

INFLUENCIA DE LA FORMA Y LA TEXTURA DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

A. Acosta Cazal¹, R. D. Cabrera Jara¹, A. Medina Acosta²

Laboratorio de Materiales de Construcción/Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción – Campus Universitario – San Lorenzo / Paraguay – Teléfono / Fax: 595 21 585581/4

E-mail: augustoacostac@yahoo.com.ar ridacab@yahoo.com.ar

RESUMEN

La forma y la textura superficial dependen de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados.

Si bien los agregados para hormigón de diferentes orígenes, pueden tener una composición granulométrica semejante, muchas veces se comportan de manera bastante diferente debido a la forma y textura de las partículas.

El objetivo de este trabajo es conocer los tipos de agregados utilizados en los diferentes centros de consumos de hormigón en el Paraguay. Se realizaron todos los ensayos necesarios para poder caracterizar a los agregados gruesos desde el punto de vista de su forma, mediante el denominado "Coeficiente de Forma" según la EN 933-4. Los agregados finos se mantuvieron constantes para todos los tipos de agregados gruesos.

Concluimos que los resultados obtenidos muestran en forma cuantitativa la influencia de agregados gruesos de diferentes formas y texturas sobre las propiedades físicas y mecánicas del hormigón.

Palabras claves: Forma y Textura, coeficiente de forma, composición granulométrica

ABSTRACT

The shape and the superficial texture depends on the nature of the origin rock, of its hardness, size of the grains, porosity, as well as of the actions the aggregates have been subjected.

Although the aggregates for concretes of different origins, they can have a similar gradation, many times they behave in a different way due to the shape and texture of the particles.

The objective of this work is to know the types of aggregates used in different centers of concrete consumptions in Paraguay. They were carried out all the necessary rehearsals to be able to characterize the coarse aggregates from the point of view in their form, by means of the denominated "Form Coefficient" according to the EN 933-4. The fine aggregates stayed constants for all the types of coarse aggregates.

We conclude that the obtained results show in quantitative form the influence of coarse aggregates in different shapes and textures about the physical and mechanical properties of concrete.

INTRODUCCION

La forma y textura superficial de los agregados tiene una gran influencia en algunas propiedades del hormigón fresco y endurecido, como la trabajabilidad y las resistencias mecánicas. (Mehta y Monteiro, 1994)

Sabemos que las partículas de los agregados son cuerpos de tres dimensiones y es difícil describir la forma de las mismas, aunque se las puede clasificar en redondeadas o cantos rodados, que son generalmente procedentes de ríos en las que por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; y las angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas, procedentes generalmente de trituraciones; planas o laminares en las que predominan dos dimensiones sobre la tercera y aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a agregados en forma de agujas. (Fernández Canovas, 2005)

La forma de los agregados triturados depende de la naturaleza de la roca de origen, del tipo de la trituradora, de su relación de reducción siendo estos factores preponderantes para obtener la forma final de los agregados.

Con los cantos rodados se obtienen hormigones trabajables y su mejor forma es cuando se aproxime la forma de ellos a la esfera, con las trituradas se obtienen hormigones menos trabajables, lo que dificulta la compactación del hormigón y su efecto será tanto menor cuando más se aproximen a un cubo. Los agregados laminares y aciculares producen hormigones de peor calidad donde esas formas repercuten negativamente en las resistencias y en la durabilidad. (Skalny y Mindess, 1998)

La textura superficial depende de la naturaleza de la roca de origen, de su dureza, tamaño de los granos, porosidad, así como de las acciones a que hayan estado sometidos los agregados.

Tanto la forma como la textura afectan la movilidad del agregado que se entiende como la facilidad con que las partículas se mueven unas sobre las otras cuando son manipuladas. La movilidad del agregado afecta la trabajabilidad del hormigón fresco, observándose que, cuando son empleados agregados de baja movilidad, es exigida mayor energía para alcanzar el mismo grado de compactación o hay necesidad de aumentar el porcentaje de agregado fino en la mezcla para garantizar adecuada trabajabilidad. (Skalny y Mindess, 1998)

