



EFNARC
"achieving the highest standards"

Especificaciones y directrices
para el
Hormigón autocompactable - HAC

Febrero de 2002

EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK

Tel.: +44 (0)12525 739147 Fax: +44 (0)1252 739140 www.efnarc.org

PRÓLOGO

EFNARC es la federación europea dedicada a sistemas específicos de hormigón y productos químicos especializados para la construcción. Se fundó en marzo de 1989 como federación europea de asociaciones nacionales de comercio que representan a los productores y usuarios de productos especializados de construcción. El número de miembros ha crecido desde entonces y ahora incluye a muchas de las principales empresas europeas que no disponen de una asociación empresarial nacional que represente sus intereses en el ámbito nacional o europeo. Los miembros de **EFNARC** actúan a lo largo y ancho de los países de Europa.

Las principales actividades de **EFNARC** a nivel europeo y en los comités técnicos CEN son la pavimentación, la protección y reparación del hormigón, la perforación de túneles, el hormigón proyectado y ahora el hormigón autocompactable. Gracias a nuestra organización el sector tiene una voz común para hacer saber sus opiniones a los departamentos de la Comisión europea relacionados con la Directiva sobre los productos de construcción, los Comités Técnicos CEN y otros grupos vinculados con la armonización europea de especificaciones, normas, certificados y el marcado CE relevantes para nuestra industria.

Cada una de las áreas de productos opera a través de Comités Técnicos especializados que son los responsables de redactar las Especificaciones y Directrices que han reconocido como documentos de referencia esencial para proyectistas, contratistas y proveedores de materiales de toda Europa e incluso del exterior.

El uso de Hormigón autocompactable (HAC) crece con rapidez. Centros de estudio de hormigón de varios países europeos investigan intensamente su aplicación y las experiencias en su implementación. Estas Especificaciones y Directrices aprovechan la amplia experiencia práctica de EFNARC con el HAC para obtener un marco para el diseño y la utilización del HAC de alta calidad. Se basan en los últimos descubrimientos en la investigación, así como en una gran abundancia de experiencia de campo procedente de los miembros de EFNARC en toda Europa.

Sin embargo, EFNARC reconoce que se trata de una tecnología que aún se encuentra en evolución y que los nuevos avances quizá recomienden una modificación o ampliación de los requisitos de esta Especificación. El Comité Técnico responsable seguirá monitorizando el progreso en este campo y nuestra intención es actualizar el documento a intervalos regulares. Por consiguiente, agradeceremos las opiniones de los usuarios de este documento y las tendremos en cuenta en la siguiente revisión.

Todos los comentarios sobre estas especificaciones y sus requisitos deben enviarse a:

Brian Poulson, EFNARC Secretary-General
Little Barn, Beechwood Court, Syderstone, Norfolk, PE31 8TR UK
Teléfono: +44 1485 578 796 Fax: +44 1485 578 193
Correo electrónico: poulson@btinternet.com

AGRADECIMIENTOS

***EFNARC desea expresar su gratitud ante
todas las contribuciones y comentarios
efectuados por los miembros de su Comité Técnico HAC
y por los participantes en su taller industrial
en la Universidad de Paisley en diciembre de 2001***

Aunque se han tomado las debidas precauciones para garantizar, en la medida de nuestro conocimiento, que todos los datos e informaciones que contiene este documento son precisos en la medida que están relacionados con prácticas aceptadas o temas de opinión en el momento de su publicación, EFNARC no asume ninguna responsabilidad por cualquier error o interpretación incorrecta de tales datos y/o informaciones o cualquier pérdida o daño que surja de los mismos o en relación con su uso.

Quedan reservados todos los derechos. Esta publicación no puede reproducirse, almacenarse en sistemas de recuperación ni transmitirse, ya sea total o parcialmente, de ninguna manera ni por ningún medio, ya sea electrónico, mecánico, de grabación o de cualquier otro tipo, sin el consentimiento previo de EFNARC.

ÍNDICE

		Página
1	Introducción	1
2	Alcance	1
3	Normas de referencia	1
4	Definiciones	1
5	Requisitos para los componentes	2
6	Requisitos para el hormigón autocompactable	4
7	Composición de la mezcla	6
8	Producción y ejecución	7
9	Control de calidad	8
ANEXOS		
A	Notas de guía	10
B	Lista de comprobación	15
C	Guía para la solución de problemas	16
D	Métodos de ensayo	19
E	Referencias	30

1 INTRODUCCIÓN

El hormigón autocompactable (HAC) se ha descrito como “el desarrollo más revolucionario de las últimas décadas en el campo de la construcción con hormigón”. En un principio se diseñó para compensar una creciente escasez de personal especializado, pero ha demostrado ser beneficioso económicamente debido a varios factores, entre los que se cuentan los siguientes:

- ? una construcción más rápida
- ? reducción de la mano de obra necesaria para la puesta en obra
- ? un mejor acabado superficial
- ? mayor facilidad de colocación
- ? mejora de la durabilidad
- ? mayor libertad y posibilidades en el diseño
- ? secciones de hormigón más reducidas
- ? reducción de los niveles de ruido, ausencia de vibraciones
- ? un entorno de trabajo más seguro

La tecnología HAC se desarrolló originariamente en Japón y fue posible gracias a un desarrollo muy anterior de los aditivos superplastificantes para hormigón. En la actualidad, en Europa se ha adoptado el HAC con entusiasmo, tanto en el sector del hormigón prefabricado como en el hormigón preparado y obra civil. Las aplicaciones prácticas vienen acompañadas de una importante investigación de las características físicas y mecánicas del HAC y la amplia gama de conocimientos generados se ha cribado y combinado en este documento de guía.

2 ALCANCE

Las Especificaciones de EFNARC definen los requisitos específicos para el HAC, su composición y aplicación. Los Anexos también incluyen una gran abundancia de útiles consejos para los diseñadores y proyectistas, los fabricantes de hormigón, los contratistas, las autoridades reguladoras y las organizaciones de control.

3 NORMAS DE REFERENCIA

EN 197-1	Cemento; Composición, especificaciones y criterios de conformidad - Parte 1: Cementos comunes
EN 206-1	Hormigón – Parte 1: Especificación, comportamiento, fabricación y conformidad
EN 450	Cenizas volantes como adición al hormigón – Definiciones, especificaciones y control de calidad
EN 934-2	Aditivos para el hormigón, morteros y pastas – Parte 1: Definiciones, requisitos, conformidad...
EN 1008	Agua de amasado para hormigón
EN 12350-1	Ensayos con hormigón fresco: Parte 1: Toma de muestras
EN 12350-2	Ensayos con hormigón fresco: Parte 2: Ensayo de asentamiento
EN 12620	Áridos para hormigón
EN 12878	Pigmentos para la coloración de materiales de construcción basados en cemento y/o cal...
EN 13263	Humo de sílice como adición al hormigón – Definiciones, requisitos y control de conformidad
ISO 9001	Sistemas de gestión de calidad – Requisitos

Nota: Algunas de estas normas EN es posible que aún estén en preparación; siempre debe referenciarse.

4 DEFINICIONES

A efectos de esta Especificación, se aplican las siguientes definiciones:

4.1 Adición

Material inorgánico finamente dividido utilizado en el hormigón para mejorar ciertas propiedades o para lograr propiedades especiales. En estas especificaciones se tratan dos tipos de adiciones inorgánicas:

- adiciones inertes (Tipo I)
- adiciones hidráulicas latentes o puzolánicas (Tipo II)

4.2 Aditivo

Material añadido en pequeñas cantidades durante el proceso de mezclado del hormigón en relación con la masa de cemento para modificar las propiedades del hormigón fresco o endurecido.

4.3 Ligante

Combinación entre el cemento y la adición activa en una masa de hormigón autocompactable.

4.4 Fluidez limitada véase el punto 4.9 Capacidad de paso

4.5 Capacidad de relleno (fluidez no limitada)

La capacidad del HAC para fluir y rellenar completamente todos los espacios dentro del encofrado, por su propio peso.

4.6 Finos véase el punto 4.10 Polvo

4.7 Mortero

La fracción de hormigón consistente en la pasta junto con los áridos de tamaño inferior a 4 mm.

4.8 Pasta

La fracción de hormigón consistente en los finos junto con el agua y el aire.

4.9 Capacidad de paso (fluidez limitada)

La capacidad del HAC para fluir a través de las armaduras sin segregación ni bloqueos.

4.10 Polvo (finos)

Material con un tamaño de partícula inferior a 0,125 mm., incluyendo el cemento, la adición y la aportación de las arenas.

4.11 Hormigón autocompactable (HAC)

Hormigón que puede fluir por su propio peso y llenar completamente el encofrado, incluso en presencia de un armado denso, sin necesidad de ninguna vibración, al tiempo que mantiene la homogeneidad.

4.12 Resistencia a la segregación (estabilidad)

La capacidad del HAC para mantener homogénea su composición durante el transporte y la puesta en obra.

4.13 Estabilidad véase el punto 4.12 Resistencia a la segregación.

4.15 Trabajabilidad (docilidad)

Una medida de la facilidad con la que el cemento fresco puede colocarse y autocompactarse: se trata de una compleja combinación de aspectos de fluidez, cohesividad, compactabilidad y viscosidad.

5 REQUISITOS PARA LOS COMPONENTES

5.1 General

Los componentes utilizados para la producción de hormigón autocompactable (HAC) en general deben de cumplir los requisitos especificados en EN 206.

Los materiales deben ser los adecuados para el uso previsto en el hormigón y no pueden contener ingredientes dañinos en tales cantidades que puedan suponer un detrimento de la calidad o durabilidad del hormigón, o que puedan causar la corrosión de la armadura.

5.2 Cemento

Los requisitos generales para el cemento deben estar conformes con EN 197-1.

5.3 Áridos

Los áridos deben cumplir la norma EN 12620. El tamaño máximo de los áridos depende de la aplicación particular y suele limitarse a 20 mm.

Las partículas con un tamaño inferior a 0,125 mm contribuyen al contenido de polvo (finos).

El contenido de humedad debe monitorizarse con atención y debe tenerse en cuenta para producir un HAC de calidad constante (véase el punto 8).

5.4 Agua de amasado

En la norma EN 1008 se establece la idoneidad para el agua de amasado y el agua reciclada para la producción de hormigón.

5.5 Aditivos

Los aditivos utilizados deben cumplir la norma EN 934-2 (incluyendo el Anexo A), cuando proceda.

Los aditivos superplastificantes son un componente esencial del HAC para obtener la suficiente fluidez. Según sea preciso, pueden incorporarse otros tipos, como Agentes Modificadores de la Viscosidad (VEA) para la estabilidad, aditivos inclusores de aire para mejorar la resistencia a los ciclos hielo-deshielo, retardadores de fraguado, etc.

Los aditivos VEA no se tratan específicamente en la norma EN 934, pero deben cumplir los requisitos generales de la Tabla 1 de esta norma. Además, el proveedor debe presentar pruebas de su rendimiento.

5.6 Adiciones (incluyendo pigmentos y fillers minerales)

Se establece la idoneidad general como la adición de Tipo I (inerte) para:

- ? Filler mineral conforme con EN 12620
- ? Pigmentos minerales conformes con EN 12878

Se establece la idoneidad general como la adición de Tipo II (hidráulica latente o puzolánica) para:

- ? Cenizas volantes conformes con EN 12620
- ? Humo de sílice (microsílice) conforme con prEN 13263
- ? Escoria granulada (pulverizada) de alto horno conforme con BS 6699

Debido a los requisitos reológicos especiales del HAC, tanto las adiciones inertes como las reactivas se utilizan habitualmente para mejorar y mantener la trabajabilidad, así como para regular el contenido de cemento y reducir de esta manera el calor de hidratación. Las adiciones de Tipo II pueden mejorar significativamente las propiedades a largo plazo del hormigón.

