaste de la grava, las determinaciones sobre granulometrias «A» y «G» conducen a valores del coeficiente semejantes, tal y como pretende el método de ensayo. No obstante, puesto que el ensayo está ajustado en base a un número reducido de muestras patrón, no debe sorprender que en algunos casos exista una dispersión de los resultados en función de la granulometría ensayada.

La mayor parte de los valores del coeficiente de desgaste se sitúan en la banda 25-35, siendo las dolomías las que muestran un abanico de resultados más amplio. Los valores de coeficiente más elevados corresponden también a dolomías, mientras que los de las calizas se sitúan en la zona inferior de la banda (fig. 2).

Comportamientos semejantes se observan con respecto a la friabilidad de la arena, si bien la banda de valores más numerosos se sitúa entre 25 y 30.

En ambos tipos de ensayo (desgaste y friabilidad) podemos decir que las calizas muestran mejor comportamiento mecánico que las dolomías. Puesto que las calizas son rocas más blandas (2,5 a 3 en la escala de Mohs) que las dolomías (3,5 a 4), el peor comportamiento de éstas debe atribuirse a otros factores.

Pese a que ambos son materiales carbonáticos, de composición química muy parecida y que cristalizan en formas romboédricas, las calizas y las dolomías presentan matices diferenciales. El grupo espacial de la calcita es  $R3c$ , con unos parámetros de la celdilla  $a = 4,9896 \text{ \AA}$  y  $c = 17,0610 \text{ \AA}$  y un contenido de la celdilla unidad de seis agrupaciones de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . En el caso de la dolomita su grupo espacial es  $R3$ , con unos parámetros, en este caso,  $a = 4,8069 \text{ \AA}$  y  $c = 16,0034 \text{ \AA}$  y un contenido en la celdilla unidad de tres agrupaciones de  $(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$ .

En general, las dolomías son rocas muy frágiles, por lo que suelen aparecer muy fracturadas con independencia de su contexto geológico. En el caso particular de las dolomías del borde de la Depresión de Granada, el material alpujárride presenta un grado extremo de fracturación, consecuencia de los esfuerzos resultantes de sumar los originados por corrimientos y la presión interna de fluidos, es decir, una combinación de «brechificación tectónica» y «fracturación hidráulica».

Las observaciones con microscopía electrónica de barrido revelan en el caso de las calizas una morfología compacta con desarrollo de cristales de calcita idiomorfos de tamaño apreciable y con una exfoliación romboédrica fácil. En el caso de las dolomías, sin embargo, el hábito es xenomorfo, casi siempre, de tamaño de partícula bastante menor que en el caso de las calcitas y con una importante microfisuración en la mayoría de los cristales (fig. 3), posiblemente como respuesta a las presiones tectónicas e internas de fluidos.

Por tanto, el peor comportamiento de las dolomías puede residir en su fragilidad, en su propia estructura cristalina y en la debilitación que produce la microfisuración.

Sin embargo, estos resultados contrastan con las buenas resistencias que hemos obtenido en los hormigones confeccionados con estos áridos (fig. 4), por lo que entendemos que, para este caso particular (áridos procedentes de rocas muy tectonizadas), el límite establecido en la Instrucción EH-91 debería ser más amplio. De hecho, la ASTM C 33 es más tolerante, pues establece el límite de 50 para la resistencia al desgaste de la grava.

#### BIBLIOGRAFÍA

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. «Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-88)». Real Decreto 824/1988, del 15 de julio (1988).