La textura superficial, junto con su forma, tiene también una gran influencia en las resistencias del hormigón, siendo más intenso en la resistencia a flexo tracción que en la

compresión, especialmente cuando se quieren obtener hormigones de alta resistencia. Este efecto parece ser debido a que cuando más rugoso es el agregado mayor superficie de contacto tiene con la pasta de cemento y por tanto, mayor adherencia. La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento depende de su forma, porosidad, naturaleza y especialmente, de su estado superficial. La presencia de arcilla contribuye a disminuir la resistencia a la tracción por falta de adherencia. (Fernández Canovas, 2005)

La adherencia mecánica que permite la unión a escala macroscópica depende del estado superficial de los agregados. Es mayor cuanto más rugosa es la superficie y así, los agregados triturados proporcionan la mayor adherencia y resistencia a tracción, siendo, por tanto, empleados en pavimentos de aeropuertos y carreteras. (Fernández Canovas, 2005)

Este modo de adherencia no es el único existente en la unión pasta-agregado; Farran, estudió otro más pequeño, mediante el examen de partículas de contacto pasta-agregado observó que, para ciertos agregados se produce una adherencia del tipo epitáxico, es decir, se forman cristales en la pasta de cemento en contacto con el agregado en los que, su orientación, sistema cristalino y dimensiones, son tales que es posible una superposición malla sobre malla con la red propia del agregado. Farran también demostró que, una pasta de cemento que contenga cenizas o escorias de alto horno, no es la más adecuada para que se produzca una adherencia del tipo epitáxico. (Fernández Canovas, 2005)

Si bien los agregados para hormigón de diferentes orígenes, pueden tener una composición granulométrica semejante, muchas veces se comportan de manera bastante diferente debido a la forma y textura de las partículas. (Scandiuzzi y Rodrigues Andriolo, 1986)

Como antecedentes del uso de diferentes tipos de agregados en obras realizadas en nuestro país, podemos citar el Puente sobre el río Paraguay que une la ciudad de Concepción con el Chaco Paraguayo, donde se utilizó el canto rodado como agregado aprovechando la disponibilidad de este material en las proximidades de la zona.

Actualmente también se está utilizando el canto rodado en la construcción del Palacio de Justicia de Concepción. Pavimentos de hormigón en la zona norte de nuestro país se construyen utilizando canto rodado como agregado.

En las obras de construcción de hidroeléctricas construidas en nuestro país como Itaipú, Yacyretá, Acaray, fueron

utilizadas las piedras trituradas como agregados gruesos.

En la zona de la capital de nuestro país predominantemente se utilizan las piedras trituradas como agregado grueso por la facilidad de su adquisición, con la que se realizaron todas las grandes obras edilicias, como el edificio del Congreso Nacional.

La elección del tipo de agregado a utilizar en una obra, básicamente se basa en la disponibilidad del mismo, lo que tiene una gran influencia en el costo, teniendo que realizar previamente la caracterización de los materiales para asegurar su calidad.

Es importante realizar una investigación sobre la influencia de la forma y textura de los agregados, en las propiedades del hormigón fresco y endurecido de manera a propiciar alternativas técnicas y económicas en el uso de los recursos naturales disponibles en nuestro país.

Este trabajo propone mostrar la influencia de agregados de diferentes formas y texturas sobre las propiedades del hormigón, por lo tanto, es un parámetro para hacer un uso mucho más inteligente de los agregados para conseguir las propiedades deseadas.

MATERIALES Y METODOS

Materiales utilizados

Cemento

Como aglomerante fue utilizado un Cemento Portland Puzolánico CPIV – 32 de la marca Vallemí (Paraguay) y sus características se indican en la Tabla 1.