Las adiciones más frecuentes son las siguientes:

Filler de machaqueo. Piedra caliza, dolomita o granito triturada fina que puede utilizarse para aumentar la cantidad de finos (polvo): la fracción menor de 0,125 mm es la más provechosa. Nota: la dolomita puede presentar un riesgo en la durabilidad debido a la reacción alcalina.

Cenizas volantes. Las cenizas volantes son un material inorgánico fino con propiedades puzolánicas, que pueden añadirse al HAC para mejorar sus propiedades. No obstante, la estabilidad dimensional puede verse afectada y por lo tanto es preciso comprobarla.

Microsílice. La microsílice (o humo de sílice) ofrece una mejora importante de las propiedades reológicas así como también de las propiedades químicas y mecánicas. También mejora la durabilidad del hormigón.

Escoria pulverizada (granulada) de alto horno. Esta escoria es un material aglomerante hidráulico básicamente latente y granulada fina, que también puede añadirse al HAC para mejorar las propiedades reológicas.

Relleno de vidrio pulverizado. Este relleno suele obtenerse pulverizando vidrio reciclado. El tamaño de partícula debe ser inferior a 0,1 mm y el área de superficies específica debe ser de ~2500 cm²/g. Los tamaños de partícula más grandes pueden provocar reacción árido-alcali.

Pigmentos. La idoneidad de los pigmentos utilizados en HAC se establece en EN 12878.

5.7 Fibras

Las fibras utilizadas en HAC deben cumplir la normativa vigente específica. Los tipos de fibra más frecuentemente utilizados son las de acero o las de polipropileno.

Pueden utilizarse fibras para mejorar las propiedades del HAC del mismo modo que en el hormigón convencional. Las fibras de acero suelen utilizarse para mejorar las características mecánicas del hormigón como la resistencia a la flexión y la dureza. Las fibras de polipropileno pueden utilizarse para reducir la segregación y la retracción, o bien para aumentar la resistencia ignífuga. Su compatibilidad referente a la mezcla y ejecución debe comprobarse con ensayos previos en obra.

6 REQUISITOS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE

6.1 Área de aplicación

El HAC puede utilizarse en aplicaciones en prefabricación y en obra civil o edificación. Puede fabricarse en planta dosificadora en obra o en planta amasadora y ser transportado a obra en camiones. Puede aplicarse por bombeo o bien por vertido en estructuras horizontales o verticales. Al diseñar la mezcla, es preciso tener en cuenta el tamaño y la forma de la estructura, la dimensión y densidad del armado. Todos estos aspectos influyen en los requisitos específicos del HAC.

Debido a las características de fluidez del HAC, puede ser difícil su puesta en obra a no ser que se delimite mediante un encofrado.

El HAC ha permitido ejecutar estructuras de hormigón de una calidad que era imposible con la tecnología del hormigón existente.

6.2 Requisitos

El HAC puede diseñarse para cumplir los requisitos de EN 206 relativos a la densidad, desarrollo de resistencia, resistencia final y durabilidad.

Debido al alto contenido en finos, el HAC puede presentar una retracción superior a la de las mezclas ordinarias de hormigón. Por consiguiente, tales aspectos deben tenerse en cuenta durante el diseño y la especificación del HAC. Los conocimientos actuales sobre tales aspectos están limitados y por lo tanto esta área requiere nuevas investigaciones. Debe prestarse una atención especial para iniciar el curado del hormigón lo antes posible.

La consistencia del HAC es superior que la clase de consistencia más elevada descrita en EN 206 y puede caracterizarse por las siguientes propiedades:

- ? Capacidad de relleno
- ? Capacidad de paso
- ? Resistencia a la segregación

Una mezcla de hormigón sólo puede clasificarse como autocompactante si se cumplen los requisitos para estas tres características.

6.3 Métodos de ensayo

Se han desarrollado muchos métodos de ensayo distintos para intentar caracterizar las propiedades de HAC. Hasta el momento, no hay un único método o combinación de métodos de haya obtenido una aprobación universal y cada uno de ellos tiene sus partidarios. De igual manera, no se ha hallado un método único para caracterizar todos los aspectos de trabajabilidad relevantes, de modo que cada diseño de mezcla deberá contrastarse con más de un método de ensayo para los distintos parámetros de trabajabilidad.

En las Tablas 1 y 2 se presentan listas de métodos de ensayo alternativos para los distintos parámetros. En el Anexo D se describen detalladamente los métodos de ensayo.

Tabla 1: Lista de métodos de ensayo para las propiedades de trabajabilidad del HAC

	Método	Propiedad
1	Ensayo de flujo de asentamiento con cono Abrams	Capacidad de relleno
2	Flujo de asentamiento T _{50 cm}	Capacidad de relleno
3	Anillo J	Capacidad de paso
4	Embudo V	Capacidad de relleno
5	Embudo V a T _{5 minutos}	Resistencia a la segregación
6	Caja en L	Capacidad de paso
7	Caja en U	Capacidad de paso
0	Caja de relleno	Capacidad de paso
9	Ensayo de estabilidad GTM	Resistencia a la segregación
10	Orimet	Capacidad de relleno

Es preciso evaluar los tres parámetros de trabajabilidad en el diseño inicial de la mezcla de HAC para garantizar que se satisfacen todos los aspectos. Debe emplearse un ensayo a escala completa para verificar las características autocompactantes del diseño elegido para una aplicación concreta.

En cuanto al control de calidad en la obra, dos métodos de ensayo suelen bastar para monitorizar la calidad de producción. Las combinaciones más frecuentes son las de flujo de asentamiento con cono de Abrams y embudo V o flujo de asentamiento y anillo J. Con una calidad constante de las materias primas, puede bastar un único método de ensayo aplicado por un técnico especializado y experimentado.

Tabla 2: Propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos

Propiedad	Métodos de ensayo		
	Laboratorio (diseño de mezcla)	Campo (Control de Calidad)	Modificación del ensayo según el tamaño máx. de los áridos
Capacidad de relleno	1 flujo de asentamiento 2 flujo asentamiento T _{50cm} 4 Embudo V 10 Orimet	1 flujo de asentamiento 2 flujo asentamiento T _{50cm} 4 Embudo V 10 Orimet	Ninguno Máx. 20 mm
Capacidad de paso	6 Caja en L 7 Caja en U 8 Caja de relleno	3 Anillo J	Distintas aperturas en caja en L, caja en U y anillo J
Resistencia a la segregación	9 Ensayo GTM 5 Embudo V a T _{5 minutos}	9 Ensayo GTM 5 Embudo V a T _{5 minutos}	Ninguno

6.4 Criterios de trabajabilidad para el HAC en estado fresco

Estos requisitos deben cumplirse hasta el momento de la ejecución. En la producción hay que tomar en consideración los cambios probables en la trabajabilidad durante el tiempo de transporte.

Los criterios de aceptación habituales para el hormigón autocompactable con un tamaño máximo de áridos de hasta 20 mm se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Criterios de aceptación para el hormigón autocompactable (TM ? 20 mm)

	Método	Unidad	Margen habitual de valores	
			Mínimo	Máximo
1	Flujo asentamiento por cono Abrams	mm	650	800
2	Flujo de asentamiento T _{50 mm}	segundos	2	5
3	Anillo J	mm	0	10
4	Embudo V	segundos	6	12
5	Embudo V a T _{5 min}	segundos	0	+3
6	Caja en L	(h ₂ /h ₁)	0,8	1,0
7	Caja en U	(h ₂ -h ₁) mm	0	30
8	Caja de relleno	%	90	100
9	Ensayo de estabilidad GTM	%	0	15
10	Orimet	segundos	0	5

Estos requisitos habituales contrastados respecto a cada modelo de ensayo se basan en el conocimiento y la práctica actuales. No obstante, el futuro desarrollo puede conducir a la adopción de requisitos distintos. Los valores que se encuentran fuera de estos márgenes pueden ser aceptables si el productor puede demostrar un rendimiento satisfactorio en sus condiciones específicas, por ejemplo, grandes espacios entre la armadura, espesor de capa inferior a 500 mm, distancia breve de flujo desde el punto de descarga, muy pocas obstrucciones en el encofrado, diseño de encofrado muy simple, etc.

Siempre deben tomarse precauciones especiales para garantizar que no se produzca una segregación de la mezcla puesto que en la actualidad no existe un ensayo sencillo y fiable que ofrezca esta información respecto a la resistencia a la segregación del HAC en todas las situaciones prácticas. En el Anexo D se presentan otros comentarios importantes sobre la idoneidad de los métodos de ensayo.

7 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

7.1 General

La composición de la mezcla debe satisfacer todos los criterios de rendimiento para el hormigón tanto en estado fresco como endurecido. En cuanto al hormigón fresco, los requisitos se establecen en el punto 6. Respecto al estado endurecido, es preciso cumplir los requisitos de EN 206.

7.2 Composición inicial de la mezcla:

Al diseñar la mezcla es preciso tener en cuenta las proporciones relativas de los componentes clave en cuanto al *volumen* y no a la masa.

Los márgenes indicativos habituales de las proporciones y las cantidades para alcanzar la autocompactación se presentan a continuación. Pueden requerirse otras modificaciones para cumplir ciertos requisitos de resistencia y otros requisitos de rendimiento.

- Relación agua / finos en volumen de 0,80 a 1,10
- Contenido total de finos – de 160 a 240 litros (400-600 kg) por metro cúbico
- El contenido de árido grueso suele ser del 28 al 35 por ciento por volumen de la mezcla
- La relación agua/cemento se selecciona sobre la base de los requisitos de EN 206. Normalmente el contenido de agua no supera los 200 litros/m³.
- El contenido de arena equilibra el volumen de los demás componentes.

En general, se aconseja una táctica conservadora de diseño para garantizar que el hormigón pueda mantener sus propiedades especificadas en fresco a pesar de las variaciones en la calidad de las materias primas. También deben esperarse y permitirse algunas variaciones en el contenido de humedad de los áridos en la fase de diseño de la mezcla. Normalmente, los aditivos que modifican la viscosidad constituyen una útil herramienta para compensar las fluctuaciones debidas a cualquier variación en la granulometría de la arena y el contenido de humedad de los áridos.

7.3 Ajuste de la mezcla

Los ensayos de laboratorio sirven para verificar las propiedades de la composición inicial de la mezcla. Si es preciso, en ese momento deberán aplicarse los ajustes en dicha composición. Una vez satisfechos todos los requisitos, la mezcla debe contrastarse a escala completa en la planta de hormigón o en la obra.

