

Optimización del Diseño de Mezclas para Hormigones Autocompactables

Ángel Oshiro; Carlos Baronetto; María Positieri, Claudia Beltramone
Investigadores del GInTeMaC

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba
Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina - Ciudad Universitaria - C.P. (X5016ZAA)
Tel.: (0351) 5986000 - Fax: (0351) 4681823 / E-Mail: aoshiro@scdt.frc.utn.edu.ar

Resumen - La utilización de hormigones autocompactables proporciona beneficios tales como aumento de la productividad, reducción de ruido y economía de energía. El diseño de estos hormigones requiere de un cuidadoso estudio, siendo el árido uno de los aspectos que toma importancia por su influencia en sus características. El trabajo presenta la búsqueda de la optimización de una relación adecuada entre áridos fino y grueso, tal que permita aprovechar al máximo las ventajas de este tipo de hormigones. Se planteó una dosificación patrón, tomando como variable la relación áridos finos/áridos totales. Para cada relación establecida se midieron las siguientes propiedades: Estado fresco: autocompactabilidad, capacidad de paso, capacidad de relleno y resistencia a segregación.

Estado endurecido: resistencia a compresión.

Los resultados indican que es posible la optimización de las mezclas a partir de una correcta elección de la relación entre áridos finos con respecto al contenido total de áridos del hormigón.

Palabras-Claves: autocompactable, árido fino, árido grueso, propiedades

Optimization of selfcompacting concretes mixing design

Abstract - Using selfcompacting concretes brings benefits such as productivity increase, noise reduction and energy save, so its utilizations is highly recommended. Nevertheless the concretes design requires carefull study and proper proportion of materials.

It's important the amount of variables that intervene in designing concrete, and selfcompacting in particular being the proportion of aggregate one of the most important fact in influencing the characteristics of these concretes.

Due to this importance this paper presents results in searching of optimization for an appropriate proportion between fine and coarse aggregates, allowing maximum benefits of these concretes.

It was settled a dosage pattern while maintaining constant the volume of aggregates. The variable is the relation fine aggregate/aggregate total, finding practically the optimum that facilitates the dosage of concrete.

In fresh and hardened state properties for each relation were measured: selfcompactibility, ability to step, filling capacity and resistance to segregation properties were studied in fresh state

In hardened state results of resistance to compression at 7 and 28 days of age are presented.

Results suggest that mixing optimization is possible from a correct choice of the relation between the content of fine aggregates and the total of aggregates.

Keywords: Selfcompacting, fine aggregates, aggregates coarse, properties

INTRODUCCIÓN

La utilización de estos hormigones autocompactantes proporciona beneficios tales como aumento de la productividad, reducción de ruido y economía de energía, por lo que su aplicación se torna altamente recomendable (GETTU, 2003) Sin embargo el diseño de estos hormigones requiere el empleo de un elevado contenido de finos que inciden aumentando el costo del hormigón autocompactable. Se entiende como finos aquellos materiales que en estado pulverulento tienen una finura semejante al del cemento, ya sean activas o no activas. Son ejemplo fillers calcáreos, cenizas volantes, polvo proveniente de la trituración de áridos pétreos generados en canteras (BARONETTO, 2008)

La incorporación de finos para la producción de hormigones es necesaria para la existencia para la sustentabilidad o equilibrio de la masa de hormigón en movimiento, homogéneo y que no necesite de com-

pactación mecánica.

Se entiende como hormigón autocompactable (HAC), según Okamura, 1997: aquel que es capaz de fluir en el interior del encofrado, llenándolo de manera natural, pasando entre las barras de las armaduras y compactándose única-mente bajo la acción de su propio peso y con:

1. efectos mínimos en generación de calor, endurecimiento, retracción por secado
2. fluidez libre, sin vibración
3. aumento de impermeabilidad (oxígeno, cloruros, agua).

Las propiedades de autocompactabilidad tales como capacidad de paso, capacidad de relleno y resistencia a la segregación son evaluadas a través de ensayos de extendido, Caja L, V Funnel y J- Ring, siguiendo las recomendaciones del EFNARC 2002; GETTU, 2003; y normas ASTM que se indican más adelante.

En estado endurecido, se presentan resultados de resistencia a compresión, a 7 y 28 días.

