

Diseño, desarrollo y caracterización de hormigones autocompactantes de alta resistencia: HAC-80 y HAC-55

Design, development and characterization of high-strength, self-compacting concrete: SCC-80 and SCC-55

José Antonio Hurtado Hurtado. Ingeniero Industrial
 Director de Calidad e Innovación (FYM hormigones). j.hurtado@fym.es

Resumen: La línea ferroviaria de alta velocidad de Córdoba a Málaga a su paso por el Valle de Abdalajís, en el término municipal de Álora (Málaga), discurre por un tramo de 7 kilómetros mediante túnel (uno en cada sentido) a través de la sierra de Huma. Ambos túneles horadan casi un kilómetro de rocas de características kársticas en el que, durante la construcción, aparecieron grandes caudales de agua de infiltración con importantes arrastres de sólidos por diversas zonas de falla. Para resolver esta situación, la solución elegida fue la construcción de unos anillos de refuerzo con HAC de alta resistencia, de 80 MPa para las zonas más comprometidas y otros de resistencia menor para las restantes (55 MPa).

El diseño, desarrollo, caracterización y posterior suministro de estos hormigones, correspondió a Hormigones y Minas, a través de sus hormigones autocompactantes registrados como HyMPACTO®, los cuales, además de satisfacer los requerimientos de la obra, debían dar fiel cumplimiento al pliego de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía. Se realizaron más de 100 amasadas y 500 ensayos de laboratorio para determinar las dosificaciones más adecuadas y seleccionar el perfil de las materias primas. Teniendo presente condicionantes de índole técnico-económica, y tras probar una gran variedad de componentes, se decidió que los materiales idóneos eran: cemento I 42,5 R/SR de Cementos Goliat fabricado en Málaga (grupo FYM), árido clasificado procedente del machaqueo de piedra caliza en la finca Taralpe sita en Alhaurín de la Torre (Málaga) propiedad de Compañía General de Canteras (grupo FYM), Sikament 175 (Sika) como aditivo superplastificante polivalente, Viscocrete 3425 (Sika) como aditivo superplastificante de alto rendimiento y adición de microsilíce (Ferroatlántica). Los resultados experimentales corroboraron la validez de la fórmula seleccionada así como su robustez ante las exigencias de la puesta en obra, donde se consideró esencial la verificación de las condiciones de autocompactabilidad como criterio de aceptación de todas las amasadas y factor decisivo para decidir el tiempo límite de uso del producto durante la colocación en el interior de los túneles.

Palabras Clave: Autocompactante; HYMPACTO®; FYM; Túnel

Abstract: At its passage through the Valle de Abdalajis in Alora (Malaga), the Cordoba-Malaga high-speed railway line runs through 7 kilometre of tunnel (one in each direction) cut through the sierra de Huma. Both tunnels were bored through high on one kilometre of karstic-type rock and during the construction process large flows of percolating water were encountered together with a considerable scouring of solids throughout different fault areas. In order to remedy this situation, it was decided to build reinforcing rings in high strength SCC of 80 Mpa for the most delicate areas and in lower strength SCC (55 Mpa) for the other areas.

The design, development, characterization and subsequent supply of these concretes was performed by Hormigones y Minas, through their range of self-compacting concretes registered under the trade name HyMPACTPO® which, in addition to satisfying site requirements, also had to strictly comply with the specifications of the Andalucia Regional Council Public Works and Transport Department. Over 100 batches and 500 laboratory tests were conducted to establish the most suitable mixes and to select the profile of the raw materials. When considering aspects of a technical-economic nature and after testing a large variety of components, it was decided that the most suitable materials were: cement 1 42.5 R/SR produced by Cementos Goliat and manufactured in Malaga (FYM Group); crushed limestone graded aggregate from the Taralpe estate in Alhaurin de la Torre (Malaga) owned by the Compañía General de Canteras (FYM Group); Sikament 175 (Sika) as a multi-purpose super plastifying additive; Viscocrete 3425 (Sika) as a high-performance super plastifying additive and the addition of silica fume (micro silica) (Ferroatlantica). The ensuing test results verified the validity of the selected formula as well as demonstrating its ruggedness when placed under site conditions and where it was considered essential to verify the self-compacting conditions as acceptance criteria for all batch mixes and as a decisive factor for the maximum handling period of the product during placement within the tunnels.

Keywords: Self-compacting; HYMPACTO®; FYM; tunnel

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de septiembre de 2008.

