

ANILLOS DE REFUERZO DEL TÚNEL DE ABDALAJÍS EN LA LÍNEA DEL TREN DE ALTA VELOCIDAD DE CÓRDOBA A MÁLAGA

REINFORCEMENT RINGS OF THE TUNNEL OF ABDALAJIS IN THE HIGH SPEED TRAIN LINE CORDOBA-MALAGA

Recibido: 14/02/07

Aceptado: 14/03/07

José Antonio Hurtado Hurtado
Ingeniero Industrial
Director de Calidad e Innovación
Hormigones y Minas, S.A.

RESUMEN

Los túneles de la línea de alta velocidad de Córdoba a Málaga discurren por un tramo de zonas kársticas de casi un kilómetro de longitud en la zona del Valle de Abdalajís, término municipal de Álora (Málaga), en el que se presentaron, durante su construcción, grandes caudales de agua de infiltración con arrastres importantes de sólidos a través de diversas zonas de falla. La solución que se eligió para aplicar a corto plazo fue la construcción de anillos de refuerzo con hormigones autocompactantes de alta resistencia, de 80 MPa en las zonas más comprometidas y otros de resistencia menor en las restantes (50 y 60 MPa).

El hormigón se fabricó en una planta propiedad de **Hormigones y Minas, S.A.** instalada en unos terrenos cercanos a la boca de los túneles cedidos a este efecto por **ADIF**.

Hormigones y Minas realizó una investigación con más de 130 amasadas y 520 ensayos para determinar las dosificaciones más adecuadas y, como resultado de esta investigación, se encontraron 22 fórmulas correctas de las cuales se extrajo el perfil de las materias primas a utilizar para fabricar estos hormigones, teniendo presente condicionantes de índole técnico-económica.

Palabras clave: Hormigón autocompactante de alta resistencia, Tren de alta velocidad.

ABSTRACT

The tunnels located in the high speed train line going from Cordoba to Malaga pass through karstics areas of approximately one kilometer-long in Valle de Abdalajís, in the municipality of Álora (Malaga). During the construction of the tunnel great infiltration water flows were detected, causing important soil draggings through diverse fault areas. The adopted solution was the construction of reinforcement rings with high resistance self compacting concretes. The most difficult areas have an 80 MPa resistance value, as for the rest the values are 50MPa and 60 MPa.

The concrete was manufactured in a plant property of Hormigones y Minas S.A., located near the entrance of the tunnels in a piece of land handed over by ADIF for that purpose.

Hormigones y Minas made an investigation with more than 130 doughs and 520 tests to determine the most appropriate dosage and, as a result, 22 formulas were found correct. From these 22 formulas the profiles for the materials to be used for the manufacturing of the concrete were obtained, having also present technical and economical factors.

Key words: High resistance self compacting concrete, High speed train.

1.-ANTECEDENTES

En marzo de 2005, los dos túneles de la línea de alta velocidad de Córdoba a Málaga atravesaron un tramo de zo-



Tuneladora

nas kársticas de casi un kilómetro de longitud en la zona del Valle de Abdalajís, término municipal de Álora (Málaga), en el que se presentaron grandes caudales de agua de infiltración con arrastres importantes de sólidos a través de diversas zonas de falla. El avance de las tuneladoras se vio seriamente afectado durante meses sin poder recuperar rendimientos aceptables hasta el mes de septiembre. En esta situación la colocación del revestimiento hubo de hacerse con dificultades, que incluyeron el arrastre de los materiales de relleno del trasdós.

Con motivo de este importante incidente, se propone el tratamiento de las aportaciones de agua para su reducción a cifras compatibles con una explotación de alta velocidad, considerando para ello dos tipos de soluciones: la localización por sondeos de los ductos de comunicación al túnel para su relleno posterior con hormigón bombeado y/o la construcción de anillos impermeables de refuerzo en las zonas más afectadas.

Además de los tratamientos por sondeos, en lo que se refiere a los anillos de refuerzo se presentaron propuestas de virolas metálicas y otras de anillos de hormigón armado, siendo desechadas las soluciones de virolas. A la vista del largo plazo previsible para aplicar la solución de sondeos de reconocimiento y relleno de ductos, dado el tipo de trabajos a realizar, con la casi segura necesidad de reiterar las campañas, la Dirección de Línea decidió que esta solución quedaría como reserva a aplicar en el futuro, ordenando simplemente la ejecución de las obras auxiliares necesarias para su aplicación (nichos o galerías).

