

MANUAL DE LABORATORIO

Aplicado a la fabricación y desarrollo de hormigones autocompactables de resistencia media (HAC-RM)

Claudia Jenny De La Cruz Morales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Sobre la autora

Claudia Jenny De La Cruz Morales



Ingeniera Civil, Especialista en Estructuras, Magíster en Ingeniería de Materiales y Procesos de la Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas Medellín (Colombia).

Doctora en Ingeniería - Área de la Construcción de la Universidad Politécnica de Cataluña-Barcelona (España).

Profesora Titular de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Minas.

Más de 15 Artículos publicados en revistas indexadas.

Coordinadora del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Minas por más de diez años.

Conferencista en varios Congresos Nacionales e Internacionales.

Ha sido Miembro del Comité de Asignación de Puntaje de la Universidad Nacional de Colombia.

Coordinadora de los Laboratorios de la Facultad de Minas, en el período comprendido entre los años 2007 y 2010.

Directora del Grupo de Investigación "Nuevas Tendencias de los Materiales en la construcción Civil"- GLABEST (Ganadores del Premio de Mejor Gestión 2010 y Primer Puesto entre 70 tecnologías innovadoras a nivel Nacional.

Coordinadora de los Grupos de Investigación "Estabilidad Estructural"-GES, Grupo de Investigación "Infraestructura Física", de la Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas Medellín (Colombia).

Reconocimiento por el Trabajo Destacado y Promoción Docente - Según Resolución - Acta 29 del 15 de Diciembre de 2010.

Directora Departamento de Ingeniería Civil – Febrero 2011 - Julio 2011.

Directora de varios trabajos de Extensión, con empresas nacionales y extranjeras.

Acerca de la carátula

Para la carátula se ha seleccionado la foto del ensayo de *Mini-Slump con el Cono de Marsh* que provee la medida del diámetro final y el tiempo en que se demora en alcanzarlo.

Esto con el objeto de determinar la capacidad de fluir y la vistosidad de una *Pasta de Cemento o Mortero* y su compatibilidad con el *Aditivo Superplastificante* de última generación; este último, considerado uno de los componentes imprescindibles en la dosificación de hormigones autocompactables.

MANUAL DE LABORATORIO

APLICADO A LA FABRICACIÓN Y DESARROLLO DE HORMIGONES AUTOCOMPACTABLES DE RESISTENCIA MEDIA (HAC-RM)

MANUAL DE LABORATORIO

**APLICADO A LA FABRICACIÓN Y DESARROLLO
DE HORMIGONES AUTOCOMPACTABLES DE
RESISTENCIA MEDIA (HAC-RM)**

POR

CLAUDIA JENNY DE LA CRUZ MORALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

2017

620.136

D35 De la Cruz Morales, Claudia Jenny

Manual de laboratorio, aplicado a la fabricación y desarrollo de hormigones autocompactables de resistencia media (HAC-RM) / Claudia Jenny De la Cruz Morales . – Medellín : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2017.

94 p. : il. – (Colección Facultad de Minas)

ISBN-e: 978-958-783-061-3

1. HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE. 2. RESISTENCIA DE MATERIALES
3. ENSAYO DE MATERIALES. 4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. I. Tít. Serie

Manual de Laboratorio, Aplicado a la fabricación y desarrollo de hormigones autocompactables de resistencia media (HAC-RM)

© Claudia Jenny De La Cruz Morales

© Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas
Colección Facultad de Minas

Edición electrónica: Medellín, junio de 2017

ISBN-e: 978-958-783-061-3

Caratula: Diseño Centro Editorial - Facultad de Minas.

Imágenes proporcionada por la autora: Mini Slump, año: 2005

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales

Centro Editorial de la Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Carrera 80 No. 65 – 223, Bloque M9-107

Teléfono: (57-4) 425 53 43 ceditorial_med@unal.edu.co

Medellín, Colombia

**A Ti Mi Amor Juan Carlos y mis hijos,
Kpita y Seba, por todo su amor
y apoyo incondicional**

RECONOCIMIENTOS

Debo expresar mis agradecimientos:

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y en especial a la Facultad de Minas, por todo lo que me ha brindado en calidad de persona, estudiante y docente, además por facilitar la publicación de este manual.

A mis amigos Dr. Alejandro Josa, Dr. Ravindra Gettu, Dr. Gonzalo Ramos y Dr. Bryan Barragán, por sus sugerencias y continuo apoyo.

A Jorge Osorio por su disposición, buen ánimo y experiencia siempre dispuesto para la realización de ensayos y actividades dentro del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Minas.

A mi amiga Ana Mercedes Valenzuela Gómez, que como siempre me ha brindado todo su apoyo y colaboración.

A mis Auxiliares Andrés Felipe Álvarez Toro, Andrés Felipe Tamayo Galeano; por todo su apoyo, acompañamiento y respetuosas sugerencias para ésta publicación.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES	15
1.2 OBJETIVOS GENERALES	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	16

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE	18
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE (HAC)	19
2.2.1 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE UN HAC	20
2.2.2 COMPOSICIÓN DE UN HAC	22

CAPÍTULO 3: ENSAYOS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE

3.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL HAC EN ESTADO FRESCO	24
3.2 EXTENSIÓN DE FLUJO O ESCURRIMIENTO	25
3.3 ENSAYO DE LA CAJA EN L	26
3.4 ENSAYO DEL ANILLO DE BARRAS Ó EXTENSIÓN CON ANILLO (ASTM C 1621 M-08)	27
3.5 ENSAYO DE LA CAJA EN U	28
3.6 ENSAYO DEL EMBUDO-V	28
3.7 ENSAYO ORIMET	29
3.8 OTROS ENSAYOS	30
3.8.1 CAJA DE RELLENO	30
3.8.2 ENSAYO DEL TAMIZ VERTICAL	31
3.8.3 ENSAYO DE LA COLUMNA	31
3.8.4 TUBO-U	32

CAPÍTULO 4: MEDIDA DE LA AUTOCOMPACTABILIDAD DE UN HORMIGÓN

4.1 MÉTODO DE LA EXTENSIÓN DE FLUJO	33
4.1.1 OBJETO	34
4.1.2 CAMPO DE APLICACIÓN	34
4.1.3 NORMAS PARA CONSULTA	34
4.1.4 PRINCIPIO DEL MÉTODO	34
4.1.5 APARATOS	34
4.1.5.1 Molde	34
4.1.5.2 Base	35
4.1.5.3 Material Auxiliar	35
4.1.6 TOMA DE MUESTRAS	35
4.1.7 PROCEDIMIENTO	36
4.1.8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS	36
4.1.9 INFORME DE LOS RESULTADOS	36
4.1.10 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS	36
4.2 MÉTODO DE LA CAJA EN L	37
4.2.1 OBJETO	37
4.2.2 CAMPO DE APLICACIÓN	37
4.2.3 NORMAS PARA CONSULTA	37
4.2.4 METODO DE ENSAYO	37
4.2.5 APARATOS	37
4.2.5.1 Molde	37
4.2.5.2 Barras	38
4.2.5.3 Accesorios	38
4.2.6 TOMA DE MUESTRAS	38
4.2.7 PROCEDIMIENTO	39
4.2.8 OBTENCION DE RESULTADOS	39
4.2.9 INFORME	40
4.2.10 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS	40
4.3 MÉTODO DE LA EXTENSIÓN CON ANILLO	40
4.3.1 OBJETO	40
4.3.2 CAMPO DE APLICACIÓN	41

4.3.3	NORMAS PARA CONSULTA	41
4.3.4	MÉTODO DE ENSAYO	41
4.3.5	APARATOS	42
4.3.5.1	Molde	42
4.3.5.2	Base	42
4.3.5.3	Anillo Japonés	42
4.3.5.4	Accesorios	42
4.3.6	TOMA DE MUESTRAS	43
4.3.7	PROCEDIMIENTO	43
4.3.8	OBTENCION DE RESULTADOS	43
4.3.9	INFORME	44
4.3.10	CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS	44
4.4	MÉTODO DE LA CAJA EN U	44
4.4.1	OBJETO	44
4.4.2	CAMPO DE APLICACIÓN	44
4.4.3	NORMAS PARA CONSULTA	45
4.4.4	METODO DE ENSAYO	45
4.4.5	APARATOS	45
4.4.5.1	Molde	45
4.4.5.2	Barras	46
4.4.5.3	Accesorios	46
4.4.6	TOMA DE MUESTRAS	46
4.4.7	PROCEDIMIENTO	46
4.4.8	OBTENCION DE RESULTADOS	46
4.4.9	INFORME	47
4.4.10	CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS	47
4.5	MÉTODO DEL EMBUDO-V	47
4.5.1	OBJETO	47
4.5.2	CAMPO DE APLICACIÓN	47
4.5.3	NORMAS PARA CONSULTA	47
4.5.4	MÉTODO DE ENSAYO	48
4.5.5	APARATOS	48
4.5.5.1	Molde	48

4.5.5.2 Accesorios	48
4.5.6 TOMA DE MUESTRAS	49
4.5.7 OBTENCION DE RESULTADOS	49
4.5.8 INFORME	49
4.5.9 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS	49
CAPÍTULO 5: CONTROL DE LA RECEPCIÓN EN OBRA DEL HAC	
5.1 DESCRIPCIÓN	51
CAPÍTULO 6: CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO	
6.1 COMPORTAMIENTO DURANTE LA ROTURA BAJO COMPRESIÓN UNIAXIAL	54
6.2 RESISTENCIA FRENTE A LA FISURACIÓN Y FRAGILIDAD BASADAS EN ENSAYOS DE FRACTURA	55
6.3 RETRACCIÓN	56
6.4 FLUENCIA DEL HORMIGÓN	59
CAPÍTULO 7: METODOLOGÍAS DE DOSIFICACIÓN PROPUESTAS DEL HAC A NIVEL MUNDIAL	
7.1 DESCRIPCIÓN	62
7.2 APLICACIONES MÁS IMPORTANTES DE HAC EN EL JAPÓN, EUROPA Y LOS ESTADOS UNIDOS	65
7.2.1 JAPÓN	65
7.2.2 FRANCIA Y SUECIA	66
7.2.3 SUIZA	66
7.2.4 ALEMANIA	66
7.2.5 ESPAÑA	67
7.2.6 REINO UNIDO	70
7.2.7 ESTADOS UNIDOS	71
7.3 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS	72
7.4 CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FOTOGRAFÍAS

Fotografía. 2.1	Prueba de asentamiento al HC (De La Cruz, 2006)	19
Fotografía. 2.2	Banco de Escofet Extraído de http://www.escofet.es/	19
Fotografía. 2.3	Llenado de los moldes para las vigas de HAC-RM (prueba) sin armadura. (De La Cruz, 2006)	19
Fotografía. 3.1	Ensayo de Ecurrimiento para el HAC-RM	25
Fotografía. 3.2	Ensayo del Embudo V para la caracterización del HAC-RM en estado fresco. (De La Cruz, 2006)	25
Fotografía. 3.3	Ensayo del Extensión con anillo para la caracterización del HAC-RM en estado fresco	25
Fotografía. 3.4	Ensayo del Caja en L para la caracterización del HAC-RM en estado fresco. (De La Cruz, 2006)	25
Fotografía. 3.5	Ensayo de Extensión de Flujo ó Ecurrimiento.	26
Figura 3.1	Caja en L. (De La Cruz, 2006)	26
Figura 3.2	Anillo de barras. (De La Cruz, 2006)	27
Figura 3.3	Caja en U (JSCE, 1998)	28
Figura 3.4	Embudo-V (JSCE, 1998)	29
Figura 3.5	Aparato del ensayo Orimet. (De La Cruz, 2006)	30
Figura 3.6	Aparato para medir habilidad de relleno (EFNARC, 2002)	31
Fotografía. 3.6	Aparato del ensayo de la columna de consolidación (Rooney, 2002)	31
Fotografía. 3.7	Ensayo Tubo-U. (De La Cruz, 2006)	32
Fotografía. 4.1	Ensayo de Extensión de Flujo ó Ecurrimiento. (De La Cruz, 2006)	33
Fotografía. 4.2	Anillo de barras y Ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)	33
Fotografía. 4.3	Caja en U (De La Cruz, 2006)	33
Fotografía. 4.4	Ensayo de Extensión de Flujo. (De La Cruz, 2006)	35
Figura 4.1	Base para el ensayo de Extensión de Flujo. (De La Cruz, 2006)	35
Figura 4.2	Caja en L. (De La Cruz, 2006)	38
Fotografía 4.5	Ensayo de Caja en L. (De La Cruz, 2006)	39
Figura 4.3	Detalle de las medidas a tomar en el Ensayo de la Caja en L. (De La Cruz, 2006)	40
Fotografía. 4.6	Ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)	41
Figura 4.4	Aparatos para el ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)	43
Figura 4.5	Detalle de mediciones en el Ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)	43
Figura 4.6	Caja en U. (De La Cruz, 2006)	45
Figura 4.7	Detalle de las mediciones para el Ensayo de la Caja en U. (De La Cruz, 2006)	46
Figura 4.8	Embudo V. (De La Cruz, 2006)	48

Fotografía. 5.1	Vaciado de hormigón. Extraído de http://www.litebuilt.com/pic/hot04d.jpg	50
Fotografía. 5.2	Bombeo de hormigón. Extraído de http://www.cemartigas.com.uy/fotos/Hormigon%20Bomba%	50
Fotografía. 5.3	Transporte del hormigón. Extraído de http://www.baryval.es/hormigoneras/images/Baryval_volquetes.jpg	51
Figura 5.1	Aparato para el ensayo del control de recepción (Ouchi, 1999).	51
Fotografía. 6.1	Fotos de pilares prefabricados. Extraído de http://www.interempresas.net/	53
Fotografía. 6.2	Banco de Escofet. Extraído de http://www.escofet.es/	53
Fotografía. 6.3	Banco de Escofet. Extraído de http://www.escofet.es/	53
Figura 6.1	Curvas típicas de tensión-deformación axial (Gettu et al., 1999)	54
Figura 6.2	Compresión diametral, o Ensayo Brasileño, y curvas típicas, para hormigones de alta resistencia y con fibras metálicas (Gettu et al., 1999)	55
Fotografía. 7.1	Akashi Kaikyo. Extraído de www.ideaphotos.com	61
Fotografía. 7.2	Puente de la Hispanidad. Extraído de www.kokygzg.blogspot.com	61
Fotografía. 7.3	Viga doble T en HAC. (De La Cruz, 2006)	62
Fotografía. 7.4	Anclaje del Puente Akashi Kaikyo (Ozawa et al., 1999)	66
Fotografía. 7.5	Puente Ronda de la Hispanidad. (De La Cruz, 2006)	67
Fotografía. 7.6	Edificio Ayuntamiento de Mollet del Vallés (Masó, 2004)	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Características principales de los hormigones vibrados (H.V), fluidos (H.F) y autocompactables (HAC). (De La Cruz, 2006)	20
Tabla 5.1	Ensayos de caracterización del HAC más aceptados (Gomes, 2002)	51
Tabla 5.2	Posibles combinaciones en función de la aplicación (Bravo, 2004)	52
Tabla 6.1	Deformaciones del hormigón, dependientes o no de la tensión (Artículo 26º, apartado 26.9) . (De La Cruz, 2006)	59
Tabla 7.1	Parámetros de autocompactabilidad. (De La Cruz, 2006)	62
Tabla 7.2	Algunos Métodos de Dosificación, propuestos. (De La Cruz, 2006)	63
Tabla 7.3	Algunas dosificaciones de HAC de resistencia normal, típicas en la literatura técnica (Gomes, 2002)	64
Tabla 7.4	Resultados de los ensayos en estado fresco del HAC y HAC-RFA, aplicado en la fabricación de los muros. (De La Cruz, 2006)	69
Tabla 7.5	Dosificaciones y resultados de los ensayos de caracterización en estado fresco de los muros y bancos elaborados en el LTE	70
Tabla 7.6	Algunas dosificaciones de HAC, empleadas en el Japón (J), Europa (E) y los Estados Unidos (A). (De La Cruz, 2006)	72

ÍNDICE TEMÁTICO

A

acabado , 53, 66, 67, 68, 73, 74

aditivo , 18, 20, 22, 23, 58, 59, 62, 63, 72

agregado , 22, 23, 27, 32, 34, 41, 55, 60, 63, 72

agua ,18, 21, 22, 23, 32, 36, 43, 46, 54, 56, 57, 62, 63, 69, 70, 71, 72, 74

armadura , 19, 23, 28, 37, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 62, 65, 66

asentamiento ,19, 25

autocompactable , 15, 18, 19, 20, 21, 22, 29, 30, 34, 37, 38, 41, 42, 44, 45, 47, 49, 58, 68, 69, 72, 75

autodeseccación , 57

autógena , 57

B

bloqueo , 15, 20, 23, 27, 28, 37, 39, 40, 44, 46, 47, 49, 62, 63

C

caracterización , 16, 19, 20, 21, 24, 25, 29, 34, 41, 47, 51, 52, 54, 63, 69, 70, 73, 74

carbonatación , 57, 69

cemento , 21, 22, 23, 54, 56, 57, 58, 63, 64, 71, 72

coeficiente , 27, 39, 46, 60

compresión , 54, 55, 56, 59, 63, 64, 69

consistencia , 20, 34, 41

construcción , 16, 18, 65, 66, 68, 73, 74, 75

curado , 22, 56, 57, 58

D

deformación , 21, 54, 56, 57, 59

dosificación , 32, 54, 61, 62, 63, 64, 65, 73, 75

ductilidad , 55, 69

E

endógena , 57, 58, 59

endurecimiento , 18, 55

ensayo , 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 54, 55, 58, 60, 61, 63, 64, 68, 69, 70, 71, 73, 74

escurrimiento , 24, 25, 26, 27, 64, 70, 72

estabilidad , 20, 23, 32, 34, 37, 39, 40, 51, 58, 62, 74

extensión , 24, 25, 26, 27, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 41, 42, 43, 51, 52, 59, 63, 69, 71, 72

exudación , 20, 22, 23, 36, 44, 56, 72

F

fluidez , 19, 20, 21, 23, 24, 27, 49, 51, 62, 63, 71, 72, 73

fractura , 54, 55

fragilidad , 54, 55

fricción , 21

H

Hormigón (es) , 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75

humedad , 56, 57, 59

M

material , 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 35, 50, 51, 54, 55, 58, 63, 64, 69, 70, 72, 73, 74

modificador , 64

mortero , 25, 32, 63

N

norma , 19, 34, 35, 36, 38, 40, 41, 43, 44, 46, 47, 49

P

permeabilidad , 18, 23, 57, 58, 69, 74

porosidad , 23

prefabricados , 53, 66, 68, 71

Q

química , 56

R

refuerzo, 15, 22, 26, 28, 30, 51, 62, 66, 71

reología, 20, 21

resistencia, 15, 18, 20, 22, 23, 27, 30, 32, 34, 37, 40, 44, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 75

retracción, 18, 22, 54, 56, 57, 58, 59

rotura, 54, 55, 69

S

saturación, 57, 63

secado, 18, 32, 57, 58, 59

segregación, 15, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 40, 44, 47, 49, 51, 62, 71, 72, 74

superplastificante (s), 18, 22, 23, 63, 64, 72

T

tensión (es), 20, 21, 54, 59, 62, 63

térmica, 56

transporte, 15, 20, 23, 50, 51, 73

U

ultrasonido, 69

V

vaciado, 19, 50, 61

vertido, 35, 68

vibración, 18, 20, 49, 71, 74

viga, 19, 62, 68, 69

viscosidad, 20, 21, 22, 23, 49, 63, 64, 72

ÍNDICE DE AUTORES

A

Agulló, L.,	67
Aïtcin, P.	57
Ambroise, J.	64
Assad J.	21

B

Bartos, P.J.M.	27, 29, 31, 64, 65
Billberg, P.,	63, 65
Borralleras, P.,	68
Brameshuber, W.,	27
Bravo, M.,	52
Brouwers, H.J.H.,	63
Bui, V.K	63

C

Carbonari, G.,	58, 63
Chai, H.W.,	64
Choulli, I.,	69
Corres, P. H.,	58, 59, 60

D

Daczko, J.A.,	32
Daglia	21
De La Cruz M, C.J	19, 20, 25, 30, 32, 33, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 48, 59, 62, 63, 67, 69, 72
De Larrard, F.	21
Domone, P.L.. y	64

F

Fernández, D.	68
Ferraris, C.F.	21

G

Gettu, R.,	22, 23, 26, 27, 29, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 67
Gomes, P.C.C	23, 26, 28, 29, 32, 51, 63, 64
González A, D.,	58
Goto, K.,	23
Grauers, M.,	27, 29, 64, 65
Groth, P.	66

H

Hamada, D.,	23
Hayakawa, M.,	28, 65
Hodgson, D.,	71

I

Khayat, K. H.,	21
Kim, J.-K.,	64

L

Lana, L.	68
----------	----

M

Masó, D.,	67
Miura, Y,	23
Mora, J;	58

N

Nemegeer, D.,	66
Nishizaki, T.,	65
Neville, A.M.,	22, 56

O

Okamura, H.,	18, 23, 63, 65
Olivares	18
Ortíz, J.,	23
Ouchi, M.,	51, 63, 65, 66
Ozawa, K.,	28, 31, 47, 66

P

Pacios, A.,	64
Pavón, A.,	68
Péra, J.,	64
Petersson, Ö.,	23, 30, 31, 65

R

Rodríguez D, J	28
Rols, S.,	32
Roncero, J.,	58, 59
Rooney, M.J.,	31

S

Sakata, N	29, 32
Seto, K.,	65
Sedran, T.,	63, 64
Skarendahl, Å.	23, 30, 31, 65, 66
Su, N.,	64
Subramanian, S	23

T

Tanaka, M.,	65
Tobori, N.,	23

U

Uebachs, S.,	27
--------------	----

W

Weith, F.,	66
------------	----

Y

Yurugi, M.,	30
-------------	----

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El *hormigón autocompactable* (HAC) es extremadamente fluido y estable, que se compacta por el efecto de la gravedad, requiriendo muy poca o ninguna compactación externa. Dicho material fluye hasta nivelarse sin presentar segregación de sus componentes, ni bloqueo del material al pasar por el refuerzo.