Recibido: mayo/2008. Aprobado: mayo/2008

1. Introducción

Durante la construcción de dos túneles de la línea férrea de alta velocidad de Córdoba a Málaga en los tramos XII y XIII a su paso por la zona de El Valle de Abdalajís, término municipal de Álora (Málaga), se atravesó casi un kilómetro de roca de naturaleza kárstica, apareciendo grandes caudales de agua de infiltración con importantes arrastres de sólidos a través de diversas zonas de falla, lo que provocó un grave contratiempo afectando seriamente el avance de las tuneladoras.

Para solventar la situación, el ADIF eligió una solución basada en la construcción de anillos de refuerzo con hormigones autocompactantes de alta resistencia, concretamente 80 MPa en las zonas más comprometidas y de resistencia menor en las restantes (55 MPa), encomendando las empresas constructoras a Hormigones y Minas el suministro de estos hormigones que, además de satisfacer los requerimientos planteados, debían cumplir los requisitos de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.

El equipo del departamento de Calidad e Innovación de Hormigones y Minas, ubicado en Málaga, fue responsable del diseño, desarrollo y caracterización, emprendiendo para ello una línea de investigación y ensayos con diversos materiales que permitieran alcanzar tanto la dosificación como las materias primas idóneas.

Según el Documento anteriormente mencionado de la Junta de Andalucía la autocompactabilidad (fluidez, resistencia a la segregación y capacidad de paso entre armaduras sin bloqueo) se cuantifica según varios parámetros con valores recomendados y que se determinan mediante los correspondientes ensayos normalizados, que se detallan en la **Tabla 1**.

Además de estos parámetros, la dirección de obra establecía otros requerimientos para asegurar el éxito de la ejecución, tales como los siguientes:

- **Resistencia característica a compresión a 28 días:** 80 ó 55 MPa en probeta cilíndrica de 150 x 300 milímetros.
- **Resistencia característica a compresión a las 12 horas:** 12,5 MPa en probeta cilíndrica.
- **Resistencia a tracción de 8 MPa a los 28 días y de 1,3 MPa a las 12 h,** como resistencias medias sobre probetas, de 150 x 300 milímetros, sometidas al ensayo de tracción indirecta o “brasileño” para el HAC-80.
- **Retracción endógena,** determinada por la deformación axial de la zona central de una probeta cilíndrica de 150 x 300 mm, una vez selladas, adecuadamente, las probetas con cinta metálica o varias capas de papel de aluminio, inmediatamente después de desmoldarlas a la edad de 24 horas, realizando un mínimo de 3 ensayos para obtener un valor representativo. Durante los ensayos las probetas se mantienen a una temperatura ambiente de 20°C y el procedimiento debe seguir la recomendación del comité técnico RILEM TC 107-CPS (“Measurement of time-dependent strains of concrete”, *Materials and Structures*, Vol 31, 1998, pgs. 507-512).

2. Diseño

2.1. Experimentación

A fin de determinar las dosificaciones óptimas de los hormigones autocompactantes que obedecieran a las necesidades para la ejecución de los citados anillos de refuerzo, se llevaron a cabo más de 100

Tabla 1. Recomendaciones de la Consejería de Obras Públicas y Transporte de la Junta de Andalucía

ENSAYO	PARÁMETRO MEDIDO	RANGO ADMISIBLE
Escurecimiento UNE 83361:2007	T_{50} d_f	$T_{50} \leq 8 \text{ seg}$ $550 \text{ mm} \leq d_f \leq 850 \text{ mm}$
Embudo en V UNE 83364:2007	T_v	$4 \text{ seg} \leq T_v \leq 20 \text{ seg}$
Caja en L UNE 83363:2007	C_{bL}	$0,75 \leq C_{bL} \leq 1,00$
Escurecimiento con anillo J UNE 83362:2007	d_{Jf}	$d_{Jf} \geq d_f - 50 \text{ mm}$