En caso de que no pueda obtenerse un rendimiento satisfactorio, será preciso tener en cuenta un rediseño fundamental de la mezcla. En función del problema, pueden resultar pertinentes los siguientes tipos de actuación:

- ? uso de fillers específicos (si están disponibles)
- ? modificación de las proporciones de arena o del árido grueso
- ? uso de un agente modificador de la viscosidad, si no se incluye ya en la mezcla
- ? ajuste de la dosificación del superplastificante y/o del agente modificador de la viscosidad
- ? uso de tipos alternativos de superplastificante (y/o VEA), más compatibles con los materiales locales
- ? ajuste de la dosificación de aditivos para modificar el contenido de agua y por consiguiente la relación agua / finos

8 PRODUCCIÓN Y EJECUCIÓN

8.1 General

La producción del hormigón autocompactable debe ejecutarse en plantas donde el equipamiento, el funcionamiento y los materiales se controlen de la manera adecuada. En consecuencia, la producción debe realizarse en plantas acreditadas con ISO 9000 o bien plantas con sistemas de calidad que cumplan la ISO 9000 o una norma similar. Se recomienda que la plantilla de producción que participe en la fabricación de hormigón autocompactable tenga una mínima experiencia y reciba una formación.

8.2 Producción

8.2.1 Almacenamiento de los componentes

Si es posible, los áridos deben estar cubiertos para minimizar la fluctuación en el contenido de humedad. También es necesario disponer de una buena capacidad de almacenamiento para los áridos y las adiciones (si se utilizan).

El almacenamiento de los aditivos para hormigón puede realizarse del mismo modo que en el caso del hormigón normal. Se recomienda seguir las recomendaciones de los proveedores.

8.2.2 Amasado

No hay un requisito respecto para ningún tipo específico de amasadora. Pueden utilizarse las mezcladoras de acción forzada, las mezcladoras de paletas, las amasadoras de caída libre, incluyendo los camiones hormigonera. El período de mezcla necesario debe determinarse mediante ensayos prácticos. En general, los períodos de mezcla deben ser más largos que en el caso de las mezclas convencionales.

El momento de la adición de aditivos es importante y es preciso acordar los procedimientos con el proveedor después de los ensayos en planta. Si es necesario ajustar la consistencia después de la mezcla inicial, en general debe hacerse con aditivos. Si pueden mantenerse los requisitos de EN 206 respecto a la relación agua / cemento, el contenido de agua puede variarse para aplicar las modificaciones necesarias.

8.3 Control de producción

8.3.1 Áridos

Durante la producción del HAC, es preciso realizar ensayos sobre el contenido de humedad y la granulometría de los áridos con mayor frecuencia de lo habitual puesto que el HAC es más sensible a las variaciones que el hormigón normal.

8.3.2 Proceso de mezcla

Al principio de la obra y en caso de carecer de experiencia previa con el diseño de mezcla concreto, es posible que se requieran recursos adicionales para supervisar todos los aspectos de la producción inicial de HAC.

Dado que la calidad del hormigón recién fabricada puede fluctuar al principio de la producción, se recomienda que los ensayos de trabajabilidad sean realizados por el productor en cada carga, hasta obtener resultados satisfactorios y consistentes. Posteriormente, cada lote entregado debe comprobarse visualmente antes de transportarlo a la obra y los ensayos rutinarios deben aplicarse con la frecuencia especificada en EN 206.

En función de los resultados que se obtengan con la monitorización del contenido de humedad de los áridos, es posible que deban aplicarse ajustes más frecuentes de las proporciones de la mezcla, en particular del contenido de agua.

8.4 Entrega y transporte

Según el tamaño de la estructura de hormigón que vaya a producirse con HAC, es necesario equilibrar la capacidad de producción, el período de transporte y la capacidad de ejecución. Las paradas de producción inesperadas pueden provocar variaciones en la consistencia que afecten negativamente al resultado final.

El HAC debe diseñarse de modo que las propiedades en estado fresco se mantengan a fin de cumplir los requisitos de la obra. La colocación es más rápida, en especial si se utiliza una bomba, pero es esencial asegurarse de que la entrega y la ejecución puedan completarse en el período de retención de la trabajabilidad (autocompactabilidad) del hormigón.

8.5 Ejecución

8.5.1 General

Antes de ejecutar el HAC, es preciso confirmar que la armadura y el encofrado se han dispuesto según el modo planificado. El encofrado ha de encontrarse en buenas condiciones pero no son necesarias medidas especiales para prevenir la pérdida de lechada. Es posible que los contratistas deseen tomar en consideración las ventajas del bombeo desde la parte inferior del encofrado. Si el hormigón se coloca por vertido en cubilote, es preciso prestar atención al cierre de la compuerta.

En el caso de encofrados con una altura superior a los 3 metros, es necesario tomar en consideración la presión hidrostática completa. Es posible que eso requiera la modificación del diseño de encofrado y/o del HAC.

8.5.2 Distancias de ejecución

Aunque es más fácil colocar el HAC que el hormigón ordinario, se aconseja seguir las reglas siguientes para minimizar el riesgo de segregación:

- ? limitar la distancia de caída libre vertical a 5 m
- ? limitar la distancia permisible de flujo horizontal desde el punto de descarga a 10m.

Nota: este consejo es conservador y puede ser que en circunstancias favorables un contratista pueda demostrar que es posible ampliar los límites sugeridos. Véase el punto 6 para los procedimientos.

8.5.3 Juntas frías

Aunque el HAC se adhiere bien con el hormigón colocado previamente, la probabilidad de daños resultantes de una junta fría no puede mitigarse mediante vibración, como sucede con el hormigón normal.

8.5.4 Acabado superficial

Las superficies de HAC han de nivelarse aproximadamente según las dimensiones especificadas y luego debe aplicarse el tratamiento de acabado en el momento adecuado antes de que se endurezca el hormigón. Pueden producirse dificultades durante el proceso convencional de endurecimiento final de la superficie en áreas horizontales que deben ser fratasadas. Puede que sea preciso emplear un procedimiento alternativo o bien herramientas distintas.

8.6 Endurecimiento

El HAC tiende a endurecerse más rápido que el hormigón convencional porque hay muy poca o ninguna agua de sangrado en la superficie. Por consiguiente, el endurecimiento inicial debe iniciarse en cuanto sea posible después de la colocación con objeto de minimizar el riesgo de fisuras por retracción.

9 CONTROL DE CALIDAD

9.1 Control de producción

Todo HAC debe estar sujeto a un control de producción bajo la responsabilidad del productor y dicho control debe seguir los requisitos de EN 206-1, cláusula 9.

9.2 Aceptación de la obra

En el caso del HAC es particularmente importante que se estandarice el control de recepción. El productor y el controlador debe acordar un procedimiento para la aceptación / cumplimiento al principio de la obra. Este procedimiento debe constar de un proceso para tomar medidas en caso de incumplimiento.

Además de la comprobación normal del albarán de entrega, debe efectuarse una comprobación visual del hormigón. El control de calidad en la obra debería seguir las recomendaciones del punto 6.3.

El controlador ha de asegurarse de que un personal competente y preparado realiza los ensayos de aceptación en la obra, en un entorno adecuado; eso incluye un área protegida de las condiciones climatológicas, un equipamiento bien calibrado y en buen estado y un suelo equilibrado y estable para realizar los ensayos pertinentes.

EFNARC - Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable

© EFNARC 2001

Todos los comentarios sobre estas especificaciones y sus requisitos deben enviarse a:

Brian Poulson, EFNARC Secretary-General
Little Barn, Beechwood Court, Syderstone, Norfolk, PE31 8TR UK
Teléfono: +44 1485 578 796 Fax: +44 1485 578 193
Correo electrónico: poulson@btinternet.com

ANEXO A: NOTAS DE GUÍA

A.1 ALCANCE

El alcance de la sección de Notas de Guía consiste en ofrecer consejos prácticos sobre los aspectos que quizá no se hayan especificado. Con frecuencia, las prácticas nacionales varían, a menudo debido a la disponibilidad de adiciones, las propiedades de los áridos o las condiciones climáticas.

La red europea de EFNARC de profesionales de la construcción ofrece gran abundancia de experiencia que cubre aspectos útiles del diseño, la producción y la colocación de hormigón autocompacto.

A.2 REQUISITOS DE LOS COMPONENTES

Cemento

Todos los tipos de cemento que cumplen la EN 197 son adecuadas. La selección del tipo de cemento depende de los requisitos globales del hormigón, como durabilidad, resistencia, etc.

Un contenido de C₃A superior al 10% puede provocar problemas de mala retención de la trabajabilidad.

El contenido habitual de cemento es de 350-450 kg/m³.

Más de 500 kg/m³ de cemento pueden resultar peligrosos y aumentar la retracción.

Menos de 350 kg/m³ sólo resultan adecuados si se incluye otro tipo de fino, como cenizas volantes, puzolanas, etc.

Áridos

Arena

Todas las arenas normales de hormigón son adecuadas para el HAC. Pueden utilizarse arenas trituradas o rodadas. Pueden emplearse arenassilíceas o calizas.

La cantidad de grano fino inferior a 0,125 mm se considera polvo (fino) y es muy importante para la reología del HAC. Debe alcanzarse una cantidad mínima de fino (procedente de los aglomerantes y la arena) para evitar la segregación.

Áridos gruesos

Son adecuados todo tipo de áridos. El tamaño máximo normal suele ser de 16-20 mm; sin embargo, se han empleado tamaños de partícula de hasta 40 mm en HAC. La consistencia en la granulometría es de vital importancia.

En cuanto a las características de los distintos tipos de áridos, los áridos triturados tienden a mejorar la resistencia gracias al enclavamiento de las partículas angulares, mientras que los áridos redondeados mejoran el flujo debido a su menor fricción interna.

Las mezclas de áridos de granulometría discontinua suelen ser mejores que las de granulometría continua, que pueden experimentar una mayor fricción interna y producir una reducción del flujo.

Aditivos

Los aditivos más importantes son los reductores de agua de alta actividad/superplastificantes con una reducción del agua superior al 20%.

El uso de aditivos modificadores de la viscosidad (VEA) ofrece mayores posibilidades de controlar la segregación cuando la cantidad de fino está limitada. Este aditivo contribuye a ofrecer una muy buena homogeneidad y reduce la tendencia a la segregación.

Adiciones

Las adiciones se utilizan habitualmente en el HAC debido a la necesidad de un contenido sustancial de partículas finas. Todas las adiciones que cumplan las normas EN son adecuadas.

Debido a los requisitos reológicos especiales del HAC, se utilizan habitualmente adiciones tanto inertes como reactivas para mejorar y mantener la docilidad, así como para regular el contenido de cemento y reducir de esta manera el calor de la hidratación. Las adiciones de Tipo II pueden mejorar significativamente las propiedades a largo plazo del hormigón.

Fibras

Las fibras sintéticas muy finas pueden reducir el flujo y en general su contenido no debe superar 1 kg/m^3 .

A.3 REQUISITOS PARA EL HORMIGÓN AUTOAUTOCOMPACTABLE

El HAC se diferencia del hormigón convencional en el sentido de que sus propiedades en fresco son vitales para determinar si puede o no colocarse de manera satisfactoria. Los distintos aspectos de la trabajabilidad que controlan su capacidad de relleno, su capacidad de paso y la resistencia a la segregación deben controlarse con atención para garantizar que su capacidad de colocación siga siendo aceptable.

Trabajabilidad

El nivel de fluidez del HAC se rige básicamente mediante la dosificación del superplastificante. No obstante, una dosis excesiva puede producir un riesgo de segregación y bloqueo. En consecuencia, las características del HAC fresco han de controlarse atentamente preferiblemente mediante dos de los distintos tipos de ensayo.

Resistencia a la segregación

Debido a la elevada fluidez del HAC, el riesgo de segregación y bloqueo es muy elevado. Por consiguiente, la prevención de la segregación es un punto importante del régimen de control. La tendencia a la segregación puede reducirse mediante el uso de una cantidad suficiente de fino ($< 0,125 \text{ mm}$), o bien mediante un aditivo modificador de la viscosidad (VEA).