PROBLEMA ANALIZADO

Analizando algunos de los métodos de dosificación existentes para estos hormigones, se destaca que las características más comunes (OUCHI, 2003) en el proporcionamiento, son:

1. cemento + fino entre 450-600 kg/m³
2. cemento entre 200 – 400 kg/m³
3. agua entre 160 – 200 kg/m³
4. relación agua/finos (en volumen) entre 0,9-1,0.
5. relación árido fino/árido grueso en el orden de 1,0.

Este trabajo pretende contribuir en lo referente a la relación establecida anteriormente en el punto 5 de proporcionamiento de los agregados de peso normal.

Objetivo general:

Analizar la influencia de la variable árido fino/total de agregados en peso F/F+G en estado fresco y endurecido.

Objetivos específicos:

Verificar:

- a) la autocompactabilidad del hormigón en estado fresco.
- b) la capacidad de fluir bajo su propio peso.
- c) la resistencia a la segregación.
- d) la habilidad para pasar entre armaduras.
- e) las propiedades en estado endurecido; resistencia a compresión a 7 y 28 días.

PLAN EXPERIMENTAL

Para alcanzar los objetivos se procedió a definir las siguientes etapas:

1. Caracterización de los materiales
2. Diseño de hormigones
3. Análisis del comportamiento de los hormigones en estado fresco: capacidad de relleno (ASTM 1611-1661M-05), capacidad de paso (ASTM 1621-1621M-06)
4. Análisis del comportamiento de los hormigones en estado endurecido

MATERIALES UTILIZADOS

Cemento: se utilizó cemento con filler calcáreo, categorizado como CPF 40, de procedencia local, Córdoba, Argentina.

Densidad: 3,10

Filler: se utilizó un filler de origen calcáreo procedente de la fábrica de cemento ubicada en la provincia de Córdoba.

Densidad: 2,80

Árido fino: el árido fino utilizado es de origen natural del paleocauce del río Anisacate-Córdoba; en la Tabla 1 se presentan las propiedades físicas del mismo.

Ensayo	Resultado
Módulo de finura	2,33
Densidad relativa saturado a superficie seca [kg/dm ³]	2,61
Absorción [%]	1,25

Tabla 1: Propiedades físicas del árido fino

La distribución granulométrica del agregado fino utilizado se presenta en la Figura 1, cumpliendo los requisitos indicados en Normas IRAM.

Según los resultados de ensayos químicos, no posee sustancias nocivas ni perjudiciales que puedan afectar al hormigón.

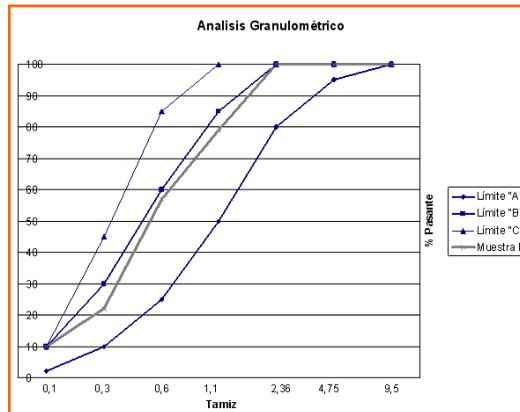


Fig. 1 - Granulometría árido fino

Árido grueso: las propiedades físicas del árido grueso se presentan en la Tabla 2. De acuerdo a las recomendaciones (EFNARC, 2002), el tamaño máximo no debe superar los 19 mm.

Ensayo	Resultado
Tamaño máximo [mm]	12,5
Densidad relativa saturado a superficie seca [kg/dm ³]	2,64
Absorción [%]	0,7

Tabla 2 - Propiedades físicas del agregado grueso

La distribución granulométrica del árido grueso se presenta en la Figura 2.

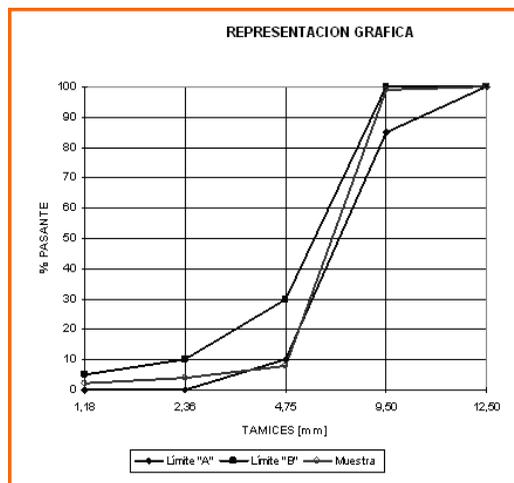


Fig. 2 - Granulometría del árido grueso

Aditivo: se utilizó un aditivo superfluidificante de última generación de base éter policarboxilato; su residuo sólido es de 36,2%.

