

La resistencia mecánica de los áridos en la Instrucción EH-91

IGNACIO VALVERDE ESPINOSA, DR. EN CIENCIAS GEOLOGICAS
 DAVID LOPEZ MARTIN, ARQUITECTO TÉCNICO
 EDUARDO SEBASTIAN PARDO, DR. EN CIENCIAS GEOLOGICAS

RESUMEN. *El artículo analiza el cambio conceptual con que se tratan los distintos parámetros limitados en el art. 7.3. de la EH-91 con respecto a la EH-88.*

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

Desde esta perspectiva se comparan los ensayos tanto de desgaste en la máquina de Los Angeles, como la de la friabilidad de la arena, derivado del ensayo Deval

SUMMARY. *The article analyzes the conceptual change with which the different limited parameters are treated in art. 7.3 of EH-91 with respect to EH-88*

The introduction of erosion and friable capacity means that there is an attempt to establish minimum performance standards of quality in gravel and sand.

From this perspective, tests are compared both erosion-wise in the machine in Los Angeles as well as the friable capacity derived from the Deval test.

INDICE GENERAL

0. Introducción 1. Conceptos sobre resistencia mecánica 2. Ensayos de resistencia mecánica de los áridos 3. Ensayos contemplados en la Instrucción EH-91 4. Bibliografía

0. INTRODUCCION

Sin duda fue la Instrucción AH-881 la que introdujo mayor número de innovaciones respecto de sus antecesoras, las cuales venían manteniéndose prácticamente sin modificaciones desde que la primera viera la luz en el año 1963. En lo que respecta a materiales y concretamente en el caso de los áridos, conviene destacar el cambio conceptual con que se tratan los distintos parámetros limitados en el articulado. En la Instrucción EH-822 se recogía en el artículo 7.3 bajo el mismo epígrafe una serie de sustancias denominadas perjudiciales, cuyo contenido quedaba limitado, así como ciertos comportamientos: reactividad potencial, pérdida de peso, etc. La Instrucción EH-88 y la vigente EH-913, por contra, en su Artículo 7.3. Prescripciones y ensayos

introducen de antemano una clasificación de los distintas limitaciones agrupadas en tres categorías:

- Condiciones físico-químicas
- Condiciones físico-mecánicas
- Granulometría y coeficiente de forma.

Dentro de las condiciones físico-químicas que deben cumplir los áridos se limita a un máximo la resistencia al desgaste de la grava y la friabilidad de la arena, determinadas con arreglo a las Normas de ensayo UNE 83.116⁴ y UNE 83.115⁵ respectivamente.

En el PG-3/75⁶ 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.

1. CONCEPTOS SOBRE RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS ARIDOS

El estudio de las rocas, y en definitiva de los áridos obtenidos a partir de ellas, desde el punto de vista de su resistencia, nos lleva a tratar, en primer lugar, su dureza. Este parámetro interviene de modo decisivo en la abrasividad, la cual juega un importante rol en los ensayos que actualmente se emplean en laboratorio para conocer la calidad mecánica de los áridos.

La dureza de una roca viene determinada por la que presentan los diferentes minerales y el cemento intergranular que entran en su composición. La forma habitual de valorar la dureza es refiriéndola a la bien conocida escala de durezas minerales de Mohs, que es una escala cualitativa.

Así mismo, la resistencia de una roca viene frecuentemente marcada por la textura de esta; una roca de textura holocristalina adquiere una resistencia netamente inferior a la de una roca de igual composición mineralógica y textura microlítica. A igualdad de los restantes factores, muestran mejor aptitud resistente las rocas de grano fino.

La presencia de discontinuidades tales como poros y/o microfisuras significa que el comportamiento mecánico de una roca afectada por tales defectos difiera de modo desfavorable con el de aquellas que, pese a poseer idéntica composición, no los presentan.

La alteración de alguna fase mineralógica (micas, feldspatos, anfíbol, etc.) constituyente de la roca incide en su resistencia, resultando conveniente conocer la susceptibilidad de nuestro árido a tales alteraciones y los plazos de su manifestación.

Por último, la simetría de la red cristalina puede suponer anisotropía mecánica en la roca si existe una dirección privilegiada en los minerales.

2. ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS ARIDOS

Son varios los ensayos de laboratorio existentes para conocer la resistencia mecánica de los áridos. En primer lugar existe la posibilidad de ensayar a compresión simple o tracción brasileña probetas talladas de roca, obtenidas de cantera. Se trata del único método que permite obtener de modo cierto la resistencia a compresión de la roca y, aceptando la 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 estas se eleva si se pretende un muestreo exhaustivo del yacimiento. Además, la heterogeneidad del frente de explotación puede anular la representatividad de las muestras ensayadas.