En consecuencia, la solución que se eligió para aplicar a corto plazo fue

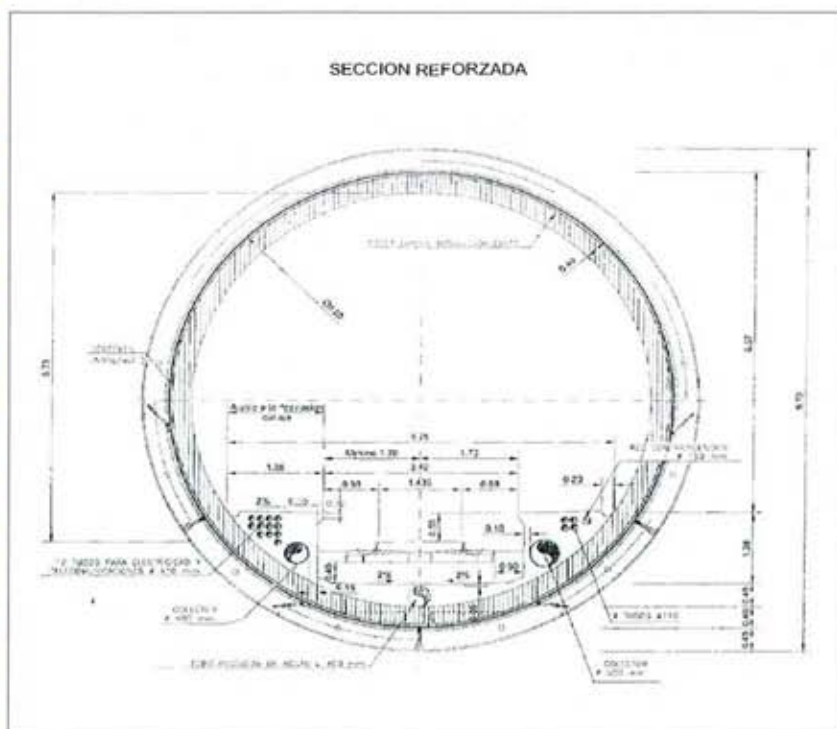


Fig. 2. Sección del túnel reforzada con hormigón autocompactante.

la construcción de anillos de refuerzo con hormigones de alta resistencia, de 80 MPa en las zonas más comprometidas y otros de resistencia menor en las restantes (50 y 60 MPa). Para facilitar la ejecución de estos anillos de gran esbeltez, se decidió suprimir todo tipo de vibrado y construirlos con hormigones autocompactantes.

2.-INTRODUCCIÓN

El Consejo de Administración del **Administrador de Infraestructuras Ferroviarias** (ADIF) dependiente del **Ministerio de Fomento**, adjudicó el 27 de octubre de 2006, por 41,3 millones de euros, obras en los tramos 12 y 13 de los túneles de la línea de alta velocidad de Córdoba a Málaga que atraviesan la sierra de Abdalajís (con una longitud de 8.970 m. cada uno).

Las obras, todavía hoy en ejecución, suponen la construcción de un sistema de refuerzo e impermeabilización del doble túnel con varios anillos de 40 centímetros de hormigón armado y la colocación de cintas flexibles de PVC en las juntas de hormigonado como barreras de estanqueidad.

En el caso del túnel Este, el refuerzo de 802 metros de longitud se-

rá ejecutado por la unión temporal de empresas (UTE Abdalajís) integrada por Dragados, Teca, Jäger Bau GmbH y Società Esecuzione Lavori Idraulici Spa. En el caso del túnel Oeste, Sacyr realizará la actuación de 743 metros de refuerzo. Hormigones y Minas S.A., continuando su labor de suministrador de los hormigones que sendas empresas están utilizando en la construcción de ambos túneles, suministra los hormigones autocompactantes (*HyMpacto*[®]) que requiere

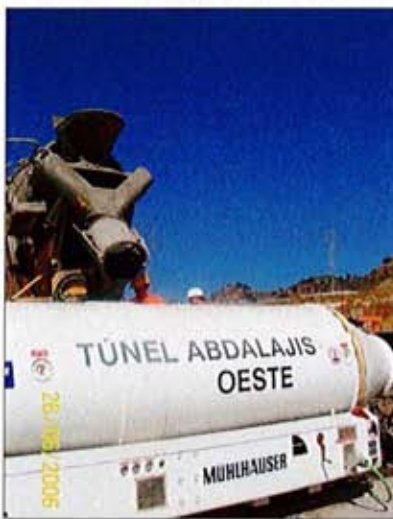


Fig. 3. Vertido del hormigón en un mezclador

la Dirección de Obra para la ejecución de esta actuación.