Tabla 2. Relación de materias primas ensayadas

NOMBRE ENSAYO	TIPO CEMENTO	ADITIVO 1	ADITIVO 2	ADICIÓN	CEMENTO Mfn. (Ku)
S1 - S5	I 52,5 N/SR		Viscocrete	Humo de sílice	500
S6	I 42,5 R/SR		Viscocrete	Humo de sílice	500
S7-S16	I 42,5 R/SR	Melcret	Viscocrete	Humo de sílice	500
S17-S20	I 42,5 R/SR	Melcret	Viscocrete	Humo de sílice	515
S21-S31	I 42,5 R/SR	Melcret	Viscocrete	Sikatell y/o A/A	515
S32-S41	I 42,5 R/SR	Sikament	Viscocrete	Humo de sílice	500
F1-F2	I 42,5 R/SR	Conplast A	Structuro	Microsílice	500
F3	I 52,5 N/SR	Conplast A	Structuro	Microsílice	500
F4	I 42,5 R/SR	Conplast A	Structuro	Microsílice	550
F5-F8	I 52,5 N/SR	Conplast A	Structuro	Microsílice	500
F9	I 42,5 R/SR	Conplast A	Structuro	Microsílice	500
F10	I 52,5 N/SR	Conplast A	Structuro	Microsílice	500
F11	I 52,5 N/SR	NP /1 / 1096		Microsílice	475
F13	I 42,5 R/SR	NP /1 / 1096		Micro. Emulsión	475
F13	I 42,5 R/SR	NP /1 / 1096		Micro. Emulsión	500
F19	I 42,5 R/SR		NP/1 / 1096	Micro. Emulsión	500
F20	I 42,5 R/SR		NP/i / 1096	Micro. Emulsión	525
F21-F23	I 42,5 R/SR		NP/1/ 1096	Nanosílice	540
SF1-SF3	I 42,5 R/SR		NP/ 1/1096	Sikatell	525
G1	I 42,5 R/SR	Adva F		Humo de sílice	500
G2-G3	I 52,5 N/SR	Adva F		Humo de sílice	500
G4-G6	I 42,5 R/SR	Adva F		Humo de sílice	500
G7-G13	I 52,5 N/SR	Adva F		Humo de sílice	500
G14	I 42,5 R/SR	Adva F		Humo de sílice	500
G15-G17	I 42,5 R/SR	Adva Cast		Humo de sílice	500
G18	I 42,5 R/SR	Adva Cast		Humo de sílice	550
G19	I 42,5 R/SR	Adva Cast		Humo de sílice	500
G20	I 42,5 R/SR	Adva F		Humo de sílice	500
B1-B5	I 42,5 R/SR		Glenium T	Meyco MS	500
B6-B10	I 52,5 N/SR		Glenium T	Meyco MS	500
B11	I 52,5 N/SR		Glenium T	Humo de sílice	500
B12	I 52,5 N/SR		Glenium T	Meyco MS	500
B13-B14	I 52,5 N/SR	Melcret	Glenium T	Meyco MS	500
B15-B16	I 42,5 R/SR		PL-JC	Meyco MS	540
B17-B19	I 52,5 N/SR		PL-JC	Meyco MS	500
B20-B21	I 42,5 R/SR		PL-JC	Meyco MS	560
B22	I 42,5 R/SR		PL-JC	Meyco MS	530
B23	I 42,5 R/SR		PL-JC	Meyco MS	500
CH1	I 42,5 R/SR	Premia	Chryso Tard	Humo de sílice	450
CH2	I 42,5 R/SR	Premia	Chryso Tard	Humo de sílice	500
CH3-CH9	I 52,5 N/SR	Premia		Humo de sílice	500
CH10-CH11	I 52,5 N/SR	Óptima		Humo de sílice	500
CH12	I 42,5 R/SR	Óptima		Humo de sílice	500
A1	I 52,5 N/SR	Creative		Humo de sílice	500
A2	I 52,5 N/SR	Flux	Creative	Humo de sílice	500
A3-A4	I 52,5 N/SR	Driver		Humo de sílice	500
A5-A6	I 52,5 N/SR	Flux	Dhver	Humo de sílice	500

amasadas y 520 ensayos. Dichas fórmulas de dosificación, debían alcanzar una solidez tal que se adecuara a las materias primas procedentes de la zona, cuya variabilidad era conocida por haber sido utilizadas previamente durante el desarrollo de la obra de construcción de los túneles.

Las series de experimentos realizadas así como los materiales ensayados en cada una de ellas, se exponen en la **tabla 2**. Se ensayaron dos cementos del tipo I con características sulforresistentes, 30 aditivos de 6 empresas diferentes (Axim, Basf, Grace, Fosroc, Chryso y Sika) proporcionados por los fabricantes y varias

adiciones, fabricando amasadas de hormigón y realizando con las mismas los ensayos anteriormente citados. Las amasadas se codificaron atendiendo a las iniciales del fabricante del aditivo y al número de dosificación propuesta.

La investigación dio **como resultado 22 fórmulas apropiadas**, de las cuales fue extraído el perfil de las materias primas a utilizar; considerando tanto condicionantes de índole técnica como económica, se decidió que la fórmula idónea fuera la de la **tabla 3**.