La necesidad de buscar mayor durabilidad en las estructuras, un material más denso y compacto, con mayor resistencia al ataque del medio ambiente; y a su vez, que demande un menor costo ante el mantenimiento y protección, ha promovido el desarrollo de los HACs.

El *Hormigón Autocompactable de Resistencia Media* (HAC-RM) incrementa el rendimiento y efectividad en la fase de producción, facilita el transporte del hormigón fresco, optimiza el llenado de la formaleta, permite eliminar el ruido y agiliza los procesos de sistematización en la prefabricación, entre otros.

En la actualidad, ya se ha implementado el uso del HAC en el mundo, obteniendo resultados convincentes para el empleo del mismo, evidenciando que es una alternativa que genera seguridad, eficiencia, rapidez y mejor ambiente de trabajo, obteniendo economía significativa de distintas formas dentro del proceso constructivo; lo que facilita la implementación de los HAC-RMs.

El HAC, entre los que se incluye el HAC-RM, difiere del HC y el hormigón fluido, principalmente por sus propiedades en estado fresco, las cuales son determinadas en laboratorio y en obra por medio de una serie de ensayos diseñados para tales fines, cuyos resultados permiten caracterizar cuantitativamente y cualitativamente al HAC.

1.2 OBJETIVOS GENERALES

- Dar a conocer las metodologías de procedimiento que se aplican en el mundo, para el diseño y fabricación de HACs.
- Presentar de manera simplificada una propuesta de ensayos de caracterización de los hormigones autocompactables de resistencia media (HAC-RMs).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contribuir a la formación académica de los futuros ingenieros civiles en la implementación de los nuevos materiales en la construcción.
- Facilitar la modernización del Laboratorio de Estructuras con nuevos equipos de medición, en vista de la necesidad de actualizar los espacios de formación, con las últimas tendencias experimentales, ya implementadas en el mundo.
- Desarrollar el HAC-RM de manera industrializada, tanto local, regional como nacional.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

El objetivo es desarrollar una guía sobre los HAC-RMs, para comenzar a difundir en nuestro medio, los nuevos materiales en la construcción.

Fundamentalmente se divide en cuatro partes:

En la parte uno se presenta el estado del arte de los HACs, brindando de forma general la definición y conceptos necesarios para la comprensión del nuevo material y facilitando una diferenciación con respecto al HC.

La segunda parte está compuesta de los capítulos 3 y 4, cubre la descripción y métodos para la realización de los ensayos de caracterización y medición de la autocompactabilidad, además de las características de los equipos para la ejecución de los mismos.

La tercera parte la compone el Capítulo 5, permitiendo conocer los ensayos realizados para los controles en obra de los HACs.

La cuarta parte compuesta de los capítulos 6 y 7, cubre las características de los HACs en estado endurecido y las aplicaciones realizadas hasta la actualidad, junto con las metodologías para las dosificaciones implementadas en ellas.

El texto contiene las referencias de los ensayos con respecto a las normas de otros países, las cuales ya son aceptadas e implementadas en ellos; para la realización de las aplicaciones y avances en la tecnología del nuevo hormigón.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, se describe el estado del arte de los HACs, el cual será parte fundamental para comenzar a introducirse en el campo de este nuevo tipo de hormigón.

2.1 DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE (HAC)

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción a nivel mundial y derivando de las necesidades de aplicación, se ha pasado por un proceso de evolución, donde, desde la tercera década del siglo XX, el uso de aditivos como los plastificantes empezaron a reducir el contenido de agua en un 10% aproximadamente.

Ya en los años setenta (70s), el empleo de los aditivos superplastificantes (sp), permitieron reducir el agua entre un 20% y 25%, originando hormigones fluidos y los de alta resistencia (Olivares et al., 2003).

Es hasta entonces en el año de 1986 y a través del Profesor Okamura de la Universidad de Tokio (Japón) que es introducido el concepto de HAC como aquel hormigón que satisface la colocación del mismo fluyendo libremente por cada rincón del encofrado sin el uso de vibración, con efectos derivados de la generación de calor, endurecimiento o retracción por secado mínimos, y con una permeabilidad frente a la penetración del oxígeno, cloruros y agua casi nula (Okamura et al., 2000).

En la Fotografía 2.1, se puede observar el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams al HC de acuerdo con la norma UNE.83.313.

En la Fotografía 2.2, se aprecia un Banco de Escofet, realizado con HAC-RMs en el Laboratorio de Estructuras LABEST.

En la Fotografía 2.3, se observa el vaciado de una viga con HAC. También se resalta la fluidez en estado fresco del mismo.



Fotografía. 2.1 Prueba de asentamiento al HC (De La Cruz, 2006)



Fotografía. 2.2 Banco de Escofet LABEST



Fotografía. 2.3 Llenado de los moldes para las vigas de HAC-RM (prueba) sin armadura. (De La Cruz, 2006)

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE (HAC)

La caracterización en estado fresco más comúnmente utilizada para el HC, está basada fundamentalmente en la medida del asentamiento con el cono de Abrams. Algunos investigadores y otros usuarios para evaluar la autocompactabilidad del material, han tenido que desarrollar ensayos específicos o modificar ensayos convencionales.

En general, la fluidez es una de las características más importantes del HAC en estado fresco, y se debe tener en cuenta que la estabilidad o resistencia a la segregación está gobernada por la viscosidad y cohesión de la mezcla que le transfieren a la composición del hormigón la homogeneidad necesaria durante el transporte, colocación y puesta en obra. Y es así como estas propiedades se ven afectadas en el hormigón, por factores tales, como los componentes, el tipo de mezcla, colocación (bombeo) y tipo de vibración.

La evaluación del flujo del hormigón es una de las herramientas más útiles para su caracterización en estado fresco. Determinando la reología del material en la producción de hormigones, se puede determinar la plasticidad y la forma de fluir dentro de los encofrados.

Para tener una idea de la diferencia entre un hormigón vibrado (H.V), un hormigón fluido (H.F) y HAC, se presenta la siguiente Tabla 2.1, donde se resumen las características de empleo, consistencia, vibrado, ensayos e influencia de la puesta en obra sobre la calidad de estos hormigones.

Tabla 2.1 Características principales de los hormigones vibrados (H.V), fluidos (H.F) y autocompactables (HAC). (De La Cruz, 2006)

CARACTERÍSTICA	H. V	H.F	HAC
Empleo	Hormigón Convencional (HC). Uso generalizado	Muy utilizado, Años 70s y 80s	Década de los 90s
Vibrado	Intenso	Ligero	No es necesario
Consistencia y método de ensayo	Plástica. En Cono de Abrams	Fluida o superior. Cono de Abrams (EHE, permite superar los 15 cm con aditivos sp)	Caracterización para HACs. Capacidad de relleno. Resistencia a la segregación. Capacidad de paso.
Ensayos Previos	Mecánicos	Mecánicos y reológicos sencillos (segregación y exudación)	Mecánicos y reológicos, fluidez, segregación, exudación, capacidad de relleno y bloqueo
Influencia de la puesta en obra en la calidad	Alta	Media	Baja

Otro tipo de características que posee un HAC son las de tipo reológicas, de las cuales se realiza una breve descripción a continuación, de algunos modelos sugeridos para su estudio.

2.2.1 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE UN HAC

Las propiedades reológicas (tensión umbral y viscosidad) gobiernan el equilibrio entre fluidez y segregación, y es a través de los científicos Marcus Reiner y Eugene Cook Bingham en el año de 1929, que se dan a conocer estudios de los principios físicos que regulan el

movimiento de los fluidos, que además indican la conveniencia del estudio de la reología como la descripción de un conjunto de comportamientos más que la descripción de un conjunto de materiales, con la concebida interrelación entre la fuerza, tiempo y deformación.

El objetivo de un HAC es que tenga baja tensión de inicio de flujo sin problemas de segregación, pues es una de las características más importantes que debe cumplir en estado fresco y que lo diferencia de manera categórica de otro tipo de hormigón. La determinación de estas propiedades no dependen únicamente de la relación agua/cemento (A/C) y de las mezclas químicas y adiciones minerales usadas, sino también de la geometría de los accesorios de los ensayos, espacio y capacidad de fricción de las superficies de contacto. (Daglia et al., 2004).

Existen varios modelos reológicos que relacionan la energía para hacer fluir el hormigón, con la tensión umbral y la viscosidad; pues un solo modelo no es suficiente cuando varían la composición y la superficie de flujo, ya que varía la capacidad de fricción.

Los modelos más utilizados para la caracterización de la pasta de cemento en estado fresco y que, por ende, permiten calificar el flujo para un HAC (Assad y Khayat, 2004) son: Modelo de Bingham, Modelo de Herchel – Bulkley, Modelo de Casson, Modelo Modificado de Bingham, Modelo de Sisko, Modelo de William; de los cuales, cuatro tienen en general, la consideración de identificar los esfuerzos cortantes, de cedencia y la viscosidad plástica del fluido, y los dos últimos son utilizados para determinar teóricamente la relación de cortante de viscosidad infinita y la relación teórica de cortante de viscosidad cero.

Como puede apreciarse algunos modelos son muy parecidos, pero se debe tener en cuenta que la medida de las propiedades reológicas para el hormigón se ven afectadas, además de las ya mencionadas, por la capacidad de fricción y el modelo reológico empleado. Situación que influye en los resultados y, de ahí que sea necesario profundizar más en este estudio, para poder estandarizar un método de medida de las propiedades reológicas del hormigón.

Una investigación realizada en París por los investigadores Ferraris y De Larrard, en 1998, con aproximadamente 800 mezclas de morteros y hormigones, usando el reómetro BTHREOM, llegó a la conclusión de que el mejor modelo para el estudio de la reología es el de Hersche-Bulkley superando el modelo del comportamiento reológico de Bingham.

La fluidez se convierte así, en una de las características más importantes del hormigón en estado fresco, y que además permite diferenciar un hormigón convencional (HC) de un HAC.

2.2.2 COMPOSICIÓN DE UN HAC

En la fabricación de un hormigón, se utilizan materiales tales como el cemento y los áridos, que no tienen que cumplir requisitos específicos adicionales a los que se exigen para hormigones convencionales de buena calidad (Gettu et al., 2003).

Esta situación se utiliza como punto de partida para la fabricación de hormigones autocompactables (HACs), ya que la mayoría de sus componentes son los que se utilizan para la fabricación de hormigones convencionales. Un componente imprescindible en la fabricación de los HACs, es el aditivo superplastificante (sp), y se puede escoger de entre los que estén disponibles en el mercado. Los componentes a considerar en la fabricación de un HAC son, el agua, cemento, áridos, material fino (*Filler* ó humo de sílice), superplastificantes (sp) y agentes modificadores de la viscosidad (AMVs).

Agua

El agua utilizada en el mezclado y curado del hormigón (HC o HAC) en obra no debe contener ningún tipo de ingrediente dañino, en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección del refuerzo frente a la corrosión (UNE 7236:71). En el caso de existir dudas de la procedencia del agua deberá examinarse, realizando toma de muestras.

Cemento

No existen, en principio, requisitos específicos en cuanto el tipo de cemento a utilizar en el HAC. En general, se utilizan los cementos Pórtland tipo I (con evoluciones de resistencia normal o rápida, dependiendo de las necesidades estructurales impuestas en cada aplicación); siendo los criterios de selección en cuanto a su tipo similares a los empleados para un hormigón convencional (HC) (bajo calor de hidratación, resistente a los sulfatos entre otros) (Neville, 1988).

Finos tipo Filler

Son distintos los tipos de finos *Filler* utilizados en los HAC con el objetivo principal de aportar la apropiada cohesión a la mezcla, necesaria para evitar la segregación de los agregados gruesos y la exudación de agua durante su colocación. Además de ayudar a conseguir la cohesión necesaria en el HAC, los finos *Filler* permiten reducir el contenido de cemento en la pasta, evitando los problemas relacionados con el exceso de calor de hidratación y retracción.

También pueden actuar en la masa de hormigón; aumentando la capacidad de retener agua de la mezcla debido a su elevada superficie específica, y esto ocurre cuando se incorporan finos como bentonitas, humo de sílice condensado y materiales fibrosos como el asbesto molido. Entre los finos que causan este efecto destacan las cenizas volantes, cal hidratada,

caolín, diatomeas y otros materiales puzolánicos calcinados, así como polvo de rocas. Pueden, además, aumentar la resistencia disminuyendo la permeabilidad y porosidad (Gettu et al., 2003). Los finos tipo *Filler* varía entre diferentes países con el tamaño máximo de las partículas, siendo 80, 90 ó 125 micras (AFGC, 2000; Skarendahl y Petersson, 2000; EFNARC, 2002). Los más empleados son el polvo calizo, el polvo de cuarzo, el humo de sílice y las cenizas volantes.

Superplastificantes

Se han desarrollado nuevos superplastificantes (sp) que, además de proporcionar una elevada capacidad de dispersión con un mínimo retraso de fraguado, aportan suficiente resistencia a la segregación haciéndolos adecuados para su uso en HAC (Miura et al., 1998; Hamada et al., 2002). Para facilitar y posibilitar el mezclado del HAC en la obra utilizando un camión, Goto et al. (1996) han propuesto el uso de sp en polvo envasado en bolsas solubles en soluciones alcalinas. Este método de incorporación del sp será útil cuando las condiciones de transporte (condiciones ambientales, tráfico, distancia, otros) puedan provocar la pérdida de autocompactabilidad (Gettu et al., 2003).

Agentes modificadores de viscosidad (AMVs)

Los AMVs son aditivos químicos que mejoran sustancialmente la cohesión del hormigón y, por tanto, limitan la pérdida de agua por exudación y minimizan la tendencia a la segregación del hormigón. Desde el punto de vista reológico, estos aditivos inducen en el hormigón una elevada estabilidad (es decir, mínima tendencia a la segregación y exudación).

Su empleo no siempre es imprescindible para obtener un HAC, únicamente en el caso en que los finos por si solos no sean capaces de aportar suficiente cohesión a la mezcla (AFGC, 2000).

En particular los AMVs, junto con aditivos superplastificantes de última generación, permiten obtener hormigones estables a pesar de tener una gran fluidez con gran facilidad de mezclado, bombeo y colocación. Su empleo puede contribuir a homogeneizar la calidad de estos hormigones y facilitar su producción (Okamura et al., 2000; Subramanian y Chattopadhyay, 2002). Se debe tener en cuenta que elevados contenidos de cemento, así como elevadas temperaturas, pueden afectar negativamente a la respuesta de los AMVs; por otro lado, la permeabilidad a cloruros parece ser menor en los HACs (Gettu et al., 2003).

Agregados

Para los agregados, el tamaño máximo no sobrepasa los 20 mm (Gomes, 2002), siendo usuales tamaños máximos comprendidos entre 10 y 16 mm. Además, su contenido es menor con relación a los hormigones normales. Se debe lograr el menor riesgo de bloqueo del flujo; de ahí que su selección dependa de la abertura de la armadura (Ortíz, 2005).

CAPÍTULO 3

ENSAYOS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE

La implementación de un hormigón, ha implicado la necesidad de conocer sus propiedades y comportamiento mediante diferentes ensayos de laboratorio y campo, los cuales facilitan y garantizan el buen uso del mismo para brindar seguridad y economía. En este capítulo se describen los ensayos necesarios para reconocer las propiedades de los HACs y son los mismos ensayos que se requieren para un HAC-RM.

Vale la pena resaltar que un HAC de altas prestaciones y un HAC-RM, en estado fresco no se distinguen; pues las características de fluidez son las mismas.

3.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL HAC EN ESTADO FRESCO

Algunos métodos de caracterización del HAC en estado fresco, han sido estudiados por investigadores y usuarios del HAC, que han desarrollado ensayos específicos o han modificado ensayos convencionales. Entre los más utilizados se destacan: Extensión de flujo ó Ecurrimiento, Embudo-V, Caja en U, Caja en L, Extensión con Anillo o Anillo Japonés y Orimet.

En las fotografías 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, se aprecian algunos de los ensayos en estado fresco de HAC, como lo son: el de Extensión o Ecurrimiento, Embudo V, Extensión con Anillo de Barras y la Caja en L.

3.2 EXTENSIÓN DE FLUJO O ESCURRIMIENTO

El ensayo de Extensión de Flujo, Esgurrimiento, o Slump Flow en inglés, es un método estandarizado en el Japón (JSCE-F503, 1990), también en los Estados Unidos (ASTM C 1611-05). Es el más simple y el más utilizado en la caracterización de un HAC, debido a la sencillez del equipo que se precisa. El objetivo de este ensayo es evaluar la habilidad o facilidad de fluir del hormigón.



Fotografía. 3.1 Ensayo de Esgurrimiento para el HAC-RM. (LABEST)



Fotografía. 3.2 Ensayo del Embudo V para la caracterización del HAC-RM en estado fresco. (De La Cruz, 2006)



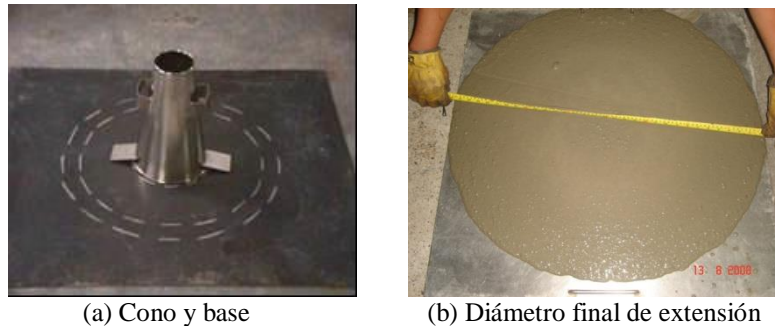
Fotografía. 3.3 Ensayo del Extensión con anillo para la caracterización del HAC-RM en estado fresco. (LABEST)



Fotografía. 3.4 Ensayo del Caja en L para la caracterización del HAC-RM en estado fresco. (De La Cruz, 2006)

Se puede también valorar cualitativamente, en términos visuales, la presencia de segregación, que se manifestaría por la presencia de una aureola de pasta o mortero alrededor del perímetro de la extensión del flujo y/o la presencia de áridos gruesos acumulados irregularmente, en el centro de la muestra del HAC fresco. A diferencia con el ensayo de asentamiento para HC, este ensayo difiere en que la muestra de hormigón se coloca sin ningún tipo de compactación. La altura del asentamiento no constituye una medida representativa, siendo el diámetro final de extensión (D_f) la medida fundamental que se obtiene como resultado (ver Fotografía 3.5).

Como medida adicional, también suele tomarse el tiempo que tarda la muestra desde el inicio del levantamiento del cono hasta alcanzar un diámetro de 500 mm (T_{50}), y más ocasionalmente, el tiempo final de extensión de flujo (T_f), hasta que la muestra deja de moverse.



Fotografía. 3.5 Ensayo de Extensión de Flujo ó Esgurrimiento. (LABEST)

Dependiendo de las condiciones de aplicación con el HAC, se pueden establecer parámetros de resultados de la prueba; y entre los valores más comunes se espera que el D_f esté entre 65 y 75 cm, con T_{50} de 2 a 8 s (Gettu, 2005).

3.3 ENSAYO DE LA CAJA EN L

La Caja en L, denominada en inglés como L-Box, consta de un depósito vertical que conecta con un canal horizontal a través de una abertura en la que se colocan barras de refuerzo (ver Figura 3.1, según Gomes et al., 2002).

El ensayo consiste en llenar el depósito y dejar fluir el hormigón hacia el canal a través del refuerzo. Se determinan el tiempo que tarda el hormigón en llegar a una distancia de 200 mm (T_{20}) y de 400 mm (T_{40}), y las alturas h_1 y h_2 que se alcanzan en ambos extremos de la parte horizontal, con la mezcla ya en reposo.

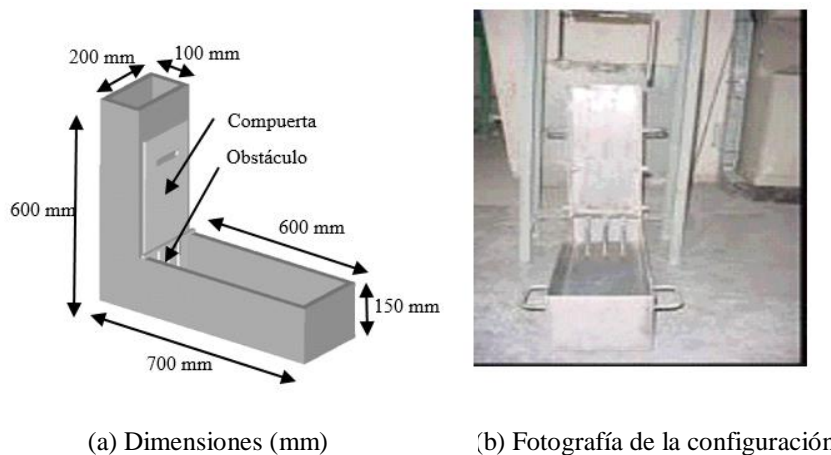


Figura 3.1 Caja en L. (De La Cruz, 2006).