El hormigón se fabrica en una planta propiedad de Hormigones y Minas, montada en un antiguo parque de acopio de dovelas cercano a las bocas de los túneles, desde donde se realizará el suministro. Para su transporte y puesta en obra, los camiones-hormigoneras vierten el hormigón en vagones mezcladores y mediante una locomotora se introducen en el túnel para descargar el hormigón en el tajo. La construcción del revestimiento se hace por módulos colocando el hormigón dentro del anillo mediante bombeo.

Las características generales del *HyMpacto*[®] (HA-80) son las siguientes:

- Resistencia característica a compresión a 28 días: 80 MPa en probeta cilíndrica de ϕ 150 x 300 mm.
- Resistencia característica a compresión a las 12 h.: 12,5 MPa para poder desencofrar con esa edad.
- El transporte de hormigón desde la planta y a lo largo del túnel no debe producir segregación de los componentes o pérdida de agua y el ritmo ha de ser suficiente para evitar juntas de trabajo dentro de los módulos de los anillos.
- Resistencia a la tracción de 8 MPa a los 28 días y de 1,3 MPa a las 12 h, como resistencias medias sobre probetas de ϕ 150 x 300 mm sometidas al ensayo de tracción indirecta o "brasileño".

La armadura de los anillos se dispone en dos capas. En general, en todas las propuestas presentadas para su aprobación, la separación de armaduras permite la entrada de las mangueras de la bomba de hormigón ya que todos ellos superan los 100 x 100 mm de hueco.

Se ejecutarán los anillos de refuerzo en los meses de noviembre de 2006 a mayo de 2007, por lo que la temperatura ambiental durante la construcción en el interior del túnel estará situada entre los 15 °C y los 25 °C.

La retracción del hormigón debe ser mínima para conseguir una fábrica lo más impermeable posible. El hormigón de alta resistencia, debido

a sus bajos valores del contenido en agua, suele presentar una baja retracción por secado. No obstante, debido a la baja relación agua/cemento y el alto contenido de aditivos y cemento que caracteriza este tipo de hormigones, se produce un fenómeno de autodesecación que puede inducir a una retracción endógena significativa, cuya magnitud debe restringirse al máximo para evitar la fisuración. Por otra parte, el alto contenido de cemento puede provocar también altas temperaturas iniciales que producen fisuración por retracción térmica. Para reducir al mínimo este riesgo debe optimizarse tanto el contenido en cemento como la incorporación de finos. El hormigón de alta resistencia *HyMpackto*®, por la compacidad de su matriz presenta una permeabilidad al agua inferior a 100 veces la de un hormigón convencional. La posibilidad de que se presenten fisuras debidas a la retracción u otras causas, puede reducir la resistencia del hormigón frente a la penetración de agentes agresivos. Con este fin, es necesario limitar el ancho de las fisuras a 0,1mm siguiendo el artículo 49.2.4 de la EHE.

Los hormigones de alta resistencia como el *HyMpackto*® son más susceptibles que los tradicionales de ser afectados por las altas temperaturas ya que la baja permeabilidad de la matriz impide el escape del vapor en que se transforma el agua combinada con el cemento, resultando un aumento de presión en los poros con la desintegración del recubrimiento y desprotección de la armadura, que puede fallar posteriormente por pandeo. Sin embargo, en estos casos se ha observado un importante comportamiento resistente residual que se puede mejorar con la incorporación de un pequeño volumen de fibras de polipropileno. Dichas fibras funden a temperaturas superiores a los 500 °C dejando conductos a través de los cuales se produce la eliminación del vapor de agua. Como dato indicativo se puede recomendar la incorporación de 0,5 a 1kg de fibras de polipropileno monofilamentadas de longitud 10-20 mm por metro cúbico de hormigón.

3.-DISEÑO DE *HYMPACTO*®

La experiencia de Hormigones y Minas en el diseño, fabricación y suministro de sus hormigones autocompactantes (*HyMpackto*®), permite prever muchas de las condiciones específicas de este tipo de hormigonados especiales:

- La producción de hormigón autocompactante requiere más experiencia y cuidado que la del hormigón vibrado de manera convencional. El personal de la planta necesita un entrenamiento y una experiencia para producirlo y manipularlo con éxito.