INDUSTRIA NACIONAL DEL CEMENTO DPTO. CONTROL DE CALIDAD				
MUESTRA: Cemento Portland Puzolánico CPIV - 32		DIA	MES	AÑO
PROCEDENCIA: Embolsadora		19	Julio	2006
ANÁLISIS QUÍMICO				
COMPONENTES			ESPECIFICACIONES NP - 170.4480	
Perdida por Calcinación	P.P.C.	2,90%		
Residuo Insoluble	R.I	7,00%		
Dióxido de Silicio	SiO ₂	24,20%		
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	4,60%		
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	3,60%		
Oxido de Calcio	CaO	50,80%		
Oxido de Magnesio	MgO	2,20%		≤ 5,0 %
Anhidrido Sulfúrico	SO ₃	2,60%		≤ 4,0 %
Oxido de Sodio	Na ₂ O	s/d		
Oxido de potasio	K ₂ O	s/d		
Cal Libre	CaO	1,00%		
ENSAYOS FÍSICOS - MECÁNICOS				
Residuo s/Tamiz Nº 200 (0,074)		2,70		≤ 15 %
Superficie Específica Blaine		3.900 cm ² /gr		≥ 2.800 cm ² /gr.
Agua Pasta Normal		27,30		
Expansión en Autoclave		0,045		≤ 1,2 %
Peso Específico Real		2,93 gr/cm ³		
FRAGUADO	Inicio	1:05		≥ 45'
	Final	2:10		≤ 10 hs
RESISTENCIA A LA COMPRESION	3 DIAS	21,80		≥ 10 MPa
	7 DIAS	31,00		≥ 20 MPa
	28 DIAS	40,00		≥ 32 MPa

Tabla 1: Características Físicas y Químicas del cemento utilizado

Agregados

Para este estudio fueron considerados cinco tipos de agregados gruesos de diferentes canteras y orígenes (Canto Rodado de Concepción, Piedras Trituradas de Ñemby, Pirayú y Ciudad del Este y Piedra Caliza Triturada de Vallemí).

Los agregados finos son una combinación de Piedra Triturada de Ñemby y Arena del Río Paraguay.

Granulometría de agregados

Los porcentajes retenidos parciales de los agregados gruesos utilizados fueron tomados de la curva media del dominio correspondiente a las exigencias granulométricas de la ASTM C-33 para un Tamaño Máximo del Agregado (TMA) de 19,1 mm. Este criterio nos determina que la composición granulométrica de todos los tipos de agregados gruesos utilizados sea constante (Tabla 2 y Fig. 1).

En el caso de agregados finos, para combinar ambos materiales, se utilizó la norma IRAM 1627 de dominios granulométricos, resultando para la combinación, los valores de 40% y 60% de Piedra Triturada VI y Arena Lavada del Río Paraguay respectivamente (Tabla 3 y Fig. 2).

En la Tabla 4 se muestran los resultados de los ensayos de Densidad Seca, Capacidad de Absorción (UNE 83 - 133 y 134) y Peso Unitario Seco Compactado (IRAM 1548) de todos los agregados utilizados.

Agregados Gruesos – Resultados y Curvas

Pasantes % (en volumen absoluto)			
Tamiz	Curva Sup.	Curva Inf.	Curva Media
2,4	5,00	0,00	2,50
4,8	10,00	0,00	5,00
9,6	55,00	20,00	37,50
12,7	70,00	43,33	56,67
19,1	100,00	90,00	95,00
25,4	100,00	100,00	100,00

Tabla 2: Composición Granulométrica del Agregado Grueso

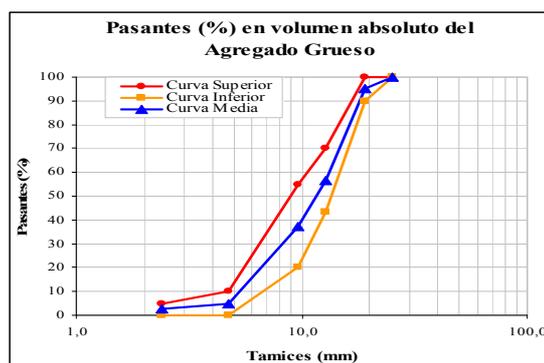


Fig. 1: Gráfico de la mezcla de agregados gruesos en volumen absoluto

Agregados Finos – Resultados y Curvas

Tamiz	Pasantes % (en volumen absoluto)					
	Curva A	Curva B	Curva C	VI	Arena Lavada	Curva Media
0,15	10,00	2,00	10	10,70	4,27	6,84
0,30	30,00	10,00	50	17,36	44,53	33,66
0,60	60,00	25,00	95	27,26	93,14	66,79
1,19	85,00	50,00	100	42,94	99,63	76,95
2,38	100,00	80,00	100,00	70,76	100,00	88,30
4,76	100,00	95,00	100,00	99,40	100,00	99,76
9,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 3: Composición Granulométrica de los Agregados Finos

