



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

**TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
AUTOCOMPACTABLE**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

PRESENTA:

REYNA ISABEL ZÚÑIGA IBARRA

TUTOR:

M. I. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES



MÉXICO D.F.

AGOSTO 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Dios:

Por permitirme llegar a estos momentos de mi vida

A mis padres:

(Abraham, Jesús)

Por darme la vida, apoyarme, e impulsarme siempre a la superación.

A mis hermanos:

(Andrés, Ignacio, Ramiro, Alonso, Jorge, Miguel)

Por quererme, ayudarme, y estar siempre conmigo.

A todos mis amigos:

Por enseñarme lo bonito que es la amistad

A mis escuelas:

(UAS, UNAM)

Por proporcionarme lo necesario para hacer de mí una profesional

A todos mis maestros:

Por transmitirme sus conocimientos y hacer de mí una persona de bien

A mi tutor y mis sinodales:

*(M.I. Cottier Caviedes, Dr. Meza Puesto, M.I. Díaz Díaz, M.I. Favela Lozoya
y Dr. Díaz Rodríguez)*

*Por el tiempo, el apoyo, y sugerencias que me obsequiaron para lograr de
mi investigación un documento interesante.*

*A IMCYC:
Lic. Rogelio*

*Por mostrarse siempre amable y disponible para proporcionarme la información
necesaria y culminar a tiempo mi investigación*

A todos ustedes muchas gracias

Ing. Reyna Isabel Zúñiga Ibarra

Debido a la abundancia de deficiencias en los elementos estructurales al hacer uso del concreto autocompactable sin previo conocimiento, se propone un análisis del comportamiento de este tipo de concreto para disminuir a lo máximo este problema, logrando una mayor durabilidad de las obras a un bajo costo.

La definición del concreto autocompactable nos ayuda a entender la necesidad de conocimiento respecto al comportamiento del mismo. La influencia de cada uno de los componentes básicos y especiales (adiciones y aditivos superfluidificantes) según sus características, la evaluación de las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, y normas son puntos a tratar en el presente contexto.

Con este análisis se pretende que cualquier persona interesada conozca la principal función de este concreto, las propiedades que hay que cuidar para que mantenga su función; y sobre todo que se logre una máxima durabilidad del elemento a un bajo costo.

I N D I C E

Resumen de investigación	IX
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	
Introducción capitular I	1
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Reseña histórica	2
1.1.2 Objetivos	6
1.1.3 Alcance	7
CAPÍTULO II. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE	
Introducción capitular II	9
2.1 Definición del concreto autocompactable	10
2.2 Componentes básicos en la elaboración de la mezcla	13
2.2.1 Cemento	13
2.2.2 Agregados fino	13
2.2.3 Agregados gruesos	13
2.2.4 Agua	15
2.2.5 Aditivos	15
2.2.5.1 Aditivo superfluidificante / reductor de agua de alto rango	16
2.2.5.2 Aditivo modulador de viscosidad	16
2.2.6 Adiciones	17
2.3 Parámetros del concreto autocompactable	18
2.4 Diseño de la mezcla	20

2.4.1 Procedimiento de diseño	20
2.4.2 Requerimientos de diseño	22
2.4.2.1 Volumen de la pasta	23
2.4.2.2 Contenido de finos	23
2.4.2.3 Relación grava / arena	23
2.4.2.4 Volumen del agregado grueso	24
2.4.2.5 Coeficiente de forma del agregado grueso 1.....	24
2.4.2.6 Contenido de superplastificante	24
2.4.2.7 Uso de un agente para la viscosidad	25
2.4.3 Dosificación de los materiales	25

CAPÍTULO III. PROPIEDADES Y CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE

Introducción capitular	29
3.1 Evaluación de las propiedades del concreto	30
3.1.1 En estado fresco	30
3.1.1.1 Fluidéz	31
3.1.1.2 Deformabilidad	38
3.1.1.3 Resistencia a la segregación y viscosidad	39
3.1.2 En estado endurecido	46
3.1.2.1 Resistencia a la compresión	46
3.1.2.2 Resistencia a la tensión	48
3.1.2.3 Adherencia del concreto con el acero de refuerzo	49
3.1.2.4 Módulo de elasticidad	50
3.1.2.5 Resistencia al congelamiento y deshielo	51
3.1.2.6 Cambios volumétricos	53
3.1.2.7 Prueba de penetración	57

3.1.2.8 Permeabilidad (Absorción de agua cerca de la superficie)	58
3.1.2.9 Carbonatación	60
3.2 Influencia de la cantidad de finos en las propiedades del concreto autocompactable	61
3.3 Efecto del tipo de fino en las características del concreto autocompactable	62
3.4 Influencia de la cantidad de aditivos en las propiedades del concreto autocompactable	62
3.5 Comportamiento reológico	63
3.6 Cuidados que se deben de tener en el concreto autocompactable	65
3.6.1 En la elaboración	65
3.6.2 En el transporte	66
3.6.3 En la colocación	67
3.6.4 Curado	69
3.7 Ventajas y desventajas en su uso	70
3.7.1 Ventajas	70
3.7.2 Desventajas	71
3.7.3 Aplicaciones	72