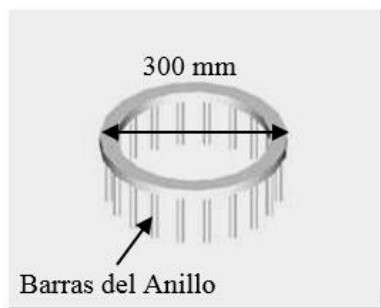
La prueba permite determinar valores que cuantifican el bloqueo y estimar la fluidez del hormigón tras pasar por los obstáculos. La razón h_2/h_1 se define como el coeficiente de bloqueo (CB), y se esperan valores mayores e iguales a 0,8 (Bartos y Grauers, 1999). También permite evaluar cualitativamente la resistencia a la segregación mediante la observación e inspección visual. En cuanto a las características del obstáculo, en general, se acepta que el tipo de barras y los espacios o separación entre ellas varíen dependiendo del tamaño máximo del agregado y de las condiciones reales de aplicación del hormigón.

3.4 ENSAYO DEL ANILLO DE BARRAS O EXTENSIÓN CON ANILLO (ASTM C 1621 M-08)

El Anillo de Barras, denominado a menudo Anillo Japonés, Extensión con Anillo, o J-Ring en inglés (Figura 3.2), es un aparato que se utiliza en combinación con otros ensayos, como son el de Extensión de Flujo, Orimet (que se describe más adelante) o Embudo-V (Figura 3.4).

El procedimiento consiste en determinar la fluidez y la capacidad de paso, pero dejando después fluir el hormigón horizontalmente sobre una superficie plana de manera que tenga que atravesar las barras del anillo para extenderse. Una vez cesa el flujo, se miden las alturas de hormigón justo dentro y fuera del anillo para evaluar el bloqueo (coeficiente de bloqueo, CB).

Ocasionalmente, también puede medirse el diámetro final de extensión, como la media de dos diámetros perpendiculares. En general se recomienda una separación de unas tres veces el tamaño máximo del agregado, y la especificación alemana (Bramshuber y Uebachs, 2002) reduce este valor a aproximadamente 2,5 veces. El CB se espera mayor o igual a 0,8 (Gettu et al., 2003), con una diferencia entre el D_f del ensayo de Escurrimiento y el D_f del ensayo del Anillo de más o menos 5 cm.



(a) Dimensiones



(b) Fotografía del Ensayo de Extensión con Anillo.

Figura 3.2 Anillo de barras. (LABEST)

3.5 ENSAYO DE LA CAJA EN U

Este ensayo, denominado en inglés como U-Box, fue propuesto por Hayakawa et al., 1993. Se diseñó para evaluar la habilidad de paso y la facilidad para el relleno. La Caja en U consiste en un recipiente dividido en dos zonas separadas mediante una compuerta. La configuración según la recomendación japonesa es la que se presenta en la Figura 3.3. Hay una puerta deslizante de separación en el fondo, y en la zona de paso se colocan varias barras de refuerzo.

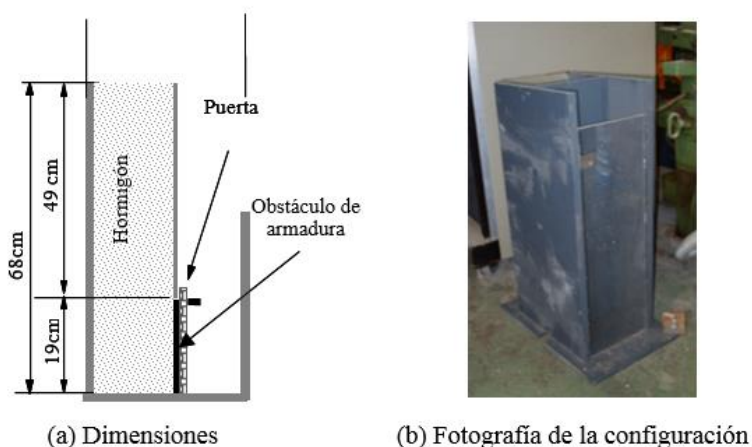


Figura 3.3 Caja en U (JSCE, 1998)

El procedimiento consiste en llenar uno de los compartimentos y seguidamente abrir la compuerta, dejando al hormigón fluir, pasando al otro compartimiento a través del obstáculo constituido por las varillas de acero, que simulan la armadura. Se mide la altura (H) que alcanza el hormigón en el compartimiento que inicialmente estaba vacío, desde la base de la vasija hasta la superficie libre del hormigón. Cuando la altura de llenado es mayor de 30cm, se considera que el hormigón tiene buena habilidad de paso y facilidad de relleno (Gomes, 2002).

3.6 ENSAYO DEL EMBUDO-V

Este ensayo, denominado V-Funnel en inglés, fue desarrollado por Ozawa en la Universidad de Tokio. El ensayo tiene como objetivo evaluar la habilidad de fluir del hormigón en áreas restringidas en dirección vertical y bajo su propio peso, cualificando la tendencia a la segregación y al bloqueo, mediante observación de la variación de la velocidad de flujo. El Embudo-V, normalmente de acero, tiene forma de V con una apertura en el fondo (ver Figura 3.4), donde se coloca una compuerta de rápida apertura, para interferir lo menos posible en el momento de la descarga.

El ensayo consiste en llenar el embudo con la muestra representativa de HAC de forma continua y sin compactación alguna; luego se abre la compuerta y en ese instante se comienza a medir el tiempo que tarda el volumen total de hormigón en fluir a través de la apertura. En algunos casos (JSCE, 1998; EFNARC, 2002) se ha propuesto medir también el tiempo de flujo dejando reposar la muestra en el embudo durante cinco (5) minutos para valorar la tendencia a la segregación.

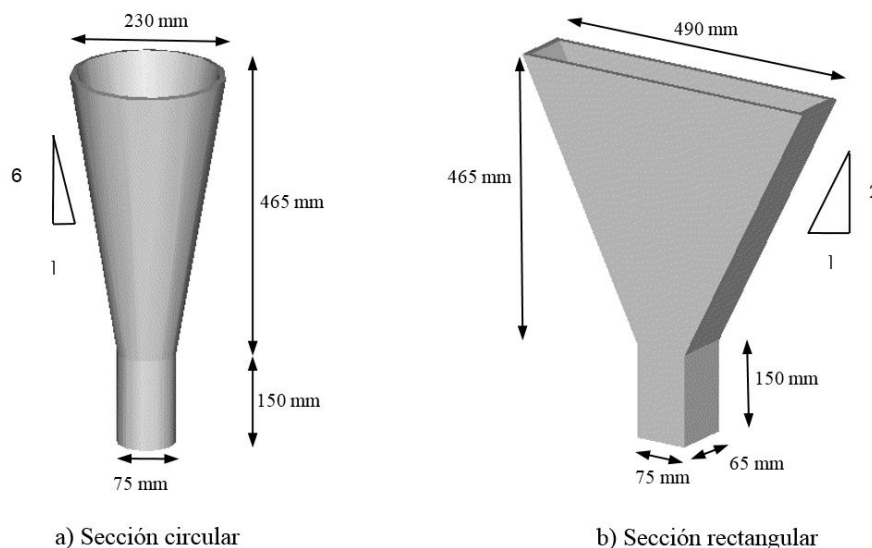


Figura 3.4 Embudo-V (JSCE, 1998).

Algunos tiempos de flujo están de 10 a 15 s (Sakata et al., 1996) y de 5 a 12 s (Gettu et al., 2003).

3.7 ENSAYO ORIMET

Este ensayo fue desarrollado por Bartos en 1978 para la caracterización de hormigones de alta trabajabilidad y, recientemente, ha sido aplicado a hormigones autocompactables. Se diseñó para evaluar la habilidad o facilidad del hormigón para fluir bajo la acción de su propio peso.

El aparato básico consiste en un tubo cilíndrico con diámetro interno de 120 mm y altura de 600 mm, con un pequeño embudo en el fondo que tiene una salida con diámetro de 80 mm (Figura 3.5). El procedimiento es similar al del Embudo-V. Una vez preparado el aparato se llena el tubo con la muestra de hormigón, de forma continua y sin compactación. Luego se abre la compuerta dejando fluir a través del embudo del fondo y se mide el tiempo que tarda en salir la muestra completa. Según Bartos y Grauers (1999), y Sonebi y Bartos (2000), el tiempo de flujo es menor e igual a tres (3) s, y está asociado con la habilidad de relleno. También puede medirse el diámetro final (Gomes, 2002).

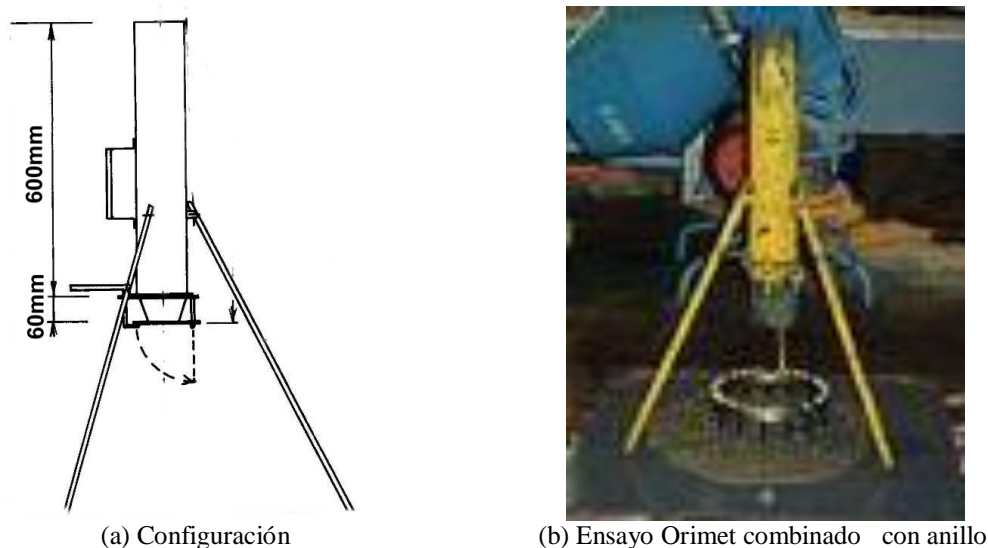


Figura 3.5 Aparato del ensayo Orimet. (De La Cruz, 2006).

3.8 OTROS ENSAYOS

A continuación, se presentan otros ensayos que sirven para medir la segregación del HAC; y que además permiten visualizar su comportamiento, de tal manera que se puedan establecer criterios sobre las características que lo definen como autocompactable. Se debe tener en cuenta que 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.

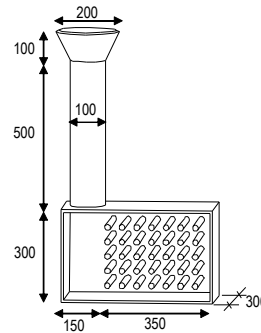
3.8.1 CAJA DE RELLENO

Desarrollado por Yurugi et al., 1995, denominado también como ensayo Kajima o fill box test en inglés, para evaluar la habilidad de rellenar un espacio en presencia de obstáculos (Skarendahl y Petersson, 2000).

El ensayo consiste en introducir una muestra de hormigón por la zona libre de obstáculos (sin refuerzo) del recipiente. Se deja de verter el hormigón cuando el nivel del mismo alcanza la barra superior de la primera fila (Figura 3.6). Una vez se ha detenido el flujo en el interior del recipiente, se determinan las alturas máxima y mínima que alcanza el hormigón.



(a) Fotografía de la configuración



(b) Dimensiones

Figura 3.6 Aparato para medir habilidad de relleno (EFNARC, 2002).

3.8.2 ENSAYO DEL TAMIZ VERTICAL

Este ensayo, denominado como Vertical Mesh-Pass Test en inglés, tiene por objeto evaluar la habilidad del hormigón para rellenar un molde y pasar a través de una rejilla bajo una ligera presión (Ozawa et al., 1990; Skarendahl y Petersson, 2000). Se utiliza un recipiente prismático, con una base de 300×300 mm, y con una capacidad de 30 litros de muestra.

La base está formada por una cuadrícula de barras de 16 mm de diámetro, con una distancia de 50 mm entre barras adyacentes. Se llena el recipiente previamente colocado sobre una superficie plana, para evitar que salga la muestra. Cuando está lleno, se levanta el recipiente y el hormigón empieza a fluir. Se aplica una presión de 0.1 Kg/cm² sobre la superficie de la muestra.

3.8.3 ENSAYO DE LA COLUMNA

Una de las versiones del ensayo de la columna ha sido desarrollada por Rooney y Bartos (2001) donde puertas situadas en las paredes de una columna (Fotografía 3.6) con dimensiones internas de 520 × 150 × 100 mm, permite extraer muestras de hormigón de las partes superior e inferior (Rooney, 2002). Se coloca el hormigón fresco en la columna y se aplican 20 sacudidas en la mesa de sacudidas. Después se extraen las dos (2) muestras, se lavan sobre un tamiz de 5 mm y se comparan los pesos de los áridos gruesos para evaluar la segregación.



Fotografía. 3.6 Aparato del ensayo de la columna de consolidación (Rooney, 2002).

El índice de estabilidad de una mezcla, se define como el grado de segregación observado en la superficie del hormigón en la propia cuba de la amasadora, o en el cubilote después de la descarga del hormigón, o en el hormigón resultante del ensayo de Extensión de Flujo (Daczko, 2002). Dicho índice puede tener valores de 0 a 3, en incrementos de 0,5.

Un HAC debería tener un índice igual o menor que uno (1) para considerar que tiene buena resistencia a la segregación. Aunque se ha obtenido una buena correlación entre el valor del índice de estabilidad visual y los resultados del ensayo de columna, la determinación del índice no es objetiva.

3.8.4 TUBO-U

El ensayo del Tubo-U ha sido desarrollado en el LTE de la UPC (Gomes et al., 2001; 2002), para evaluar cuantitativamente la estabilidad o resistencia a la segregación.

Se diseñó como una extensión del Ensayo U de Sakata et al., 1997 y el ensayo de Columna de Rols et al., 1999.

En este ensayo se utiliza un tubo en forma de U de 160 mm de diámetro (Fotografía 3.7). Se rellena el tubo con hormigón por uno de sus bocas hasta que quede enrasada su otra boca sin compactación; luego se deja fraguar el hormigón durante unas horas (normalmente, entre 3 y 6).



Fotografía 3.7 Ensayo Tubo-U. (De La Cruz, 2006).

Se abre el tubo, se cortan discos de 10 cm de espesor en distintas secciones del tubo y se determina el contenido de agregado grueso presente en cada sección por lavado, tamizado del mortero (hasta las fracciones de 5 mm) y secado. La relación de segregación (RS), definida por el cociente entre el contenido de agregado grueso evaluado en el hormigón y el contenido teórico según la dosificación, debe ser igual o superior a 0,9 para un HAC que presente buena estabilidad (Gomes, 2002).

CAPÍTULO 4

MEDIDA DE LA AUTOCOMPACTABILIDAD DE UN HORMIGÓN

El conocer las propiedades de los HACs, también implica poseer normatividades y procedimientos determinados para realizar las caracterizaciones, y en vista de ello, en este capítulo son descritos los procedimientos y normatividades para realizar los ensayos de laboratorio a los HACs. En las fotografías 4.1, 4.2 y 4.3 se aprecian algunos de los ensayos utilizados para evaluar la autocompactabilidad del hormigón.



Fotografía. 4.1 Ensayo de Extensión de Flujo ó Ecurrimiento.



Fotografía. 4.2 Anillo de barras y Ensayo de Extensión con Anillo.



Fotografía. 4.3 Caja en U (De La Cruz, 2006).

4.1 MÉTODO DE LA EXTENSIÓN DE FLUJO

4.1.1 OBJETO

Tiene por objeto describir el método de ensayo a utilizar para valorar la autocompactabilidad del hormigón considerando fundamentalmente los aspectos relacionados con la capacidad de fluir bajo su propio peso y la resistencia a la segregación o estabilidad, mediante un uso particular del Cono de Abrams.

4.1.2 CAMPO DE APLICACIÓN

De aplicación a Hormigones Autocompactables con tamaño máximo del agregado menor o igual que 20 mm, determinado éste según UNE 83-100. El método puede ser utilizado tanto para ensayos de caracterización en laboratorio como para el control del hormigón en obra.

4.1.3 NORMAS PARA CONSULTA

ASTM C1611 Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.

UNE 83-100 – *Áridos para hormigones. Clasificación en fracciones granulométricas para su empleo en hormigones normales.*

UNE 83-300 – *Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco.*

UNE 83-313 – *Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams.*

4.1.4 PRINCIPIO DEL MÉTODO

El método se fundamenta en la medida de:

- a) El diámetro final que alcanza una muestra de hormigón fresco cuando se deja la masa libre y sin perturbaciones exteriores, al levantar el Cono de Abrams, y
- b) El tiempo que transcurre hasta que la masa de hormigón fresco alcanza un diámetro de 500 mm.

4.1.5 APARATOS

4.1.5.1 Molde

El instrumento básico para este ensayo es el cono de Abrams descrito en la norma UNE 83-313, que tiene diámetros inferior y superior de 200 y 100 mm respectivamente, y 300 mm de altura, con soportes para que pueda ser sujetado contra el suelo con los pies del operario o algún otro sistema útil a tal efecto, tal como se ilustra en la Fotografía 4.4.



(a) cono y base



(b) vertido del hormigón

Fotografía 4.4 Ensayo de Extensión de Flujo. (De La Cruz, 2006).

4.1.5.2 Base

El cono se dispone centrado sobre una base plana metálica (Ver Fotografía 4.4 y Figura 4.1), suficientemente rígida, con un área mínima de 800×800 mm. Sobre su superficie se encuentran claramente marcadas dos circunferencias concéntricas de 200 y 500 mm de diámetro.

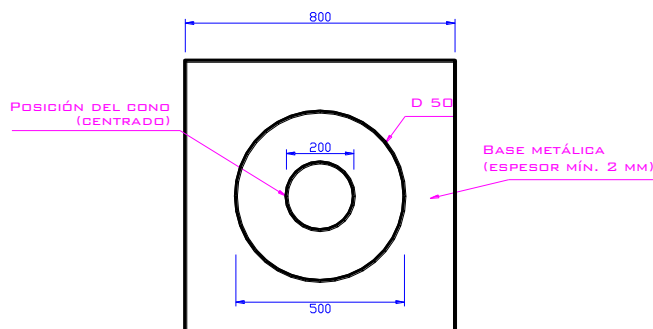


Figura 4.1 Base para el ensayo de Extensión de Flujo. (De La Cruz, 2006).

4.1.5.3 Material Auxiliar

Embudo para verter el hormigón en el cono, cronómetro (con una precisión de $1/10$ s) y cinta métrica.

4.1.6 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizará conforme lo especificado en la norma UNE 83-300.

4.1.7 PROCEDIMIENTO

Comprobar que la superficie plana o base está firme y perfectamente horizontal. Humedecerla con un paño húmedo, teniendo especial cuidado en no dejar agua libre. Humedecer de igual manera el interior del cono y el embudo, y colocar el cono sobre el círculo de diámetro de 200 mm.

Sujetar firmemente el molde (mediante los soportes de la base) y rellenar el cono vertiendo el hormigón, con ayuda del embudo, de forma continua y sin ningún tipo de compactación. Nivelar el hormigón de la superficie con el borde superior del cono.

Antes de que transcurra un minuto se levanta verticalmente el cono, de forma cuidadosa y continua (2 a 3 segundos), dejando que el hormigón se extienda sobre la base.

4.1.8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Los resultados se obtendrán midiendo los siguientes parámetros:

- a) **T₅₀**: tiempo, expresado en segundos, que tarda el hormigón en alcanzar el círculo de 500 mm de diámetro, contado desde el inicio del levantamiento del cono. Se expresará con una precisión de ± 1 s.
- b) **D_F**: diámetro final de la extensión de flujo, una vez la muestra ha dejado de fluir, determinado por la media aritmética de dos diámetros perpendiculares. El resultado se expresará en milímetros con una precisión de ± 5 mm.

Si los dos diámetros perpendiculares difieren más de 5 cm se deberá repetir el ensayo con otra porción de muestra.

Además se indicará expresamente como observaciones si se aprecia la segregación de los áridos gruesos, manifestada por una mayor concentración de los mismos en la zona central, así como la presencia de signos de segregación o exudación de la pasta en la zona periférica.

4.1.9 INFORME DE LOS RESULTADOS

En el informe figurarán los datos especificados en la norma UNE 83-300 así como la medida del tiempo 50, el diámetro de extensión de flujo, la valoración visual de la segregación y la referencia a esta norma.