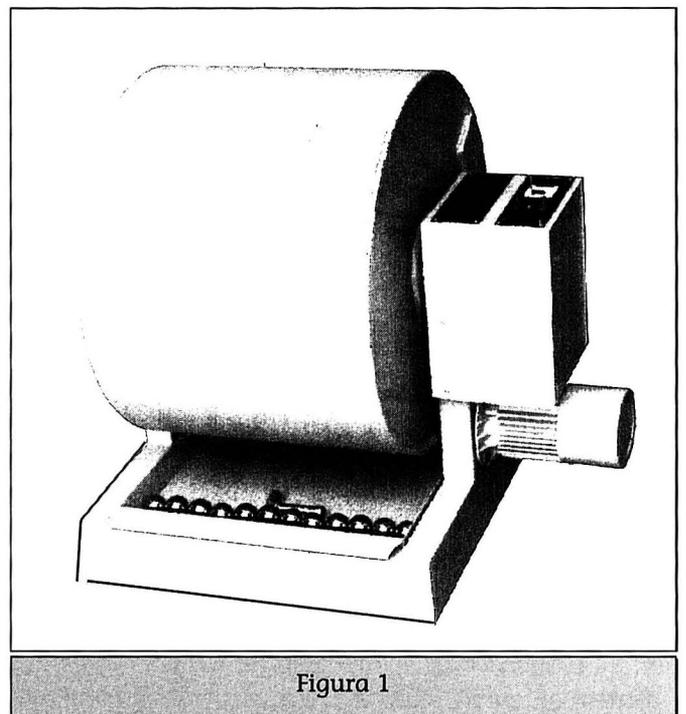
Otro inconveniente es la imposibilidad de aplicar estos ensayos a los depósitos granulares sueltos destinados a la explotación de áridos. Incluso en el caso de canteras en rocas masivas, los procesos de elaboración y clasificación del árido pueden hacer variar sustancialmente la composición del producto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

De acuerdo con esto podemos concluir que la única opción que tenemos para conocer de modo representativo la calidad resistente del árido es ensayar el mismo, en los tamaños finales que se comercializa.

Determinar sobre tal material su resistencia a compresión y tracción de modo directo resulta. 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.



3. ENSAYOS CONTEMPLADOS EN LA INSTRUCCION EH-91

3.1 Ensayo de desgaste en la máquina de Los Angeles.

Pertenece al tercer grupo de ensayos, pues en él se determina la resistencia a la fragmentación del árido principalmente y, entendemos que, al desgaste producido sobre una superficie metálica (figura 1).

El método de ensayo, recogido en nuestro país en las Normas UNE 83.116 y NLT 149/72⁸, 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 resalto que voltea el árido y la carga abrasiva en cada giro, generando los impactos.

El **coeficiente de desgaste (CD)** se mide como evolución granulométrica, determinada sobre el tamiz 1,6 UNE, de la fracción ensayada y se obtiene mediante la expresión:

$$CD = \frac{M - m}{m} \cdot 100$$

donde:

- M es el peso de la muestra ensayada.
- m es el peso del rechazo sobre el tamiz 1,6 UNE.

La muestra que se ensaya debe introducirse lavada y seca, con objeto de eliminar cualquier adherido en la grava que, en el posterior cernido sobre el tamiz 1,6 UNE, pudiera reflejarse como desgaste. El peso del rechazo sobre el mencionado tamiz debe corresponder igualmente al del material lavado y

seco, en este caso para garantizar que toda fracción menor que la luz de malla se elimina. La experiencia en nuestro laboratorio es que la no observancia de tales exigencias no introduce variaciones significativas sobre el coeficiente final.

Las distintas familias granulométricas establecidas para el ensayo se recogen en el cuadro de la figura 2. Tal variedad obedece al deseo de muestrear la gama más amplia posible de tamaños. Ahora bien, la sollicitación en el ensayo viene establecida por la cuantía de la carga abrasiva y el número de vueltas a que se somete el árido. El ajuste de ambos se realizó sobre un determinado número de materiales para que se obtuvieran idénticos coeficientes de Los Angeles para las distintas granulometrías ensayadas. Por tanto, es normal que los datos dispersen en función de la granulometría ensayada para cualquier otro material.

En este sentido Panet y Tourenq⁹ han abogado por una disminución del número de granulometrías a ensayar, perjudicando el muestreo en beneficio de la homogeneidad de los coeficientes de desgaste.