DOSIFICACIÓN DE PARTIDA

Seleccionados y caracterizados los materiales se realizaron pastones de prueba para tener una dosificación inicial de partida, de tal manera que cumpla con las condiciones de autocompactabilidad.

Una vez conseguido esto, se variaron las proporciones F/F+G (agregado fino/total de agregados) en peso. Las relaciones fijadas se presentan en la Tabla 3.

F/F+G				
0,40	0,45	0,50	0,55	0,60

Tabla 3 - Relaciones F/F+G adoptadas

La dosificación de partida corresponde a F/F+G= 0,50 y se presenta en la Tabla 4.

Cemento [kg]	347
Filler [kg]	149
Água [kg]	177
Árido Fino [kg]	864
Árido Grueso [kg]	864
Aditivo [% de Cemento]	2

Tabla 4 - Dosificación inicial para F/F+G 0,50

RESULTADOS OBTENIDOS

Comportamiento del hormigón en estado fresco

La consistencia de los hormigones autocompactantes se caracterizó por la determinación de las propiedades de capacidad de relleno (ASTM 1611-1661M-05), capacidad de paso (ASTM 1621-1621M-06) y resistencia a la segregación.

Según las recomendaciones (EFNARC, 2002) una mezcla de hormigón sólo puede clasificarse como auto-compactable si se cumplen los requisitos para estas tres características.

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados se presentan en la Tabla 5, verificándose que los valores obtenidos satisfacen las características de autocompactabilidad recomendadas.

Hormigón	EXTENSION (ASTM C 1611 M-05)		J-RING (ASTM C 1621 M-06)	V-FUNNEL	CAJA L
	Diámetro [mm]	T50 [s]	Diferencia de diámetro [mm]	Tiempo [s]	h2/h1
Limites normales	650 á 800	2 á 5 [s]	0 á 25	6 á 12	0,8 á 1,0
F/F+G= 0,40	760	3	0	7	0,93
F/F+G= 0,45	680	6	20	7	0,88
F/F+G= 0,50	710	2	42*	10	0,86
F/F+G= 0,55	600	9	10	10	0,76
F/F+G= 0,60	650	7	0	11	0,81

* Bloqueo mínimo, imperceptible

Tabla 5 - Resultados obtenidos

En la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de extensión realizado. Los valores obtenidos cumplen con los límites establecidos, verificándose que la extensión disminuye con la disminución del contenido de árido fino.

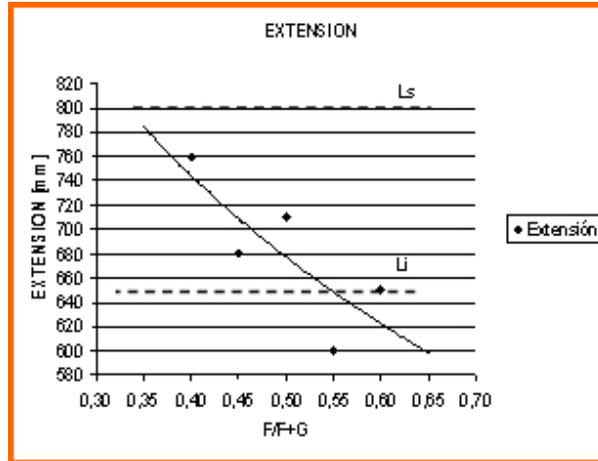


Fig. 3 - Resultados de ensayos de extensión

En la Figura 4 se muestra el aspecto del hormigón autocompactable durante el ensayo de extensión. En la Tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos de autocompactabilidad.



Fig. 4 - Aspecto del hormigón en ensayos de extensión

Para el ensayo de J-Ring los hormigones estudiados presentan un comportamiento similar, con una diferencia de diámetro dentro de parámetros aceptables, que se muestran en la Figura 5.