4.1.10 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma es parcialmente equivalente a la Norma JSCE-F503 (1990), Japón. *ASTM C1611 Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.*

4.2 MÉTODO DE LA CAJA EN L

4.2.1 OBJETO

Tiene por objeto describir el método de ensayo a emplear para valorar la autocompactabilidad del hormigón considerando fundamentalmente los aspectos relacionados con su capacidad de fluir bajo su propio peso y su habilidad para pasar entre las barras que constituyen las armaduras o resistencia frente al bloqueo. También permite evaluar cualitativamente la resistencia a la segregación y estabilidad, mediante la observación visual. Para el desarrollo del ensayo se requiere de una caja en forma de L descrita en el punto 4.2.5.

4.2.2 CAMPO DE APLICACIÓN

De aplicación a hormigones autocompactables con tamaño máximo del árido menor o igual que 20 mm, determinado éste según UNE 83-100. El método ha sido desarrollado fundamentalmente para ser utilizado en ensayos de laboratorio, aunque puede aplicarse para el control del *Hormigón Autocompactable* en obra.

4.2.3 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 83-100 – *Áridos para hormigones. Clasificación en fracciones granulométricas para su empleo en hormigones normales.*

UNE 83-300 – *Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco.*

4.2.4 METODO DE ENSAYO

Se fundamenta en la valoración de:

- a) la diferencia de altura que alcanza la masa de hormigón fresco entre los extremos de entrada y final de la caja, cuando se deja fluir el hormigón libremente y sin perturbaciones exteriores, y
- b) el tiempo que transcurre hasta que de la masa de hormigón fresco recorre todo el canal de salida, con una distancia de 600 mm.

4.2.5 APARATOS

4.2.5.1 Molde

El aparato utilizado en este ensayo consiste en una Caja en forma de L, de las dimensiones indicadas en la Figura 4.2 y en la Fotografía 4.5, que posee un depósito vertical, con una capacidad de aproximadamente 13 litros, conectado con un canal horizontal a través de una

abertura que tiene la misma dimensión que la sección transversal interna del canal. Detrás de la puerta situada en la sección que une el depósito con el canal, se colocan barras de armaduras de acero con una distribución que puede ajustarse a los requisitos propios de la aplicación a la cual esté destinado el HAC.

4.2.5.2 Barras

Como condición de referencia se emplean barras de 12 mm de diámetro y un espacio libre entre las barras de 34 mm. No obstante el tipo de barras y los espacios o separación entre ellas se pueden modificar conforme al tamaño máximo del árido y a las condiciones reales de aplicación. No se recomienda un espacio entre barras inferior que tres veces el tamaño máximo del árido.

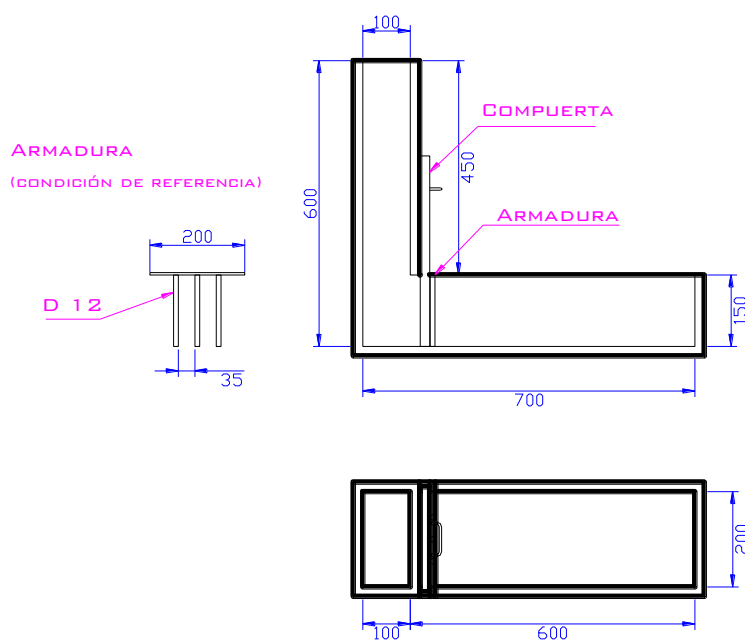


Figura 4.2 Caja en L. (De La Cruz, 2006).

4.2.5.3 Accesorios

Cronómetro (precisión de 1/10 s) y cinta métrica.

4.2.6 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizará conforme lo especificado en la norma UNE 83-300.

4.2.7 PROCEDIMIENTO

Se monta la caja con las barras de armadura y la separación elegidas, y con la compuerta cerrada. Se humedecen las paredes interiores, sin dejar agua libre.

Se debe asegurar que la caja se disponga horizontalmente, quedando totalmente apoyada y nivelada en su base.

Se vierte el hormigón en la parte vertical de la caja y se deja reposar durante unos 10 segundos. Este tiempo permite realizar una primera evaluación visual de la estabilidad (segregación) de la muestra.

Se abre la compuerta rápidamente y se deja fluir el hormigón hacia la parte horizontal, atravesando las barras de armadura.



Fotografía 4.5 Ensayo de Caja en L. (De La Cruz, 2006)

4.2.8 OBTENCION DE RESULTADOS

Los resultados se obtendrán midiendo los siguientes parámetros:

- T60: tiempo, expresado en segundos con una precisión de ± 1 s, que tarda el hormigón en alcanzar el extremo horizontal, esto es, el tiempo que tarda en recorrer toda la longitud de la base de la caja (600 mm).
- las alturas H1 y H2 (ver Figura 4.3), expresadas en milímetros con una precisión de ± 5 mm. A partir de ellas se calcula el coeficiente de bloqueo por el cociente H2/H1.

Además se indicará expresamente entre las observaciones si se aprecia el bloqueo o falta de la estabilidad de la muestra de hormigón, por observación visual. Se considera que se produce bloqueo en los casos en que se acumulen áridos detrás de la rejilla de armadura; también se

manifiesta por la presencia de árido grueso entre las barras. Por el contrario, cuando se observa árido grueso distribuido por la superficie del hormigón a lo largo de toda la extensión de la parte horizontal, el hormigón se considera estable (resistente a la segregación).

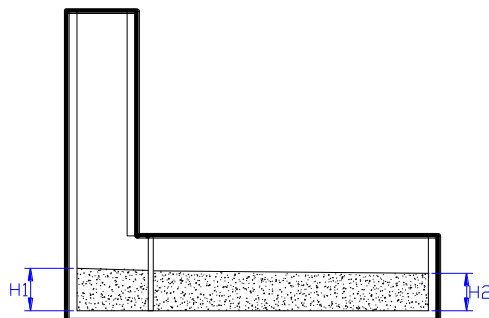


Figura 4.3 Detalle de las medidas a tomar en el Ensayo de la Caja en L. (De La Cruz, 2006).

4.2.9 INFORME

En el informe figurarán los datos especificados en la norma UNE 83-300 además de las medidas y observaciones indicadas en el punto 8 de esta norma. Se dejará expresa constancia en caso de utilizar un diámetro de barras y/o separación entre ellas diferentes a la condición de referencia (barras de 12 mm de diámetro y 35 mm de espacio libre entre ellas).

4.2.10 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma es parcialmente equivalente a la Norma EFNARC (2002).

4.3 MÉTODO DE LA EXTENSIÓN CON ANILLO

4.3.1 OBJETO

Tiene por objeto describir el método de ensayo a utilizar para valorar la autocompactabilidad del hormigón considerando los aspectos relacionados con su capacidad de fluir bajo su propio peso, su resistencia a la segregación o estabilidad, y su habilidad para pasar entre las barras que constituyen las armaduras o resistencia frente al bloqueo. Se basa en un uso combinado del cono de Abrams, según lo indicado en la norma *Extensión de flujo*, y un anillo con barras, conocido como Anillo Japonés (J-Ring), que se describe en el punto 4.3.5.

4.3.2 CAMPO DE APLICACIÓN

De aplicación a Hormigones Autocompactables con tamaño máximo del agregado menor o igual que 20 mm, determinado éste según UNE 83-100. El método puede ser empleado tanto para ensayos en laboratorio como para la caracterización del hormigón en obra.

4.3.3 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 83-100 – *Áridos para hormigones. Clasificación en fracciones granulométricas para su empleo en hormigones normales.*

UNE 83-300 – *Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco.*

UNE 83-313 – *Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams. - Norma para el ensayo de Extensión de Flujo.*

4.3.4 MÉTODO DE ENSAYO

El método se fundamenta en el empleo combinado del Cono de Abrams y un anillo con barras (ver Fotografía 4.6 y Figura 4.4), valorando:

- a) la extensión que alcanza el hormigón fresco cuando se deja caer, libremente y sin perturbaciones exteriores, al levantar el tronco de cono, y
- b) las alturas alcanzadas por el hormigón en las caras interior y exterior del citado anillo, una vez finalizado el flujo.



(a) aparatos



(b) ensayo

Fotografía. 4.6 Ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)

4.3.5 APARATOS

4.3.5.1 Molde

Para este ensayo se utiliza el cono de Abrams UNE 83-313, que tiene diámetros inferior y superior de 200 y 100 mm respectivamente, y 300 mm de altura, sin los soportes que posee habitualmente para que pueda ser sujetado contra el suelo.

4.3.5.2 Base

El cono se dispone centrado sobre una base plana metálica, suficientemente rígida, con un área mínima de 800×800 mm. Sobre su superficie se encuentran claramente marcadas circunferencias concéntricas de 200, 300 y 500 mm de diámetro, tal como se indica en la Figura 4.1.5.2.

4.3.5.3 Anillo Japonés

Consiste un anillo circular de 300 mm de diámetro medio, en el cual se disponen barras verticales de 100 mm de altura, tal como se visualiza en las Figura 4.4. La condición de referencia consiste en barras de 12 mm de diámetro con un espacio libre entre ellas de 35 mm. No obstante, se admite modificar el tipo de barras y la separación entre ellas en función del tamaño máximo de árido y de las condiciones reales de aplicación del HAC. No se recomienda un espacio entre barras, menor que tres (3) veces el tamaño máximo del árido.

4.3.5.4 Accesorios

Embudo para verter el hormigón en el cono y cinta métrica.

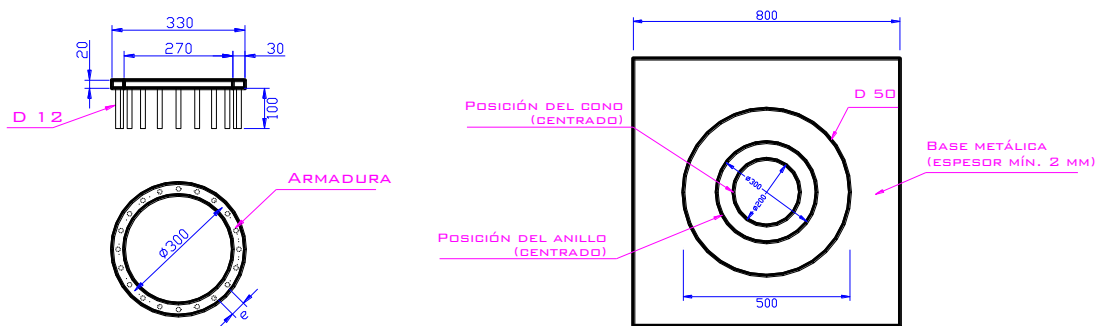


Figura 4.4 Aparatos para el ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)

4.3.6 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizará conforme lo especificado en la norma UNE 83-300.

4.3.7 PROCEDIMIENTO

Se debe asegurar previamente que la superficie plana o base se disponga horizontalmente y se debe humedecer con un paño húmedo, cuidando de no dejar agua libre. Se humedece de igual manera el interior del cono y del embudo; se coloca el cono sobre el círculo de diámetro de 200 mm.

Se coloca el anillo de forma concéntrica al cono sobre el círculo con diámetro de 300 mm.

Se vierte el hormigón rellenando el cono de forma continua y sin compactación alguna. Se enrasa el hormigón con el borde superior del cono y, antes de que pase un minuto, se levanta el cono en dirección vertical, de forma cuidadosa y continua (2 a 3 segundos), dejando que el hormigón fluya extendiéndose sobre la base y atravesando el anillo.

4.3.8 OBTENCION DE RESULTADOS

Los resultados se obtendrán midiendo los siguientes parámetros:

- D_F**: diámetro final de la extensión de flujo, expresado en milímetros con una precisión de ± 5 mm, determinado por la media aritmética de dos diámetros perpendiculares.
- las alturas, **H₁** y **H₂**, a partir de las que podemos obtener las alturas **A₁** y **A₂** alcanzadas por el hormigón en las caras interior y exterior del anillo (Ver Figura 4.5), expresadas en milímetros, y obtenidas como promedio de cuatro lecturas sobre los extremos de dos diámetros ortogonales, con una precisión de ± 5 mm.

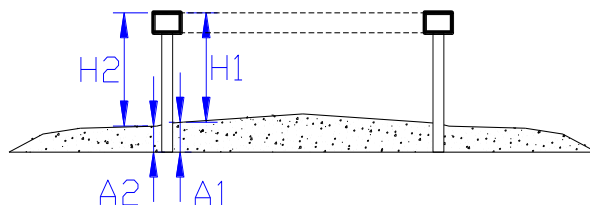


Figura 4.5 Detalle de mediciones en el Ensayo de Extensión con Anillo. (De La Cruz, 2006)

Si se produce una diferencia entre los diámetros de más de 50 mm se debe repetir el. Además se indicará expresamente como observaciones si se aprecia la segregación de los áridos gruesos, manifestada por una mayor concentración de los mismos en la zona central, así como la presencia de signos de segregación o exudación de la pasta en la zona periférica.

4.3.9 INFORME

En el informe figurarán los datos especificados en la norma UNE 83-300 además de las medidas y observaciones indicadas en el punto 8 de esta norma. Se dejará expresa constancia en caso de utilizar un diámetro de barras y/o separación entre ellas diferentes a las condiciones de referencia (barras de 12 mm de diámetro, con un espacio libre de 35 mm entre ellas).

4.3.10 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma se relaciona parcialmente con la Norma JSCE-F503 (1990), Japón. ASTM C1621 Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring

4.4 MÉTODO DE LA CAJA EN U

4.4.1 OBJETO

Tiene por objeto describir el método de ensayo a utilizar para valorar la autocompactabilidad del hormigón considerando fundamentalmente los aspectos relacionados con su capacidad para fluir bajo su propio peso combinados con su habilidad para pasar por aperturas estrechas o entre las barras que constituyen las armaduras, es decir, su resistencia frente al bloqueo. Para el desarrollo del ensayo se requiere de una caja en forma de U, que se describe en el punto 4.4.5 de esta norma.

4.4.2 CAMPO DE APLICACIÓN

De aplicación a Hormigones Autocompactables con tamaño máximo del árido menor o igual que 20 mm, determinado éste según UNE 83-100. El método ha sido desarrollado fundamentalmente para ensayos en laboratorio, aunque puede aplicarse para el control del HAC en obra.

4.4.3 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 83-100 – *Áridos para hormigones. Clasificación en fracciones granulométricas para su empleo en hormigones normales.*

UNE 83-300 – *Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco.*

4.4.4 METODO DE ENSAYO

El método se fundamenta en la medida de la altura que alcanza el hormigón fresco cuando se deja que su masa, libremente y sin perturbaciones exteriores, atraviese las armaduras y se eleve en el interior del molde constituido por la caja U.

4.4.5 APARATOS

4.4.5.1 Molde

El aparato utilizado en este ensayo consiste en una caja en forma de U de base plana que posee dos depósitos verticales, conectados a través de una abertura en la parte inferior con una compuerta deslizante de separación, de dimensiones que se ajusten a las de la Figura 4.6.

Detrás de la compuerta se colocan barras de armaduras de acero con una distribución que puede ajustarse a los requisitos de la aplicación a la cual esté destinado el HAC.

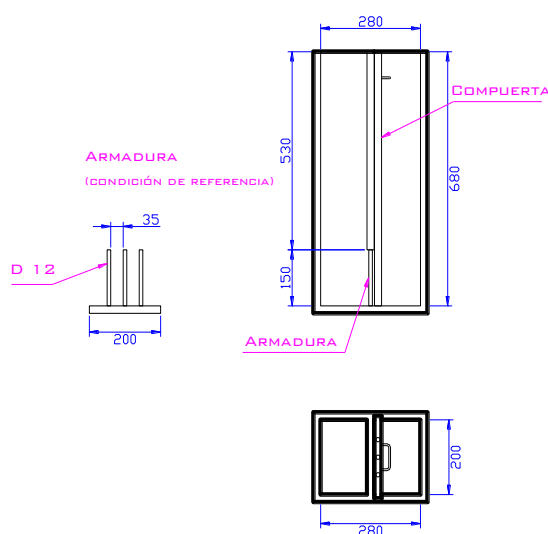


Figura 4.6 Caja en U. (De La Cruz, 2006)

4.4.5.2 Barras

Como condición de referencia se disponen tres barras de 12 mm de diámetro con un espacio libre de 35 mm entre ellas. No obstante se admite modificar el tipo de barras y el espacio libre entre las mismas de acuerdo con el tamaño máximo del árido y las condiciones reales de aplicación. No se recomienda utilizar una separación entre barras, menor que tres (3) veces el tamaño máximo del árido.

4.4.5.3 Accesorios

Cinta métrica.

4.4.6 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizará conforme lo especificado en la norma UNE 83-300.

4.4.7 PROCEDIMIENTO

Se monta la caja sobre una superficie horizontal, con las barras de armadura elegidas, y con la compuerta cerrada. Se humedecen las paredes interiores, sin dejar agua libre. Se vierte el hormigón en el compartimiento vertical de entrada de una forma continua y sin compactación alguna. Se nivela la parte superior y se espera un minuto. Se abre la compuerta rápidamente y se deja que fluya el hormigón hacia el canal inicialmente vacío, atravesando las barras de armadura.

4.4.8 OBTENCION DE RESULTADOS

Como resultado se determina las alturas del hormigón en ambos lados del recipiente, H_1 y H_2 , representadas en la Figura 4.7, con una precisión de ± 5 mm. A partir de ellas se calcula el coeficiente de bloqueo como el cociente H_2/H_1 .

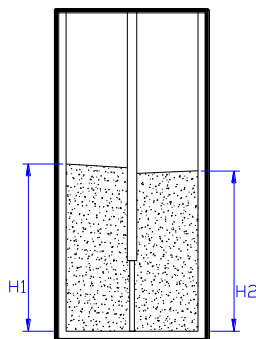


Figura 4.7 Detalle de las mediciones para el Ensayo de la Caja en U. (De La Cruz, 2006)

Además, a modo de observaciones se puede indicar el tiempo de flujo del hormigón y si se aprecia bloqueo o signos de segregación.

4.4.9 INFORME

En el informe figurarán los datos especificados en la norma UNE 83-300 además de la medida de las alturas y las observaciones indicadas en el punto 8 de esta norma. Se dejará expresa constancia en caso de utilizar un diámetro de barras y/o separación entre ellas diferentes a la condición de referencia (tres (3) barras de 12 mm de diámetro y 35 mm de espacio libre entre ellas).

4.4.10 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma es parcialmente equivalente a la Norma EFNARC (2002).

Recomendación JSCE (Uomoto y Ozawa, 1999).

4.5 MÉTODO DEL EMBUDO-V

4.5.1 OBJETO

Tiene por objeto describir el método de ensayo a emplear para valorar la autocompactabilidad del hormigón considerando fundamentalmente su capacidad de fluir en áreas restringidas en dirección vertical y bajo su propio peso, cualificando también la tendencia a la segregación y al bloqueo mediante la observación de la variación de la velocidad de flujo. Para el desarrollo del ensayo se requiere de un recipiente en forma de V, que se describe en el punto 4.5.5 de esta norma.

4.5.2 CAMPO DE APLICACIÓN

De aplicación a Hormigones Autocompactables con tamaño máximo del árido menor o igual que 20 mm, determinado éste según UNE 83-100. El método es apropiado para ser utilizado tanto en ensayos de caracterización en laboratorio como para el control del hormigón en obra.

4.5.3 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 83-100 – *Áridos para hormigones. Clasificación en fracciones granulométricas para su empleo en hormigones normales.*

UNE 83-300 – *Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco.*

4.5.4 MÉTODO DE ENSAYO

El método se fundamenta en la medida del tiempo que tarda el hormigón en pasar a través de un recipiente rectangular de sección variable en forma de V con un canal de salida de sección rectangular (Ver Figura 4.8).

4.5.5 APARATOS

4.5.5.1 Molde

El instrumento básico para este ensayo es el Embudo-V, que consiste en un recipiente en forma de V, de sección transversal rectangular variable, con una compuerta de apertura en el fondo, con las dimensiones indicadas en la Figura 4.8.

La sección del canal de salida es de 65×75 mm. El dispositivo de salida ha de ser estanco mientras esté cerrado y de rápida apertura, para interferir lo menos posible en la descarga. El aparato dispone de un soporte que permite mantener su eje vertical

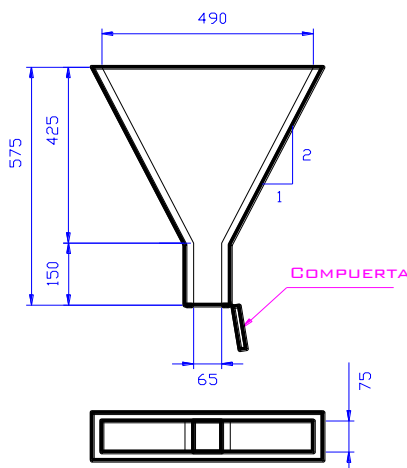


Figura 4.8 Embudo V. (De La Cruz, 2006)

4.5.5.2 Accesorios

Se necesitan un recipiente, con una capacidad de aproximadamente 12 litros, para recoger la muestra una vez ha pasado por el embudo, y un cronómetro (precisión de 1/10 s).