- El diseño en laboratorio y fabricación en planta de cualquier *HyMpackto*® responde convenientemente y de forma robusta a las especificaciones del proyecto de obra y cumple los requisitos aplicables de la EHE. Por tanto, sus propiedades mecánicas y reológicas son verificadas conforme al estado del arte y las normas vigentes.

- Los equipos de amasado, sean fijos en planta o móviles sobre camión, responden a las necesidades de mezclado, superiores en este tipo de hormigones, verificándose la consistencia desarrollada a través del control de las humedades de las materias primas, el agua de amasado añadida y la energía de batido desarrollada. Todas las materias primas se dosifican en la central de mezclado mediante un sistema automático informatizado, bien sea en peso o volumétricamente (aditivo).

- Los conductores de camiones-hormigonera, siguiendo los procesos de formación de **Hormigones y Minas S.A.**, conocen las condiciones de manipulación del producto, incluso los parámetros de aceptación que deben comprobar sobre las mediciones indirectas que realiza el vehículo y observan las medidas preventivas habituales para los procesos de carga y descarga del hormigón.

- Se recomienda, si la realización de ensayos no demuestra lo contrario, que el encofrado se diseñe para presiones hidroestáticas.

- El *HyMpackto*® debe curarse tan pronto como sea posible tras su colocación para prevenir la aparición de fisuras en la superficie ya que tiende

a secarse más rápidamente que el hormigón vibrado convencional por que hay poca o nula aparición de agua en la superficie.

- Cuando se coloca una nueva capa sobre una capa anterior, la adherencia entre el viejo y el nuevo hormigón es igual o mejor que en el caso del hormigón vibrado convencional.

3-1 Ensayos previos

Hormigones y Minas realizó en su laboratorio central de Andalucía en Málaga, más de 130 amasadas y 520 ensayos a fin de determinar las dosificaciones óptimas para las necesidades conocidas durante la ejecución de los citados anillos de refuerzo mediante hormigones autocompactantes.

Se trata de fórmulas que se adecúan a la variabilidad de las materias primas conocidas de la zona, expresamente seleccionadas, y utilizadas durante la ejecución de la obra de construcción de los túneles. Las propiedades y características medidas del *HyMpackto*® durante los ensayos han sido:

- Autocompactabilidad:
 - 1- Fluidez.
 - 2- Resistencia a la segregación.
 - 3- Capacidad de relleno.
 - 4- Deformabilidad.
- Contenido de aire ocluido.
- Densidad aparente en estado fresco.
- Resistencia mecánica.
- Control visual:
 - 1- Ausencia de segregación.
 - 2- Ausencia de exudación.

(Ver tabla 1)

Los criterios que permitieron discernir las dosificaciones más adecuadas fueron tres, se obtuvieron resultados de dos cementos y 30 aditivos de seis marcas diferentes:

- Resistencia a compresión a 28 días superior a 80 MPa.
- Fluidez o ausencia de bloqueo.
- Cohesión o ausencia de segregación.

Como resultado de la investigación se encontraron 22 fórmulas correctas, de las cuales extrajimos el perfil de las materias primas a utilizar teniendo presente condicionantes de índole técnico-económica:

- Cemento: I 42,5 R/SR.
- Árido: machaqueo de piedra caliza procedente de la Cantera de Almargen (Málaga).
- Aditivo plastificante.
- Aditivo superfluidificante.
- Adición de microsilice.

3-2 Ensayos de caracterización

Los criterios de aceptación para la fabricación del HyMpacto® (HA-80) se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Comprobación de la autocompactabilidad en hormigón fresco:
- 1- UNE 83.3_ (slump-flow): entre 650 y 700 mm.