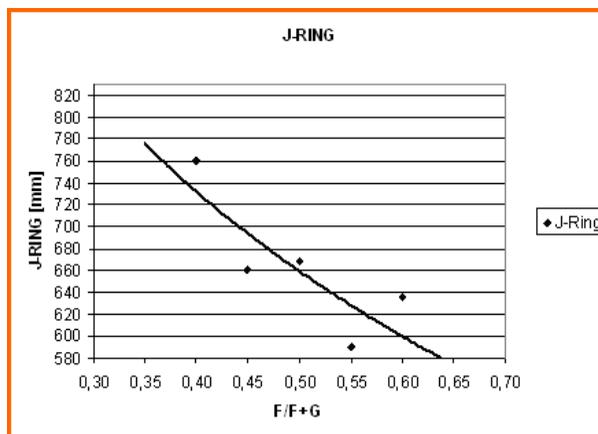


Fig. 5 - Ensayos de J-RING

En la Figura 6 se muestra un detalle del ensayo de J-RING que muestra el flujo del hormigón a través de las barras de acero.

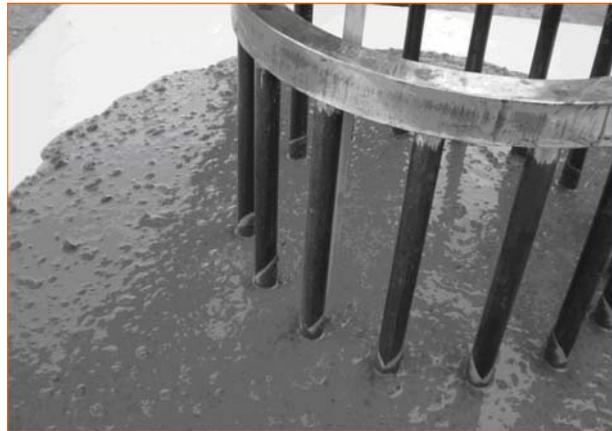


Fig. 6 - Aspecto del hormigón durante ensayos de J-RING

En la Figura 7 se presentan los resultados de los ensayos realizados con la Caja en L; permiten también verificar un comportamiento adecuado en estado fresco, no observándose bloqueo del árido grueso, lo que se muestra en la Figura 8.

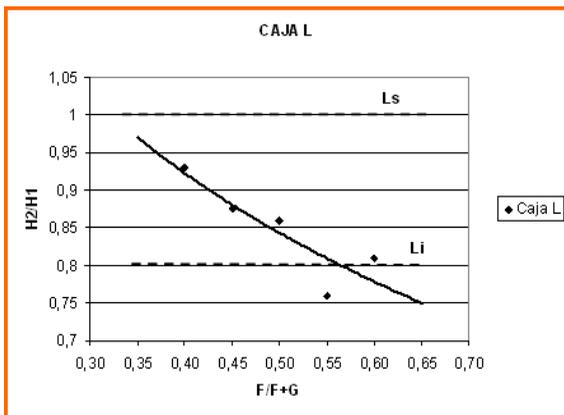


Fig. 7 - Resultados de ensayos de Caja L



Fig. 8 - Medición en el ensayo de Caja L

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos de los ensayos realizados con el V-Funnel; no se observa bloqueo del árido grueso, fluyendo el hormigón sin inconvenientes.

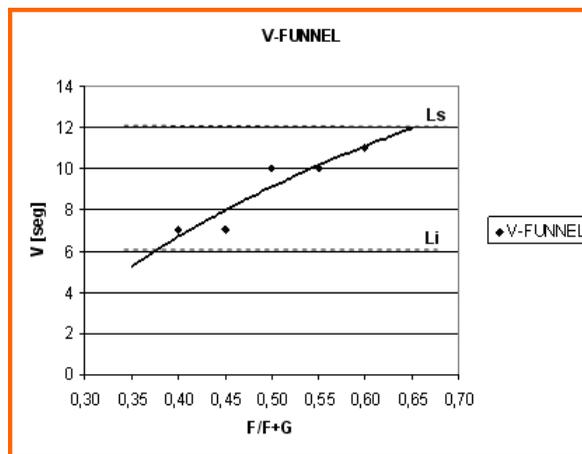


Fig. 9 - Resultados de ensayos con el V-Funnel

La Figura 10 muestra la realización del ensayo con el V-Funnel.