CAPÍTULO IV. NORMAS Y ESPECIFICACIONES

Introducción capitular	73
4.1 Normas en el concreto autocompactable	74
4.2 Casos prácticos del uso del concreto autocompactable	76
4.2.1 Construcciones Internacionales importantes	76
4.2.2 Construcciones Nacionales importantes	78
4.2.3 Otros construcciones realizadas con este concreto	78
CONCLUSIONES	80

RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85
APENDICES	87
ANEXOS	89
GLOSARIO	93

RESUMEN DE INVESTIGACIÓN

El presente escrito analiza el comportamiento de un tipo de concreto de alto comportamiento llamado “concreto autocompactable”, este tipo de concreto es utilizado en nuestro país desde hace poco tiempo, y es por ello que existen ciertas discrepancias respecto a su función, dando como resultado un comportamiento no satisfactorio de los elementos estructurales y una corta durabilidad.

La principal función del concreto autocompactable es autonivelarse por su propio peso, sin necesidad de ser vibrado.

En el primer capítulo se da una breve introducción de cómo nació este tipo de concreto, quienes fueron los pioneros y por qué surgió la necesidad de crear un concreto con estas características. Se plantea también el objetivo del presente documento al igual que los alcances que se obtendrán al término de este.

El objetivo de este documento es dar a conocer el comportamiento del concreto autocompactable, los componentes, el procedimiento de diseño de mezcla, los cuidados

que se deben de tener desde su elaboración hasta el terminado final. Al igual que las pruebas que evalúan sus propiedades en estado fresco y en estado endurecido.

Para este documento no se considero enunciar hipótesis ya que se trata de un documento analítico, donde se realiza un estudio bibliográfico de la función y comportamiento del concreto autocompactable.

En la segunda parte se tratan las definiciones del concreto autocompactable, los componentes y sus características, los parámetros que estos deben cumplir; el procedimiento de la mezcla, los requerimientos de la misma y la dosificación de los materiales.

Los métodos de dosificación de mezclas para concreto autocompactable difieren de los métodos tradicionales empleados en el concreto, estando fundamentados en una base esencialmente empírica.

Respecto al capítulo tercero, en este se tratan las propiedades del concreto autocompactable en estado fresco y endurecido, y la forma de cómo evaluarlas.

La influencia de los finos en este tipo de concreto de alto comportamiento, los cuidados que se deben de tener desde su elaboración, transporte, colocación y curado. Se hacen menciones de las ventajas y desventajas con las que cuenta; y las principales aplicaciones.

En el último capítulo se hablan de las normas que rigen las pruebas de evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido, así como varios ejemplos a nivel nacional y mundial. Describiéndose brevemente el problema y la solución.

INTRODUCCIÓN CAPITULAR I

En el presente capítulo se menciona una reseña histórica sobre el concreto convencional, como ha ido evolucionando conforme al tiempo convirtiéndose en el principal elemento constructivo, y confeccionándose hasta llegar al concreto autocompactable, un concreto de alto rendimiento y libre de vibración.

El plantea el objetivo y los alcances de la investigación para reunir todos los conocimientos necesarios para el uso y cuidado de este concreto, y así tratar de mitigar las deficiencias y lograr obras mas durables.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Reseña histórica

El concreto esta compuesto por cemento, agregado grueso, agregado fino, agua y en algunos casos aditivo. El cementante, dentro de la industria del concreto, es el material adhesivo empleado para unir fragmentos o masas de materia sólida y con ellos formar un todo compacto.

Los grandes adelantos en el equipo de producción, los mejores medios de investigación para conocer más íntimamente las materias primas y el producto final, unido esto a su demanda como ingrediente indispensable para el concreto y las necesidades del constructor de contar con mejores materiales, han hecho que cada día el cemento Pórtland presente mejores cualidades y más diversas aplicaciones.

En apenas 50 años la industria de fabricación de concreto han obtenido grandes avances, ya que el concreto es uno de los materiales de construcción mas empleados.

En 1955 se emplearon los primeros fluidificantes basados en lignosulfonatos, procedentes de los residuos industriales de la fabricación de papel. Su rendimiento era aceptable (8% de reducción de agua de amasado), aunque con efectos secundarios negativos notables.

Aun así la calidad del concreto en obra era demasiado lenta y laboriosa dependiendo fundamentalmente de la ejecución, y como consecuencia los errores de ejecución eran excesivos, así que en 1970 aparece el concreto autonivelante y concreto de alta resistencia. Se comenzaron a utilizar en obra civil los primeros superfluidificantes procedentes de Japón y Alemania. Con este tipo de concreto y aditivo se obtuvieron resultados espectaculares, con una reducción del agua de amasado del orden del 25%, sin efectos secundarios negativos por la rapidez, facilidad y garantía en la ejecución.

Desde luego que con la entrada de los aditivos superplastificantes se redujeron considerablemente los errores de ejecución y se mejoró enormemente la calidad del concreto, por lo cual la calidad del concreto ya no dependía de su consistencia, sino de la relación agua/cemento (a/c); relación que determina la durabilidad de las obras.