Tiempo abierto

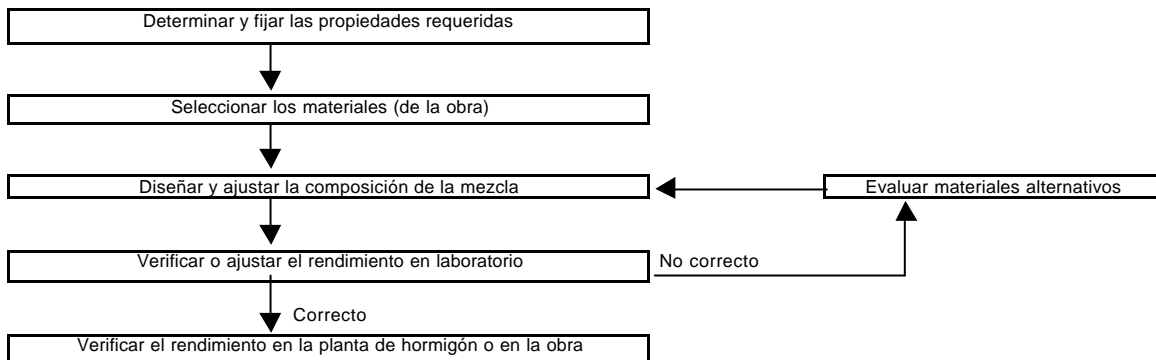
El período durante el que el HAC mantiene sus propiedades reológicas deseadas es muy importante para obtener buenos resultados en la colocación del hormigón. Este período puede ajustarse seleccionando el tipo correcto de superplastificante o mediante el uso combinado de aditivos retardadores. Los distintos tipos de aditivos presentan efectos diferentes en el tiempo abierto y pueden emplearse en función del tipo de cemento y el tiempo de transporte y colocación del HAC.

A.4 DISEÑO DE LA MEZCLA

General

La selección y el ajuste del diseño de la mezcla pueden efectuarse siguiendo el procedimiento ilustrado en la Figura 1.

Figura 1: Procedimiento del diseño de mezcla



Al diseñar la mezcla, es muy útil tener en cuenta las proporciones relativas de los componentes claves según el *volumen* y no la masa.

En caso de que no sea posible obtener un rendimiento satisfactorio, es necesario tomar en consideración un rediseño fundamental de la mezcla. En función del problema, pueden resultar pertinentes los siguientes tipos de actuación:

- ? uso de fillers específicos (si están disponibles)
- ? modificación de las proporciones de la arena o de árido grueso
- ? uso de un agente modificador de la viscosidad, si no se incluye ya en la mezcla
- ? ajuste de la dosificación del superplastificante y/o del agente modificador de la viscosidad
- ? uso de tipos alternativos de superplastificante (y/o VEA), más compatibles con los materiales locales
- ? ajuste de la dosificación de aditivos para modificar el contenido de agua y por consiguiente la relación agua / finos

Procedimiento para el diseño de la mezcla

A continuación se presenta un ejemplo de un procedimiento para diseñar con eficacia las mezclas de HAC. Se basa en un método desarrollado por Okamura. Es importante observar que este método puede producir parámetros que difieran de los utilizados en el Capítulo 7.2.

La secuencia se determina como se indica:

- A) Designación del contenido de aire deseado (principalmente 2%)
- B) Determinación del volumen de árido grueso
- C) Determinación del contenido de arena
- D) Diseño de la composición de la pasta
- E) Determinación de la relación óptima agua / finos y la dosificación del superplastificante en el mortero
- F) Finalmente, se evalúan las propiedades del hormigón mediante ensayos estándar

- A) Definición del contenido de aire deseado (principalmente un 2%)

El contenido de aire puede establecerse en general en un 2 por ciento, o un valor superior que se especifica cuando quiere diseñarse hormigón resistente a los ciclos hielo-deshielo.

- B) Determinación del volumen de árido grueso

El volumen de árido grueso se define por su densidad. El contenido de árido grueso en general ($D > 4$ mm) debe ser de entre el 50 y el 60 por ciento.

Cuando el volumen de árido grueso en el hormigón supera un cierto límite, las posibilidades de colisión o contacto entre las partículas de árido grueso aumenta rápidamente y también se incrementa el riesgo de bloqueo cuando el hormigón pasa por los espacios entre las armaduras.

El contenido óptimo de árido grueso depende de los parámetros siguientes:

- ? Tamaño máximo del árido. Cuanto menor sea el tamaño máximo del árido, mayor será la proporción de árido grueso
- ? Áridos triturados o rodados. En el caso de los áridos rodados, puede utilizarse un contenido superior que en el caso de los áridos triturados.

- C) Determinación del contenido de arena

La arena, en el contexto de este procedimiento de composición de mezcla, se define como todas las partículas de tamaño superior a 0,125 mm y menor a 4 mm.

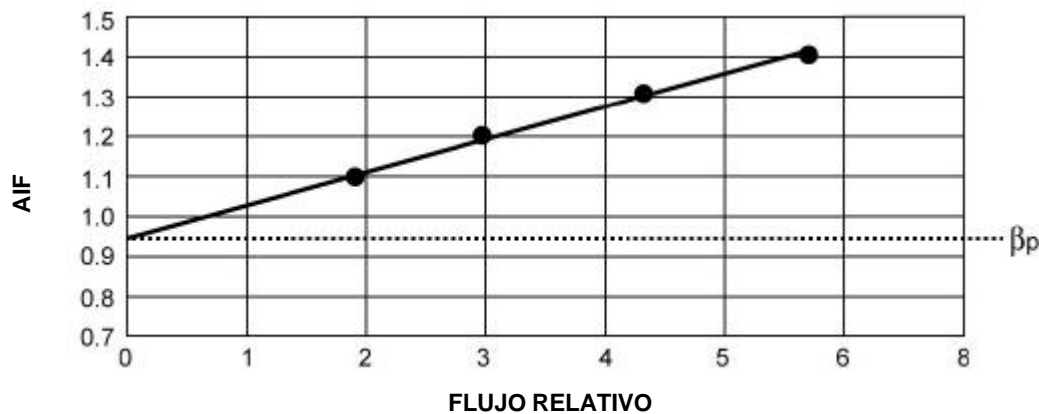
El contenido de arena se define por su densidad. El contenido de volumen óptimo de arena en el mortero varía entre el 40 y el 50%, en función de las propiedades de la pasta.

D) Diseño de la composición de la pasta

Inicialmente, la relación agua / finos para un flujo cero (β_p) se determina en la pasta, con la proporción elegida de cemento y adiciones. Los ensayos con cono de flujo con relaciones agua / finos en volumen de los ejemplos 1,1, 1,2, 1,3 y 1,4 se realizan con la composición de polvo seleccionada, véase la Figura A.1 para conocer los resultados habituales. El punto de intersección con el eje y se designa como valor β_p .

Este valor β_p suele utilizarse para el control de calidad respecto a la demanda de agua en nuevos lotes de cemento y ediciones.

Figura A.1 Determinación de la relación de agua/finos, β_p



E) Determinación de la relación óptima agua / finos y la dosificación del superplastificante en el mortero

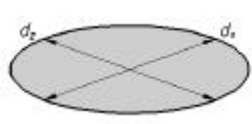
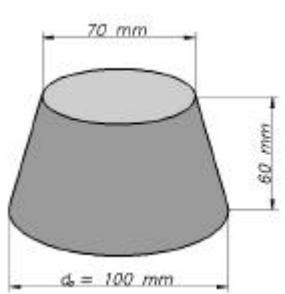
Los ensayos con el cono de flujo y el embudo V para el mortero se efectúan con distintas relaciones agua / finos en el margen de [0,8 – 0,9] y dosificaciones de superplastificante. El superplastificante se utiliza para equilibrar la reología de la pasta. El volumen de contenido de arena en el mortero sigue siendo el mismo antes determinado.

Los valores requeridos son un flujo de 24 a 26 cm en el cono de flujo y un tiempo 7 a 11 segundos, en el embudo V para morteros.

Cuando se alcanza el objetivo de flujo y el tiempo del embudo V es inferior a 7 segundos, debe disminuirse la relación de agua / finos. Cuando se cumple el objetivo de flujo y el tiempo del embudo V es superior a 11 segundos, hay que aumentar la relación de agua / finos.

Si no pueden cumplirse estos criterios, la combinación concreta de materiales no es la adecuada. Un ensayo con un superplastificante distinto será la alternativa preferida. La segunda alternativa es un nuevo aditivo y como último recurso, un cemento diferente.

Figura A.2 Cono de flujo y tabla para determinar el flujo relativo β_p



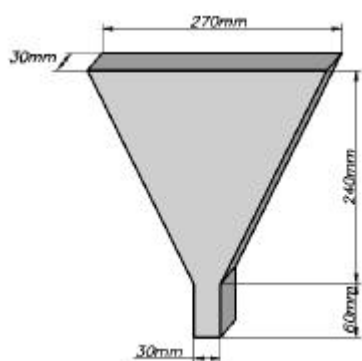
Definición de $\beta_{p/m}$:

$$\beta_{p/m} = (d/d_0)^2 - 1$$

donde:

$$d = \frac{1}{2} (d_1 + d_2)$$

Figura A.3 Embudo V para determinar el tiempo de flujo del mortero



F) Ensayos con hormigón

La composición del hormigón ya está determinada y finalmente se ha seleccionado la dosificación de superplastificante basándose en los ensayos con hormigón.

ANEXO B: LISTA DE COMPROBACIÓN

La Lista de Comprobación se ha diseñado para ayudar a los proyectistas, productores y contratistas para garantizar que todos los elementos claves de una aplicación HAC se han tenido en cuenta antes de iniciar el trabajo.

Propiedad	Referencia	Requisito	Validación
COMPONENTES DE LA MEZCLA			
Cemento		Cumplimiento de EN 197-1	
		Control del tipo de cemento	
		Cantidad recomendada de cemento: 350-450 kg	
Áridos		Cumplimiento de EN 12620	
		Control de partículas menores que 0,125 mm	
		Control de contenido de humedad	
		Determinación de la curva granulométrica	
		Compatibilidad con el espacio entre armaduras	
Agua de amasado		Cumplimiento de prEN 1008	
Aditivos		Cumplimiento de EN 934-2	
		Determinación de los tipos necesarios	
		Determinación de la dosificación esperada	
Adiciones		Cumplimiento de prEN 12620, EN 450 o prEN 13263	
		Determinación de la granulometría	
		Definición de la adición que va a utilizarse	
		Determinación del aumento en la demanda de agua	
Pigmentos		Cumplimiento de 12878	
Materias primas		Definición de todas las materias primas que se utilizan	
COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA			
Diseño de la mezcla		Ejecutar la mezcla diseñada	
		Árido grueso < 50%	
		Relación agua/finos = 0,8-1,0	
		Contenido total de finos de 400-600 kg/m ³	
		Contenido de arena > 40% del mortero (volumen)	
		Arena ? 50% que el volumen de la pasta	
		Arena > 50% por peso del árido total	
		Agua libre < 200 l	
		Pasta > 40% del volumen de la mezcla	
ENSAYOS DE DOCILIDAD			
Flujo - asentamiento Abrams		650-800 mm	
Flujo - asentamiento T _{50cm}		2-5 segundos	
Anillo J		0-10 mm	
Embudo V		6-12 segundos	
Embudo V – T _{5min}		+ 3 segundos	
Caja en L		H ₂ / H ₁ = 0,8-1,0	
Caja en U		H ₂ - H ₁ = 30 mm máximo	
Caja de relleno		90-100%	
Estabilidad GTM		0-15%	
Ensayo Orimet		0-5 segundos	
Propiedades en estado endurecido			
Resistencia mecánica		Consecución de los valores esperados después de 24h, 7d, 28 d	
Retracción		Según se especifica	
Mod. de elasticidad		Consecución de los valores esperados	
ENSAYOS DE CONFIRMACIÓN			
Ensayo a escala completa		Capacidad de relleno	
		Capacidad de paso	
		Resistencia a la segregación	
		Mantenimiento de la trabajabilidad > 1 hora	

ANEXO C: GUÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Las causas para no cumplir los requisitos especificados pueden ser muy diversas. En las Tablas C.1a y C.1b se presenta una lista de las posibles causas de incumplimiento de los requisitos de los distintos ensayos.