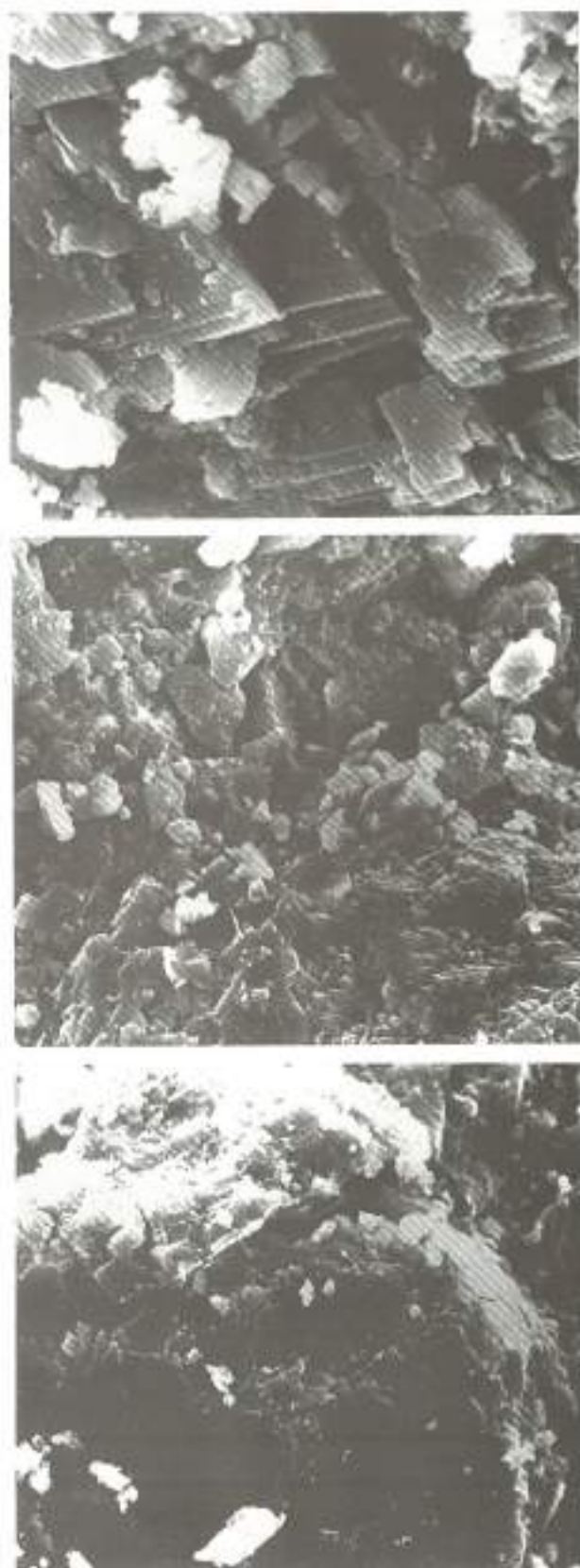


FIGURA 3. Microfotografías de NEB. Arriba, aspecto de una caliza de Sierra Elvira; compacta e idiomorfa. Abajo, dolomía de aspecto xenomorfo y con una importante presencia de microfisuras.