2.2. Ensayos de caracterización

Para llegar a ser considerados como autocompactantes, los hormigones ensayados tenían que cumplir con las siguientes premisas:

- Comprobación de la autocompactabilidad en hormigón fresco con slump-flow entre 650 y 750 milímetros.
- Relación agua/cemento menor de 0,31.
- Resistencia a compresión a 28 días superior a 80 ó 55 MPa según se trate de hormigones HAC-80 o HAC-55.

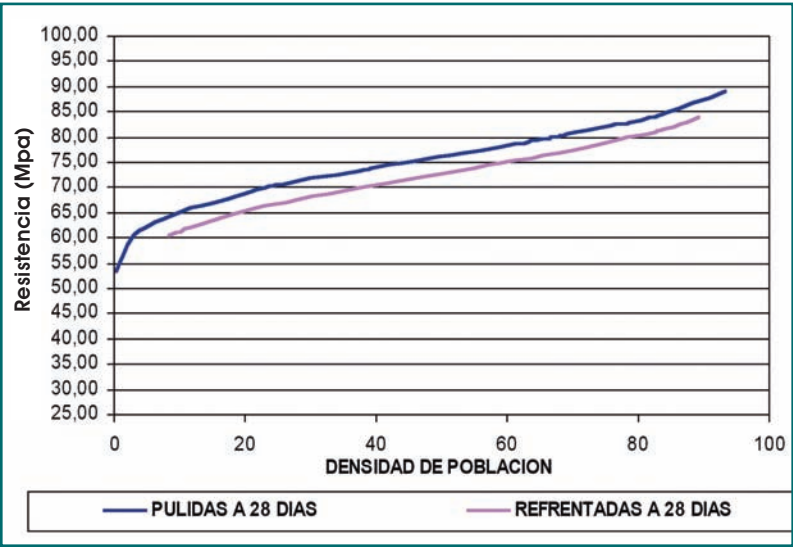
La determinación de resistencias se llevó a cabo mediante ensayos de rotura de probetas cilíndricas de 150 mm de ancho por 300 mm de alto. Se detectó que muchas de ellas presentaban una rotura incorrecta: rotura en cabeza o incluso rotura del mortero del refrentado. Ante esta anomalía se plantearon dos alternativas: por un lado el uso de un mortero de azu-

Tabla 3. Componentes de los HAC-80 y HAC-55		
COMPONENTE	TIPO	PROCEDENCIA
Cemento	I 42,5 R/SR	FyM (CementosGoliat)
Árido	Caliza machacada	Taralpe (C.G.C.)
Aditivo plastificante	Sikament 175	Sika
Aditivo superfluidificante	Viscocrete 3425	Sika
Adición	Microsilice	Ferroatlántica
Agua	De manantial	Acuífero Valle de Abdalajís

fre de altas prestaciones de la marca Axim para el refrentado de las probetas y por otro el pulimentado de las mismas. Se procedió a la rotura de una serie de probetas comparando el método de pulido frente al refrentado con mortero de azufre de altas prestaciones. Los resultados obtenidos para hormigones HAC-80 y HAC-55 figuran en el **gráfico 1**.

El resultado obtenido a 28 días fue mejor mediante pulido de probetas, utilizando una pulidora del tipo mostrado en la **figura 1**, modelo **DBP-02** fabricado por **INMAQ**, que el conseguido mediante refrentado convencional. En la parte inferior de la imagen se ve la prensa utilizada para llevar a cabo las roturas por compresión fabricada por **IBERTEST**, modelo **MEH-3000SW**. En el **gráfico 2**, se observa la evolución de las resistencias con la edad. Se comprobó experimentalmente durante el control de recepción de la obra, con la participación del Laboratorio Central de GEOCISA en Madrid, el laboratorio de CEMOSA en Málaga (acreditado por ENAC) y el de Hormigones y Minas, que los resultados conseguidos cuando las probetas se pulían se ajustaban a los valores obtenidos para la caracterización del producto.

Gráfico 1. Resistencia a 7 y 28 días en probetas pulidas y refrentadas para HAC-80 y HAC-55.