Fue entonces, cuando en 1986 el profesor Hakime Okawa de la Universidad Kochi de Tecnología, preocupado por la creciente cantidad de problemas de durabilidad en las estructuras de concreto construidas por el gobierno Japonés, inició una investigación para determinar las causas de tal problemática, concluyendo que se debía a las deficiencias de la compactación del concreto durante su colocación.

Okamura realizó una investigación con el propósito de eliminar la principal causa de la pobre durabilidad del concreto, la mala vibración. Los resultados de su investigación

involucra un nuevo concepto en la tecnología del concreto que presentó en 1987 cuando se realizaron las primeras pruebas a escala real.

Las principales motivaciones fueron la realización de estructuras mas durables, la posibilidad de colar zonas densamente armadas y/o formas complejas.

Las propiedades evaluadas mediante las pruebas fueron su secado, endurecimiento, contracción, calor de hidratación y densidad entre otras propiedades.

Este prototipo fue llamado originalmente concreto de alto rendimiento y posteriormente **concreto autocompactable**. El prototipo tenia tres propiedades:

1. En estado fresco: autocompactarse con alta resistencia a la segregación.
2. A edad temprana: sin defectos iniciales provocados por la generación de calor de hidratación, endurecimiento o contracción por secado y asentamiento plástico.
3. En estado endurecido: durabilidad frente a los factores externos (baja permeabilidad y resistencia a las heladas cuando fuera necesario)

Los primeros reportes sobre estudios realizados al respecto se presentaron en 1989 en la Segunda Conferencia Asia Este y Pacífico en Ingeniería Estructural y Construcción, y posteriormente en el encuentro CANMET/ACI de 1992. La mayor parte de las investigaciones se realizan en Europa y Japón.

El interés por este tipo de concreto se desarrollo rápidamente a escala mundial luego de este trabajo pionero realizado en Japón. En este país se ha experimentado exitosamente con esta tecnología principalmente en proyectos de construcción de envergadura y sofisticación. Entre las experiencias efectuadas se destacan los trabajos de Ozawa (1992) y

Ouchi (1998), este último propone el “vibration-free concrete” incluyendo los siguientes requisitos: la capacidad para “llenar cada rincón”, la de “minimizar defectos” (desarrollo de calor, contracción, etc.), y la de minimizar la permeabilidad. Por su parte Kashima (1998) destaca como beneficio la “reducción en los tiempos constructivos”, Yorugi (1998) las “mejoras en compacidad”, y Uno (1998) la “reducción en la contaminación sonora”.

A partir de 1993 se realizan importantes trabajos en la comunidad europea y en particular en Suecia, con las experiencias de Bui (1994), Tangtermsirikul (1995), y el planteo de un proyecto europeo Brite – Euram Project (1997) “Rational production and improvement working environment through using Self-Compacting Concrete”. Cabe citar además los trabajos de Billberg (1996 y 1999), Peterson (1996), entre otros.

En México tiene poco tiempo el empleo de este concreto de alto rendimiento, por lo que aún no existen normas mexicanas para evaluar las pruebas de control de calidad. El conocimiento sobre el funcionamiento de este concreto es escaso, dando como resultado un sinnúmero de deficiencias.

Respecto a investigaciones, hasta el momento también son escasas, la información existente en nuestro país proviene de Estados Unidos, Chile, Argentina y países europeos y asiáticos como son España, Alemania y Japón consecutivamente.

La solución debería ser un concreto cuyas propiedades quedaran garantizadas única y exclusivamente en el momento de su diseño, independientemente de su ejecución. Esto sería una garantía de calidad y de seguridad. Así pues, los últimos desarrollos en la tecnología del concreto se han centrado en la elaboración de concretos autocompactables, que gracias al avance de la química implicada en la construcción, han permitido el nacimiento de lo que hoy llamamos concreto autocompactable, el cual permite ser colocado en obra sin la necesidad de vibradores, eliminando definitivamente este factor que si no es aplicado correctamente afecta a la calidad y durabilidad como es la puesta en obra.

1.1.2 Objetivo

El presente trabajo tiene como fin realizar un análisis del comportamiento y funcionalidad del concreto autocompactable; desde su diseño, transportación, colocación en obra, comportamiento reológico, etc., a través de consultas bibliográficas se obtuvieron una serie de datos fundamentales para luego ser aplicados en la práctica y así obtener mejores resultados en todo tipo de elemento estructural elaborado con este tipo de concreto.

La durabilidad es una de las propiedades fundamentales de este tipo de concreto de alto comportamiento, razón por la cual varios investigadores se han enfocado y aun continúan las investigaciones para ir perfeccionando cada vez mas el proceso de este tipo de concreto donde es eliminada la etapa de vibrado.

Actualmente, los únicos factores que limitan el crecimiento de esta técnica son un mejor conocimiento en la fabricación del concreto, aspectos de construcción, recomendaciones y guías de aplicación.