4.5.6 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizará conforme lo especificado en la norma UNE 83-300.

Se prepara el Embudo-V humedeciendo su interior con un paño húmedo, y se coloca en posición vertical sobre una superficie plana, firme y bien nivelada. Se coloca bajo el embudo el recipiente para recoger el hormigón.

Tras asegurarse de que la compuerta está completamente cerrada, se vierte la muestra de hormigón (aproximadamente 10 litros) de manera continua y sin vibración. Se nivela el hormigón en la parte superior del embudo. Se dejan transcurrir entre 8 y 12 segundos.

Se abre la compuerta de la base y se mide el tiempo que tarda el volumen total de hormigón en fluir a través del embudo. Para determinar el final del paso del hormigón se observa el flujo del hormigón desde la parte superior del embudo deteniendo el cronómetro al aparecer los primeros rayos de luz en el fondo.

4.5.7 OBTENCION DE RESULTADOS

Se determina el tiempo, expresado en segundos con una precisión de ± 1 s, que tarda el hormigón en vaciar el embudo. Además se indicará expresamente entre las observaciones la naturaleza del flujo del hormigón a en la descarga (continua o discontinua).

Cuando la cantidad y el tamaño de los áridos gruesos son suficientemente pequeños en relación con la apertura del Embudo-V, el tiempo determinado permite evaluar indirectamente la viscosidad de la mezcla a través de la fluidez.

Cuando la cantidad y tamaño de los áridos gruesos es relativamente grande, el Embudo-V es útil para evaluar la habilidad del Hormigón Autocompactable para pasar por aperturas estrechas. En general un flujo continuo sin interrupción responde a la ausencia de segregación y/o bloqueo.

4.5.8 INFORME

En el informe figurarán los datos especificados en la norma UNE 83-300 además de las medidas y observaciones indicadas en el punto 8 de esta norma.

4.5.9 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma es parcialmente equivalente a la Norma EFNARC (2002)

CAPÍTULO 5

CONTROL DE RECEPCIÓN DEL HAC EN LA OBRA

Al utilizar un material que tenga características que varíen de acuerdo a factores externos o internos a ella como lo es el hormigón, es necesario supervisar y corroborar, que el material diseñado sea el mismo que se implemente en obra, es necesario realizar controles del HAC en la obra.

En las fotografías 5.1, 5.2 y 5.3, se observa la colocación, transporte y bombeo del hormigón, los cuales deben ser procesos controlados, para garantizar el buen funcionamiento y uso del hormigón.



Fotografía. 5.1 Vaciado de hormigón
Extraído de
<http://www.litebuilt.com/pic/hot04d.jpg>



Fotografía. 5.2 Bombeo de hormigón
Extraído de
[http://www.cemartigas.com.uy/fotos/Hormigon%20Bomba%](http://www.cemartigas.com.uy/fotos/Hormigon%20Bomba%20)

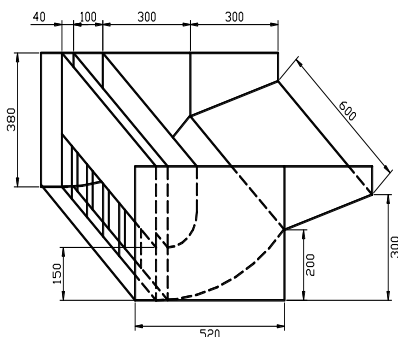


Fotografía. 5.3 Transporte del hormigón

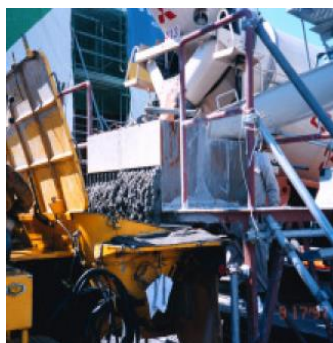
http://www.baryval.es/hormigoneras/images/Baryval_volquetes.jpg

5.1 DESCRIPCIÓN

Para controlar el hormigón suministrado por camión a la obra, Ouchi et al., 1996 desarrollaron un ensayo en el cual se utiliza un aparato que consiste de una caja con barras de refuerzo colocadas verticalmente en su interior, como se presenta en la Figura 5.1. Se coloca el aparato entre el camión y la bomba en la obra, y se hace pasar el volumen del hormigón a través del mismo. Si se bloquea el hormigón, se rechaza el resto del material del camión.



(a) Dimensiones y configuración



(b) Utilización en obra

Figura 5.1 Aparato para el ensayo del control de recepción (Ouchi, 1999)

Las técnicas experimentales más aceptadas, se muestran en la Tabla 5.1, indicando la principal propiedad; ya que, un único ensayo no garantiza la autocompactabilidad.

Tabla 5.1 Ensayos de caracterización del HAC más aceptados (Gomes, 2002)

PROPIEDAD	FLUIDEZ O HABILIDAD DE RELLENO	HABILIDAD DE PASO	ESTABILIDAD O RESISTENCIA A LA SEGREGACIÓN
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN	Extensión de flujo	Caja en L	Ensayo GTM
		Caja en U	
	Embudo-V	Anillo de Barras	Tubo-U
	Orimet	Caja de Relleno	

En la Tabla 5.2 a continuación se presenta, a manera de ejemplo, la combinación de ensayos que podría hacerse en caso de implementar el HAC, según su destinación a diferentes elementos estructurales.

Tabla 5.2 Posibles combinaciones en función de la aplicación (Bravo, 2004)

MÉTODO APLICACIÓN	EXTENSIÓN DE FLUJO	EMBUDO- V	CAJA EN L	CAJA EN U	EXTENSIÓN CON ANILLO
Losas y otros elementos horizontales en obra)	✓				✓
Pilares y otros elementos verticales(en obra)		✓			✓
Diseño de mezclas (en laboratorio)	✓		✓		
Aplicaciones con flujo en sentido contrario a la gravedad	✓	✓		✓	

Los controles de calidad y la mejora de la tecnología, asociados a la fabricación del hormigón estructural, han conducido al desarrollo de nuevos tipos de hormigón para aplicaciones y entornos singulares, como es el caso de los hormigones de altas prestaciones, y sobre los cuales existe mayor información en comparación con los HACs de resistencia similar a la de un HC.

En el siguiente capítulo se presente un breve resumen de los avances en la caracterización del comportamiento mecánico del hormigón y sus implicaciones para hormigones de altas prestaciones (Gettu et al., 1999).

CAPÍTULO 6

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

En las fotografías 6.1, 6.2 y 6.3, se aprecian mobiliario urbano y elementos estructurales prefabricados con HAC. Enfatizando en las formas geométricas de estos objetos y además los acabados que proporciona el HAC.



Fotografía. 6.1 Fotos de pilares prefabricados.
Extraído de <http://www.interempresas.net/>



Fotografía. 6.2 Banco de Escofet
Extraído de <http://www.escofet.es/>



Fotografía. 6.3 Banco de Escofet
Extraído de <http://www.escofet.es/>

La caracterización mecánica del hormigón (Gettu et al., 1998) ha evolucionado significativamente propiciando el desarrollo de varios tipos de ensayos no convencionales, a causa del desarrollo de los hormigones de altas prestaciones, entre otros aspectos. Los resultados obtenidos permiten la identificación de otros mecanismos singulares no contemplados en el hormigón convencional (HC), la obtención de parámetros para el cálculo estructural y el diseño de nuevos materiales avanzados.

Partiendo de la base de que el HAC ha tenido más aplicaciones estructurales para altas prestaciones que para aplicaciones donde la resistencia a compresión esté por debajo de los 45 MPa; en este capítulo se presenta un breve resumen sobre la caracterización mecánica de este tipo de material, incluyendo aspectos como el comportamiento durante la rotura a compresión, fragilidad, fractura, retracción y fluencia. Con la idea de cuantificar características no convencionales y obtener datos para el cálculo estructural o el diseño de nuevos materiales.

6.1 COMPORTAMIENTO DURANTE LA ROTURA BAJO COMPRESIÓN UNIAXIAL

El ensayo más comúnmente utilizado para la caracterización del hormigón en estado endurecido es el ensayo del cilindro sometido a compresión uniaxial. La curva tensión-deformación, permite estudiar el comportamiento durante la rotura y la fragilidad del hormigón. En la Figura 6.1, se presentan las curvas para tres hormigones según Gettu et al. (1999) (las probetas corresponden a cilindros con las caras planas pulidas).

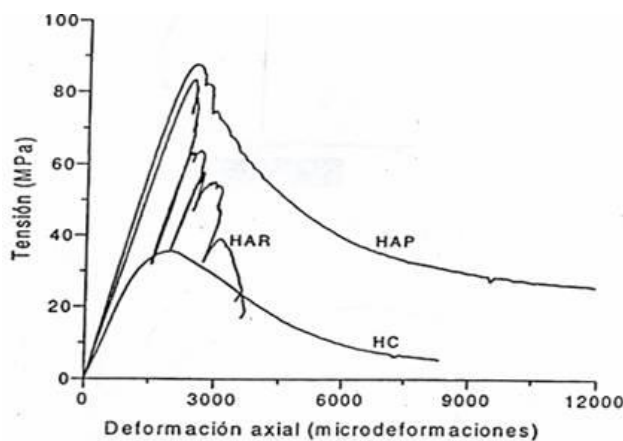


Figura 6.1 Curvas típicas de tensión-deformación axial (Gettu et al.,1999)

En la Figura 6.1 se puede apreciar el comportamiento de un HC con relación agua/cemento (A/C) de 0,55, resistencia característica (RC) de 25 MPa; un hormigón de alta resistencia (HAR) con relación A/C de 0,35, contenido de humo de sílice/cemento, por peso de 0,1, con RC de 65 MPa; y un hormigón de altas prestaciones (HAP) con la misma dosificación del

HAR, pero con la adición de 80 Kg/m^3 de fibras de acero. También se puede observar la fragilidad del HAR (indicado por las caídas bruscas de la carga después del pico) frente a la respuesta del HC. Y como la incorporación de fibras otorga mayor ductilidad al HAP contrarrestando la alta fragilidad debida al aumento de la resistencia.

6.2 RESISTENCIA FRENTE A LA FISURACIÓN Y FRAGILIDAD BASADAS EN ENSAYOS DE FRACTURA

Cuando se provoca la rotura de una probeta mediante la propagación de una única fisura se puede calificar como ensayo de fractura. Este tipo de ensayo fue utilizado para cuantificar la evolución de las características de fractura en un hormigón de alta resistencia (Gettu et al., 1998).

En una investigación realizada por Gettu et al. (1999), los resultados permitieron concluir que la resistencia frente a la fisuración, representada por la tenacidad de la fractura, disminuye, y la fragilidad del material aumenta con la edad del hormigón. Cuya tendencia puede atribuirse al aumento de la resistencia y fragilidad de la matriz, y al endurecimiento de las interfaces agregado-matriz.

Entre los ensayos más frecuentemente utilizados para evaluar la resistencia a tracción (indirecta) del hormigón está el ensayo brasileño o de compresión diametral. En la Figura 6.2, se puede observar la configuración del ensayo y el resultado para tres hormigones con la misma composición de resistencia a compresión de 73 MPa , variando el contenido de fibras metálicas (HPC) de 40 y 80 Kg/m^3 en HPC-0.0, HPC-0.5 y HPC-1.0, respectivamente.

Lo que más se destaca es el aumento de la ductilidad del material con la incorporación de las fibras.

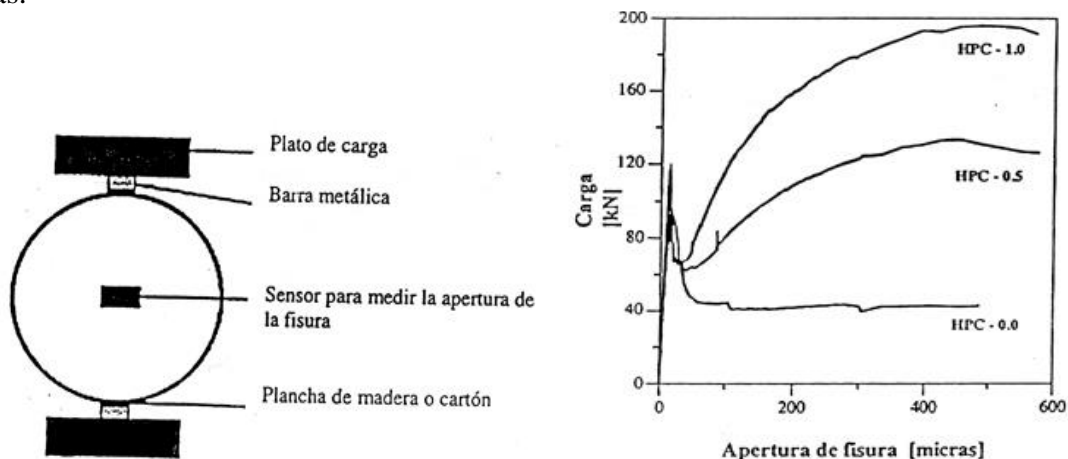


Figura 6.2 Compresión diametral, o Ensayo Brasileño, y curvas típicas, para hormigones de alta resistencia y con fibras metálicas (Gettu et al., 1999)

En una de las aplicaciones realizada por Gettu et al. (1996b), se puso de manifiesto que la disminución de la resistencia a tracción transversal refleja el nivel del daño producido por la compresión, y que esta disminución es despreciable para tensiones hasta un 60% de la resistencia a compresión y alcanza valores de hasta un 25% para niveles mayores. También ha sido utilizado para estudiar la tenacidad de hormigones de alta resistencia sin y con fibras metálicas.

6.3. RETRACCIÓN

La retracción del hormigón es una propiedad reológica del mismo que se traduce en una disminución de las dimensiones de un elemento en el tiempo, siendo una deformación de carácter atensional. En el hormigón la retracción se manifiesta a través de varios mecanismos (Neville, 1981; GEHO, 1997; Gettu et al., 1999), siendo el significado de cada uno de ellos diferente en función, principalmente, de la composición del hormigón y de las condiciones ambientales.

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de retracción posibles de identificar para un hormigón:

Retracción plástica: Deformaciones producidas en el hormigón fresco por la pérdida de agua en el ambiente. En hormigones convencionales, la exudación compensa esta pérdida de humedad; excepto en casos de muy altas temperaturas, vientos fuertes o curado no adecuado. En hormigones con bajas relaciones A/C, altos contenidos de cemento y humo de sílice la retracción plástica puede llegar a producir fisuras de varios centímetros en las superficies expuestas a la intemperie, debido básicamente, a la retracción química (reducción de la humedad relativa en el interior del hormigón), producida por el consumo del agua libre por los procesos de hidratación (Gettu et al., 1999).

Retracción térmica: Las reacciones exotérmicas de la hidratación del cemento representan un aumento de temperatura en el hormigón durante la primera etapa de hidratación, lo que significa una dilatación del elemento. Cuando el elemento alcanza la temperatura máxima, se enfría de manera progresiva hasta alcanzar la temperatura ambiente, así el hormigón endurecido se contrae, provocando deformaciones del tipo de la retracción. Estas deformaciones son significativas en hormigones con altos contenidos de cemento y en elementos de grandes dimensiones donde la disipación del calor es lenta (Gettu et al., 2000).

Retracción química: Las reacciones químicas entre el cemento y agua, conducen a productos con menor volumen que los reactivos que provocan la deformación de la pasta hidratada del cemento y, por ende, del hormigón. Este tipo de deformación ha sido definida como contracción de Le Chatelier o retracción de hidratación (Gettu et al., 2000).

Retracción por autodesecación: Cuando se tienen bajos contenidos de agua en hormigones con microestructuras densas e impermeables, el agotamiento del agua libre por el proceso de hidratación, produce humedades internas bajas, hasta un 70% (con H.R 100%) en las primeras edades. Situación que es significativa en hormigones de alta resistencia (Gettu et al., 2000).

Retracción endógena: Es la deformación de una probeta sellada o en condiciones de saturación (Gettu et al. (1998)).

Retracción por secado: Cuando la pérdida de humedad en el interior del elemento busca un equilibrio con la humedad del ambiente, se producen deformaciones de contracción del hormigón. En hormigones convencionales con relaciones A/C altas éste mecanismo es importante y, usualmente es el único que se tiene en cuenta para el cálculo estructural (Gettu et al., 2000).

Retracción autógena: Es la retracción que se origina por el cambio de volumen debido al de la pasta de cemento cuando sigue hidratándose después del fraguado inicial. No incluye los cambios de volumen debidos al ingreso o pérdida de sustancias, variaciones de temperaturas, aplicaciones de cargas externas o el efecto de deformaciones impuestas.

Es importante para hormigones de alta resistencia ya que aumenta a medida que disminuye la relación agua/cemento.

Retracción por carbonatación: La carbonatación del cemento hidratado en contacto con el gas carbónico del ambiente, durante la vida de la estructura, provoca una retracción del hormigón. Este es un efecto limitado en hormigones de buena calidad y, no es significativo en hormigones con baja permeabilidad a gases (Gettu et al., 2000).

Algunos investigadores (Aitcin, 1999), la retracción autógena es despreciable en relación con la retracción de secado, para hormigones con relación agua/cemento mayores que 0,45, sin embargo puede representar hasta el 50% de la retracción total para hormigones con relación próxima a 0,30. Según Gettu et al. (2000) definen que, desde el punto de vista estructural los mecanismos más críticos son las retracciones químicas y de autodesecación, que pueden considerarse globalmente en la denominada retracción endógena, y la retracción por secado.

Para la evaluación del valor de la retracción, han de tenerse en cuenta las diversas variables que influyen en el fenómeno, en especial: el grado de humedad en el ambiente, el espesor o menor dimensión de la pieza, la composición del hormigón y el tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca la duración del fenómeno. El valor de la deformación de retracción, a distintas edades, toma como origen el final del curado.

Un estudio realizado por Corres et al. (2003), concluye que de acuerdo con el Eurocódigo 2 (EC2), tanto para hormigones normales como ligeros, la retracción disminuye ligeramente con el aumento de la resistencia (no distingue explícitamente entre hormigones de resistencia normal y de alta resistencia). Y comparando la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) con el EC2, los resultados son muy diferentes y la retracción se reduce dramáticamente con el aumento de la resistencia. Además los resultados parecen indicar que no es adecuado extrapolar sin más el modelo de la EHE para hormigones de alta resistencia.

Carbonari et al. (1996), evaluaron la retracción endógena sobre probetas de hormigón de altas prestaciones (HAP) mantenidas en cámara húmeda durante el curado y después selladas; observaron un aumento de temperatura para llegar al equilibrio con el ambiente. Esta situación originó una ligera expansión, seguida por la retracción plástica hasta 15 horas, a partir de la cual las reacciones de hidratación provocaron un aumento de la temperatura de hasta 9°C; originándose así, otra expansión del hormigón seguida por la retracción endógena que alcanza el orden de 200×10^{-6} a 48 horas.

En otros ensayos, a largo plazo y teniendo en cuenta que la cuantificación de la retracción no sirve únicamente para la obtención de parámetros para el cálculo estructural sino también para el diseño de materiales con bajos niveles de retracción (Gettu et al., 1998b; 2000), se han registrado valores de retracción endógena de hasta 800×10^{-6} en un año (Carbonari et al., 1996).

Algunos de los resultados presentes en la literatura técnica (Mora et al., 2002; Gettu et al., 2000; Roncero et al., 2001) demuestran que la incorporación de aditivos reductores de la retracción (ARR), además de la reducción de la retracción libre en términos del comportamiento mecánico instantáneo y diferido, comparando un hormigón base y otro idéntico con ARR (ARR/cemento = 1,5%), ofrece otros beneficios, en cuanto conduce a una disminución del volumen de los macroporos en la pasta endurecida, de la permeabilidad del hormigón, de la fisuración en elementos restringidos, de la fluencia a tracción y de la retracción plástica restringida.

En el campo de la prefabricación el laboratorio de la empresa Grace, S.A. realizó una campaña de ensayos para comprobar el beneficio de nuevos aditivos y adiciones en el HAC (“Control de la retracción por secado en un hormigón arquitectónico autocompactable” (Rodríguez y González, 2005)). El estudio consistió en la fabricación de muros de carga de diez metros (m) por tres m de altura y 0,2 m de espesor, sobre muros de cimentación con edades entre las cuatro y cinco semanas en un ambiente tipo área costera (IIIa).

Una de las principales conclusiones fue la no presencia de inestabilidad reológica comparando tres tipos de HACs (HAC sin aditivo reductor de la retracción (ARR), HAC con un 1% de ARR y HAC con 2% de ARR). Además de que la reducción de la relación A/C

propuesta para compensar el uso de ARR, permitió mantener el mismo nivel de resistencia en los tres casos (38-40 MPa) a los 28 días.

6.4. FLUENCIA DEL HORMIGÓN

Para el hormigón se consideran en el concepto de fluencia, todas las deformaciones diferidas, elásticas y plásticas, que dependen de la tensión.