Si aceptamos que el coeficiente de Los Angeles depende de la cohesión entre partículas en el grano de árido y de la forma de este¹⁰, deducimos que una relación entre este coeficiente y el llamado coeficiente de forma, también recogido en nuestra Instrucción. El comportamiento de los granos aciculares es peor que el de los cúbicos y a vez el de los granos laminares peor que el de los aciculares¹¹.

La angulosidad del árido influye en el coeficiente de desgaste de Los Angeles, resultando más alterables los áridos más angulosos. El ensayo de Los Angeles debe efectuarse sobre áridos de machaqueo según Panet y Tourenq⁹, pues los valores obtenidos

GRANULOMETRIA		A	B	C	D	E	F	G
Pasa	Retiene							
80	63					2500 ± 50		
63	50					2500 ± 50		
50	40					5000 ± 50	5000 ± 50	
40	25	1250 ± 50					5000 ± 50	5000 ± 25
25	20	1250 ± 25						5000 ± 25
20	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10					
12,5	10	1250 ± 10	2500 ± 10					
10	6,3			2500 ± 10				
6,3	5			2500 ± 10				
5	2,5				5000 ± 10			
Nº DE BOLAS		12	11	8	6	12	12	12
Nº DE VUELTAS		500	500	500	500	1000	1000	1000

Figura 2

para estos difieren desfavorablemente de los que presentan los áridos rodados, que resultan generalmente inferiores.

En sus comentarios la Norma de ensayo UNE 83.116 indica que ensayando la muestra tan solo 200 revoluciones en el caso de las granulometrías E, F y G y 100 revoluciones en el caso de las granulometrías A, B, c y d, se obtienen unos coeficientes de desgaste que llamaremos **parcial**. La razón entre este coeficiente y el total arroja un **índice de uniformidad** de la muestra. La homogeneidad en la naturaleza petrológica del árido y, en definitiva, la presencia en este de partículas de menor dureza inciden notablemente en el coeficiente. En tales circunstancias el coeficiente de desgaste supone un valor medio y este aumenta de modo lineal con el contenido de partículas más blandas. Para que podamos considerar una muestra como de dureza uniforme, el mencionado **índice de uniformidad (IU)**, obtenido de la expresión:

$$IU = \frac{CD_{parcial}}{CD_{total}}$$

no debe exceder de 0,20.

Mencionaremos que pese a que se ha propuesto un ensayo de desgaste de Los Angeles en húmedo, lo cierto es que la presencia de agua no parece intervenir de forma alguna en los procesos de fractura dinámica de los áridos. La experiencia de diversos laboratorios parece demostrar su inutilidad.

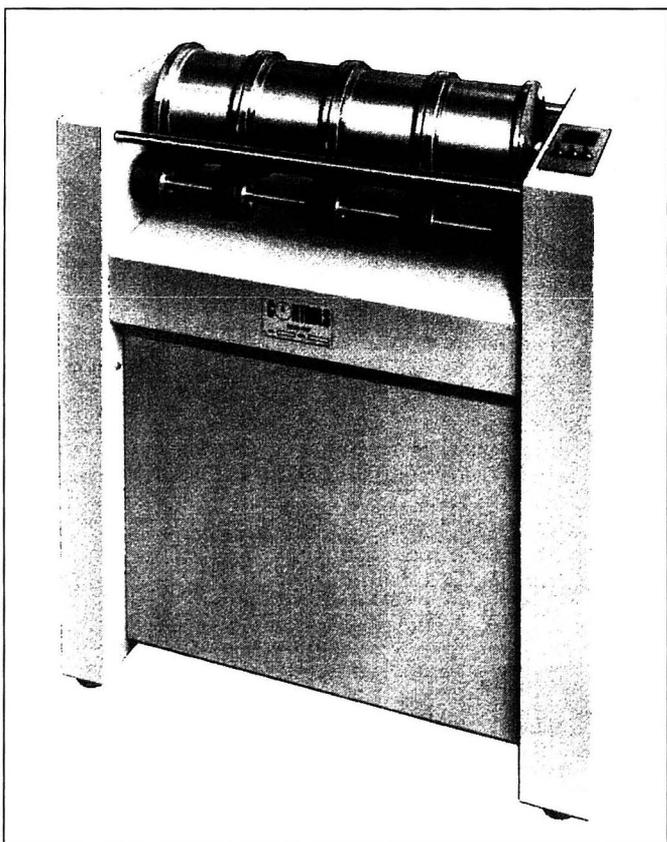


Figura 3

3.2 Friabilidad de la arena

Derivado del ensayo Deval, en el que se somete a unas piedras al desgaste producido por el roce de las unas contra las otras y con las paredes del recipiente que las contiene el ensayo de Friabilidad de la arena pertenece al cuarto grupo de ensayos indicados y es el único ensayo para medir resistencias aplicado a la fracción arena recogido en la Instrucción EH-91 (figura 3).