1.1.3 Alcance

El principal interés de desarrollar este documento es conjuntar una serie de datos y conocimientos que puedan ayudar a la comunidad consumidora de este elemento constructivo, como lo es el concreto autocompactable, y así obtener un beneficio satisfactorio tanto para el cliente, el constructor y el productor de este tipo de concreto.

Para conseguir un adecuado desarrollo de este tipo de concreto de alto comportamiento es necesario un mejor conocimiento desde los materiales constituyentes, la dosificación, la fabricación del concreto, hasta su transporte y colocación, así como un importante desarrollo de los aditivos, razón por la cual se propone un análisis del comportamiento de este tipo de concreto.

Este tipo de concreto se considera dentro de los concretos de alto comportamiento, ya que sus propiedades y características en estado fresco y endurecido son particularmente especiales, comprobándose en los parámetros de sus componentes y comportamiento reológico.

Se realizaron visitas a institutos, escuelas para conjuntar toda información existente y así tener un campo más amplio de conocimientos. Al igual que consultas en internet, entrevistas a proveedores y clientes para verificar la funcionalidad del tal concreto.

Con este análisis se pretende dejar claro la funcionabilidad del concreto autocompactable y disminuir al máximo las deficiencias en las obras, ya que por falta de información y conocimiento respecto al comportamiento del concreto autocompactable la durabilidad de las obras son casi nulas.

Se presentan casos prácticos de su uso a nivel nacional y mundial; haciéndose una breve descripción del tipo de problema, la solución y las características del diseño de mezclas.

INTRODUCCIÓN CAPITULAR II

Se describen varias definiciones sobre concreto autocompactable de diferentes fuentes donde todas concluyen en una misma. Se definen los componentes básicos y especiales (adiciones y aditivos superfluidificantes), así como sus características para la elaboración de la mezcla. Se consideran ciertos parámetros del concreto autocompactable que se deben cumplir en el procedimiento de diseño, y dosificación de los materiales.

CAPÍTULO II.

TECNOLOGÍA DEL CONCRETOAUTOCOMPACTABLE

2.1 Definición de concreto autocompactable

“Es un hormigón capaz de fluir y rellenar cualquier parte y rincón del encofrado a través del armado simplemente, por la acción de su propio peso, sin la necesidad de cualquier otro método de compactación externo y sin segregación o indicios de bloqueo¹”.

“En un hormigón que tiene la fluidez significativamente alta, con gran resistencia a la segregación durante su transporte y colocación, capaz de ser vaciado dentro de moldajes estrechos y áreas densamente armadas sin aplicar vibración²”.

“Es aquel que es capaz de fluir en el interior de los encofrados, pasar a través de las armaduras de refuerzo, llenar completamente el molde, logrando la compactación solamente por la acción de su propio peso³”.

¹ BORRALLERAS MAS, Pere, Cemento-hormigón, No. 826, 2001

² AGUILAR, Carlos, Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vol. 18-No. 1, 2003

³ GIACCIO, G, Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, No. 9, 2002

Existen un sinnúmero de definiciones de concreto autocompactable, pero todos enfocan una misma definición, “es el tipo de concreto que es capaz de fluir por su propio peso sin que se presente segregación o exudación, dejando fuera la etapa de vibración que comúnmente se realiza en el concreto convencional”.

Como se ha mencionado este tipo de concreto llegó como una evolución en la tecnología del concreto, desde años todas las investigaciones se enfocaban en ciertas propiedades del concreto, tales como la consistencia, relación agua/cemento, etc., sin tomar en cuenta el proceso de elaboración, transporte y colocación.

Según estudios se tiene que los errores mas comunes en la etapa de construcción son los siguientes⁴:

Ejecución	40%
Proyecto	25%
Acciones imprevistas	18%
Materiales	17%

Como se puede ver el mayor porcentaje de error se lleva a cabo en la ejecución, ya que es en la etapa donde mas intervine el factor humano, por lo tanto es donde se debe poner mayor interés para tratar de mitigar al máximo este porcentaje de error. La durabilidad fue el principal punto de interés que hizo que el profesor Hakime Okawa se interesará por investigar el motivo que causaba tal problema, ya que había observado este problema en obras en su país, y desde luego se dio un gran paso gigantesco en tal invento, pues hoy en día es uno de los avances mas importantes en el ámbito de la construcción y en uno de los principales elementos de construcción como lo es **el concreto**.

⁴ GOMEZ SERRANO, Joseph, Cemento Hormigón, Universidad Politécnica de Cataluña, No. 826, Agosto 2001

Se cree que este tipo de concreto de alto comportamiento continué con su desarrollo hasta conseguir que el concreto convencional quede en el pasado, respecto a su uso, aunque aún existen dudas y poco conocimiento del comportamiento del concreto autocompactable, las investigaciones continúan, ya que las facetas negativas que puede presentar el concreto pueden eliminarse si se posee un amplio conocimiento de sus problemas y de las posibilidades que nos ofrecen los nuevos materiales y tecnologías. Es por ello que ningún material ha sido capaz de crear una tecnología propia en tan corto tiempo y una aceptación en el mundo constructivo, como lo ha conseguido el concreto.