Cuando un ensayo presenta resultados fuera del margen debido puede ser por distintos motivos. La posible causa puede averiguarse con mayor certidumbre comprobando el valor de otros métodos de ensayo y verificando subjetivamente las características de trabajabilidad. De este modo puede descubrirse la mejor medida posible para solucionar un problema. La Tabla C.2 ofrece una lista de posibles medidas correctoras y el efecto que suelen producir en el hormigón. Es evidente que dicho efecto dependerá del alcance de la medida y de la composición y trabajabilidad reales de la mezcla de hormigón. Toda acción puede tener efectos positivos y negativos en las distintas características del hormigón.

Si los resultados del ensayo entre lotes o cargas distintas difieren considerablemente, el motivo puede estar en la variación de alguno de los siguientes elementos:

- Características del cemento
- Características de las adiciones
- Granulometría de los áridos
- Contenido de humedad de los áridos
- Temperatura
- Procedimiento de mezcla, período del ensayo

El uso de un agente modificador de la viscosidad (VEA) puede suprimir en cierta medida algunas de estas variaciones.

Para comprender estas tablas se aplican las siguientes definiciones:

“Valor umbral” es la fuerza (tensión de corte) que debe ejercerse sobre un material para iniciar el flujo.

“Viscosidad” es una medida de la resistencia de un material para fluir debido a la fricción interna (y es la relación de esfuerzo aplicado respecto a la tasa de corte).

Se produce un “bloqueo” cuando un material no puede fluir a través de una apertura específica (u orificio) debido al interbloqueo de las partículas de árido.

Tabla C.1a: Localización de fallos en caso de resultados demasiado bajos

		Resultado inferior a		Posible causa	
1	Flujo de asentamiento con cono Abrams	mm	650	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
2	T _{50cm} flujo de asentamiento	seg	2	b	Viscosidad demasiado baja
3	Anillo J	mm	10	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
				d	Segregación
				f	Bloqueo
4	Embudo V	seg	6	b	Viscosidad demasiado baja
5	Aumento en embudo V a T _{5 minutos}	seg		g	Resultado dudoso
6	Caja en L (h2/h1)		0,8	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
				f	Bloqueo
7	Caja en U (h2-h1)	mm	0	g	Resultado falso
8	Caja de relleno	%	90	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
9	Test de estabilidad GTM	%	5	a	Viscosidad demasiado alta
				f	Bloqueo

Tabla C.1b: Localización de fallos en caso de resultados demasiado altos

		Resultado superior a		Possible causa	
1	Flujo de asentamiento con cono Abrams	mm	750	b	Viscosidad demasiado baja
				d	Segregación
2	T _{50cm} flujo de asentamiento	seg	5	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
3	Anillo J	mm		b	Viscosidad demasiado baja
				d	Segregación
4	Embudo V	seg	12	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
				f	Bloqueo
5	Aumento en embudo V a T _{5minutos}	seg	3	d	Segregación
				e	Pérdida rápida de trabajabilidad
				f	Bloqueo
6	Caja en L (h2/h1)		1	g	Resultado falso
7	Caja en U (h2-h1)	mm	30	a	Viscosidad demasiado alta
				c	Valor umbral demasiado alto
				f	Bloqueo
8	Caja de relleno	%	100	g	Falso resultado
9	Test de estabilidad GTM	%	15	d	Segregación

Tabla C.2: Posibles medidas de corrección a partir de los fallos identificados

		Efecto en:					
Posible acción		capacidad de relleno	capacidad de paso	resistencia a segregación	Resistencia mecánica	retracción	fluencia
a	Viscosidad demasiado alta						
a1	Aumento del contenido de agua	+	+	-	-	-	-
a2	Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
a3	Aumento del superplastificante	+	+	-	+	0	0
b	Viscosidad demasiado baja						
b1	Reducción contenido de agua	-	-	+	+	+	+
b2	Reducción del volumen de pasta	-	-	-	-	+	+
b3	Reducción del superplastificante	-	-	+	-	0	0
b4	Aumento del agente modificador de la viscosidad	-	-	+	0	0	0
b5	Uso de polvo más fino	+	+	+	0	-	-
b6	Uso de arena más fina	+	+	+	0	-	0
c	Valor umbral demasiado alto						
c1	Aumento del contenido de agua	+	+	-	+	0	0
c2	Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
c3	Aumento del superplastificante	+	+	+	+	-	-
d	Segregación						
d1	Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
d2	Aumento volumen de mortero	+	+	+	+	-	-
d3	Reducción contenido de agua	-	-	+	+	+	+
d4	Uso de polvo más fino	+	+	+	0	-	-
e	Pérdida rápida de trabajabilidad						
e1	Uso de un tipo de cemento reactivo más lento	0	0	-	-	0	0
e2	Aumento del retardador	0	0	-	-	0	0
e3	Uso superplastificante distinto	?	?	?	?	?	?
e4	Sustituir cemento por adición	?	?	?	?	?	?
f	Bloqueo						
f1	Reducción del tamaño máximo de árido	+	+	+	-	-	-
f2	Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
f3	Aumento del volumen de mortero	+	+	+	+	-	-
g	Resultado falso						
	Condiciones de comprobación	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.

+	Suele ofrecer un mejor resultado para el hormigón.
0	No suele tener un resultado significativo.
-	Suele ofrecer un peor resultado para el hormigón.
?	El efecto no puede predecirse.
n.p.	No procede.

ANEXO D: MÉTODOS DE ENSAYO

Introducción

Es importante observar que aún no se ha estandarizado ninguno de los métodos de ensayo para el HAC y que los ensayos descritos no se han perfeccionado ni son definitivos. Los métodos presentados son descripciones más que procedimientos completamente detallados. Básicamente se trata de métodos *ad hoc*, que se han diseñado específicamente para el HAC.

Los procedimientos existentes de ensayos reológicos no se han tenido en cuenta aquí, aunque las relaciones entre los resultados de estos ensayos y las características reológicas del hormigón es probable que tengan un papel destacado en trabajos futuros, incluyendo las tareas de estandarización. Muchos de los comentarios efectuados proceden de la experiencia de los socios en el proyecto de investigación financiado por la UE sobre HAC⁽⁷⁾. Está a punto de iniciarse un nuevo proyecto de la UE sobre los métodos de ensayo.

Al considerar estos ensayos, existen varios puntos que deben tenerse en cuenta:

- ? Una dificultad importante a la hora de diseñar estos ensayos está en que deben evaluar **tres** propiedades distintas, aunque relacionadas, del HAC: su capacidad de relleno (fluidez), su capacidad de paso (sin bloqueos en la armadura) y su resistencia a la segregación (estabilidad). Hasta el momento, ningún ensayo individual puede medir las tres propiedades.
- ? No existe una relación clara entre los resultados y el rendimiento en la obra.
- ? Hay pocos datos precisos, por lo tanto no disponemos de una guía clara sobre los límites de aceptación.
- ? Se aconseja duplicar los ensayos.
- ? Los valores y los métodos de ensayo se declaran para un tamaño máximo de árido de hasta 20 mm; es posible que con otros tamaños de árido sean procedentes valores de ensayo y dimensiones de equipamiento distintos.
- ? Puede que distintos valores de ensayo sean adecuados para el hormigón aplicado en elementos verticales y horizontales.
- ? De manera similar, distintos valores de ensayo pueden ser adecuados para diferentes densidades de armadura.
- ? Al ejecutar los ensayos, pueden tomarse muestras del hormigón en conformidad con EN 12350-1. Es aconsejable remezclar primero el hormigón con una pala, a no ser que el procedimiento indique otra cosa.

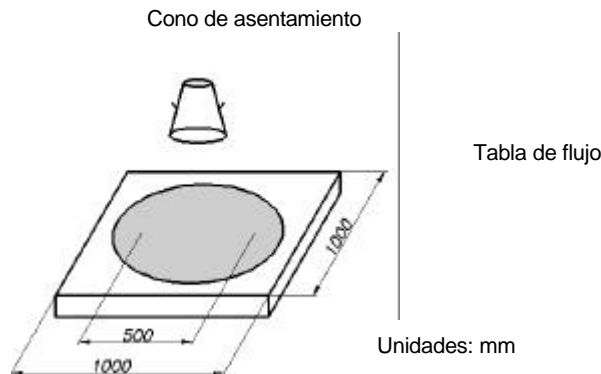
Ensayo de flujo de asentamiento (1) y ensayo de T_{50cm}(2)

Introducción

El flujo de asentamiento se utiliza para evaluar el flujo libre de HAC en ausencia de obstrucciones. Se desarrolló primero en Japón⁽¹⁾ para su uso en la valoración del hormigón sumergido. Este método se basa en el método de ensayo para determinar el asentamiento. El diámetro del círculo de hormigón es una medida de la capacidad de relleno del hormigón.

Evaluación del ensayo

Se trata de un procedimiento simple y rápido de ensayo, aunque se precisan dos personas si quiere medirse el período T₅₀. Puede emplearse en la obra, aunque el tamaño de la placa base de asiento es ligeramente pesado y difícil de manejar y es esencial un terreno nivelado. Es el ensayo utilizado con más frecuencia y ofrece una buena evaluación de la capacidad de relleno. No presenta indicaciones de la capacidad del hormigón para pasar por entre la armadura sin bloqueos, pero puede presentar indicios de la resistencia a la segregación. Puede argumentarse que un flujo completamente libre, sin restricciones de ninguna clase, no es representativo de lo que sucede en la práctica en la construcción con hormigón, pero el ensayo puede utilizarse para valorar la consistencia del suministro de hormigón amasado en planta en la obra entre carga y carga.

Figura D.1.1**Equipamiento**

El aparato aparece en la figura D.1.1

- ? Molde en forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones internas: 200 mm de diámetro en la base, 100 mm de diámetro en la parte superior y una altura de 300 mm, conforme con EN 12350-2.
- ? Placa de asiento cuadrada de un material rígido no absorbente, de por lo menos 700x700 mm, marcada con un círculo que indica la ubicación central del cono de asiento, y otro círculo concéntrico de 500 mm de diámetro.
- ? Llana
- ? Pala
- ? Regla
- ? Cronómetro (opcional)

Procedimiento

Se requieren 6 litros de hormigón para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal. Humedezca la placa de asiento y el interior del cono de asentamiento.

Coloque la placa de asiento sobre un terreno uniforme y estable y coloque el cono de asiento en el centro de dicha placa y manténgalo sujeto hacia abajo con firmeza.

Llene el cono con la pala. No tiene que compactarlo, tan sólo nivelar el hormigón de la parte superior del cono con la llana.