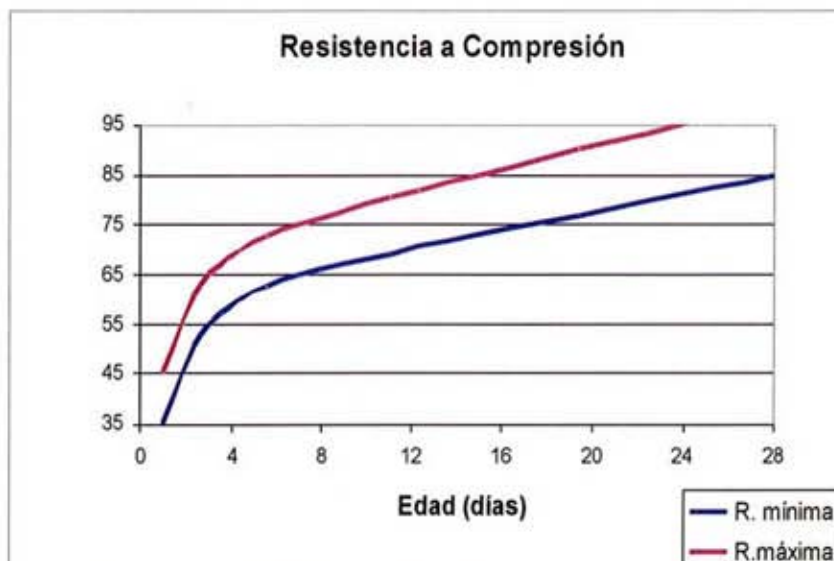


Fig. 4. Valores de la resistencia a compresión

NOMBRE ENSAYO	TIPO CEMENTO	ADITIVO 1	ADITIVO 2	ADICIÓN	CEMENTO Min.(Kg)
S1-S5	I52,5 NSR		Viscocrete	Humo de sílice	500
S6	I42,5 RSR		Viscocrete	Humo de sílice	500
S7-S16	I42,5 RSR	Melcret	Viscocrete	Humo de sílice	500
S17-S20	I42,5 RSR	Melcret	Viscocrete	Humo de sílice	515
S21-S31	I42,5 RSR	Melcret	Viscocrete	Sikatell y b A/A	515
S32-S41	I42,5 RSR	Sikament	Viscocrete	Humo de sílice	500
F1-F2	I42,5 RSR	Conplast A	Structuro	Microsilice	500
F3	I52,5 NSR	Conplast A	Structuro	Microsilice	500
F4	I42,5 RSR	Conplast A	Structuro	Microsilice	550
F5-F8	I52,5 NSR	Conplast A	Structuro	Microsilice	500
F9	I42,5 RSR	Conplast A	Structuro	Microsilice	500
F10	I52,5 NSR	Complast A	Structuro	Microsilice	500
F11	I52,5 NSR	NP 1/1/1096		Microsilice	475
F13	I42,5 RSR	NP 1/1/1096		Micro. Emulsión	475
F13	I42,5 RSR	NP 1/1/1096		Micro. Emulsión	500
F19	I42,5 RSR		NP 1/1/1096	Micro. Emulsión	500
F20	I42,5 RSR		NP 1/1/1096	Micro. Emulsión	525
F21-F23	I42,5 RSR		NP 1/1/1096	Nanosilice	540
SF1-SF3	I42,5 RSR		NP 1/1/1096	Sikatell	525
G1	I42,5 RSR	Adva F		Humo de sílice	500
G2-G3	I52,5 NSR	Adva F		Humo de sílice	500
G4-G6	I42,5 RSR	Adva F		Humo de sílice	500
G7-G13	I52,5 NSR	Adva F		Humo de sílice	500
G14	I42,5 RSR	Adva F		Humo de sílice	500
G15-G17	I42,5 RSR	Adva Cast		Humo de sílice	500
G18	I42,5 RSR	Adva Cast		Humo de sílice	550
G19	I42,5 RSR	Adva Cast		Humo de sílice	500
G20	I42,5 RSR	Adva F		Humo de sílice	500
B1-B5	I 42,5 RSR		Glenium T	Meyco MS	500
B6-B10	I52,5 NSR		Glenium T	Meyco MS	500
B11	I52,5 NSR		Glenium T	Humo de sílice	500
B12	I52,5 NSR		Glenium T	Meyco MS	500
B13-B14	I52,5 NSR	Melcret	Glenium T	Meyco MS	500
B15-B16	I42,5 RSR		PL-JC	Meyco MS	540
B17-B19	I52,5 NSR		PL-JC	Meyco MS	500
B20-B21	I42,5 RSR		PL-JC	Meyco MS	560
B22	I42,5 RSR		PL-JC	Meyco MS	530
B23	I42,5 RSR		PL-JC	Meyco MS	500
CH1	I42,5 RSR	Premia	Chryso Tard	Humo de sílice	450
CH2	I42,5 RSR	Premia	Chryso Tard	Humo de sílice	500
CH3-CH9	I52,5 NSR	Premia		Humo de sílice	500
CH10-CH11	I52,5 NSR	Optima		Humo de sílice	500
CH12	I42,5 RSR	Optima		Humo de sílice	500
A1	I52,5 NSR	Creative		Humo de sílice	500
A2	I52,5 NSR	Flux	Creative	Humo de sílice	500
A3-A4	I52,5 NSR	Driver		Humo de sílice	500
A5-A6	I52,5 NSR	Flux	Driver	Humo de sílice	500