De acuerdo a definiciones, las características fundamentales que debe cumplir un concreto autocompactable son las siguientes:

- Elevada fluidez: el concreto autocompactable se caracteriza por una elevada fluidez, hasta el punto que los métodos tradicionales de ensayo resultan obsoletos.
- Elevada resistencia a la segregación: La elevada fluidez no debe implicar nunca segregación o exudación. La masa debe mantener la homogeneidad tanto de forma intrínseca como al someterse a la puesta en obra.
- Adecuada viscosidad plástica: El concreto autocompactable debe fluir por la acción de su propio peso. Esto requiere unas características de formulación para que el concreto no se bloquee en su paso a través de las armaduras, con un efecto de relleno y que corra a través de la cimbra, acomodándose a su forma.
- Deformabilidad en estado fresco: Para obtener unos buenos acabados y un perfecto recubrimiento de las armaduras, el concreto autocompactable debe caracterizarse por su deformabilidad en estado fresco.

2.2 Componentes básicos en la elaboración de la mezcla

Se puede decir que los componentes del concreto autocompactable son casi los mismos de un concreto convencional, a excepción de las adiciones, pero con diferentes características y proporciones donde cada uno de ellos tienen su particularidad e importancia.

2.2.1 Cemento

No existen requerimientos especiales de acuerdo al tipo de cemento. Puede utilizarse el cemento tipo I como el tipo II según la norma ASTM-C-150 ó NMX-C 414-ONNCCE, o incluso cementos compuestos. Solo que algunos recomiendan emplear cementos con bajo calor de hidratación para minimizar los problemas de retracción que una masa con tanta cantidad de finos puede generar.

La cantidad mínima de cemento recomendada son 350 kg/m³ para satisfacer la demanda de finos y de tal modo que ésta esté equilibrada con la cantidad de adición y con la demanda de agua. Esta cantidad es relativa ya que estará con relación al tipo de adición empleada⁵. En general los requerimientos básicos en cuanto al tipo de cemento los marcará el tipo de aplicación.

2.2.2 Agregados finos

No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza de las arenas empleadas. Sobre su distribución de tamaños, es necesario emplear arenas de granulometría continua, sin cortes en su granulometría, y preferiblemente sin formas lajositas. Su cantidad deberá estar en consonancia con la cantidad de grava. Generalmente el contenido de arena puede

⁵ BORRALLERAS MAS, Pere, CEMENTO HORMIGÓN, No. 826, 2001

representar el 60-50% de la cantidad de agregado total, en función de la naturaleza y cantidad de la adición empleada, de cemento y de las características de la grava.

Es preferible un cierto aporte de finos por parte de las arenas ya que esto puede reducir la demanda de adición y para corregir los 500-550 kg/m³ de finos inferiores a 0.1 mm demandados.

Si se emplean arenas correctoras para satisfacer la demanda de finos, su cantidad a emplear deberá estar con relación a la cantidad de finos demandada y a la cantidad de cemento empleada.

2.2.3 Agregados gruesos

Las mayores exigencias en cuanto a materiales para la confección de concreto autocompactable están en la grava. A pesar que no existe limitación en cuanto a su naturaleza, si existen limitaciones con el tamaño máximo y el coeficiente de forma.

El tamaño máximo del agregado se limita a 25 mm, aunque es preferible limitarlo a 20 mm (ver anexos). El tamaño máximo del agregado deberá guardar relación con la distancia entre armaduras, pero dado el caso en que fuera posible trabajar con tamaños superiores a 20-25 mm, no deberá excederse este tamaño ya que implica un elevado riesgo de bloqueo y segregación de la masa. Los mejores resultados globales se consiguen empleando tamaños máximos entre 12-16 mm.

Respecto al coeficiente de forma, este debe ser lo más bajo posible ya que las mejores propiedades autocompactables sin bloqueos y elevada fluencia del concreto se consiguen con gravas rodadas. Las formas lajosas dificultan que el concreto fluya adecuadamente y aumentan el riesgo de bloqueo.

2.2.4 Agua

La cantidad de agua total empleada debe guardar relación con el volumen de finos empleado a razón de una relación 0.9-1.05. Relaciones volumétricas agua/finos, inferiores a 0.9 generan concretos demasiado cohesivos, que necesitan mucho volumen para autocompactarse. Contrariamente, relación agua/finos superiores a 1.05 implica un elevado riesgo de exudación. Si se emplea aditivo modulador de viscosidad, la relación del contenido de agua con el volumen de finos es más flexible en el aspecto que es posible incrementar el contenido de agua, ya que el modulador de viscosidad, gracias a su efecto cohesionante, actúa como elemento corrector.

La dosificación de agua y el cálculo de la relación agua/cemento (a/c) debe considerar la cantidad y el tipo de adición; ya que al trabajar con cantidades elevadas de cenizas, éstas deben considerarse en el agua reactiva. Esto implica considerar mas la relación agua/ligante, que la propia relación agua/cemento en el caso de emplear cenizas.

Como en el concreto convencional, la relación agua/cemento (a/c) es fundamental para la durabilidad y resistencia mecánica del concreto. Puede existir sin embargo, un problema en la calidad de los acabados si se emplean relaciones agua/cemento (a/c) extremadamente bajas si no se toman precauciones adicionales.