Quite el hormigón sobrante de alrededor de la base del cono.

Eleve el cono verticalmente y permita que el hormigón fluya hacia el exterior libremente.

De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo que requiere el hormigón para alcanzar el círculo de 500 mm. (Éste es el período T_{50} .)

Mida el diámetro final del hormigón en dos direcciones perpendiculares.

Calcule el promedio de los dos diámetros medidos. (Se trata del flujo de asentamiento en mm.)

Observe cualquier borde del mortero o la pasta de cemento sin árido grueso en el límite del charco de hormigón.

Interpretación del resultado

Cuanto mayor sea el valor del flujo de asentamiento (FA), mayor será su capacidad para llenar el encofrado por su propio peso. Se requiere un valor de *por lo menos* 650 mm para HAC. No existe un consejo generalmente aceptado sobre las tolerancias razonables sobre un valor específico, aunque ≥ 50 mm, como en la tabla alemana relacionada, puede ser adecuado.

El período T_{50} es una indicación secundaria del flujo. Un período inferior indica una mayor fluidez. La investigación Brite EuRam sugirió que un tiempo de 3-7 segundos es aceptable en aplicaciones de ingeniería civil, mientras que 2-5 segundos es correcto para las aplicaciones en edificación.

En el caso de una segregación grave la mayor parte del árido grueso permanecerá en el centro del charco de hormigón y el mortero y la pasta de cemento en la periferia del hormigón. En caso de una segregación menor puede producirse un borde de mortero sin árido grueso en el límite del charco de hormigón. Si no se produce ninguno de estos fenómenos, no es una garantía de que no se producirá segregación, puesto que se trata de un aspecto relacionado con el tiempo que puede producirse después de un período más extenso.

Ensayo de Anillo J (3)

Introducción

El principio del ensayo de Anillo J puede ser japonés, pero no se conocen referencias. El ensayo de Anillo J en sí se ha desarrollado en la Universidad de Paisley. El ensayo se emplea para determinar la capacidad de paso del hormigón. El equipamiento consiste en una sección rectangular de anillo de acero abierto (30 mm x 25 mm), taladrada verticalmente con agujeros para aceptar secciones roscadas de barras de armado. Estas secciones de barras pueden ser de distintos diámetros y colocarse a intervalos diferentes: de conformidad con las consideraciones de armado normal, 3 veces el tamaño máximo del árido puede ser apropiado. El diámetro del anillo de barras verticales es de 300 mm, y la altura de 100 mm.

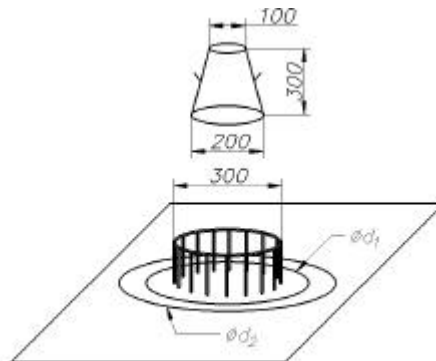
El anillo J puede utilizarse conjuntamente con el ensayo de flujo de asentamiento, el ensayo Orimet o incluso el embudo V. Estas combinaciones comprueban la capacidad de fluidez γ (la contribución del anillo J) la capacidad de paso del hormigón. El período de Orimet y/o extensión del flujo de asiento se miden del modo habitual para valorar las características del flujo. Las barras del anillo J pueden colocarse con el espaciado que se prefiera para imponer una prueba menos severa de la capacidad de paso del hormigón. Después del ensayo, se mide la diferencia de altura entre el hormigón en el interior y justo en el exterior del anillo J. Se trata de una indicación de la capacidad de paso, o del grado en que el paso del hormigón a través de las barras se ve restringido.

Evaluación de la prueba

Estas combinaciones de ensayos se considera que tienen un gran potencial, aunque no existe una perspectiva general sobre cómo deberían interpretarse exactamente los resultados. Existen varias opciones; por ejemplo, puede resultar instructivo comparar la extensión de la combinación anillo J/flujo de asentamiento con el flujo de asentamiento sin restricciones: ¿en qué medida se ve reducido?.

Al igual que el ensayo del flujo de asiento, estas combinaciones presentan la desventaja de no estar limitadas, y por lo tanto no reflejan el modo en que el hormigón se desplaza y autocompacta en la práctica. La opción Orimet tiene la ventaja de ser un ensayo dinámico y que también refleja la colocación en la práctica, aunque tiene como inconveniente la exigencia de dos operarios.

Figura D.3.1: el anillo J utilizado juntamente con el flujo de asentamiento



Equipamiento

- ? Molde SIN piezas de pie, en forma de un cono truncado, con unas dimensiones internas de 200 mm de diámetro en la base, 100 mm de diámetro en la parte superior y una altura de 300 mm.
- ? Placa base de asiento de un material rígido no absorbente, de por lo menos 700x700 mm, marcada con un círculo que indica la ubicación central del cono de asiento, y otro círculo concéntrico de 500 mm de diámetro.
- ? Lana
- ? Pala
- ? Regla
- ? Anillo J, una sección rectangular (30 mm x 50 mm) de anillo de acero abierto, perforado verticalmente con agujeros. En dichos agujeros pueden atornillarse secciones roscadas de barras de armadura (longitud de 100 mm, diámetro de 10 mm, espaciado de 48 ± 2 mm).

Procedimiento

Se requieren 6 litros de hormigón para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal. Humedezca la placa base de asiento y el interior del cono de asentamiento. Coloque la placa de asiento sobre un terreno estable y coloque el Anillo J centrado en la placa base y el cono centrado en el Anillo J y manténgalo sujeto hacia abajo con firmeza. Llene el cono con la pala. No tiene que compactarlo, tan sólo nivelar el hormigón de la parte superior del cono con la llana. Quite el hormigón sobrante de alrededor de la base del cono. Eleve el cono verticalmente y permita que el hormigón fluya hacia el exterior libremente. Mida el diámetro final del hormigón en dos direcciones perpendiculares.

Calcule el promedio de los dos diámetros medidos (en mm). Mida la diferencia de altura entre el hormigón justo en el interior de las barras y el que se encuentra justo en el exterior de las mismas. Calcule el promedio de la diferencia de altura en cuatro lugares (en mm). Observe cualquier borde del mortero o la pasta de cemento sin árido grueso en el límite del charco de hormigón.

En conjunción con el Orimet (10)**Equipamiento**

- ? Dispositivo Orimet de un material rígido no absorbente; véase la Figura 10.1
- ? Llana
- ? Pala
- ? Cronómetro
- ? Regla
- ? Anillo J, una sección rectangular (30 mm x 50 mm) de anillo de acero abierto, perforado verticalmente con agujeros. En dichos agujeros pueden atornillarse secciones roscadas de barras de armadura (longitud de 100 mm, diámetro de 10 mm, espaciado de 48 ? 2 mm); véase la Figura D.3.1.

Procedimiento

Se requieren 8 litros de hormigón para realizar la prueba, tomados como muestra de manera normal. Coloque el Orimet sobre un terreno firme. Humedezca las superficies interiores del orificio y el conducto de vaciado. Mantenga abierta la trampilla para permitir el drenaje del agua sobrante. Cierre la trampilla y coloque un balde debajo. Llene completamente el aparato con hormigón sin compactarlo o presionarlo, sólo tiene que nivelar el hormigón de la parte superior con la llana. Abra la trampilla 10 segundos después del llenado y permita que el hormigón salga por su propio peso. De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo. Active el cronómetro al abrir la trampilla y registre el tiempo hasta que se complete la descarga (**el tiempo de flujo**). Se considera que se ha completado cuando se ve la luz desde la parte superior a través de la sección del orificio. Mida el diámetro final del hormigón en dos direcciones perpendiculares. El ensayo completo debe realizarse en 5 minutos.

Calcule el promedio de los dos diámetros medidos (en mm). Mida la diferencia de altura entre el hormigón justo en el interior de las barras y el que se encuentra justo en el exterior de las mismas. Calcule el promedio de la diferencia de altura en cuatro lugares (en mm). Observe cualquier borde del mortero o la pasta de cemento sin árido grueso en el límite del charco de hormigón.

Interpretación del resultado

Hay que tener en cuenta que, a pesar de que estas combinaciones de ensayos miden el flujo y la capacidad de paso, los resultados no son independientes. El flujo medido se ve afectado por el grado en que el movimiento del hormigón está bloqueado por las barras de refuerzo. El alcance del bloqueo se ve mucho menos afectado por las características de flujo y podemos decir que, de manera clara, cuanto mayor sea la diferencia de altura, *menor* será la capacidad de paso del hormigón. El bloqueo y/o segregación también puede detectarse visualmente, con frecuencia de manera más fiable que mediante el cálculo.

Nota: Los resultados del anillo J se ven influidos por el método de combinación seleccionado y los resultados obtenidos con distintas combinaciones no son comparables.

Ensayo de embudo V (4) y ensayo de embudo V a T_{5 minutos} (5)

Introducción

El ensayo se desarrolló en Japón y fue utilizado por Ozawa et al⁽⁶⁾. El equipamiento consiste en un embudo en forma de V, que aparece en la Fig. D.4.1. Un tipo alternativo de embudo V, el embudo O, con una sección circular, también se utiliza en Japón.

El ensayo de embudo V descrito se utiliza para determinar la capacidad de relleno (fluidez) del hormigón con un tamaño de árido máximo de 20 mm. El embudo se llena con aproximadamente 12 litros de hormigón y se mide el tiempo necesario para fluir a través del aparato.

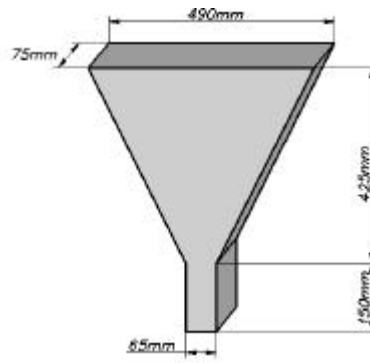
Después del proceso, el embudo puede volver a llenarse con hormigón, que se deja aposentar durante 5 minutos. Si el hormigón muestra segregación, entonces el tiempo de flujo aumentará significativamente.

Evaluación del ensayo

Aunque el ensayo se ha diseñado para medir la fluidez, el resultado se ve afectado por propiedades del hormigón distintas a las del flujo. La forma de cono invertido consigue que cualquier tendencia del hormigón a bloquearse se refleje en el resultado, cuando, por ejemplo, hay demasiado árido grueso. Un tiempo de flujo elevado también puede asociarse con una escasa deformabilidad debido a una alta viscosidad de la pasta, y con una alta fricción entre las partículas.

Aunque el aparato es sencillo, el efecto del ángulo del embudo y el efecto del muro sobre el flujo del hormigón no están claros.

Figura D.4.1: equipamiento de ensayo de embudo V (sección rectangular)



Equipamiento

- ? Embudo en V
- ? Balde (?12 litros)
- ? Lana
- ? Pala
- ? Cronómetro

Procedimiento para el tiempo de flujo

Se requieren unos 12 litros de hormigón para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal.

Fije de manera firme el embudo V sobre el suelo.

Humedezca las superficies interiores del embudo.

Mantenga la trampilla abierta para permitir el drenaje del agua sobrante.

Cierre la trampilla y coloque un balde debajo.

Llene completamente el aparato con hormigón sin compactarlo o presionarlo, sólo tiene que nivelar el hormigón de la parte superior con la lana.