En la siguiente Tabla 6.1, se presentan diferentes tipos de deformaciones en el hormigón, dependiendo o no de la tensión (Artículo 26° apartado 26.9):

Tabla 6.1 Deformaciones del hormigón, dependientes o no de la tensión (Artículo 26°, apartado 26.9). (De La Cruz, 2006)

DEFORMACIONES	DEPENDIENTES DE LA TENSIÓN		INDEPENDIENTES DE LA TENSIÓN
	INSTANTÁNEAS	DIFERIDAS	
REVERSIBLES	Elásticas	Elásticas Diferidas	Termohigrométricas
IRREVERSIBLES	Remanentes	Plásticas Diferidas	Retracción

Los factores que más que influyen en la fluencia de un hormigón son el grado de humedad, el espesor menor, la composición del hormigón, la edad del hormigón en el momento de darle la carga y el tiempo transcurrido. En el hormigón se define como fluencia básica, la deformación del hormigón debida a una carga sostenida cuando la superficie está sellada evitando la transferencia de humedad al ambiente. Y fluencia por secado, a la deformación del hormigón debida a la pérdida de humedad al ambiente en una probeta no sellada (Gettu et al, 1998).

Para la determinación de la fluencia en el hormigón, se ha adoptado la formulación del Código Modelo 90 con los cambios necesarios para su extensión a hormigones de alta resistencia y ajuste a los resultados experimentales más recientes. El EHE utiliza para hormigones normales el mismo modelo y para hormigones de alta resistencia, remite a la bibliografía técnica (Corres et al., 2003).

En un trabajo realizado por Roncero et al. (2001), en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), se comparaban dos hormigones de referencia con dos hormigones con diferentes dosis de aditivo reductor de la retracción (ARR); para analizar el efecto de la incorporación de un ARR en la retracción endógena y por secado, y en la fluencia básica y por secado de un hormigón con una resistencia a compresión de 35 MPa y elevada trabajabilidad. Los resultados obtenidos presentaron una reducción de la retracción por secado y de la fluencia por secado del 45-65% y 28-38% respectivamente, además de que la retracción endógena es

prácticamente inexistente en los hormigones con ARR; con un ligero hinchamiento que aumentaba de forma continuada, que no se apreció en la evolución del coeficiente de fluencia básica.

Según Corres et al. (2003), el Eurocódigo 2 (EC2) para hormigones normales y ligeros la fluencia disminuye con el aumento de la resistencia. Y comparando el EHE y EC2, sobrestima la fluencia para altas resistencias. Los ensayos han demostrado que el coeficiente de fluencia básica puede variar en una proporción relativamente elevada (del orden de $\pm 30\%$). Por lo que respecta a los agregados, los valores más bajos se obtienen con agregados calizos y los más elevados con agregados silíceos.

CAPÍTULO 7**METODOLOGÍAS DE DOSIFICACIÓN PROPUESTAS DEL HAC A NIVEL MUNDIAL**

En las Fotografías 7.1, 7.2 y 7.3, se observan estructuras en las cuales ha sido empleado el HAC, tanto para repotenciación, vaciado o ensayos experimentales.



Fotografía. 7.1 Akashi Kaikyo. Extraído de www.ideaphotos.com



Fotografía. 7.2 Puente de la Hispanidad. Extraído de www.kokygz.blogspot.com



Fotografía. 7.3 Viga doble T en HAC. (De La Cruz, 2006)

7.1. DESCRIPCIÓN

No existe una metodología única de dosificación de los hormigones autocompactables a nivel mundial. Por lo tanto son varios los investigadores que se destacan en la literatura con propuestas de metodologías para la obtención de mezclas de HAC.

Los parámetros de autocompactabilidad, en los que se basan la gran mayoría de las dosificaciones a nivel mundial para los HACs, vienen centrados básicamente en la Capacidad de Relleno, Resistencia a la Segregación y Capacidad de paso entre el refuerzo (Gettu et al., 2003). En la Tabla 7.1, se presenta de manera genérica los parámetros, características en estado fresco y componentes que facilitan las propiedades de autocompactabilidad.

Tabla 7.1 Parámetros de autocompactabilidad. (De La Cruz, 2006)

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	COMPONENTES
CAPACIDAD DE RELLENO	Fluidez (reducción tensión superficial)	Aditivos sp_s Cantidad de agua
RESISTENCIA A LA SEGREGACIÓN	Estabilidad	Cantidad de finos Relación áridos/finos Aditivos (AMV)
CAPACIDAD DE PASO ENTRE LAS ARMADURAS	Sin bloqueo	TMA < 20-25mm Baja cantidad de árido grueso

En la siguiente Tabla 7.2, se presenta un resumen de las metodologías propuestas por varios investigadores que basan sus propuestas en la búsqueda de HACs con resultados eficaces y válidos que satisfagan los requerimientos de autocompactabilidad y resistencia requeridos.

Tabla 7.2 Algunos Métodos de Dosificación, propuestos. (De La Cruz, 2009)

INVESTIGADOR (s)	METODOLOGÍA PROPUESTA
Okamura (1997), Ouchi et al. (1996)	Dos fases: mortero y agregado grueso. El volumen de agregado grueso es más o menos el 50% del volumen sólido del esqueleto granular (constituido por el agregado fino y agregado grueso), mientras que el volumen correspondiente al agregado fino es alrededor del 40% del volumen de mortero (constituido por la pasta de cemento y los agregados finos). La relación agua/cemento (A/C) y la dosis de superplastificante (sp) se obtiene mediante ensayos de fluidez sobre morteros. Por último, las pruebas de caracterización sobre el hormigón, para determinar la dosificación final.
Paterson et al. (1996), Billberg (1999)	Método del CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute) Buscar un esqueleto granular capaz de minimizar el volumen de pasta necesario para producir suficiente distancia entre los áridos sin que se produzca bloqueo. Se basa en el concepto de máxima distancia entre partículas, junto a un ensayo de evaluación de bloqueo. Utiliza un viscosímetro coaxial para determinar el contenido de finos (partículas menores de 250 μ m), agua, sp y otros aditivos ajustados para obtener la resistencia pretendida en el hormigón endurecido; además de suficiente viscosidad y una baja tensión superficial.
Sedran et al. (1996)	En el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de París, Se propone un método que consiste en utilizar un modelo computacional para determinar un esqueleto granular con el mínimo de vacíos, considerando el efecto pared y la viscosidad de la mezcla. La dosificación de finos se fija inicialmente, en función de la resistencia y los materiales disponibles. El contenido de sp para las posibles combinaciones de finos se define mediante el ensayo del cono de Marsh. El ajuste final de agua y sp para obtener una viscosidad aceptable se realiza con un reómetro y el ensayo de extensión de flujo.
Gomes et al. (2001; 2002), Gettu et al. (2003)	Universitat Politècnica de Catalunya UPC. HAC de alta resistencia con componentes localmente disponibles. Utiliza el ensayo del cono de Marsh para determinar la dosis de saturación del sp, en la pasta constituida por cemento, agua y finos tipo <i>Filler</i> , con una relación A/C baja (p.e., 0,3 - 0,4). Luego, mediante el ensayo del Mini-Slump, se fija la relación <i>Filler</i> /cemento considerando una pasta de fluidez alta y cohesión moderada. Separadamente, se obtiene la relación arena/grava correspondiente a la combinación seca de estos componentes que da lugar al mínimo contenido de vacíos. Con esta relación arena/grava se fabrican hormigones con distintos volúmenes de pasta (con la dosis de saturación de sp y relación <i>Filler</i> /cemento determinados inicialmente). Se considera como mezcla optimizada la que, con el mínimo contenido de pasta, cumple los requisitos de autocompactabilidad y resistencia determinados por varios ensayos sobre el hormigón fresco.
Brouwers y Radix, 2005	Departament of Civil Engineering, Faculty of Engineering Technology. University of Twente. Esta propuesta tiene como principal objetivo optimizar la mezcla de HAC comenzando por el contenido de árido; ya que a más agregado, menos pasta entonces menos fluidificante. Subsecuentemente la cantidad de cemento es evaluada según los requerimientos de resistencia a la compresión, relación agua/cemento y durabilidad requeridas. En definitiva propone utilizar más arena y menos grava, determinando un Packing Factor (PF _{scc}) que relaciona las densidades aparentes del agregado en el HAC y del árido suelto.

En la Tabla 7.3 se presentan algunas de las dosificaciones típicas que pueden encontrarse en la literatura técnica (Gomes, 2002).

Tabla 7.3. Algunas dosificaciones de HAC de resistencia normal, típicas en la literatura técnica (Gomes, 2002)

MATERIALES Kg/m ³	AUTORES						
	Domone y Chai (1996)	Sedran et al. (1996)	Kim et al. (1998)	Bartos y Grauers (1999)	Ambroise y Péra (2001)	Su et al. (2001)	Pacios et al. (2002)
CEMENTO	218	350	370	280	380	300	450
Cenizas volantes	125	-	159		-	148	-
Escorias	280	-	-		-	63	-
<i>FILLER CALIZO</i>	-	134	-	240	20	-	100
ARENA	686	852	782	865	900	928	840
ÁRIDO máx. 10mm	-	363	-		-	-	-
ÁRIDO máx. 16mm	-	-	-		800	-	-
ÁRIDO máx. 20mm	785	571	820	750	-	718	720
Superplastificante (sp)	8,2	7,1	10,0	4,2	4,0	8,2	9,6
Agente modificador de viscosidad (AMV)	-	-	-		2,0	-	-
Ocluser de aire	0,8	-	-		-	-	-
Relación A/C	0,82	0,48	0,50	0,71	0,53	0,57	0,33
Relación a/f	0,28	0,34	0,35	0,36	0,50	0,40	0,27
Resistencia a compresión a los 28 días (MPa)	n.d.	50	47	47*	48	41	50

n.d.: datos no disponibles. (Valores de resistencia, obtenidos en probetas cúbicas de 15cm)

En general, se puede observar que las cantidades de finos y sp son altas, comparadas con las utilizadas en hormigones convencionales. Asimismo, la dosificación del árido grueso es menor que la habitual, siendo inferior en peso, o por lo menos del mismo orden, que la de la arena. En este caso, todos los hormigones llevan *Filler*, complementado a veces por un agente modificador de la viscosidad (AMV).

A continuación se mencionan las aplicaciones más importantes de HAC en el Japón, Europa y los Estados Unidos. Y a manera de resumen en la Tabla 7.6, se presentan las dosificaciones de las aplicaciones más relevantes, con sus respectivos resultados del ensayo de Esgurrimento.

7.2 APLICACIONES MÁS IMPORTANTES DE HAC EN EL JAPÓN, EUROPA Y LOS ESTADOS UNIDOS

7.2.1 JAPÓN

En el Japón desde el año de 1990, se viene empleando el HAC, aunque el HAC ha sido más utilizado en la construcción de edificios de gran altura, un ejemplo importante de esta aplicación en el Japón fue en los bloques de anclaje del Puente Colgante Akashi Kaikyo, que se presenta en la Fotografía 7.4, de 1.991 metros de luz. Se utilizaron 290.000 m³ de HAC, con un rendimiento de 1.900 m³/día, lo que supuso una disminución del plazo de ejecución del 20 %, reduciéndolo de 30 a 24 meses (Okamura, 1997; Bartos y Grauers, 1999; Ouchi, 1999). Otra aplicación fue en el Puente Ritto, cuyo bombeo debía hacerse desde 65 metros de altura.

Una de las aplicaciones hace referencia a la construcción de un depósito de gas licuado (LNG) de la empresa Osaka Gas, en el que se utilizaron 12.000 m³ de HAC de alta resistencia. La dosificación se presenta en la Tabla 7.6, como J1 (según el tipo de fino adicionado). En esta aplicación el periodo de ejecución fue reducido de 22 a 18 meses gracias al uso de HAC, con un rendimiento de 200 - 250 m³/hora (Okamura, 1997; Nishizaki et al., 1999; Ouchi, 1999); y la disminución del número de trabajadores de 150 a 50. Así el éxito alcanzado en esta obra impulsó posteriormente la construcción de otros depósitos, uno de ellos subterráneo (Seto et al., 1997; Ouchi, 2001) y la construcción de un viaducto de hormigón pretensado (Skarendahl y Petersson, 2000) y de un túnel, ambos en Yokohama (Takeuchi et al., 1994).

La dosificación identificada en la Tabla 7.6, como J2 (según el tipo de AMV) es un ejemplo de la mezcla que se utilizó para la fundación masiva de un puente, y la mezcla J3 (Combinado el tipo de polvo y el AMV) es un ejemplo del HAC, que se utiliza para estructuras de hormigón.

En el campo de la edificación, el empleo del HAC ha llevado al desarrollo, también en Japón, de la tecnología CFT (Concrete Filled Tubes) para la construcción de edificios de gran altura. La tecnología mencionada se fundamenta en la utilización de tubos de acero rellenos con HAC y unidos mediante diafragmas, eliminando la necesidad del encofrado y armadura, y, consecuentemente, disminuyendo el plazo de ejecución. Fue aplicada en los pilares de varios edificios, incluyendo los de las nueve primeras plantas del edificio más alto de Japón, el Landmark Tower en Yokohama (Hayakawa et al., 1993; Billberg, 1999).

También se han tenido en cuenta las propiedades del HAC a la hora del diseño y la construcción de estructuras mixtas tipo “sándwich”, donde se rellenan con HAC bóvedas o cajones con capas exteriores de acero (Okamura, 1997; Ouchi, 1999; Tanaka et al., 2001). Este tipo de estructura, que no podría realizarse con HC, se ha utilizado con éxito en la construcción de un túnel sumergido en Kobe.



Fotografía. 7.4 Anclaje del Puente Akashi Kaikyo (Ozawa et al., 1999)

7.2.2 FRANCIA Y SUECIA

En el año de 1996, se formó en Europa un consorcio para emprender el desarrollo del HAC, para usos prácticos; llamado “Producción Racional y Entorno de Trabajo” (Ouchi, 2004); con el objeto de aprovechar las ventajas que proporciona este tipo de hormigón en la construcción.

En Francia entre los años 1997 y el año 2000 y en varios tipos de aplicaciones estructurales, se han utilizado por lo menos 50.000 m³ de HAC. Una de las aplicaciones importantes fue en el Centro de Arte de Meudon, en muros, zapatas y pavimentos.

En Suecia, se habían construido hasta el año 1999, tres puentes y varios edificios con HAC. Además de emplear el HAC en elementos con armadura convencional, se han construido varias estructuras con el HAC reforzado con fibras. Estas aplicaciones incluyen losas y muros de edificios, en las cuales las fibras sustituyen totalmente las barras de armadura (Groth y Nemegeer, 1999).

7.2.3 SUIZA

Se utilizó HAC, para la construcción del túnel en el Aeropuerto de Zurich; donde se preveía un hormigonado difícil, por las condiciones de refuerzo. También en la construcción de un puente de carretera de formas redondeadas (Skarendahl, 2002).

7.2.4 ALEMANIA

Se ha centrado el estudio del HAC en los prefabricados, específicamente en acabados superficiales inclinados y huecos. Estas investigaciones se han realizado en el Centro Científico de Wolfsburg, como propuesta para un “Desafío para el encofrado” (Weith, 2004).

7.2.5 ESPAÑA

En España la primera aplicación del HAC fue en el Arco Atirantado que se presenta en la Fotografía 7.5, que corresponde al Puente del Barrio de la Fuentes en Zaragoza (verano del 2001), alcanzando resistencias de 50 MPa a 28 días.



Fotografía. 7.5 Puente Ronda de la Hispanidad. (De La Cruz, 2006)

Entre otras aplicaciones están, la rehabilitación de viviendas en el centro de Madrid, la elaboración de soleras y pavimentos, forjado en Galicia, Mallorca y en el Parque Empresarial la Fina en Madrid, reduciendo en un 60% el tiempo de aplicación, comparado con aplicaciones convencionales (Gettu y Agulló, 2003).

En el edificio del Ayuntamiento de Mollet del Vallès (Barcelona), se utilizaron unos 300 m³ de HAC en unos muros fuertemente armados (Ver Fotografía 7.6). Inicialmente el proyecto contemplaba el uso de HC, pero se intuía un hormigonado dificultoso, y existía riesgo de que no se alcanzaran los recubrimientos requeridos. El tiempo de puesta en obra estaba originalmente previsto en unas 20 horas continuas, para evitar juntas frías, lo que hubiera ocasionado severas molestias al encontrarse en un entorno urbano. Al utilizar HAC, se redujo el tiempo de hormigonado hasta poco más de seis horas (disminución de casi el 70 %), y se consiguió además una evolución de resistencias muy superior a la demandada, permitiendo un postensado con éxito, y con unos acabados satisfactorios (Masó, 2004).



Fotografía. 7.6 Edificio Ayuntamiento de Mollet del Vallés (Masó, 2004)

Otra de las aplicaciones del HAC ha sido en la ejecución de puentes prefabricados continuos de luz variable acartelado (Fernández-Ordóñez Hernández y Pavón Rivo, 2005). Esta aplicación se puede considerar como una de las pioneras en España para el desarrollo de hormigones autocompactables en la fabricación industrial de elementos estructurales prefabricados y se llevó a cabo en la Autovía Ocaña – La Roda, donde los requisitos estructurales exigían un tipo de hormigón de colocación rápida para estructuras densamente armadas. Dichos puentes tenían tres luces formados por un dintel con una única línea de rigidez constituida por una viga prefabricada tipo acartelada de canto variable, con anchos de tablero de ocho, nueve y once m.

Un estudio realizado por Borralleras (Degussa Construction Chemicals España S.A., 2005), pone de manifiesto la reducción de tiempos de ejecución e implicación de personal en el hormigón prefabricado hasta en un 70% y 50% respectivamente. Compara los métodos de vertido, personal implicado y tiempo de ejecución entre un HC y un HAC, en la fabricación de losas de 3,5 m³ y losas doble T de 5,5 m³, forjados de 40 m³, soleras, pavimentos y muros de elevada altura.

En Madrid se fabricaron 220 viviendas con HAC, en el barrio “Vallecar”, con un sistema novedoso denominado AUTOREADY (cuba giratoria que se desplaza por riel por encima de la línea de producción), que permitía la construcción definitiva de una vivienda cada dos días.

Igualmente en Sevilla se fabricaron 320 viviendas unifamiliares, que permitían ser pintadas directamente sobre el acabado que proporcionaba el HAC.

Entre otras aplicaciones se destaca la construcción de pavimentos en el Vendrell y la rehabilitación de viviendas antiguas, el hormigonado de losas armadas en la estación “Delicias” en Zaragoza, túneles en el tramo del AVE en MONTBLANC y la aplicación en una obra de edificación en el Parque Empresarial “La Finca”. Quedando de manifiesto que el HAC, proporciona un excelente acabado sin poros ni oquedades (Lana, 2005).

La Empresa de Prefabricados de Cataluña S.A. (PRECAT) ha implementado nuevas técnicas de colocación en Tarragona. Y en la Universidad Politécnica de Cataluña, específicamente en el Laboratorio de Tecnología de Estructuras (LTE), se han adelantado algunos trabajos con HAC debido a la posibilidad de ensayarlo y caracterizarlo. Una de las aplicaciones fue el desarrollo y fabricación de muros y bancos para mobiliario urbano con HAC, para el Laboratorio de Hidráulica de la misma universidad y para una empresa de prefabricados de Barcelona, respectivamente. En la Tabla 7.4, se presentan a manera de comparación, los resultados de los ensayos realizados sobre el HAC con el que se fabricaron los muros y el hormigón autocompactable reforzado con fibras de acero HAC-RFA en estado fresco.

Tabla 7.4 Resultados de los ensayos en estado fresco del HAC y HAC-RFA, aplicado en la fabricación de los muros. (De La Cruz, 2006)

TIPO DE HAC	ESCURRIMIENTO		EMBUDO-V	CAJA EN L		CAJA EN U		EXTENSIÓN CON ANILLO	
	Df (mm)	T50 (s)	TV (s)	T60 (s)	CB (H2/H1)	H2 (mm)	CB (H2/H1)	Df (mm)	CB (H2/H1)
HAC	620	2	6	6	0,8	350	1	610	0,7
RFA	650	2	8	6	0,6	185	0,4	580	0,6

En la aplicación de los muros, se fabricaron paneles para la extracción de testigos, y poder así, realizar ensayos en estado endurecido como son la determinación de cloruros, absorción capilar, carbonatación, permeabilidad y ultrasonido entre otros.

De este estudio en particular se puede decir, que ensayos para determinar la velocidad de absorción capilar verifican de forma contundente la importancia de este material en casos como pantallas de hormigón, donde se requiera controlar los movimientos de agua u otro tipo de fluidos. Y de la determinación de la permeabilidad o no del HAC, se evidencia una mayor impermeabilidad; así como otras propiedades de interés como son, la resistencia a la penetración de cloruros o la velocidad de absorción capilar en el material, mejorando la durabilidad.

En la Tabla 7.5, se presenta el resumen de las dosificaciones y los resultados de los ensayos de caracterización para la elaboración de los muros con HAC y las dosificaciones de los bancos (B1, B2 y B3) con sus respectivos porcentajes de pasta.