2.2.5 Aditivos

Estos aditivos cuya base química es un éter policarboxílico actúan sobre la pasta de cemento mediante dos mecanismos: repulsión electrostática y repulsión estérica. Esta repulsión estérica produce un efecto físico de separación entre las partículas de cemento debido al tamaño de la molécula generando una distribución especial que evita la floculación del cemento incluso cuando la reacción de hidratación ya ha comenzado.

2.2.5.1 Aditivo superplastificante / reductor de agua de alto rango

El aditivo superplastificante es imprescindible para la confección de concreto autocompactable. No todos los tipos son utilizables. Los aditivos basados en naftalen-sulfonatos o condensados de melamina no ofrecen suficiente poder reductor de agua y en consecuencia, los únicos tipos utilizables son los basados en éter policarboxílico modificado, capaces de reducir agua en valores superiores al 35%.

Independientemente del poder reductor de agua, las características del aditivo deben ajustarse a las características de cada aplicación y en correspondencia al tipo de cemento, adición y agregados empleados. En este aspecto, si se emplean las adiciones más adecuadas para cada aplicación el efecto del aditivo sobre el desarrollo de resistencia o sobre el fraguado no es tan acusado, especialmente en el caso de emplear cenizas, donde éstas colaboran de forma muy importante en el mantenimiento de la consistencia y dejan las particularidades del aditivo en segundo plano. Esto no es válido en los casos donde se demanda elevada resistencia inicial.

2.2.5.2 Aditivo modulador de viscosidad

El aditivo modulador de viscosidad es un producto que confiere cohesión interna a la masa sin apenas pérdidas de fluidez.

El empleo de este aditivo puede no ser imprescindible en el caso de emplear las adiciones y el cemento de su cantidad óptima. En estos casos, el aporte de finos será suficiente para mantener la cohesión interna y el empleo de aditivo modulador de viscosidad, en estos casos podría incluso ser perjudicial por la elevada cohesión de la masa, que requeriría elevados volúmenes de concreto para su autocompacidad.

El empleo de modulador de viscosidad es imprescindible en el caso de insuficiencias en el aporte de finos. En estos casos, el modulador de viscosidad representa una gran ayuda para mantener concretos con contenidos de finos inferiores a los recomendados en perfecto estado cohesión interna, manteniendo la fluidez de la masa.

El empleo del modulador de viscosidad ofrece grandes resultados como elemento tolerador de las variaciones en las características de los materiales.

La dosificación de todos los componentes básicos del concreto autocompactable deberá mantener un equilibrio que debe ser estable durante todo el tiempo que dure el ciclo de aplicación.

2.2.6 Adiciones

El empleo de adición es imprescindible para satisfacer la demanda de finos que requiere el concreto autocompactable. Dentro de lo que se entiende como adición para concreto autocompactable se incluye también la aportación de finos por parte de las arenas. En cualquier caso el empleo de adición es imprescindible para confeccionar concreto autocompactable.

Sobre la naturaleza de la adición, no existe limitación. Cenizas volantes, filler calizo (o de otra naturaleza, ver anexos), microsílíce, etc., son perfectamente utilizables. En general, las cenizas ofrecen grandes resultados en aplicaciones donde no se demande elevada resistencia inicial o se requiera elevado mantenimiento de la consistencia. Pero para prefabricado no representan la mejor opción.

El empleo de cenizas permite trabajar con cantidades de cemento más ajustadas debido a su actividad puzolánica pero debe asegurarse que la calidad de la ceniza sea la óptima. Las cenizas con elevado contenido de residuo de baja calcinación pueden provocar manchas negras en la superficie del concreto ya que éstos, por diferencia de densidades y

apoyado por la elevada fluidez del concreto autocompactable, emergen con facilidad a la superficie.

La microsílíce puede ser empleada en cualquier tipo de aplicación ofreciendo buenos resultados pero también tiene algunas limitaciones. Primero, su cantidad está limitada por motivos de resistencia a flexión, motivos económicos y por su elevada demanda de agua. Trabajar con microsílíce a las cantidades típicas generalmente no es suficiente para satisfacer la demanda de finos a o ser que la cantidad de cemento sea elevada y demanda mayor cantidad de aditivo superplastificante por su elevado efecto cohesionante. Otra razón que limita el empleo de microsílíce es su alteración del aspecto del concreto a no ser que se emplee microsílíce blanca.

El empleo de caolines como adición es utilizable, pero requiere elevadas cantidades de aditivo superplastificantes debido a su elevada demanda de agua.

2.3 Parámetros del concreto autocompactable

Las mezclas de concreto autocompactables se caracterizan por su alta fluidez, buena estabilidad (o falta de segregación) y bajo riesgo de boqueo. Tales propiedades se alcanzan con parámetros no usuales en un concreto convencional como son: alto volumen de pasta de cemento, un bajo volumen de agregados gruesos, un menor tamaño máximo de agregado, una baja relación agua / finos y el uso de aditivos químicos de última generación. Tales características dependen de los materiales y proporciones de los componentes de la mezcla; en concreto autocompactable, además de los componentes básicos (cemento, agregado, agua), la utilización de aditivos y adiciones es obligada.