Abra la trampilla 10 segundos después del llenado y permita que el hormigón salga por su propio peso.

De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo.

Active el cronómetro al abrir la trampilla y registre el tiempo hasta que se complete la descarga (**el tiempo de flujo**). Se considera que se ha completado cuando se ve la luz desde la parte superior a través del embudo.

El ensayo completo debe realizarse en 5 minutos.

Procedimiento del tiempo de flujo en T_5 minutos

NO limpie ni humedezca de nuevo las superficies interiores del embudo.

Cierre la trampilla y vuelva a llenar el embudo V después de medir el tiempo de flujo.

Coloque un balde debajo.

Llene el aparato completamente con hormigón sin compactarlo o presionarlo, sólo tiene que nivelar el hormigón de la parte superior con la llana.

Abra la trampilla 5 minutos después del segundo llenado del embudo y deje que el hormigón fluya hacia el exterior por su propio peso.

De manera simultánea, active el cronómetro al abrir la trampilla y registre el período de la descarga hasta su conclusión (**el tiempo de flujo a T_5 minutos**). Se considera que ha concluido cuando se ve la luz desde la parte superior a través del embudo.

Interpretación del resultado.

Este ensayo mide la facilidad para fluir del hormigón, un tiempo de flujo más breve indica una mayor fluidez. Para el HAC, un período de flujo de 10 segundos se considera adecuado. La forma de cono invertido restringe el flujo y los tiempos de flujo prolongados pueden indicar la susceptibilidad de la mezcla al bloqueo.

Después de 5 minutos de reposo, la segregación del hormigón mostrará un flujo menos continuo con un aumento en el período de flujo.

Método de ensayo de caja en L (6)

Introducción

Este ensayo, basado en un diseño japonés para el hormigón submarino, ha sido descrito por Petersson ⁽²⁾. El ensayo evalúa la capacidad de fluir del hormigón y también la medida en la que está sujeto a bloqueos por parte del armado. El aparato se muestra en la Figura D.6.1.

El aparato consiste en una caja de sección rectangular con forma de "L", con una sección vertical y otra horizontal, separadas por una puerta móvil, delante de la cual se encajan longitudes verticales de barras de armado. La sección vertical se llena de hormigón, acto seguido se eleva la puerta para permitir que el hormigón fluya hacia la sección horizontal, cuando el flujo se ha detenido, la altura del hormigón al extremo de la sección horizontal se expresa como una proporción del restante en la sección vertical (H_2/H_1 en el diagrama). Indica el *alcance* del hormigón en reposo. Se trata de una indicación de la capacidad de paso, o del grado en que se restringe el paso del hormigón a través de las barras.

La sección horizontal de la caja puede marcarse a 200 mm y a 400 mm de la compuerta y pueden medirse los tiempos necesarios para alcanzar estos puntos. Se conocen como los tiempos T_{20} y T_{40} y constituyen una indicación de la capacidad de relleno.

Las secciones de barras pueden ser de distintos diámetros y pueden espaciarse a diferentes intervalos, de conformidad con las consideraciones de armado normal, puede ser apropiado un tamaño tres veces superior al tamaño máximo de los áridos.

Las barras pueden ajustarse con cualquier espaciado para imponer una prueba mas o menos exigente a la capacidad de paso del hormigón.

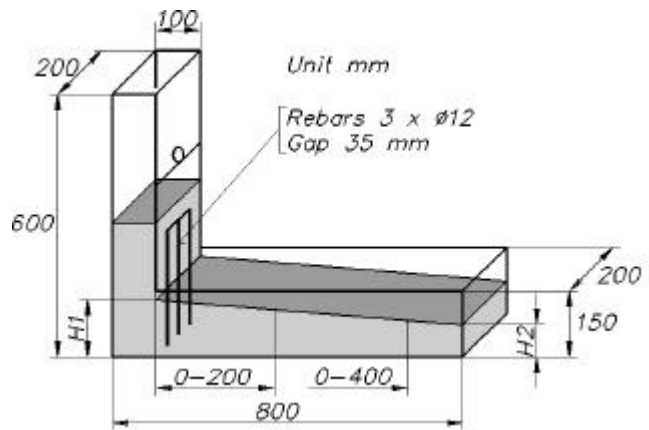
Evaluación del ensayo

El uso de este ensayo es muy frecuente; es adecuado para el laboratorio y quizá también para la misma obra. Evalúa la capacidad de relleno y de paso del HAC y cualquier falta grave de estabilidad (segregación) puede detectarse visualmente. La segregación también puede detectarse posteriormente serrando e inspeccionando las fracciones del hormigón en su sección horizontal. Lamentablemente, no existe un acuerdo sobre los materiales y dimensiones, ni sobre la disposición de las barras de armado, de modo que resulta difícil comparar los resultados del ensayo. No hay indicios del efecto del muro del aparato y el consecuente "efecto de los muros" que pueda producirse sobre el flujo del hormigón, pero en cierta medida, esta disposición replica lo que sucede en la obra cuando se confina dentro del encofrado.

Si se miden los tiempos serán necesarios dos operarios y es inevitable un cierto grado de error del operario.

Equipamiento

- ? Caja en L de un material rígido no absorbente, véase la Figura D.6.1.
- ? Llana
- ? Pala
- ? Cronómetro

Figura D.6.1: Caja en L**Procedimiento**

Se precisan unos 14 litros de hormigón para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal. Coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme; asegúrese de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad y luego ciérrela.

Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante.

Llene la sección vertical del aparato con la muestra de hormigón.

Déjelo reposar durante 1 minuto.

Eleve la compuerta deslizante y deje que el hormigón fluya hacia la sección horizontal.

De manera simultánea, active el cronómetro y registre los tiempos que requiere el hormigón para alcanzar las marcas de 200 y de 400 mm.

Cuando el hormigón deje de fluir, se miden las distancias “H₁” y “H₂”.

Calcule H_2/H_1 , **la relación de bloqueo**.

Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos.

Interpretación del resultado

Si el hormigón fluye tan libremente como el agua, en descanso estará horizontal, de modo que $H_2/H_1 = 1$. En consecuencia, cuanto más cerca esté el valor de este ensayo, la “relación de bloqueo”, a la unidad, mejor será el flujo del hormigón. El equipo de investigación de la UE sugirió un valor mínimo aceptable de 0,8. Los períodos T_{20} y T_{40} pueden ofrecer una indicación sobre la capacidad de fluir, pero no hay un acuerdo general sobre los valores adecuados. Un bloqueo eficiente del árido grueso detrás de las barras de refuerzo puede detectarse visualmente.

Método de ensayo de caja en U (7)**Introducción**

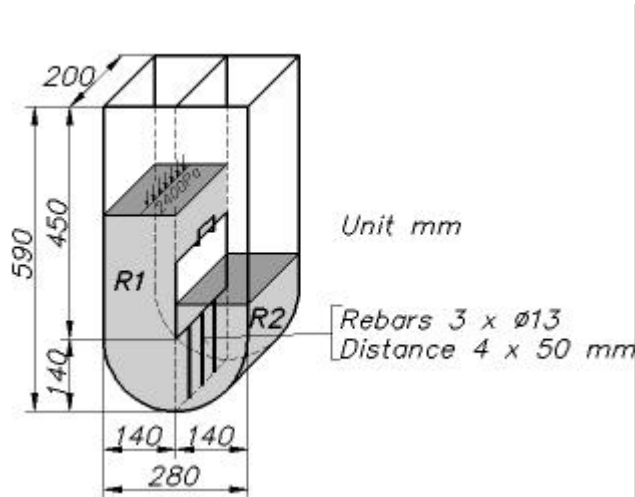
Este ensayo fue desarrollado por el Technology Research Centre (Centro de Investigación Tecnológica) de Taisei Corporation en Japón⁽⁴⁾. En ocasiones el aparato se denomina ensayo “en forma de caja”. El ensayo se utiliza para medir la capacidad de relleno del hormigón autocompactable. El aparato consiste de un recipiente dividido por una pared intermedia en dos compartimentos, que aparecen como R1 y R2 en la Fig. D.7.1.

Se coloca una compuerta deslizante entre ambas secciones. Se instalan barras de refuerzo que presentan un diámetro nominal de 13 mm en la compuerta, con espacios entre ejes de 50 mm. De este modo se crea un espaciado libre de 35 mm entre las barras. La sección del lado izquierdo se llena con aproximadamente 20 litros de hormigón y a continuación se eleva la compuerta y el hormigón fluye *hacia arriba* hasta la otra sección. Se mide la altura del hormigón en ambas secciones.

Nota: la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles recomienda un diseño alternativo al de esta caja, pero basado en el mismo principio.

Evaluación del ensayo

Se trata de un ensayo fácil de realizar, aunque el equipamiento puede resultar difícil de fabricar. Ofrece una buena evaluación directa de la capacidad de relleno (esto es, literalmente, lo que tiene que hacer el hormigón) modificada por un requisito sin medir de la capacidad de paso. El espacio de 35 mm entre las secciones de armadura puede considerarse demasiado estrecho. La cuestión sigue abierta respecto a si una altura de llenado inferior a 30 cm sigue siendo aceptable.

Figura D.7.1**Equipamiento**

- ? Caja en U de un material rígido no absorbente, véase la Figura D.7.1.
- ? Lana
- ? Pala
- ? Cronómetro

Procedimiento

Se precisan unos 20 litros de hormigón para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal. Coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme; asegúrese de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad y luego ciérrela.

Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante.

Llene una sección del aparato con la muestra de hormigón.

Déjelo reposar durante 1 minuto.

Eleve la compuerta deslizante y deje que el hormigón fluya hacia el otro compartimento.

Después de dejar reposar el hormigón, mida la altura del mismo en el compartimento que se ha llenado, en dos lugares, y calcule la media (H_1). Mida también la altura en el otro compartimento (H_2).

Calcule $H_1 - H_2$, la altura de llenado.

Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos.

Interpretación del resultado

Si el hormigón fluye tan libremente como el agua, en descanso estará horizontal, de modo que $H_1 - H_2 = 0$. En consecuencia, cuanto más cercano a 0 sea el valor de este ensayo, la "altura de llenado", mejor será la capacidad de relleno y paso del hormigón.

Método de ensayo de caja de relleno (8)

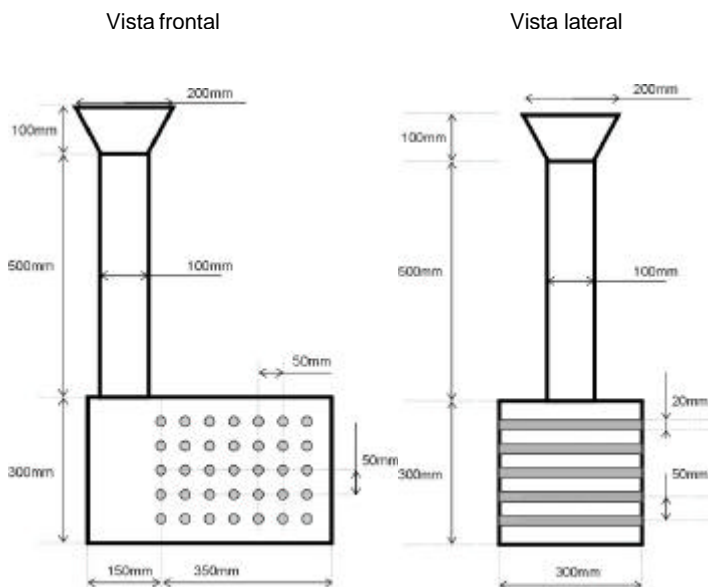
Introducción

Este ensayo también se conoce como “ensayo Kajima”. El ensayo se utiliza para medir la capacidad de relleno del hormigón autocompactable con un tamaño máximo de áridos de 20 mm. El aparato consiste de un recipiente transparente con una superficie uniforme y lisa. Dentro del recipiente se disponen 35 obstáculos de PVC con un diámetro de 20 mm y una distancia entre ejes de 50 mm; véase la Figura D.8.1. En el lado superior hay un conducto de llenado (diámetro de 100 mm y altura de 500 mm) con un embudo (altura de 100 mm). El recipiente se llena de hormigón a través de este conducto de llenado y la diferencia de altura entre ambos lados del recipiente es una medida de la capacidad de relleno.