Tabla 1. Ensayos realizados

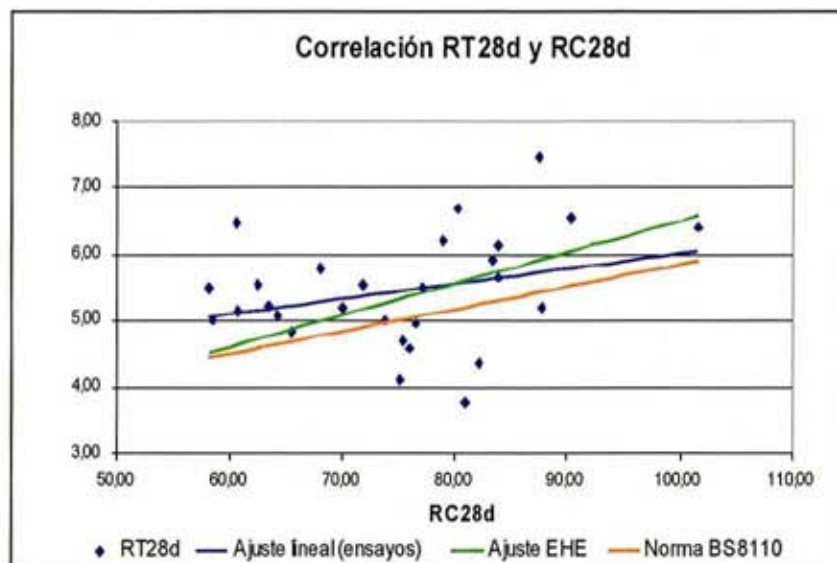


Fig. 5: Valores de la resistencia a compresión.
RT28d = Resistencia a tracción a 28 días; RC28d = Resistencia a compresión a 28 días