Si como ya hemos mencionado resulta difícil evaluar de modo directo la resistencia a compresión y tracción de un árido, tal dificultad aumenta en el caso de la arena. Podemos, en cambio, obtener un índice de resistencia mecánica a partir de su resistencia al desgaste y a la fragmentación.

El ensayo de friabilidad se realiza en la máquina **Micro-deval**. Como en el caso de 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 sollicitaciones de impacto dinámico producidas por una carga abrasiva, también consistente en bolas de acero.

Se ha detectado una fuerte incidencia del agua en los fenómenos de desgaste por fricción para ciertos materiales, resultando la evolución granulométrica más acusada en presencia de aquella. Debido a ello, se ha desarrollado dos tipos de ensayo Deval: seco y húmedo. El Deval húmedo goza de gran aceptación en la tecnología de carreteras, pues en este tipo de obras las condiciones de servicio incluyen la presencia de agua con notable frecuencia. El ensayo de friabilidad 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 ci-

Nº DE BOLAS	DIAMETRO	PESO CONJUNTO	Nº VUELTAS
9	30 mm	975 g	1500
21	18 mm	490 g	
*	10 mm	*	

* Completar con bolas de 10 mm de forma que el peso total de la carga sea 2500 ± 4 g

Figura 4

lindro 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. De lo obtenido se separaran 500 gramos de muestra. Se lava por los mismos motivos que en el ensayo de desgaste de Los Angeles y se introduce en el recipiente de ensayo junto con 2,5 litros de agua y la carga abrasiva.

La cuantía de la carga abrasiva y el número de vueltas que da el recipiente son fijos se recogen el cuadro de la figura 4.

Finalizado el proceso de desgaste, la evolución granulométrica se valora por cernido sobre el tamiz 0,50 mm UNE.

El coeficiente de friabilidad (CF) de la arena resulta de la expresión:
donde:

$$CF = \frac{500 - m}{500} \cdot 100$$

m es el peso de rechazo sobre el tamiz 0,50 mm UNE lavado y seco.

El principal inconveniente de este ensayo radica en la variabilidad de la granulometría ensayada. Pesa a que la muestra está comprendida entre los tamaño 2 y 0,1 mm el margen aún resulta amplio para asegurar la homogeneidad de tamaños entre las distintas muestras.

La dispersión de resultados depende, así mismo, de la composición mineralógica de los diferentes tamaños contenidos en la muestra de ensayo, la cual resulta, a menudo, variable.

Para terminar, mostramos la situación de las limitaciones de la normativa española para la resistencia al desgaste en la grava y la friabilidad de la

arena de áridos para hormigón, respecto a las de Francia y Estados Unidos (figura 5).

4. BIBLIOGRAFIA

- 1 Comisión permanente del hormigón. 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.
- 2 Comisión permanente del hormigón. Instrucción para la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-82. Real Decreto 2252/ 1982 del 24 de Julio ,1982.
- 3 Comisión permanente del hormigón. Instrucción para el proyecto y la ejecución de obra del hormigón en masa o armado. EH-91. Real Decreto 1039/ 1991 de 28 de Junio,1991.
- 4 Norma UNE-83116. Aridos para hormigones. Determinación del coeficiente de Los Angeles, AENOR, 1990.
- 5 Norma UNE-83115. Aridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad en las arenas, AENOR, 1989.
- 6 Pliego General de Carreteras. MOPU. Ed. MOPU. Madrid, 1975.
- 7 Laboratorio de transporte y mecánica del suelo "Jose Luis Escario" NLT-351/. Coeficiente de friabilidad,1973.
- 8 Laboratorio de transporte y mecánica del suelo "Jose Luis Escario" NLT-149/ 72. Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles,1973.
- 9 PANET M., COURENQ M.: *Les essais de granulats. Connaissances actuelles et orientation des recherches.* Revue Général des routes, 465, 1971; pp. 97-108.

NORMA	C. DESGASTE	C. FRIABILIDAD
EH-91	40	40
NF P 18-301	40	40
ASTM C33	50	-

Figura 5