2.3. Resultados experimentales

Los resultados promedio obtenidos experimentalmente para el HAC-80 fueron los de la **tabla 4**:

Tabla 4. Resultados experimentales para el HAC-80	
R _C 24 horas (MPa)	41,36
R _C 3 días (MPa)	59,27
R _C 7 días (MPa)	68'49
R _C 28 días (MPa)	85'47
Slump flow (mm)	703
Relación a/c	0,30

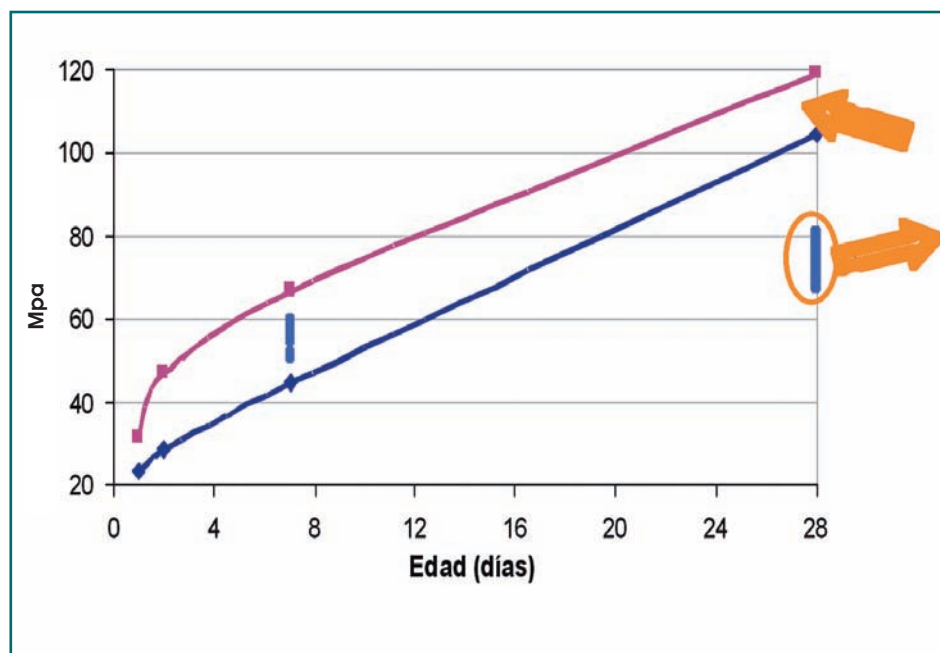


Gráfico 2. Evolución de la resistencia (Mpa) con la edad de las probetas del HAC-80.

Además se determinó el desarrollo de resistencias a compresión y tracción indirecta, como se puede observar en el **gráfico 3**.

En el gráfico están representados los puntos que corresponden a valores de resistencia a compresión y la resistencia a tracción de las mismas probetas. Pese a la dispersión de los resultados se ha realizado un ajuste lineal para compararlo con las condiciones prescritas por la EHE y la norma BS 8110, respectivamente.

Gráfico 3. Evolución de la resistencia a compresión a 7 y 28 días.

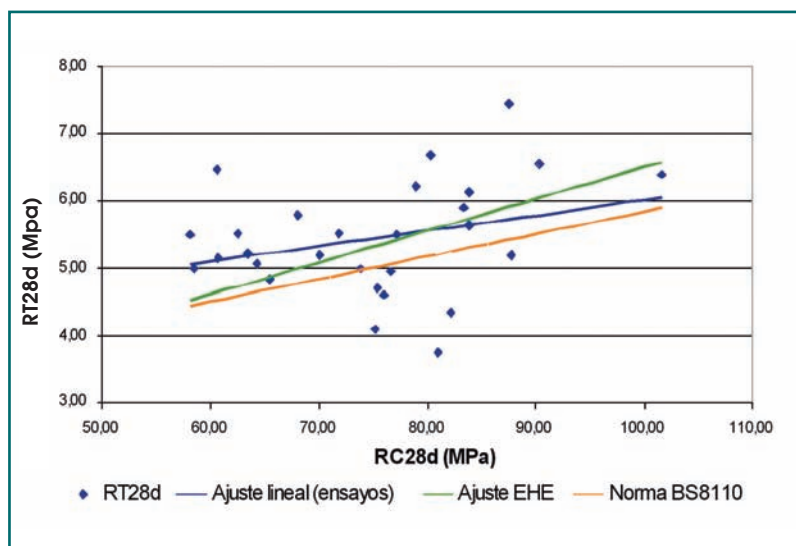


Fig. 1. Pulidora (arriba) y prensa (abajo).

3. Aplicación del HAC-80 y HAC-55

Para facilitar la ejecución de los anillos de refuerzo, de gran esbeltez, cuyo esquema se muestra en la **figura 3**, se decidió suprimir todo tipo de vibrado y construirlos con los citados hormigones autocompactantes de alta resistencia.

Las obras han supuesto la construcción de un sistema de refuerzo e impermeabilización del doble túnel con anillos de 40 centímetros de hormigón armado, de los cuales un tramo de 550 metros se ha construido con HAC-80 y 575 metros con HAC-55, utilizando cintas flexibles de PVC en las juntas de hormigonado como barreras de estanqueidad.