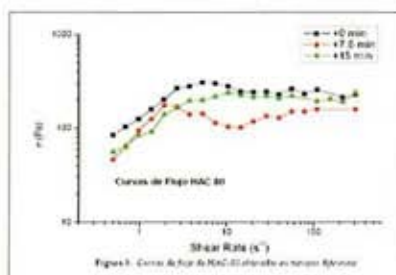


Figura 3: Curvas de flujo HAC 80

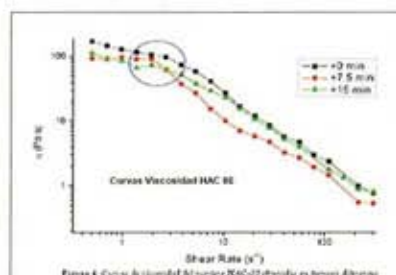


Figura 4: Curvas de viscosidad HAC 80

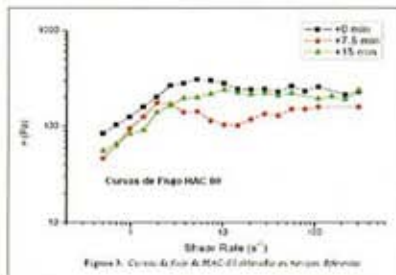


Figura 5: Curvas de flujo HAC 80

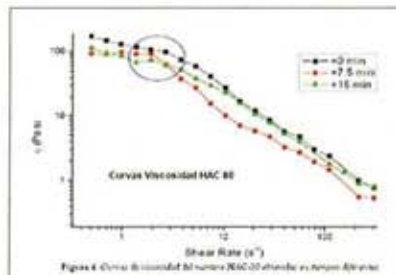


Figura 6: Curvas de viscosidad HAC 80

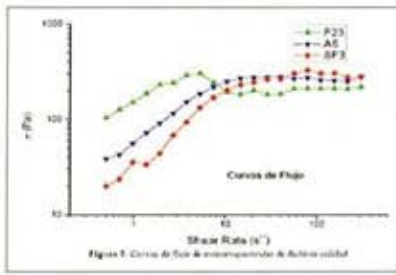


Figura 7: Curvas de flujo de hormigón de alta resistencia

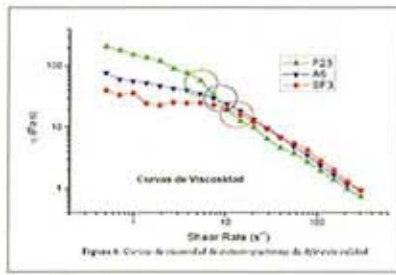


Figura 8: Curvas de viscosidad de hormigón de alta resistencia

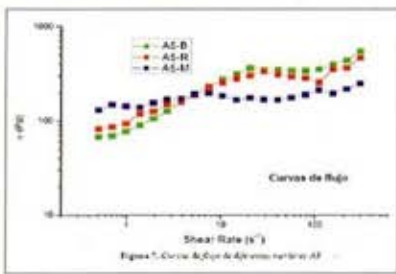


Figura 9: Curvas de flujo de hormigón de alta resistencia

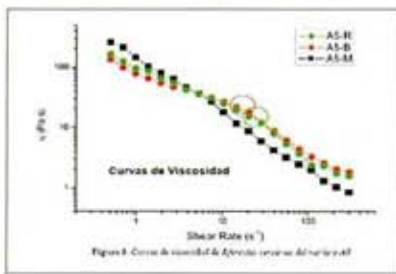


Figura 10: Curvas de viscosidad de hormigón de alta resistencia

2- UNE 83.3_ (V-funnel): entre 25 y 35 segundos.

- Densidad del hormigón fresco: entre 2.450 y 2.500 kg./m³.

- Contenido de aire oculto: entre 1,5 y 3,5%.

- Relación agua/cemento: 0,31.

Además, se ha determinado el desarrollo de resistencias a compresión y tracción indirecta gráficamente: (Figs. 4 y 5)

3-3 Reología del HyMpacto®

Con motivo de la experiencia acumulada durante los ensayos y habiendo encontrado criterios para la medición por métodos indirectos de la autocompactabilidad contradictorios con la bibliografía comúnmente aceptada (Véase Bibliografía), Hormigones y Minas inició un proyecto de investigación, en colaboración con el Grupo de Reología y Electrocínética del Departamento de Física Aplicada II de la **Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Málaga**, para documentar los parámetros reométricos que definen los hormigones autocompactantes diseñados.

Dado que en los reómetros disponibles no se puede ensayar hormigón debido al tamaño del árido, se ensayaron morteros, que, mediante técnicas de equivalencia desarrolladas por el Centro Tecnológico del **Grupo Italcementi** (al que pertenece Hormigones y Minas), permiten establecer las relaciones entre ambos (MBE: mortero equivalente al hormigón).

Se realizaron ensayos de cizalla continua sobre cinco de las dosificaciones, de los que podemos obtener información relativa a sus curvas de viscosidad, límite de fluencia y dependencia temporal:

- HAC 80: HyMpacto® (hormigón autocompactante) con formulación óptima.

- SF3: Hormigón autocompactante con nanosílice y aditivo.

- A6: Hormigón autocompactante con aditivos.

- F23: Hormigón autocompactante con nanosílice y aditivo.

- A5: Hormigón no autocompactante.

1. M: Hormigón con segregación (Hormigón líquido).

2. R: Hormigón sin segregación de fluidez limitada (*slump-flow* < 60 cm)

3. B: Hormigón sin segregación de fluidez mejorada (*slump-flow* < 65 cm).

4.-CONCLUSIONES

Las conclusiones principales obtenidas de este estudio quedan resumidas como sigue:

- Los morteros equivalentes a hormigones autocompactantes presentan como señal de identidad una doble región pseudoplástica.

- La velocidad de cizalla crítica correspondiente a la transición entre ambas regiones es menor cuanto mejor es la cualidad de autocompactación.

- El límite de fluencia es menor cuanto mejor es la cualidad de autocompactación del MBE.

- Una mayor consistencia de la muestra indica una mejor resistencia a la segregación del MBE.

- Existe una correlación entre límite de fluencia e índice de pseudoplasticidad de la primera región.

- Los resultados sugieren la coexistencia de dos niveles estructurales en morteros equivalentes a hormigones autocompactantes.

5.-BIBLIOGRAFÍA

- Association Francaise de Génie Civil, Betons Auto-placants. Documents scientifiques et techniques. Juillet 2000.

- BAISOLI, F.; *European guidelines for self-compacting concrete: Specifications, production and use. Proceedings 18th International Congress*. Amsterdam 2005.

- BORRALLERAS, P.; *Obras y realizaciones con hormigones autocompactables*.

- BURON, M.; *Hormigones especiales: Prestaciones, materiales, Normalización*. I Curso sobre Tecnología del hormigón. Universidad Politécnica de Valencia. IECA (2005).