- Contenido de finos (< 0.1 mm) entre 500-550 kg/m³
- Relación agua / finos en volumen entre 0.9-1.05
- Volumen de mortero aproximadamente al 40% respecto al total.
- Relación de grava no superior al 50% respecto al total

- Emplear curvas de agregados continuas con los mínimos cortes posibles y con adecuado coeficiente de forma (≥ 0.20)
- Tamaño máximo de agregado limitado a 25 mm
- Empleo de aditivos superplastificantes / reductores de agua de alto rango (reducción de agua superior al 30-35%)
- Empleo de aditivos moduladores de viscosidad (solo en caso necesario)

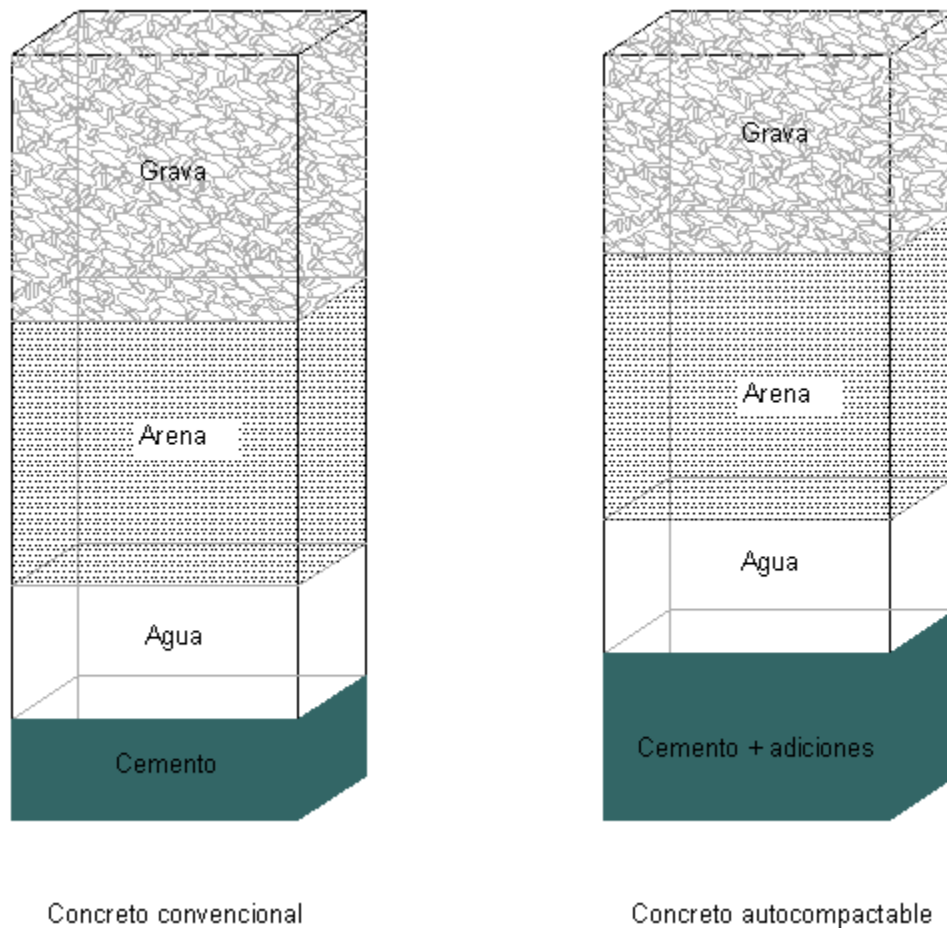


Figura 2-3-1 Esquema de los componentes de concreto convencional y autocompactable.

Como se puede apreciar en la figura 2-3-1 las cantidades de los componentes del concreto son diferentes, la cantidad de cemento aumenta, al igual que la cantidad de finos y obviamente disminuyendo la cantidad de agregados gruesos.

2.4 Diseño de la mezcla

El ciclo de diseño va ligado a los resultados obtenidos en las pruebas correspondientes, optimizando paso a paso la mezcla en estado fresco en función de los requerimientos establecidos en cada prueba. A pesar de que la mayoría de las exigencias del concreto autocompactable están en el diseño de su estado fresco, los requerimientos del estado endurecido como su evolución de resistencia y acabado deben ser considerados.

La aparición de nuevas generaciones de aditivos denominados hiperfluidificantes o reductores de agua de alto rango ha hecho posible la elaboración de concretos autocompactables.

2.4.1 Procedimiento de diseño

De acuerdo a Okamura el diseño del concreto autocompactable se centró en tres aspectos:

- Reducir la cantidad de agregado ordinario para reducir la fricción de las partículas y las colisiones entre ellas, incrementando con ello la fluidez.
- Incrementar el contenido de pasta para incrementar la fluidez.
- Variar la viscosidad de la mezcla para reducir el bloqueo de los agregados que fluyen entre obstáculos.