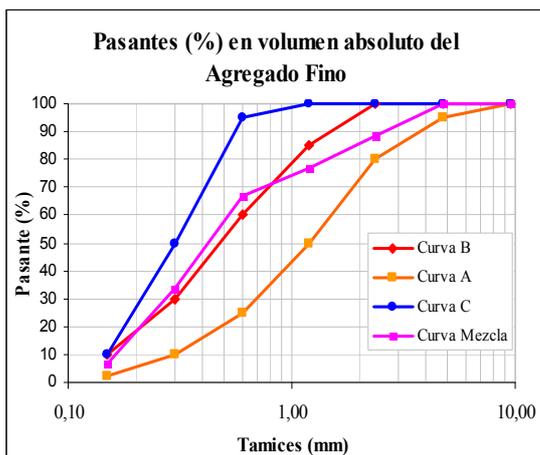


Fig. 2: Gráfico de pasantes de la mezcla de agregados finos en volumen absoluto

Material	Densidad Seca (Kg/lts)	Capacidad de Absorción (%)	Peso Unit. seco y comp. (Kg/lts)
Agregado Grueso			
- Canto Rodado	2,600	0,20	1728
- Cerro Pirayú	2,640	0,26	1547
- Cerro Nemy	3,000	0,68	1702
- Ciudad del Este	2,921	1,76	1697
- Caliza	2,698	0,36	1617
Agregado Fino			
- Piedra Triturada VI	2,980	1,10	
- Arena Lavada de Río	2,640	0,20	
Cemento Pz	2,930		

Tabla 4: Densidad, Peso unitario Seco y Compactado y Capacidad de Absorción

METODOS UTILIZADOS

Coefficiente de Forma (α)

Se llama coeficiente de forma del agregado grueso, a la relación entre el volumen efectivo de la cantidad de agregado considerado y el volumen de las esferas circunscriptas a los granos considerados. Matemáticamente podemos expresar de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{\frac{\pi}{6} (d_1^3 + d_2^3 + \dots + d_n^3)} \quad (1)$$

Donde,

α = coeficiente de forma del agregado grueso

d_i = diámetro de los granos considerados en centímetros

v_i = volumen de cada grano considerado en centímetros

Evidentemente, cuando el coeficiente de forma (α) tiende a la unidad, los agregados considerados tienden a la forma esférica. La Instrucción Española EHE indica que el coeficiente de forma del agregado grueso no debe ser inferior a 0,20. Para hormigones de alta resistencia se recomienda un valor próximo a 0,25. La expresión coeficiente de forma solo es válida para agregados de tamaños superiores a 6,3 mm., es decir, para el agregado grueso.

Dosificación de Hormigón – ACI 211.1

Como referencia y para obtener un asentamiento en Cono de Abrams superior a 150 mm se consideró el canto rodado debido a su mayor trabajabilidad. Después de algunas pruebas y para determinar la cantidad de agua a utilizar en el hormigón, se tomó la cantidad de 195 Kg/m³, para un asentamiento de 180 ± 10 mm. Esa cantidad de agua se mantuvo constante para todos los demás agregados a ensayar, evidenciando de esa manera la influencia de la forma y textura sobre la trabajabilidad medida en el Cono de Abrams.

Se moldearon 10 probetas cilíndricas de 10 x 20 cm y 2 probetas prismáticas de 10 x 10 x 40 cm para una relación agua/cemento constante de 0,48. En todos los casos, fueron ensayadas a la compresión 5 probetas a los 7 días y 28 días; y las 2 probetas prismáticas a los 28 días. Para todas las dosificaciones utilizadas se realizaron correcciones de humedad de los agregados.