El hormigón se ha fabricado en dos centrales amadoras propiedad de Hormigones y Minas modelo CP-302 de FRUMECAR, correspondiendo su suministro y montaje a la empresa Sevillana de Maquinaria. Se situaron en la Boca Norte y en la Boca Sur de los túneles, respectivamente, desde donde se ha realizado el suministro para su transporte al tajo en trenes de "mixers" como el que se muestra en la **figura 2**. La construcción del revestimiento se ha hecho por módulos. En casos como éste, el hormigón se vierte a la bomba, tal y como se puede apreciar en la **figura 4**, para su colocación en el interior de los anillos.

La armadura de los anillos se ha dispuesto en dos capas, de acuerdo con el diseño aprobado definiti-

Fig. 2. Trenes de "mixers".



vamente por la Dirección de la Línea. En general, la entrada de las mangueras de la bomba de hormigón ha sido permitida en todos los casos, ya que la separación de armaduras ha superado los 100 x 100 mm de hueco.

En las plantas se disponía de 4 tolvas de acopio de áridos (60 m³), dos silos de cemento (120 Tm) y un silo para humo de sílice (60 Tm). La fabricación se hizo en dos amasadoras de 3 m³ cada una, modelo **TEKA** de eje vertical en la Boca Sur y modelo **GALETTI** de doble eje horizontal en la Boca Norte, respectivamente.

Una vez iniciada su producción, el hormigón auto-compactante de alta resistencia cumplió con ciertos requerimientos para una correcta puesta en obra y, por tanto, una optimización de su uso. Así durante el transporte de hormigón desde la planta y a lo largo del túnel hacia el punto de vertido no debía producirse segregación de los componentes o pérdida de agua y el ritmo de trabajo tenía que ser suficiente para evitar juntas de trabajo dentro de los módulos de los anillos.

La retracción del hormigón había de 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. Por otra parte, el alto