Otro de los estudios experimentales consistió en el diseño y fabricación de seis vigas pretensadas, dos de ellas de HC y cuatro de HAC (“Cortante en vigas pretensadas de hormigón de alta resistencia autocompactable” (Choulli et al., 2005); que permitió concluir que la resistencia a cortante última del HC es un 12% mayor que la del HAC para la misma resistencia a compresión, debido muy posiblemente a la reducción del engranamiento como consecuencia del menor tamaño o volumen de árido, y superficies lisas de rotura del HAC.

Las vigas del HAC presentaron mayor ductilidad que las fabricadas con HC vibrado.

Tabla 7.5 Dosificaciones y resultados de los ensayos de caracterización en estado fresco de los muros y bancos elaborados en el LTE.

ESTRUCTURA	MUROS	BANCOS	B1 f/c=0,7 sp/c=0,9 44%	B2 f/c=0,6 sp/c=0,8 44%	B3 f/c=0,6 sp/c=0,8 42,5%	
MATERIALES Kg/m ³						
PASTA	CEM I 42.5R	489	CEM I 52,5R	425	441	406
	Agua	229	Agua añadida	200	208	182
	Humo de sílice	49	Polvo de Mármol	298	265	243
	Filler calizo	195	sp	10,1	9,3	3,2
	sp	7,7				
ESQUELETO GRANULAR						
ÁRIDOS	Arena 0- 5	869	Arena 0-2,5	652	652	675
	Grava 5- 12	579	Gravilla 2,5- 6	362	362	375
			Grava 6-15	435	435	450
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS						
Esgurrimiento	T50 (s)	1,4	T50 (s)	4	3	5
	Df (mm)	640	Df (mm)	680	770	700
Embudo-V	T (s)	5	T (s)	17	12	6
Caja en L	T (s)	2	T (s)	9	5	11
	CB	0,8	CB	0,88	0,94	0,88

7.2.6 REINO UNIDO

El HAC, ha sido utilizado en el Reino Unido para obras en reparación; especialmente para un puente con resistencia de 60 MPa a siete días (McLeis, 1996).

Allí se ha hecho difusión a nivel mundial del HAC, en el Congreso Internacional de Métodos de la Producción y Trabajabilidad del Hormigón en el año de 1996, Primer Simposio Internacional sobre HAC en 1999 y Segundo Simposio Internacional sobre HAC en el año 2001.

En la Tabla 7.6., para Europa (E) no se define el nombre de la obra, pero si se hace referencia de manera genérica a las condiciones, del tipo de fino adicionado (E1), según el tipo de AMV (E2) y la que corresponde al combinado del tipo de fino adicionado y el AMV (E3), con sus respectivos resultados del ensayo de Extensión de flujo para cada caso.

7.2.7 ESTADOS UNIDOS

Desde el año de 1995 se han construido en los Estados Unidos varios puentes con este hormigón, aplicado en la tecnología del hormigón arquitectónico; cuyo uso ha tomado mucha fuerza para proyectos comerciales cuando las especificaciones lo permiten.

El mayor uso del HAC en los Estados Unidos ha sido para los prefabricados, y a hormigones arquitectónicos; con el fin de resolver la manera de colocación del mismo desde partes altas, ya que ésta es una de las ventajas que ofrece este tipo de hormigón; dejarse bombear y colocar desde gran altura.

Una de las aplicaciones más recientes ha sido en cinco pozos de perforación de un m de diámetro por 7,3 m de profundidad (Hodgson et al., 2005). Por la alta densidad de refuerzo, requería de un hormigón de gran fluidez, rápida ejecución y no vibración. Se examinó el comportamiento en la aplicación de un HC y un HAC de resistencia $f'c$ de 26,7 MPa, para una relación agua/cemento (A/C) de 0,44 del HC y de A/C 0,77 para el HAC; para elegir la mejor opción sin problemas de segregación.

Tres pozos de perforación se fabricaron con HC y dos con HAC (Appa y Appb), cuyas secciones transversales fueron inspeccionadas, mediante la realización de cortes, para observar la uniformidad y segregación en toda la sección.

La conclusión de dicho trabajo arrojó resultados tales, que recomiendan la utilización de HACs en este tipo de aplicaciones, donde los elementos estructurales, además de las dificultades de colocación, presenten un alto contenido de refuerzo, que dificulte el paso del hormigón fresco a través de los encofrados y donde la vibración sea difícil.

Las dosificaciones empleadas para la fabricación de estos hormigones se presentan en la Tabla 7.6 como Appa y Appb (ASCE, 2005). En ninguno de los HACs se adicionó humo de sílice.

En la Tabla 7.6 a continuación, se resumen para los Estados Unidos, las dosificaciones para casos de HAC con tipo de fino adicionado como A1, tipo de AMV como A2 y combinado del tipo de fino y el AMV como A3. También se resumen las dosificaciones más destacadas y mencionadas en los apartados anteriores para el Japón (J) y Europa (E).

Tabla 7.6. Algunas dosificaciones de HAC, empleadas en el Japón (J), Europa (E) y los Estados Unidos (A).
(De La Cruz, 2006)

MATERIALES (Kg/m ³)	JAPÓN (J)			EUROPA (E)			E.E.U.U (A)				
	J1 LNG	J2 PUENTE	J3 HR	E1 con Finos	E2 con AMV	E3 Fino AMV	A1 con Finos	A2 con AMV	A3 Fino AMV	Appa	Appb
AGUA	175	165	175	190	192	200	174	180	154	191	191
CEMENTO	530	220	298	280	330	310	408	357	416	248	248
Cenizas Volantes	70	0	206	0	0	190	45	0	0	135	134
<i>Filler Calizo</i>	0	0	0	245	0	0	0	0	0	0	0
Escorias	0	220	0	0	200	0	0	119	0	58	57
ARENA	751	870	702	865	870	700	1052	936	1015	947	944
Árido grueso	789	825	871	750	750	750	616	684	892	725	729
Superplastificante* mL/cwt	9,0	4,4	10,6	4,2	5,3	6,5	*1602	*2500	*2616	*522	*522
Agente M. de la Viscosidad* mL/cwt	0	4,1	0,09	0	0	7,5	0	0	*542	0	0
RESULTADO Esgurrimiento (mm)	625	600	660	600 750	600 750	600 750	710	660	610	610 710	610 710

7.3 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

Con base en el estado del arte se pueden establecer algunos puntos de partida para lograr un hormigón autocompactable de resistencia media (HAC-RM), siempre fijando como medida inicial la fluidez, para una extensión de flujo entre 65 y 75 cm, sin problemas de segregación y exudación.

En cualquier caso, para garantizar el éxito del desarrollo de un HAC-RM (30 - 45 MPa) adecuado, según las necesidades y prestaciones requeridas, es esencial la elección de componentes apropiados, especialmente un sp de buena efectividad, agregados gruesos y finos, o en su defecto de un aditivo cohesionante, de características adecuadas a la aplicación.

La metodología de dosificación que se elija para la fabricación de un HAC, debe contemplar la caracterización de todos los materiales y el control de todos los parámetros que intervienen en la fabricación.

Lograr un HAC-RM, exige seguir una metodología de dosificación donde se puedan establecer los criterios y controles sobre el hormigón en estado fresco, como la respuesta esperada en estado endurecido.

Se deben seleccionar de manera apropiada los ensayos de caracterización más relevantes para garantizar la autocompactabilidad, aprovechando de la mejor manera posible que no existen criterios de autocompactabilidad universalmente aceptados.

Una de las consideraciones más importantes es la mejora en el ambiente de trabajo y la salud laboral, como la prolongación de la vida de los moldes y buenos acabados superficiales que eliminan o reducen la necesidad de otros acabados manuales. Otros beneficios adicionales serían la posibilidad del uso de moldes más ligeros, o la fabricación de diseños más complejos, con la garantía de un hormigón más homogéneo en estado endurecido.

Como se puede observar en el desarrollo del estado del arte la gran mayoría de las aplicaciones estructurales del HAC, han sido para altas prestaciones. Este es un aspecto que limita el uso de los HACs, ya que, la gran mayoría de las aplicaciones en la construcción no exigen altas resistencias, pero sí, resistencias medias a bajas o similares a las de un hormigón convencional (HC), pero con propiedades de fluidez en estado fresco similares a las de un HAC; y cuyas otras propiedades en estado endurecido, además de la “baja” resistencia se cumplan.

7.4 CONCLUSIONES

En la actualidad no se puede hablar de una utilización sistemática del HAC en la construcción, pero existen referencias de aplicaciones de los mismos en el ámbito internacional, siendo pioneras las que se han llevado a cabo en el Japón, Europa y los Estados Unidos.

Los estudios realizados confirman la viabilidad del uso de HACs, tanto durante su ejecución como en servicio, en particular: las propiedades de transporte, tiempos de ejecución y durabilidad.

El tiempo de colocación de un HAC se puede reducir al menos a un tercio del HC bombeado y vibrado; manteniendo sus propiedades tanto durante el transporte, como durante las operaciones de caracterización en estado fresco, bombeo y colocación.

El uso del HAC en el sector de la prefabricación puede conducir a ventajas adicionales como el aumento de la vida útil de los moldes, el empleo de moldes más ligeros, y la reducción del

tiempo y esfuerzos necesarios empleados en el acabado manual de los elementos debido a la mejora en la calidad de las superficies.

Además, la disminución del ruido, debido a la eliminación de la vibración, mejora ostensiblemente el ambiente de trabajo

Los resultados confirman que es posible colocar el HAC en estructuras densamente armadas, sin peligros de segregación, dando lugar a un material homogéneo de fácil y rápida colocación.

Al no existir normativas universalmente aceptadas el uso del HAC está ahora limitado a casos especiales; que han exigido la implementación de ensayos de caracterización específicos no normalizados, o modificar ensayos convencionales. Pues sus tres propiedades principales (capacidad de relleno, habilidad de paso y estabilidad frente a la segregación), son parámetros ajenos a la caracterización del hormigón fresco convencional.

En las aplicaciones realizadas en el LTE; cabe anotar que el uso de HACs permite una mejor y más rápida colocación, con menor esfuerzo y operadores, como también ausencia de macro-defectos.

De la aplicación en muros se puede decir, que en la determinación de la permeabilidad o no del HAC, se evidencia una mayor impermeabilidad, así como otras propiedades de interés como son la resistencia a la penetración de cloruros o la velocidad de absorción capilar en el material, mejorando la durabilidad.

Ensayos para determinar la velocidad de absorción capilar verifican de forma contundente la importancia de este material en casos como pantallas de hormigón, donde se requiera controlar los movimientos de agua u otro tipo de fluidos.

Una sola prueba para la caracterización del HAC en estado fresco no es suficiente. Por lo tanto se deben determinar qué ensayos serán los encargados de caracterizar el hormigón en estado fresco, dependiendo lógicamente de las condiciones de colocación, aplicación y durabilidad que debe cumplir.

Reconociendo las ventajas del HAC, el interés del sector de la construcción en este material ha crecido de forma significativa en los últimos años, de ahí que se encuentre en la literatura técnica cada vez más información de la aplicación del HAC, para la construcción y rehabilitación de estructuras.

Diferentes grupos de investigación a nivel mundial están trabajando para normalizar el uso de los HACs. Pretenden dar una respuesta eficaz a los nuevos retos estructurales, como

estructuras fuertemente armadas, formas geométricas complejas, donde las dificultades de compactación pueden originar serios problemas de calidad del hormigón.

Con el estudio del estado del arte de los HACs se pone de manifiesto, la gran actividad realizada en los últimos años en el campo del desarrollo de técnicas experimentales con base científica, que permiten ser empleadas tanto para los diseños de mezclas, como para la calidad del hormigón producido.

En el medio de la construcción existe la necesidad de desarrollar y validar métodos de dosificación para hormigones autocompactables de resistencia media y baja (p.e., entre 30 y 45 MPa).

Pruebas pilotos son necesarias para verificar las prestaciones de los HAC-RMs.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI. (1977) 318-77 *Building Code Requirements for Reinforced Concrete American Concrete Institute*, Detroit.

ACI *Committee 363 State of the Art Report High-Strength Concrete*. ACI Journal 8181 (4), pp. 364-411.

AENOR. (1998) *Ensayos de hormigón y mortero. Tomo 10 – Construcción. Recopilación de Normas UNE*.

AFGC (2000). *Betons Auto-Plaçants: Recommandations Provisoires*. Association Française de Génie Civil, 63 p.

Aïtcin, P (1999). *Demystifying Autogenous Shrinkage*. Concrete International. Vol. 21 N° 11., pp. 107-131.

Ambroise, J y J Péra (2001). *Properties of Self-Leveling Concrete: Influence of a Viscosity Agent and Cement Content*. Proc. Fifth International CANMET/ACI Conference on Recent Advances in Concrete Technology, ACI SP 200, Ed. V. M. Malhotra, American Concrete Institute, EE.UU., pp. 367-380.

ASCE (2005). “*Usos del hormigón autocompactable en Japón, Europa y los Estados Unidos. Tecnología del Puente*”. En: U.S Department of transportation FEDERAL HIGHWAY OF TRANSPORTATION – FHWA. American Society of Civil Engineers. Disponible en <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/scc.htm>, consulta: septiembre 2006

Assad, J, Kamal, H y Khayat (2004). *Assessment of thixotropy of self consolidating concrete- and Concrete-equivalent-Mortar-Effect of Binder Composition and content*. CEMENT and CONCRETE RESEARCH. Vol. 34 N° 11.

ASTM (1991) Designation: C 300-91 *Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*.

ASTM (1991) Designation: C 1611-05 *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*.

ASTM (1991) Designation: C 1621-05 *Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring*.

ASTM (1994). Designation: C 512 – 87 Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression.

Bartos, P.J.M. y Grauers, M (1999). Self-Compacting Concrete. Concrete, Vol. 33, nº 4, pp. 9-13

Bartos, P.J.M.,Key (2000). Properties of Fresh Self-compacting Concrete: A Case for Standardisation. Proc. Seminar on Self-Compacting Concrete, Malmö/Copenhagen, pp. 21-26

Bartos, P.J.M (2000). Measurement of key properties of self-compacting concrete. CEN/STAR PNR Workshop, 6 p. Disponible en: http://bativille.cstb.fr/CenStarWS/Measurement_key_properties.pdf

Barragán y otros (2005). Hormigón autocompactable de alta resistencia para el refuerzo de túneles”. III congreso de Ache de puentes y estructuras. las estructuras del siglo XXI. Sostenibilidad, Innovación y retos del futuro. Investigaciones y estudios. pp. 599-611.

Beaupré, D, Lacombe, P y Khayat, K.H (1999). Laboratory Investigation of Rheological Properties and Scaling Resistance of Air Entrained Self-Consolidating Concrete. Mater. Struct., Vol. 32, pp. 235-240.

Billberg, P (1999). Self-Compacting Concrete for Civil Engineering Structures - The Swedish Experience. CBI Report, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Estocolmo, Suecia, 80 p.

Borralleras, P (2003). Obras y realizaciones con hormigones autocompactables. Jornada Técnica sobre Hormigón Autocompactable: Un Hormigón para el Siglo XXI, Documentación Técnica, IECA Levante, Valencia, pp. 55-70.

Borralleras, P (2005). Hormigón autocompactable para aplicaciones convencionales” III congreso de Ache de puentes y estructuras. Las estructuras del siglo XXI. Sostenibilidad, Innovación y retos del futuro. Investigaciones y estudios. Vol. 1. pp. 469-481.

Bramshuber, W y Uebachs, S (2002). Self-Compacting Concrete - Application in Germany. Proc. 6th International Symposium on Utilization of High Strength / High Performance Concrete, Eds. G.König, F.Dehn y T.Faust, Leipzig University, Alemania, Vol. 2, pp. 1503-1514.

Bravo, M (2004). Caracterización y Utilización del Hormigón Autocompactable. Projecte o Tesina d'Especialitat. Enginyerie de la Construcció. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals I Ports de Barcelona.

Brouwers, H.J.H y Radix, H.J (2005). Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study. *Cement and Concrete Research* 35. Received 11 August 2004; accepted 9 June 2005., pp. 2116-2136.

Bury, M.A. y Bühler, E (2002). Methods and Techniques for Placing Self-Consolidating Concrete – An Overview of Field Experiences in North American Applications. Proc. First North American Conf. on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (Rosemont, Illinois, EE.UU.), Center for Advanced Cement-Based Materials, Evanston, Ill., EE.UU., 7 pp.

Bui, V.K, Montgomery, D, Hinczak, I y Turner, K (2002). Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, no. 9, pp. 1489-1496.,

Carbonari y otros (1996). Time-dependent mechanical behavior of high performance concretes: Creep and shrinkage, Proc. Intl. Congress on High-Performance, and Performance and Quality of Concrete Structures, Univ. Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, pp. 39-51.

CEB (1983). RILEM/CEB/FIB. Recommendations on reinforcement steel reinforced concrete RC – 6: Bond test for reinforcement steel: 2. Pull-out Test. Revised edition. 5 pp.

COMITÉ EURO – INTERNATIONAL DU BÉTON (1982). Bond Action and Bond Behavior of reinforcement: State-of-the-Art Report. Session Plèniere du CEB-, Munich. París, Bulletin d'information n.151.

Corres, P, Pérez C, Defant E. M, Padilla L y Moreno P (2003). Los hormigones especiales en el Eurocódigo 2. Hormigones de alta resistencia y hormigones ligeros. *Revista Hormigón y acero* nº 228-229. pp 107-131.

Choulli, Y, Marí B y Cladera B (2005). Cortante en vigas pretensadas de hormigón de alta resistencia autocompactable. III congreso de Ache de puentes y estructuras. las estructuras del siglo XXI. Sostenibilidad, Innovación y retos del futuro. Investigaciones y estudios. Vol. 1. pp 359-369.

Daczko, J (2002). Stability of Self-Consolidating Concrete, Assumed or Ensured?. Proc. First North American Conf. on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (Rosemont, Illinois, EE.UU.), Center for Advanced Cement-Based Materials, Evanston, Ill., EE.UU., 7 p.

Daglia y otros (2004). Influence of Alkali-Free and Alkaline Shotcrete Accelerators within cement systems: Hydration, Microstructure and strength Development/. Disponible en: <http://www.elsevier.com>.

Degussa Construction Chemicals (2005). España, SA. Basters, 1508184 Palau-solitá i Plegamans. Barcelona. Disponible: www.degussa-cc.es.

De La Cruz M, C (2009). Desarrollo de Hormigones Autocompactables de Resistencia Media en Colombia. Trabajo para obtener el Título de Profesora Titular. Universidad Nacional de Colombia- Facultad de Minas.

De La Cruz M, C (2006). Desarrollo de Hormigones Autocompactables de Resistencia Media para Aplicaciones Estructurales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

De La Cruz M, C (2004). Resistencia a la Flexión y a la adherencia en vigas de mortero armado con polímeros reforzados con fibra FRP. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.

Domínguez, J (2003). Utilización de los aditivos en el hormigón autocompactable. Jornada Técnica sobre Hormigón Autocompactable: Un Hormigón para el Siglo XXI, Documentación Técnica, IECA Levante, Valencia, pp. 9-14.

Domone, P y Chai, H (1996). Design Testing of Self-Compacting Concrete. Production Methods and Workability of Concrete, Eds. P.J.M.Bartos, D.L.Marrs y D.J.Cleand, E&FN Spon, Londres, pp. 223-252.

EFNARC (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. EFNARC, Farnham, Reino Unido, 32 p.

EH-82 (1987). Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. Comisión permanente del hormigón. (Actualización de la eh-80 según real decreto 2252/1982 de 24 de julio ("B.O.E." de 13 de septiembre de 1982)). Capítulo IV Características de los materiales pp.70-90.

EHE (1999). Instrucción Estructural del Hormigón. Ministerio de Fomento. Madrid.

EHE (2003). Instrucción Estructural del Hormigón. Ministerio de Fomento. Madrid.

Fernández, D y Pavón, A (2005). Uso del hormigón autocompactable en la ejecución de puentes prefabricados continuos de canto variable acartelado. III congreso de Ache puentes y estructuras. Las estructuras del siglo XXI. Sostenibilidad, Innovación y retos del futuro. Investigaciones y estudios. pp. 2727-2738.

Ferraris, C y De Larrard, F (1998). Informe interno 6094, febrero de 1998 del National Institute of Standards and Technology.

GEHO (1997). Hormigones de alta resistencia, fabricación y puesta en obra, Boletín N° 25, Grupo Español del Hormigón.

Gettu, R y Shah, S (1994). Fracture Mechanics, High-Performance Concrete and Applications, Edward Arnold, Londres, pp. 161-212.

Gettu R., Aguado A y Oliveira, M.O.F (1996b). Damage in high-strength concrete due to monotonic and cyclic compression: A study based on the splitting-tension strength, ACI Materials I., V. 93, n°. 6, pp. 519-523.

Gettu R, Aguado A, Zangelmi E, Carmona S y Carbonari G (1998). Recientes avances en la caracterización del comportamiento mecánico de hormigones de altas prestaciones. 1^{er} Symposium nacional de hormigón de altas prestaciones. E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. pp 41-51.

Gettu R., Aguado A y Martín M.A (1998b). Retracción del hormigón y el uso de aditivos reductores de retracción, Especialidades químicas para la construcción. El mundo de los aditivos para hormigón a puertas abiertas del siglo XXI (Proc. IV Simposio ANFAH, Madrid), 12p.