RESULTADOS OBTENIDOS

Coefficiente de Forma del agregado grueso. EN 933-4

Los resultados obtenidos nos muestran que las Piedras Trituradas, de forma angular, tienen un Coeficiente de Forma inferior a 0,20 a excepción de la Piedra Triturada proveniente de Ciudad del Este que tiene una buena forma con un coeficiente de forma igual a 0,293. Los cantos rodados, de forma redondeada, tiene un coeficiente de forma de 0,310. (Tabla 5)

Cantera	α
Cerro Nemby	0,178
Caliza	0,185
Cerro Pirayú	0,196
Ciudad del Este	0,293
Canto Rodado	0,310

Tabla 5: Resultado obtenidos del Coeficiente de Forma (α)

Dosificación. ACI 211.1

En las dosificaciones utilizadas se mantuvieron constantes todos los volúmenes de los materiales utilizados, de manera a obtener hormigones semejantes en cuanto a sus composiciones granulométricas, cantidad de agua y cantidad de cemento, pudiéndose de esa manera poner en evidencia la influencia de la forma y la textura del agregado grueso, ya que los agregados finos se mantuvieron constantes para todos los casos estudiados. (Tabla 6)

Material	Dosificación en Kg/m ³ de Hormigón en estado seco				
	Canto Rodado	Cerro Pirayú	Cerro Nemby	C. del Este	Caliza
Cemento PZ	406	406	406	406	406
Agregado grueso	1158	1176	1336	1301	1202
Piedra Triturada 6ta	240	240	240	240	240
Arena Lavada de Río	318	318	318	318	318
Agua	195	195	195	195	195

Tabla 6: Dosificaciones para cada tipo de agregado

Asentamiento en Cono de Abrams, Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión

Los resultados obtenidos para cada tipo de agregado grueso ponen en evidencia la influencia de la forma y la textura sobre las propiedades físicas y mecánicas más importantes del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido. Graficando los resultados obtenidos en función del Coeficiente de Forma (Fig. 3, 4 y 5) podemos decir que, en el caso del Asentamiento en Cono de Abrams existe una pequeña dispersión de resultados, probablemente debido a precisión propia del ensayo. En el caso de la Resistencia a la Compresión las curvas de tendencia de resultados nos indican que existe una faja de valores del Coeficiente de Forma donde se dan los mejores resultados, los cuales son coincidentes con la Instrucción Española EHE. De acuerdo a la curva de tendencia a los 28 días, los mejores valores de la resistencia a la compresión se encontrarían en un rango del Coeficiente de Forma comprendido entre 0,23 y 0,26. Los resultados referentes a la Resistencia a la Flexotracción nos muestran que también los mejores resultados se pueden encontrar con valores del Coeficiente de Forma de 0,20 a 0,30; aunque con valores del Coeficiente de

Forma inferiores a 0,20 se obtengan mejores resultados.

Cantera	Asent. (mm)	f_{cm7} (Mpa)	f_{cm28} (Mpa)	f_{cfm28} (Mpa)
Cerro Nemby	80	19,48	29,26	4,6
Caliza	65	21,01	25,33	4,4
Cerro Pirayú	55	22,90	31,41	4,0
Ciudad del Este	90	21,85	31,52	4,4
Canto Rodado	180	19,90	26,19	3,2