Evaluación del ensayo

Este ensayo es difícil de ejecutar en la obra debido a la estructura compleja del aparato y el gran peso del hormigón. Ofrece una buena impresión sobre las características autocompactables del hormigón. Incluso una mezcla de hormigón con una elevada capacidad de relleno obtendrá malos resultados si la resistencia a la segregación y la capacidad de paso no son buenas.

Figura D.8.1



Equipamiento

- ? Caja de relleno de material rígido, transparente y no absorbente
- ? Pala de aproximadamente entre 1,5 y 2 litros
- ? Regla
- ? Cronómetro

Procedimiento

Se precisan unos 45 litros de hormigón para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal. Coloque el aparato sobre terreno firme.

Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante.

Llene el aparato con el hormigón de muestra.

Llene el aparato añadiendo cada 5 segundos una pala con 1,5 - 2 litros de hormigón fresco en el embudo hasta que el hormigón cubra el primer obstáculo superior.

Después de que el hormigón se haya asentado mida en dos puntos la altura en el lado desde el que se ha llenado el recipiente y calcule el promedio (h_1).

Haga lo mismo en el lado opuesto (h_2).

Calcule el porcentaje medio de relleno:

$$\text{Porcentaje de relleno: } F = \frac{h_1 + h_2}{2 \cdot h_1} \cdot 100\%$$

La totalidad del ensayo ha de realizarse en menos de 8 minutos.

Interpretación del resultado

Si el hormigón fluye con la misma libertad que el agua, en reposo será horizontal, de modo que el porcentaje de relleno medio será igual al 100%. Por consiguiente, cuanto más cerca esté el valor del ensayo, la "altura de relleno", al 100%, mejores serán las características de autocompactación del hormigón.

Método de ensayo de estabilidad de tamiz GTM (9)**Introducción**

Este ensayo ha sido desarrollado por el contratista francés GTM, para evaluar la resistencia a la segregación (estabilidad). Consiste en tomar una muestra de 10 litros de hormigón, dejarla reposar durante un tiempo para permitir que se produzca cualquier segregación interna y después vertiendo la mitad de la misma sobre un tamiz de 5 mm de luz y 350 mm de diámetro, que se encuentra sobre un fondo de tamiz encima de una báscula. Después de dos minutos, el mortero que ha pasado *a través* del tamiz se pesa y expresa como porcentaje de la muestra original *encima* del tamiz.

Evaluación de la prueba

Los ingenieros que han utilizado este ensayo comentan que se trata de un modo muy efectivo para evaluar la estabilidad del HAC. No obstante, aunque es un ensayo sencillo no es rápido y requiere una báscula precisa, de modo que quizá no resulte adecuado para utilizarse en obra.

Equipamiento

- ? Balde de 10 litros con tapa
- ? Tamiz de 5 mm con un diámetro de 350 mm
- ? Fondo de tamiz
- ? Balanza, precisión de 20 g, capacidad mínima de 20 kg
- ? Cronómetro

Procedimiento

Se requieren unos 10 litros de hormigón para realizar el ensayo tomados de manera normal.

Permita que el hormigón del balde repose durante 15 minutos cubierto con una tapa para impedir la evaporación.

Determine la masa del fondo de tamiz vacío.

Inspeccione la superficie de hormigón por si hay agua de sangrado y anótelo.

Vierta los dos litros superiores o aproximadamente 4,8 kg \pm 0,2 kg sólo de la muestra de hormigón dentro de un contenedor de vertido.

Determine la masa del contenedor de vertido lleno.

Determine la masa del fondo de tamiz vacío.

Vierta todo el hormigón del contenedor de vertido en el tamiz desde una altura de 500 mm, en un movimiento continuado y uniforme.

Pese el contenedor de vertido vacío.

Calcule la masa del hormigón vertido sobre el tamiz, M_a (es decir, la diferencia entre el peso lleno y vacío).

Permita que la fracción de mortero de la muestra fluya a través del tamiz en dirección al fondo de tamiz durante un período de 2 minutos.

Quite el tamiz y determine la masa del fondo del tamiz "lleno". Calcule la masa de la muestra que traspasa el tamiz, M_b , restando la masa del fondo de tamiz vacío a la masa del recipiente de tamiz lleno.

Calcule el porcentaje de la muestra que traspasa el tamiz, la relación de segregación: $(M_b/M_a) \times 100$.

Interpretación del resultado

Las observaciones empíricas sugieren que si el porcentaje de mortero que ha traspasado el tamiz, esto es, la relación de segregación, es de entre el 5 y el 15% del peso de la muestra, la resistencia a la segregación se considera satisfactoria. Por debajo del 5% es excesiva, con lo que probablemente afectará al acabado superficial. Por encima de un 15%, en particular por encima de un 30%, existe una fuerte probabilidad de segregación.

Ensayo de Orimet (10)

Introducción

El Orimet se desarrolló en la Universidad de Paisley ⁽³⁾ como un método para evaluar mezclas de hormigón fresco de elevada fluidez en las obras de construcción. El equipamiento aparece en la Figura 10.1.

El ensayo se basa en el principio de un reómetro de orificio. El Orimet consiste en un conducto de vertido vertical provisto de un orificio en forma de cono invertido variable en el extremo inferior, el de la descarga, con una trampilla de liberación rápida para cerrar dicho orificio. Normalmente el orificio presenta un diámetro interno de 80 mm, que es adecuado para evaluar mezclas de hormigón con un tamaño de árido que no supera los 20 mm. Puede substituirse por orificios de otros tamaños, normalmente de 70 mm a 90 mm de diámetro.

El funcionamiento consiste simplemente en llenar el Orimet con hormigón para abrir de inmediato la trampilla y medir el tiempo necesario para que se vea la luz en la parte inferior del conducto (cuando se mira desde arriba).

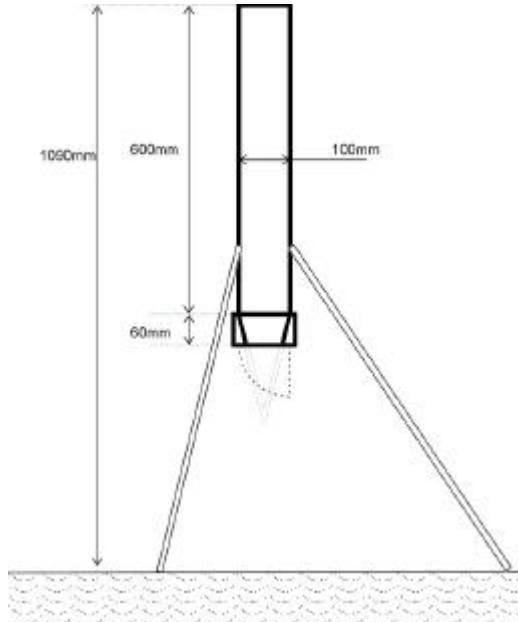
Evaluación del ensayo

Este ensayo puede simular la capacidad de fluir del hormigón fresco durante su colocación real en la obra. Se trata de un ensayo rápido y el equipamiento es sencillo y su mantenimiento fácil. El ensayo presenta la útil característica de poder *diferenciar* entre mezclas de alta fluidez; en consecuencia, puede resultar útil para comprobar el cumplimiento de cargas sucesivas en la obra. No obstante, la determinación del tiempo está sujeta a error y en circunstancias ideales requiere a dos personas.

Equipamiento

- ? Dispositivo Orimet de un material rígido y no absorbente, véase la Figura D.10.1
- ? Balde (?10 litros)
- ? Pala
- ? L lana
- ? Cronómetro

Figura D.10.1



Procedimiento

Se requieren unos 8 litros de hormigón para realizar el ensayo, que deben tomarse de manera normal.

Coloque el Orimet sobre un terreno firme.

Humedezca la superficie interior del conducto de vertido y el orificio.

Mantenga la trampilla abierta para permitir el drenaje del agua sobrante.

Cierre la trampilla y coloque el balde debajo.

Llene completamente el aparato con hormigón sin compactarlo o presionarlo, sólo ha de nivelar la parte superior con la llana.

Abra la trampilla 10 segundos después del relleno y deje que el hormigón fluya por acción de la gravedad.

Inicie el cronómetro al abrir la trampilla y registre el período hasta que se complete la descarga (**el período de flujo**). Se considera que ha terminado cuando puede verse la luz desde arriba a través de la sección del orificio.

La totalidad del ensayo debe llevarse a cabo en 5 minutos.

Interpretación del resultado

Este ensayo mide la capacidad de fluir del hormigón.; los tiempos de flujo más breves indican una superior fluidez. En el caso de HAC, se considera adecuado un tiempo de flujo de 5 segundos o inferior. La forma de cono invertido en el orificio restringe el flujo y los períodos de flujo pronunciados pueden indicar la susceptibilidad de la mezcla al bloqueo y/o la segregación.

ANEXO E: REFERENCIAS

1. Japan Society of Civil Engineers, *Recommendations for Design and Construction of Antiwashout Underwater Concrete*, Concrete library of JSCE, 19 (1982) 89 p.
2. Petersson Ö., Billberg P., Van B.K., *A model for self-compacting Concrete*, Proceedings of International RILEM Conference on "Production Methods and Workability of Concrete", editado por P.J.M. Bartos, et al. (Chapman & Hall/E & FN Spon) (Paisley, 1996) 483-490.
3. Bartos, P.J.M., *An appraisal of the Orimet Test as a Method for On-site Assessment of Fresh SCC Concrete*, Proceedings of International Workshop on Self-Compacting Concrete, (Japón, Agosto 1998) 121-135
4. Haykawa, M., *Development and Application of Super Workable Concrete*, Proceedings of International RILEM Workshop on "Special Concretes-Workability and Mixing", editado por Prof. P.J.M. Bartos, (Paisley, 1993) 183-190
5. Ozawa, K., Sakata, N., Okamura, H., *Evaluation of Self-Compactibility of Fresh Concrete Using the Funnel Test*, Concrete Library of JSCE, (25) (Junio 1995) 59-75
6. Rooney, M., Bartos, P.M.J., *Development of the settlement column segregation test for fresh self-compacting concrete (SCC)*, aparecido en el segundo simposium internacional de SCC, Tokio, Japón (2001)
7. Programa Brite-EuRam: BE96-3801/BRPR-CT96-0366, *Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete*.
8. Henderson N.A., Baldwin N.J.R., McKibbins L.D. Winsor D.S. & Shanghavi H.B., *Concrete technology for foundation applications*, CIRIA Report C569: 2002.

© EFNARC 2002

La reproducción total o parcial de este documento tiene que efectuarse a través de EFNARC, dirección que se detalla en la página inicial.