- DOMINGUEZ, J.; *Utilización de los aditivos en el hormigón autocompactable*. Revista Hormigón y Acero nº 228-229.

- Documento Técnico de GIASA (Organismo de control de obra de la Junta de Andalucía): *Recomendaciones para la redacción de: pliegos de especificaciones técnicas generales para hormigones autocompactantes HAC*.

- ESTEBAN, M. y NAVARRO, F.; *Empleo del hormigón autocompactable en la prefabricación*. Revista Hormigón y Acero nº 228-229.

- Eurocode 2: *Design of concrete structures- Part 1: General Rules and rules for buildings*.

- FERNÁNDEZ GÓMEZ, J.; BURÓN MAESTRO, M.; *Guía Práctica para la utilización del hormigón autocompactable*. (IECA).

- FERNÁNDEZ GÓMEZ, J.; *El control de calidad en hormigones de alta resistencia*. Revista Hormigón y Acero nº 228-229.

- FERNÁNDEZ GÓMEZ, J.; *Tecnología, propiedades y control de calidad del hormigón de altas prestaciones*. I Curso sobre Tecnología del Hormigón. Universidad de Granada, IECA (2004).

- First North American Conference on the Design and use of Self-Consolidating Concrete. Center for Advanced Cement- Based Materials (November 2002).

- GARRIDO, L.; *Tecnología y propiedades generales del hormigón autocompactable*. I Curso sobre Tecnología del Hormigón. Universidad de Granada, IECA (2004).

- GETTU, R.; BARRAGÁN, B.; AGULLÓ, L.; *Desarrollo y aplicación de hormigones autocompactables de alta resistencia*. XI Jornadas Técnicas sobre Otros hormigones.

- GETTU, R. y AGULLÓ, L.; Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización (Parte I y Parte II). Revista Cemento-hormigón, (Abril y mayo 2004).

- GETTU, R.; BARRAGÁN, B.; AGULLÓ, L.; ZERBINO, R.; CRUZ, C.; BRAVO, M.; BERNAD, C.; *Repetitividad y reproducibilidad de los ensayos para el hormigón autocompactable*. XI Jornadas Técnicas sobre Otros Hormigones.

- HURTADO, J. A. *Experiencias en la fabricación y puesta en obra de los hormigones autocompactantes*. XI

Jornadas Técnicas sobre Otros Hormigones.

- HURTADO, J.A.; *Obras y realizaciones con hormigón autocompactable*. I Curso sobre Tecnología del hormigón. Universidad de Granada, IECA (2004).

- Instrucción de hormigón estructural EHE.

- Norma EN-206-1:2000 "Hormigón - Parte 1: Especificaciones, comportamiento, Producción y Conformidad".

- OLIVARES SANTIAGO, M., GALÁN MARÍN, C. ROA FERNÁNDEZ, J. *Hormigones autocompactantes*. Editon, S.A.

- PACIO ÁLVAREZ, A.; *Posibilidades arquitectónicas del hormigón autocompactable*. XI Jornadas Técnicas sobre Otros Hormigones.

- PACIOS, A.; *El hormigón autocompactable: tecnología sostenible en la industria de la construcción*. Revista Hormigón y Acero nº 228-229.

- PALACIOS, A.; PACIOS, A.; GETTU, R.; *Control de calidad y procedimientos de ensayo de los hormigones autocompactables*. XI Jornadas Técnicas sobre Otros Hormigones.

- PALACIOS, P. y NAVARRETE, E.; *Los hormigones especiales como producto industrial*. Revista Hormigón y Acero nº 228-229.

- PCI. ; *Interim Guidelines for the use of Self-Consolidating Concrete in Precast TR 6-03*.

- PÉREZ, J.I., ORDÓÑEZ, J. MENÉNDEZ, A. y RUBIO, M.C.; *Diseño de encofrados para hormigón autocompactable*. I Curso sobre Tecnología del hormigón. Universidad de Granada, IECA (2004).

- REVUELTA, D. y FERNÁNDEZ LUCO, L.; *Hormigón autocompactable. Visión general*. Revista Hormigón y Acero nº 228-229.

- WALRAVEN, J.; *Structural application of self compacting concrete*. Proceedings of 3rd RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete. Reykjavic, RILEM Publication PRO 33, August 2003.

- MONDINI, Alberto. "La época de los grandes túneles". DYNA Abril 2003. Vol VXXVIII. Pág. 17-18. ■