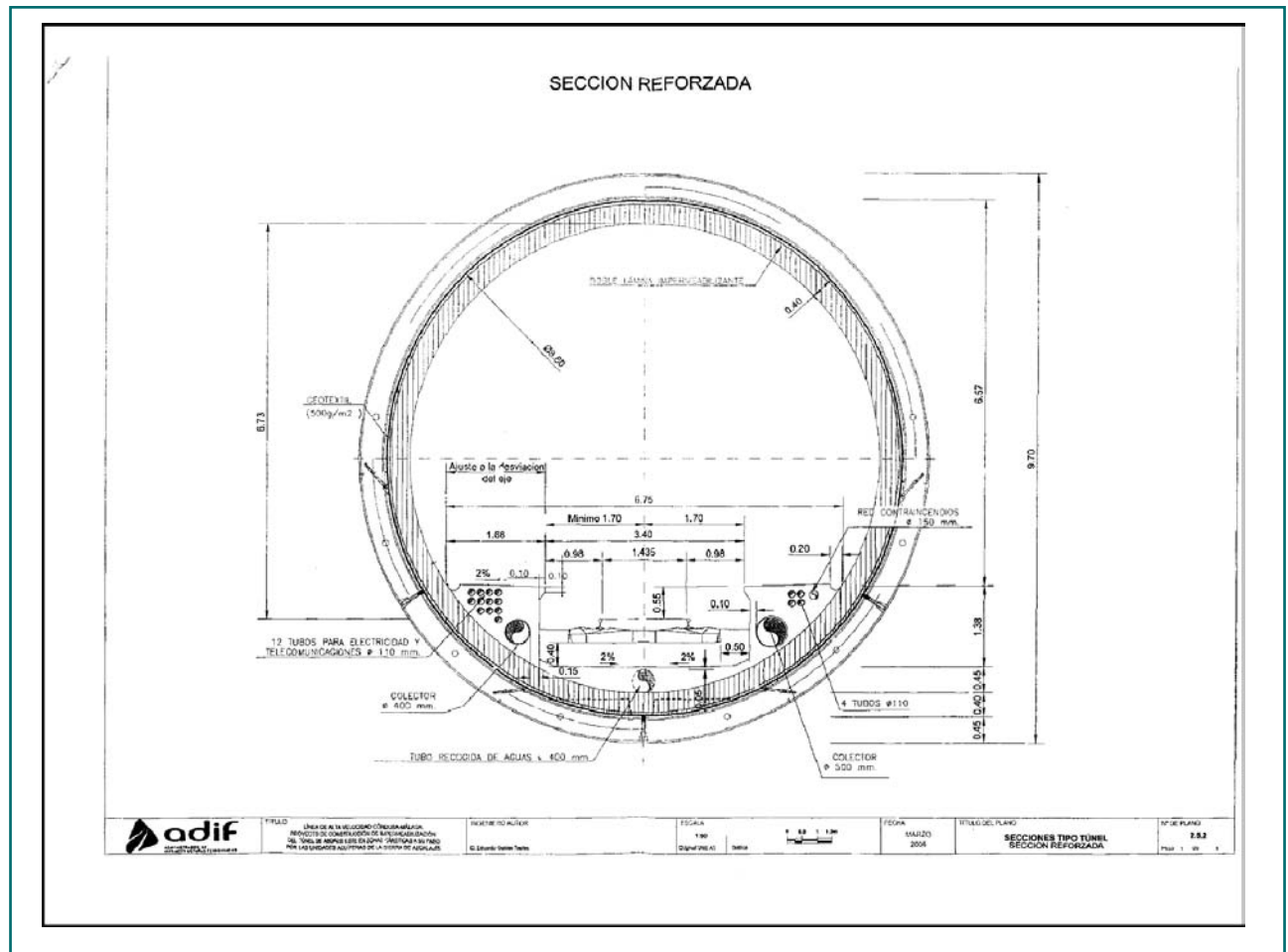


Fig. 3. Esquema de los anillos de refuerzo.

contenido de cemento podía provocar también altas temperaturas iniciales que podían producir fisuración por retracción térmica. Para reducir al mínimo este riesgo era imprescindible la optimización tanto del contenido en cemento como de la incorporación de finos. Esto se consiguió con la dosificación finalmente adoptada. Estos hormigones autocompactantes de alta resistencia, por la compacidad de su matriz presentan 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, reduce la resistencia del hormigón frente a la penetración de agentes agresivos. Con este fin, se hace necesario limitar el ancho de las fisuras a 0,1 milímetros siguiendo el artículo 49.2.4 de la EHE.

A pesar del conocimiento previo de muchas de las condiciones específicas de este tipo de hormigonados especiales, es preciso poner de manifiesto algunas consideraciones generales:

- La fabricación de hormigón autocompactante requiere más experiencia y cuidado que la del hormigón convencional. El personal de la planta de producción necesita ser instruido y estar experimentado para fabricarlo y manipularlo con éxito.
- El diseño en laboratorio y fabricación en planta de cualquier hormigón autocompactante 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.



Fig. 4. Vertido de hormigón a las bombas.

- 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 informático automatizado, bien sea en peso o en volumen (en el caso de los aditivos).
- Los conductores de camiones-hormigonera fueron instruidos acerca de las condiciones de manipulación del producto, incluidos los parámetros de aceptación que deben comprobar sobre las mediciones indirectas que realiza el vehículo, y la observación de las medidas preventivas habituales para los procesos de carga y descarga del hormigón.
- En la etapa de colocación de una nueva capa sobre otra anterior, la adherencia entre el viejo y



Fig. 5. Plantas de producción de "Hormigones y Minus": boca sur (izquierda) y boca norte (derecha).

el nuevo hormigón, en el caso de estos hormigones autocompactantes, es igual o mejor que en el caso del hormigón vibrado convencional. Pero, si por alguna circunstancia se produce una junta fría, se previó la posibilidad de mejorar la interfase con un ligero vibrado o, en los peores casos, abordar un tratamiento específico para la unión.

4. Conclusiones

Estos hormigones autocompactantes de alta resistencia han cubierto perfectamente los requerimientos exigidos por la obra tanto de resistencia a compresión, 80 y 55 MPa tras 28 días para el HAC-80 y HAC-55, respectivamente, como de fluencia, estabilidad y capacidad de relleno durante el hormigonado.

- El correcto diseño en su dosificación ha garantizado una gran fluidez y la ausencia de indicios de segregación o exudación de la mezcla, permitiendo

su colocación en lugares de difícil acceso y densamente armados.