Fig. 10 - Ensayos con el V-Funnel

Comportamiento del hormigón endurecido. Resistencia a compresión

La propiedad que tradicionalmente se controla en el hormigón es la resistencia mecánica a compresión, lo cual es lógico atento a que tiene buen comportamiento frente a estas solicitaciones. Si bien la bibliografía referida a la dosificación del HAC pone énfasis en lograr la autocompactabilidad, debido a que en general se obtienen resistencias más elevadas que en hormigones tradicionales en este trabajo se moldearon probetas cilíndricas y se ensayaron a 7 y 28 días.

En la Tabla 6 se indican los valores obtenidos.

Hormigón	Resistencia a Compresión [MPa]	
	7 días	28 días
F/F+G= 0,40	23,5	34,7
F/F+G= 0,45	23,5	34,5
F/F+G= 0,50	29,2	32,0
F/F+G= 0,55	25,0	31,5
F/F+G= 0,60	22,0	27,5

Tabla 6 - Resultados de ensayos a compresión, 7 y 28 días

En la Figura 11 se presentan los resultados de resistencia a compresión a 7 y 28 días; los niveles de resistencia se encuentran en el orden de 24 a 35 MPa.

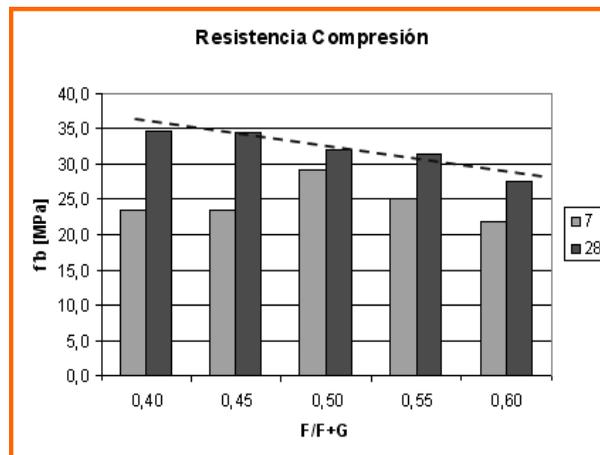


Fig. 11 - Ensayos a compresión a 7 y 28 días

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha partido de un ajuste previo del proporcionamiento de la mezcla de un HAC con materiales fácilmente disponibles en el ámbito local. Y a partir de allí, manteniendo el volumen de pasta constante, se han variado las proporciones de áridos finos y áridos totales. La dosis de aditivo se mantuvo constante.

Debido a que en etapa de producción se manifiestan variaciones en las propiedades de los materiales, es posible fijar límites o márgenes acotados. Y entre éstos, la relación F/F+G. Estudios preliminares sobre la proporción áridos como el desarrollado en el presente trabajo, permiten acotar esos márgenes.

En estado fresco:

Dentro de los rangos establecidos de F/F+G entre 0,40 y 0,60 se obtienen resultados dentro de los límites normales.

Lo importante es que en las obras es difícil mantener constantes la calidad de los áridos, por lo que, según los resultados obtenidos, debe elegirse aquel que se acerque a las necesidades o complejidades de la estructura a hormigonar.

En estado endurecido:

Se observa una tendencia a la disminución de la resistencia a compresión en la medida que aumenta F/F+G.

La variación es del orden del 22%, teniendo en cuenta el máximo, mínimo y media de los resultados obtenidos. Ese es un factor importante a tener cuenta en el momento de la elección entre el balance del cumplimiento de las condiciones de autocompactabilidad y resistencias necesarias.

AGRADECIMIENTOS

A la UTN, SC&T. A nuestros investigadores, alumnos, becarios y colaboradores por su activa participación.

REFERENCIAS

- ASTM 1611-1611M-05. Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete
- ASTM 1621-1621M-06. Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring
- BARONETTO, C et al. Hormigón autocompactante arquitectónico con residuo del proceso de la trituración de rocas. 1er Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante. Valencia, España, 2008.
- EFNARC. Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC, 2002. Norfolk, Brian Poulson, 2003.
- GETTU, R. AGULLÓ, L. Estado del Arte del Hormigón Autocompactable y su Caracterización. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, abril 2003. Informe 4745/1
- Okamura, H. (1997) "Self-Compacting High-Performance Concrete," *Concrete Intl.*, Vol. 19, nº 7, pp. 50-54.
- OUCHI, M et al. Application of self compacting concrete in Japan, Europe and the Unite State. 2003 ISHPC