Gettu, R, Aguado A, Agulló L y Martín M (1999). Avances en la caracterización del comportamiento mecánico del hormigón y sus implicaciones para hormigones de altas prestaciones. III Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. La ingeniería del siglo XXI Libro de Actas. Relatos generales y comunicaciones. Barcelona, pp 1009-1014.

Gettu R., Aguado A, Martín M.A y Roncero J (2000). El uso de aditivos reductores de retracción en el hormigón y sus implicaciones. El hormigón en las infraestructuras de transporte. CEMENTO- HORMIGÓN. N° 813, pp 755-769.

Gettu R, Josa A, Agulló L, Gomes P y Izquierdo J (2002). Desarrollo de hormigones autocompactables de alta resistencia con cenizas volantes: Hacia una tecnología del hormigón más sostenible. Desarrollo sostenible del cemento y del hormigón, Ed. R. Gettu, CIMNE, Barcelona, pp. 27-42.

Gettu R, García T, Bernad C y Collie H (2003). Utilización del Hormigón Autocompactable en elementos prefabricados. Cemento-Hormigón, 14 p.

Gettu R. y Agulló L (2003). Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización. Parte I. Cemento-Hormigón, N° 861, pp. 36-53.

Gettu R, y Pacios A (2004). Mix design, characterization and utilization of self-compacting concrete: Practical considerations. *pPolitecnico Di Milano Polo Regionale Di Lecco*. Corso

avanzato sul tema *il calcestruzzo autocompattante (scc)*. *Universita' Degli Studi Di Bergamo*.

Gettu y otros (2005). Repetibilidad y reproducibilidad de los ensayos para el hormigón autocompactable. XI Jornadas Técnicas sobre Otros Hormigones. Departamento de la Ingeniería de la Construcción. E.T.S. de Ingenieros de Caminos , Canales y Puertos. Universitat Politècnica de Catalunya; Barcelona, pp. 119-140.

Gomes P, Gettu R, Agulló L y Bernad, C (2001). Experimental Optimization of High-Strength Self-Compacting Concrete. Proc. Second International Symposium on Self-Compacting Concrete (Tokio), Eds. K.Ozawa and M.Ouchi, COMS Engng. Corp., Kochi, Japón, pp. 377-386.

Gomes, P (2002). Optimization and Characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 139 p.

Gomes P, Gettu R, Agulló L y Bernad C (2002). Diseño de hormigones autocompactables de alta resistencia - Procedimiento para su dosificación y métodos de caracterización. Cemento-Hormigón, nº 832, pp. 30-42.

Goto K, HayaKawa M, Ukigai T y Tabori N (1996). Flowing Concrete with Packed Powder Superplasticizer, Production Methods and Workability of Concrete, Eds. P.J.M. Bartos, D.L.Marrs y D.J. Cleand, E&FN Spon, Londres, pp. 30-42.

Groth P y Nemegeer D (1999). The Use of Steel Fibers in Self-Compacting Concrete. Proc. 1st Intl. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, Eds. A. Skarendahl y Ö. Petersson, RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, Francia, pp. 497-507.

Grünewald S y Walraven, J (2001). Self-compacting fiber reinforced concrete. Heron, 46 (3), pp. 201-206.

Guinda, J (2004). Influencia de la cuantía de armadura longitudinal en la resistencia a cortante en vigas de hormigón convencional y autocompactable. Tesina Final de Carrera, ETSICCP, Barcelona.

Hamada D, Sato T, Yamato F y Mizunuma T (2002). Development of New Superplasticizer and Its Application to Self-Compacting Concrete. Proc. Sixth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete (Niza, Francia), ACI SP-195, Ed. V.M.Malhotra, American Concrete Institute, Farmington Hills, EE.UU., pp. 269-290.

Hayakawa M, Matsuoka Y y Shindoh T (1993). Development and Application of Super-Workable Concrete. Special Concretes: Workability and Mixing (Proc. Intl. RILEM Workshop, Paisley, UK), Ed. P.J.M.Bartos, E&FN Spon, Londres, pp. 183-190.

Hibino M (2000). Effect of Viscosity Enhancing Agent on Self-Compactability of Fresh Concrete. Proc. Sixth CANMET/ACI Intl. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete (Niza, Francia), ACI SP-195, Ed. V.M.Malhotra, American Concrete Institute, Farmington Hills, EE.UU., pp. 305-320.

Hodgson D y otros (2005). Self-Consolidating Concrete for Use in Drilled Shaft Applications. Journal of Materials in civil Engineering. May/June. ASCE. Vol: 17, pp 363-369.

JSCE-F503 (1990). Method of Test for the Slump Flow of Concrete. Standards of Japan Society of Civil Engineers.

JSCE (1998). Standards of Japan Society of Civil Engineers.

Khayat K y Guizani Z (1997). Use of Viscosity-Modifying Admixture to Enhance Stability of Fluid Concrete. ACI Mater. J, Vol. 94, nº 4, pp. 332-340.

Khayat, K(1999). Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete. *ACI Mater. J.*, Vol. 96, No. 3, pp. 346-353.

Khayat K, Bickley J and Lessard M (2000). Performance of Self-compacting concrete for casting basement and foundation walls. *ACI Materials Journal*, may-june 2000, pp. 374-380.

Kim J, Han S (1998). Park, Y.D. y Noh, J.H., Material Properties of Self-Flowing Concrete. *J. Mater. in Civil Engng.*, Vol. 10, nº 4, pp. 244-249.

Lacombe P, Beaupré D y Pouliot N (1997). Rheology and Bonding Characteristics of Self-Levelling Concrete as a Repair Material. Proc. Fifth CANMET/ACI Intl. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete (Roma), Supplementary Papers, pp. 163-184.

Lana M^a (2005). "Hormigón Autocompactable". Arquitecto Técnico. Disponible en: www.arquitectura-técnica.com/ARTCERCH 77- II

Marí A y Cladera A (2003). Bases de cálculo para el hormigón de alta resistencia. Revista - Hormigón y Acero- núms. 228-229, 2.º y 3.º trimestre 2003, pp. 18-23.

Martí J y otros (2003). Estudio de la adherencia de cordones de pretensado en hormigones de alta resistencia a muy corto plazo. Grupo ADITEC. Departamento de Ingenieros de la

Construcción y de proyectos de ingeniería Civil. Universidad politécnica de Valencia. España.

Masó D (2004). Aplicación de un Hormigón Autocompactable Edificio Institucional y Administrativo Ayuntamiento de Mollet del Vallés. Jornada Técnica I+D+i en Tecnología de Estructuras de Hormigón. Documentación Técnica. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, pp. 199-203.

McLeish A (1996). Flowable Concrete for Structural Repairs. *Production Methods and Workability of Concrete*, Eds. P.J.M.Bartos, D.L.Marrs y D.J.Cleand, E&FN Spon, Londres, pp. 515-522.

Miura Y, Kinoshita M, Inoue, Izumi I y Sakai K (1998). Propierties of Self-Compacting Concrete Using a New Superplasticizer, Concrete Under Severe Conditions 2: Environment and Loading (Proc. Second Intl. Conf., Tromso, Noruega), Eds. O.E.Gjorv, K.Sakai y N. Banthia, E&FN Spon, Londres, pp.2007-2016.

Mora J, Aguado A, Gettu R, ESICCPB-UPC 2002. Estudio de la fisuración por retracción plástica en hormigones sujetos a altos índices de evaporación. II Congreso Ache de puentes y estructuras.

Mori M y Aguado A (2005). Adherencia en hormigones auto-compactables de alta resistencia” III Congreso de Ache de puentes y estructuras. Las estructuras del siglo XXI, Sostenibilidad, innovación y retos del futuro. Investigaciones y estudios. pp. 1083-1094.

Nagai T, Kogima T y Miura T (1999). Application of High-Strength/Superworkable Concrete to Thin-Wall Prestressed Concrete Products. *Mag. Concr. Res.*, Vol. 51, nº 3, pp. 153-162.

Nehdi M y Rahman (2003). Estimating rheological properties of cement pastes using various rheological models for different test geometry, gap and surface friction. *Cement and Concrete Research*. The University of Wertern Ontario, pp 1993-2007.

Neville A (1981). Propierties of concrete, Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex. Reino Unido.

Nishizaki T, Kamada F, Chikamatsu R y Kawashima H (1999). Application of High-Strength Self-Compacting Concrete to Prestressed Concrete Outer Tank for LNG Storage. Proc. 1st Intl. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, Eds. A.Skarendahl y Ö.Petersson, RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, Francia, pp. 629-638.

Okamura H (1997). Self-Compacting High-Performance Concrete. *Concrete. International*, Vol. 19, nº 7, pp. 50-54.

Okamura H y Ouchi M (1999). Self-Compacting Concrete. Development, Present Use and Future. Proc. 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Stockholm, Sweden), Eds. A. Skarendahl and Ö. Petersson, RILEM Publications S.A.R.L., pp. 3-14.

Okamura H, Ozawa K y Ouchi M (2000). Self-Compacting Concrete. Structural Concrete, Vol. 1, n° 1, pp. 3-17.

Olivares y otros (2003). Hormigones Autocompactables. Capítulo 1. Tecnología, propiedades Generales y realizaciones con Hormigón Autocompactable. Editorial EDITAN S.A, Sevilla.

Otsuki N, Hisada M, Nagataki S y Kamada T (1996). An Experimental Study on the Fluidity of Antiwashout Underwater Concrete. *ACI Mater. J.*, Vol. 93, n° 1, pp. 20-25.

Ouchi M, Ozawa K y Okamura H (1996). Development of a simple Self-Compactibility Testing Method for Acceptance at Job Site. Proc. 1st International Conference on Concrete Structure.

Ouchi M, Hibino M y Okamura H (1997). Effect of Superplasticizer on Self-Compactability of Fresh Concrete. Transportation Research Record, paper 970284, n° 1574, pp. 37-40.

Ouchi M (1999). Self-Compacting Concrete: Development, Applications and Investigations. Nordic Concrete Research, n° 23, 5 p. Disponible en: <http://www.itn.is/ncr/publications/doc-23-3.pdf>

Ouchi M (2001). Current Conditions of Self-Compacting Concrete in Japan. Proc. Second Intl.Symp. on Self Compacting Concrete (Tokio), Eds. K.Ozawa y M.Ouchi, COMS Engineering Corp., Kochi, Japón, pp. 63-68.

Ouchi M (2004). Self-Compacting Concrete: Development and Applications in Japan, Europe and U.S.A. Disponible en: <http://www.fhwa.dot.gov/brige/scc.htm>.

Ozawa K, Maekawa K y Okamura H (1990). High Performance Concrete with High Filling Capacity. Admixtures for Concrete: Improvement of Properties (Proc. Intl. RILEM Conf.), Ed. E. Vázquez, Chapman and Hall, Londres, pp. 51-63.

Ozawa K, Sakata N y Okamura H (1994). Evaluation of Self Compactability of Fresh Concrete, Using the Funnel Test. Proc. Japan Society of Civil Engineers, Vol. 23, n° 490, pp. 71-80.

Ozawa K y otros (1999). Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete, Kochi, Japan, March 1999. Concrete Engineering Series, No. 30, Japan Society of Civil Engineers, March 1999. Disponible en: <http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/scc-net/>

Pacios A (2003). El hormigón autocompactable: Tecnología sostenible en la industria de la construcción del siglo XXI. Jornada Técnica sobre Hormigón Autocompactable: Un Hormigón para el Siglo XXI, Documentación Técnica, IECA Levante, Valencia, pp. 27-34.

Pacios A (2003). “Tecnología Sostenible para el sector de construcción” Self Compacting Concrete: Sustainable Technology for the construction Industry. Revista Hormigón y Acero nº 228-229, pp. 143-166.

Person B (2001). Cement and Concrete Research 31. A comparison between mechanical properties of self- compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, pp 193-198.

Petersson Ö, Billberg P y Van B.K (1996). A Model for Self-Compacting Concrete. Production Methods and Workability of Concrete, Eds. P.J.M.Bartos, D.L.Marrs y D.J.Cleand, E&FN Spon, Londres, pp. 483-492.

Puerta F (2002). El hormigón autocompactable del arco mixto del puente de la Ronda de la Hispanidad sobre el río Ebro en Zaragoza. Puentes y Estructuras de Edificación (Comunicaciones del Congreso ACHE, Madrid), Vol. 1, Asoc. Científica-Técnica de Hormigón Estructural, Madrid, pp. 33-39.

Ramos G y otros (2004). Comportamiento frente al esfuerzo cortante de elementos estructurales de hormigón autocompactable. Jornada Técnica “I+D+i en Tecnología de Estructuras de Hormigón. Documentación Técnica. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, pp. 15-22.

Revuelta D y Fernández L (2003). Self-Compacting Concrete. HAC. Visión General. Revista Hormigón y Acero nº 228-229, p.p. 133-136.

Rodríguez J y González D (2005). Control de la retracción por secado en un hormigón arquitectónico autocompactable. III Congreso de Ache puentes y estructuras (2005). Las estructuras del siglo XXI. Sostenibilidad, Innovación y retos del futuro. Investigaciones y estudios, pp. 1315-1330.

Rols S, Ambroise J y Péra J (1999). Effects of Different Viscosity Agents on the Properties of Self-Leveling Concrete. Cem. Concr. Res., Vol. 29, pp. 261-266.

Roncero J, Gettu R y Martín M (2001). Influencia de un Aditivo Reductor de Retracción en el Comportamiento Diferido de Hormigones Estructurales”. II Congreso de Ache puentes y estructuras. Investigaciones y estudios. Materiales. Dept. Ingeniería de la construcción, Universitat Politècnica de Catalunya.

Rooney M y Bartos P (2001). Development of the Settlement Column Segregation Test for Fresh Self-Compacting Concrete (SCC). Proc. Second Intl. Symp. on Self Compacting Concrete (Tokio), Eds. K.Ozawa y M.Ouchi, COMS Engineering Corp., Kochi, Japón, pp. 109-116.

Rooney M (2002). *Assessment of the Properties of Fresh Self-Compacting Concrete With Reference to Aggregate Segregation*. Tesis Doctoral, University of Paisley, Escocia, Reino Unido.

Ruiz de Gordejuela G (2005). Estudio del comportamiento frente al esfuerzo cortante de pilas cilíndricas huecas para puentes. Tesina Final de Carrera, ETSICCP, Barcelona.

Sakata N, Maruyama K y Minami M (1996). Basic Properties and Effects of Welan Gum on Self-Consolidating Concrete. *Production Methods and Workability of Concrete*, Eds. P.J.M.Bartos, D.L.Marrs y D.J.Cleand, E&FN Spon, Londres, pp. 237-253.

Sakata K, Ayano T y Takemura I (1996). Effect of an Admixture on Properties of Self-Compacting High-Performance Concrete. Proc. Fifth CANMET/ACI Intl. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete (Roma), Supplementary Papers, pp. 297-309.

Salaverría J (2003). Estudio Experimental sobre la reparación y refuerzo de puentes utilizando fibras sintéticas y pretensado exterior. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, pp. 45-58.

Schlagbaum T (2002). Economic Impact of Self-Consolidating Concrete (SCC) in Ready-Mixed Concrete. Proc. First North American Conf. on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (Rosemont, Illinois, EE.UU.), Center for Advanced Cement-Based Materials, Evanston, Ill., 7 p.

Sedran T (1995). Les bétons autonivelants (BAN). Synthèse bibliographique. Bulletin des Lab. des Ponts et Chaussées, Vol. 196, pp. 53-60.

Sedran T, De Larrard F, Hourst F y Contamines C (1996). Mix Design of Self-Compacting Concrete. *Production Methods and Workability of Concrete*, Eds. P.J.M.Bartos, D.L.Marrs y D.J.Cleand, E&FN Spon, Londres, pp. 439-450.

Sedran T y De Larrard F (1999). Optimization of Self-Compacting Concrete Thanks to Packing Model. Proc. 1st Intl. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, Eds. A.Skarendahl y Ö.Petersson, RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, Francia, pp. 321-332.

Seto K, Okada K, Yanai S y Nobuta Y (1997). Development and Applications of Self-Compacting Concrete. Proc. Intl. Conf. on Engineering Materials (Ottawa, Canadá), Eds. A.Al-Manaseer, S.Nagataki y R.C.Joshi, CSCE/JSCE, Ottawa/Tokio, Vol. I, pp. 413-429.

Skarendahl Å y Petersson Ö (2000). Eds., Self-Compacting Concrete. State-of-the-Art Report of RILEM TC 174-SCC, Report 23, RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, Francia, 154 p.

Skarendahl Å (2002). Aceptación en el mercado del hormigón autocompactable. La experiencia sueca. Cemento-Hormigón, nº 840, pp. 39-48.

Skarendahl Å (2002). Puente de Carretera de formas redondeadas. Aceptación en el Mercado del HAC. La experiencia Sueca. Revista Cemento – Hormigón. Nº 840.

Soriano M, Zerbino R, Giaccio G, Barragán B y Gettu R. (2003). Development and characterization of steel fiber reinforced self-compacting concrete. Proc. Intl. Conf. on Recent Trends in Concrete Technology and Structures, Eds. D.L. Venkatesh Babu, R. Gettu and R. Krishnamoorthy, Kumaraguru College of Technology, Coimbatore, India, pp. 316-322.

Su N, Hsu K-C, y Chai H-W (2001). A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 31, pp. 1799-1807.

Subramanian, S. y Chattopadhyay., Experiments for Mix Proportioning of Self-Compacting Concrete. *Indian Concr. J*, Vol. 76, nº 1, pp. 13-20, 2002.

“Sustainable Bridges” (2006). Proyecto Europeo *Deliverable 3.10*. Contrato *FP6-PLT-001653 2006-03-08 24 (82)*. 4 Bond stress-slip behaviour.

Takeuchi H, Higuchi M y Nanni A (1994). Application of “Flowable” Concrete in a Tunnel Lining. *Concr. Intl.*, Vol. 16, nº 4, pp. 26-29.

Tanaka M, Mori K, Shindoh T y Sakamoto J (2001). Application of Self-Compacting Concrete to Steel Segments of Multi-Micro Shield Tunneling Method. Proc. Second Intl. Symp. on Self Compacting Concrete (Tokio), Eds. K.Ozawa y M.Ouchi, COMS Engineering Corp., Kochi, Japón, pp. 615-660.

Tanigawa Y, Mori H y Wakabayashi S (1996). Study on Evaluation of Consistency of High-Fluidity Concrete by Ring Penetration Test and Cylinder Penetration Test. Japan Cement Association Proc. of Cement & Concrete, nº 50, pp. 672-677.

Taniguchi H., Harada K Y Ushijima S (1994). Study on Properties of fluidity of Mortar and Concrete for Super Workable Concrete. Proc. Japan Cement Asociation, nº 48, pp. 750-755.

Tomosawa F, Masuda Y, Izumi I y Hayakawa M (199). AIJ Recommended Practice for High-Fluidity Concrete for Building Construction. Proc. 1st Intl. RILEM Symp. on Self-Compacting Concrete, Eds. A.Skarendahl y Ö.Petersson, RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, Francia, pp. 778-786.

Tviksta L-G (2000). Guidelines, Report of Task 9: End Product, Rational Production and Improved Working Environment through using Self Compacting Concrete. Brite EuRam project BRPR-CT96-0366, 48 p. Disponible en: <http://scc.ce.luth.se/>

Walraven J (2001). State of the Art of Self Compacting Concrete in The Netherlands. Proc. Second Intl. Symp. on Self Compacting Concrete (Tokio), Eds. K.Ozawa y M.Ouchi, COMS Engineering Corp., Kochi, Japón, pp. 13-24.

Weith F (2004). Nuevos Hormigones. Desafío para el encofrado. Revista Cemento – Hormigón. N° 858.

Yurugi M, Sakata N y Sakai G (1995). Viscosity Agent and Mineral Admixtures for Highly Fluidized Concrete. Proc. Intl. Conf. on Concrete Under Severe Conditions, Eds. K.Sakai, N.Banthia y O.E.Gjørsv, E&FN Spon, Londres, pp. 995-1004.

Yurugi M y Sakai G (1998). A Proven QA System for Flowable Concrete. Concr. Intl., Vol. 20, n° 10, pp. 44-48.

Zerbino R, Gettu R, Agulló L y Aguado A (2004). Criterios y alternativas para la evaluación de la tenacidad en hormigones con fibras de acero. Revista de Obras Públicas, n 3435, año 150, julio-agosto 2003, pp 23-30.



MANUAL DE LABORATORIO

Aplicado a la fabricación y desarrollo de hormigones autocompactables de resistencia media (HAC-RM)

Este Manual va dirigido a:

A docentes, como fuente de información detallada de la actualidad de los Hormigones Autocompactables HACs y de Resistencia Media (HAC-RM), con la presentación de diversos procedimientos de caracterización y ensayos, así como las diferentes normativas internacionales sobre ensayos en laboratorio.

A los estudiantes en asignaturas, relacionadas con el hormigón y las tendencias y aplicaciones más actualizadas y de última generación en la arquitectura y la construcción civil.

A profesionales y empresas constructoras, otorgando una alternativa resumida de la difusión del conocimiento, para su aplicación práctica en un plazo inmediato; con evidencias verificables de su excelente desempeño. Además de servir como antesala para iniciar el cambio de mentalidad en la construcción colombiana; para aplicar nuevas tecnologías que reducen de manera importante los plazos de ejecución, costos y mejora ostensible de la salud laboral y condiciones medio-ambientales.