- En cuanto a su colocación y puesta en obra, ambas estuvieron asociadas a un proceso continuo de suministro y ejecución para evitar tiempos de espera entre las diferentes capas hormigonadas.
- Fue preciso asegurarse de la estanqueidad del encofrado y su capacidad para aguantar el empuje activo que ejerce este tipo de hormigón sobre sí mismo, impidiendo pérdidas y roturas.
- Este tipo de hormigón de alta resistencia precisa un especial cuidado en la elaboración y rotura de las probetas, habiéndose detectado una mejora considerable con el pulido de las mismas.
- En obras altamente exigentes como ésta, éste hormigón autocompactante pasa por ser la mejor solución, pero sería un error pensar que únicamente está destinado a casos donde se requiere una ejecución compleja o una alta resistencia; de hecho, su uso se está generalizando cada vez más dentro de las aplicaciones tradicionales compitiendo con el hormigón convencional, para cualquier tipo de resistencia. ♦

Referencias:

–Okamura, H. "Self-compacting High Performance Concrete". Concrete International vol. 19 nº 7, 1997.

–Revuelta, D. & Fernández, L. "Hormigón autocompactable: visión general". Hormigón y Acero. nº 228-229, 2º y 3º Trimestre 2003. pp 134,135.

–EFNARC (Mayo 2005), Specification and Guidelines for self-compacting concrete, EFNARC, Farnham, Reino Unido,32p.

–Comisión Permanente del Hormigón. "Instrucción de Hormigón Estructural EHE". Ministerio de Fomento.

–Comisión Permanente del Cemento. "Instrucción para la Recepción de Cementos RC-03". Ministerio de Fomento 2003.

–Hormigón y Acero, números 228-229, 2º y 3º cuatrimestre. 2003. "Obras y realizaciones con hormigón autocompactable (HAC)" pags.149-159.

–Tviksta, L. "Task 8,4 Quality Control", Final Report. Brite EuRam Project (2000).

–Alexanderson, J. "Self-Smoothing Industrial Floors". Cement, Concrete and Aggregates, CGAGDP, Vol. 17, No 2, 1995.

–Billberg, P. "Self-Compacting Concrete for Civil engineering structures – the Swedish experience, 1999."

–COMAC (1999), Estadísticas del sector cementero español, COMAC, Madrid, 85 pp.

–Elias, X. (1996), "Introducción de subproductos de otras industrias – materiales reciclados – materiales reciclables – el marcado de segunda mano", I jornada: Construcción y desarrollo sostenible, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, 192-194

–González Bernáldez, F. (1973). El impacto ambiental del fenómeno turístico. Curso de doctorado, Universidad de Sevilla.

–Irigoyen, X. & Sanz, E. (1996), "Los residuos de construcción y de derribo en Cataluña, 1992". I jornada: Construcción y desarrollo sostenible, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, 213-215.

–Mañá, F. (1996), Mesa Redonda: las diferentes visiones. I jornadas: Construcción y desarrollo sostenible (Barcelona, 16-18/5/96), Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, 268.

–Metha, P.K. (2001). Reducing the environmental impact of concrete. Concrete international Vol 23. nº 10, Oct.2001. pp. 61-66.

–Okamura, H., Ozawa, K., y Ouchi, M. (2000), "Self-Compacting concrete", structural Concrete, Vol. 1, nº1, 3-17.

–D. Revuelta, L.Fernández, J.Domínguez, A.Pacios."Hormigón y Acero", núms. 228-229 (2003)

–Romano, D. (1996) Mesa Redonda: las diferentes visiones. I jornadas: Construcción y desarrollo sostenible (Barcelona, 16-18/5/96), Col. Apar. Y Arq. Téc. de Barcelona, 267.

–SEOPAN: (1999), Construcción – informe anual, Asociación Nacional de Empresas Constructoras

de Ámbito Nacional, Madrid, D.L. M. 28.351-1999, 170 pp.

–Vilanova, S. (1996), Mesa Redonda: Las políticas medioambientales, I jornadas: Construcción y desarrollo sostenible, (Barcelona, 16-18/5/96), Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, p.269.

–Three-Day International Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology. San Francisco, USA. September 16-19, 2001.

–Henderson NA, Baldwin NJR, McKibbins LD, Winsor DS & Shang Havi HB. "Concrete technology for foundation applications" Ciria Report C509: 2002.

–ACI Materials Journal, V.98, No 5, September-October 2001.

–ACI Material Journal, November-December 2001.

–Journal of Materials in Civil Engineering, November 1998.

–Cement and Concrete Research, nº 31, 2001.

–Cement and Concrete Research, nº 32, 2002.

–Aditivos para el hormigón autocompactante, la solución Grace.

–Glenium, hormigón autocompacto. Bettor-MBT Construction Chemicals. Deggusa.

–Viscocrete Hormigón Autocompactable. Sika, S.A.

–PHI-Planta de Hormigón Internacional, ejemplar nº 3 – junio 2002.

–Revista de la Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado ANEFHOP, nº 56 junio 2002.