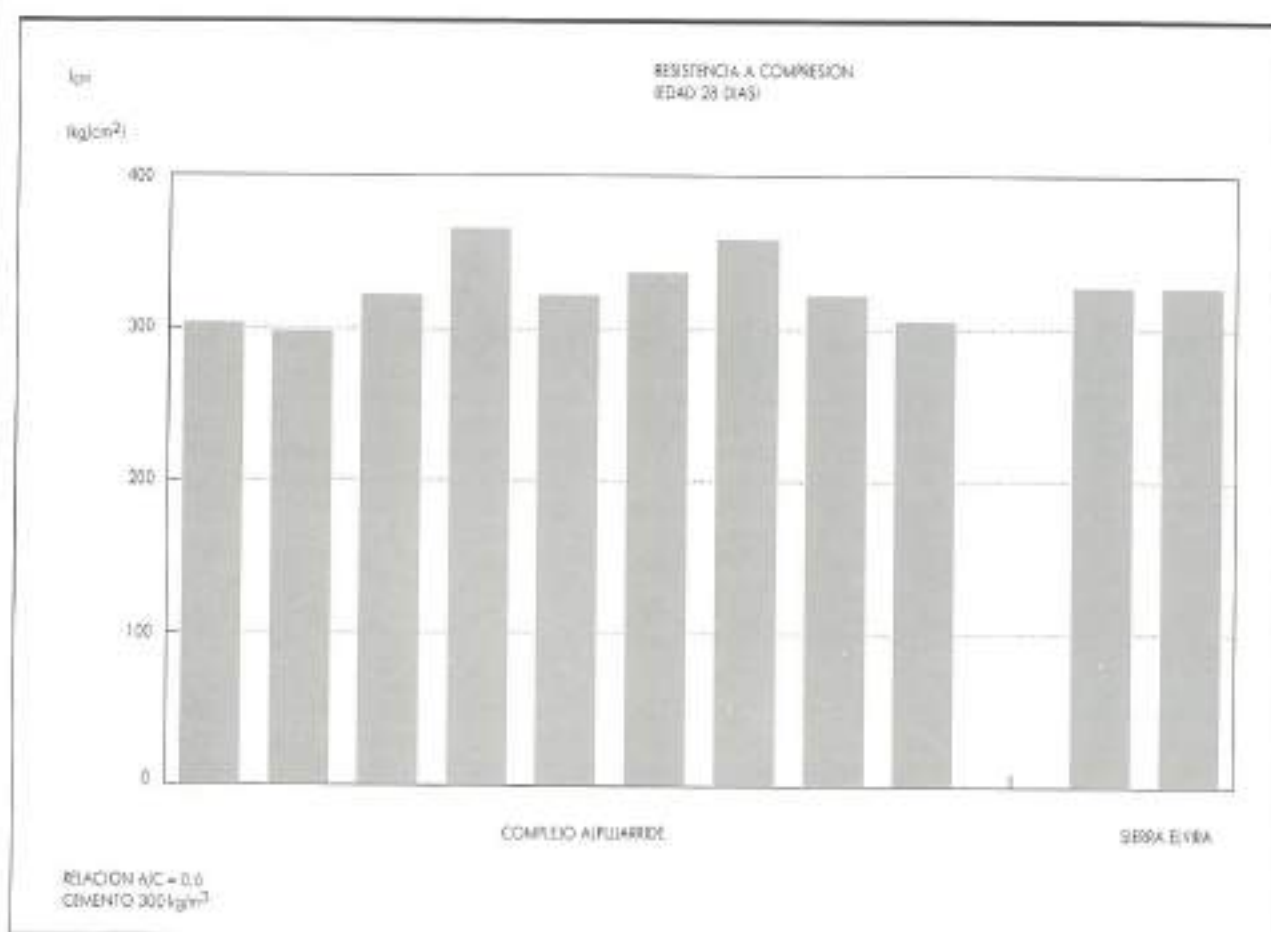


FIGURA 4. Resistencia a compresión sobre probetas cilíndricas de 15 x 30 cm.

BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO. «Instrucción para la ejecución de obras de hormigón en masa o armado: EH-82». Real Decreto 2252/1982, del 24 de julio (1982).

BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO. «Instrucción para el proyecto y la ejecución de obra del hormigón en masa o armado (EH-91)». Real Decreto 1039/1991, del 28 de junio (1991).

VALVERDE, L., y LOPEZ, D. «La resistencia mecánica de los áridos». *Revista Alzada*, mayo 1993. Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos de Granada (1993).

ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION UNE 83.115. «Aridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad en las arenas» (1989).

ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION UNE-83.116. «Aridos para hormigones. Determinación del coeficiente de Los Angeles» (1990).

CENTRO DE ESTUDIO Y EXPERIMENTACION DE OBRAS PUBLICAS. «NLT-149. Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles» (1992).

CENTRO DE ESTUDIO Y EXPERIMENTACION DE OBRAS PUBLICAS. «NLT-351. Coeficiente de friabilidad» (1992).

GALLEGOS, J. A. «Los alpujarrides al oeste de Sierra Nevada». Tesis Doctoral, Universidad de Granada (1975).

HURLBUT, C. S., y KLEIN, C. *Manual de mineralogía*. Ed. Reverté, Barcelona (1988).

MARTIN MARTIN, J. M. «Las dolomías en las cordilleras béticas». Tesis Doctoral, Universidad de Granada (1980).

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. «Manual de control de fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas». Ed. MOPU, Madrid (1978).

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. «Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3/75)». Ed. MOPU, Madrid, pp. 570 (1975).

PANET, M., y TOURENQ, C. «Les essais de granulats. Connaissances actuelles et orientation des recherches». *Revue Générale des routes*, 465, (1971), pp. 97-108.

UBACH, A., y SALINAS, J. L. «Puesta a punto del ensayo de friabilidad y su correlación con el ensayo de Los Angeles y coeficiente de forma». *Boletín Informativo del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo*, 136 (1979).

VALVERDE, L. «Caracterización de áridos para hormigón en la Depresión de Granada». Tesis Doctoral, Universidad de Granada (1992).