Tabla 7: Resultados de Asentamientos y Resistencias

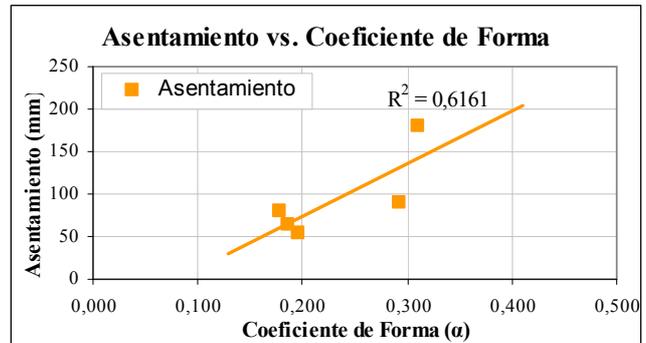


Fig. 3: Relación entre el Asentamiento y el Coeficiente de Forma

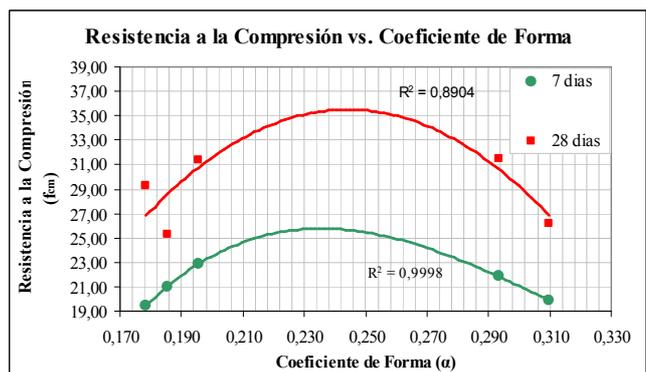


Fig. 4: Relación entre la Resistencia a la Compresión y el Coeficiente de Forma

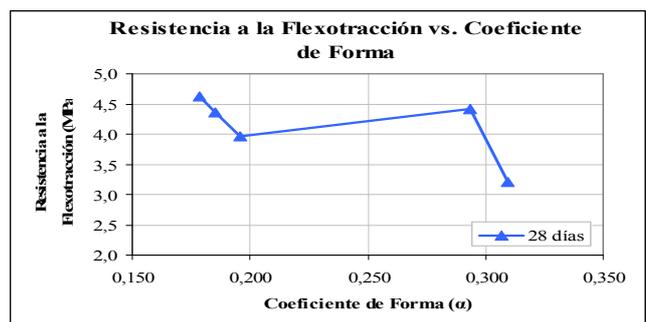


Fig. 5: Relación entre la Resistencia a la Flexotracción y el Coeficiente de Forma

CONCLUSIONES

- 1- Cuando menor es el coeficiente de forma del agregado grueso, el hormigón tiene menor consistencia, que aquel hormigón fabricado con agregados gruesos con mayor coeficiente de forma.

- 2- La Fig. 3 nos muestra que a coeficientes de formas aproximadas y texturas diferentes, en las muestras de piedras basálticas trituradas de Ciudad del Este con textura rugosa y Canto rodado de Concepción con textura lisa, el hormigón fabricado con canto rodado tiene una mayor consistencia, lo que nos indica la influencia de la textura en la consistencia.
- 3- También la Fig. 3 nos muestra que hormigones fabricados con agregados gruesos de diferentes orígenes, todos con texturas rugosas y coeficientes de forma aproximados, tienen casi la misma consistencia.
- 4- En la Fig. 4 se puede observar que el rango óptimo del coeficiente de forma del agregado grueso se encuentra entre 0,20 y 0,30; los cuales nos dan las mejores resistencias a la compresión según la curva de regresión tanto a los 7 como a los 28 días. También se puede observar, que dos agregados con aproximadamente el mismo coeficiente de forma pero texturas diferentes (Piedra Triturada de Ciudad del Este y Canto Rodado de Concepción) tienen diferencias marcadas de resistencia a la compresión, lo que nos indica la influencia de la textura en la resistencia.
- 5- La Fig. 5 nos muestra que para coeficientes de forma diferentes, la resistencia a la flexotracción tiene su mejor comportamiento entre los mismos rangos que la resistencia a la compresión. Se puede observar también que, los mejores resultados fueron obtenidos con coeficientes de forma menores a 0,20 pero el costo de estos hormigones sería más elevado debido al mayor consumo de agua para una consistencia deseada.
- 6- Como en el caso de la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexotracción para coeficientes de forma aproximadamente iguales, se ve afectada por la textura superficial (Piedra Triturada de Ciudad del Este y Canto Rodado de Concepción).
- (2) Mehta, P.K. y Monteiro, P.J.M. (1994), "Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais", Editora PINI, San Pablo, 573 p.
- (3) Petrucci, E.G.R. (1981), "Concreto de Cimento Pórtland", 8ª Ed., Editora O Globo, Porto Alegre-Río de Janeiro, 307 p.
- (4) Skalny, J. y Mindess, S. (1998), "Materials Science of Concrete V", The American Ceramic Society, Ohio, Cap. 3, 578 p.
- (5) Carneiro, A.M.P., Barata, M.S., Lima, J.M. y Quaresma, G.L. (2002), "Otimização de misturas binarias de agregados para produção de concreto", IBRACON, 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais.
- (6) Gogola, G.W. (2004), "Influencia das propriedades dos agregados no desempenho de concretos de cimento Pórtland", IBRACON, 46º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais.
- (7) Scanduzzi, L. y Rodrigues Andriolo, F. (1986), "Concreto e seus Materiais", Editora PINI, San Pablo, 553 p.

REFERENCIAS

- (1) Fernández Canovas, M. (2005), "Hormigón", Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 543 p.