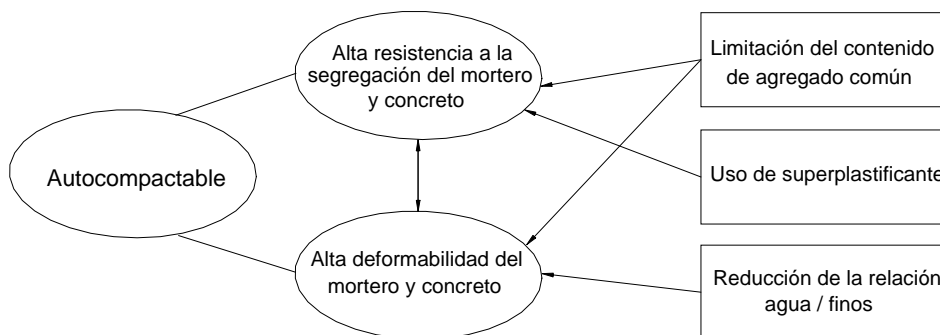


Figura 2-4-1 Principios básicos de la producción de concreto autocompactable

En la actualidad los diseños se basan en investigaciones realizadas en Japón, Suecia, Holanda y Francia; donde por lo común se utilizan dos tipo de diseño: uno empírico, basados en los requerimientos del elemento a fabricar como resistencia, durabilidad y separación de las barras de refuerzo, que determinan la cantidad de pasta de cemento.

Usando la curva granulométrica y la naturaleza del agregado (cribado o triturado), se efectúa el cálculo empleando una curva riesgo (por el tipo de agregado), que relaciona la granulometría y la separación entre agregados, con lo cual se obtiene el contenido mínimo de pasta para una determinada capacidad de fluidez. Este contenido mínimo puede ser mayor debido a la resistencia a la segregación o a requerimientos de trabajabilidad. Se emplea un aditivo superplastificante para ajustar la fluidez.

El segundo proceso de diseño consiste en determinar ciertas propiedades de los componentes como densidad, absorción y granulometría, por medio de un programa de computadora y predice el comportamiento, la fluidez y otras características.

Cuando es necesario realizar un ajuste a la mezcla debe hacerse una vez que los requerimientos han sido cumplidos se deben realizar nuevamente las pruebas anteriormente

descritas, ya sea en planta o en el sitio de colado. Si los resultados no son satisfactorios se debe realizar un rediseño, dependiendo del problema aparente, las siguientes sugerencias pueden ser las apropiadas:

Uso adicional o diferentes tipos de filler.

Modificar las propiedades de la arena o del agregado grueso.

Usar un agente modificador de viscosidad, si realmente la mezcla no lo contiene.

Ajustar la dosificación del superplastificante y/o agente modificador de viscosidad.

Usar diferentes tipos de superplastificante y/o agente modificador de viscosidad mas compatible con el material local.

Ajustar la dosificación de aditivos para modificar el contenido de agua, por lo tanto se ajusta la relación agua / cemento.

2.4.2 Requerimientos de diseño

La principal característica del concreto autocompactable es su fluidez en estado plástico por lo que su diseño se centra en ella. El concreto autocompactable se diseña para fluir bajo su propio peso sin energía externa y a una velocidad adecuada. En este tipo de concreto se requieren esfuerzos al corte bajos y un límite máximo para el valor de la viscosidad.

El concreto autocompactable debe ser capaz de fluir libremente a través de obstáculos; para ello no basta con una gran fluidez, pues cuando el concreto fluye cerca de un obstáculo el agregado grueso puede bloquearse y comenzar a cortar el mortero. Si éste no está bien diseñado, la grava puede formar tapones que obstaculizan el flujo de concreto.

Este fenómeno está relacionado con la segregación y ambos deben evitarse para garantizar la homogeneidad de la mezcla.

2.4.2.1 Volumen de la pasta

El volumen de la pasta debe ser alto; la fricción entre partículas de agregados limita la capacidad del concreto autocompactable de extenderse y llenar todos los huecos. El volumen de pasta (cemento + agua + aire) debe ser de 300 a 400 l/m³ para mantener separados los agregados.

2.4.2.2 Contenido de finos

La relación entre el agua y las partículas finas que pasen la malla 100 debe quedar ubicada entre 0.3-0.35., se consideran partículas finas tanto las de cemento, adiciones y las de agregados finos. Su contenido debe ser de 450-650 kg/m³. el exceso de finos, con relación a un concreto convencional no incrementa el agrietamiento por contracción de secado.

Para evitar el exceso de calor generado se reduce la cantidad de cemento al sustituirlo por cenizas volantes o limos.

2.4.2.3 Relación grava / arena

Debe ser de 0.72 – 0.80, lo que significa que el concreto autocompactable incluye más arena que un concreto convencional, lo que aunado al contenido de finos definen la capacidad de autocompactación.

2.4.2.4 Volumen del agregado grueso

El agregado puede ser grava natural, cribada o triturada. El volumen debe ser limitado para que el concreto autocompactable tenga la capacidad de fluir a través de obstáculos.

La grava mejora la trabajabilidad de la mezcla. Su tamaño máximo debe ser de 10-20 mm; la capacidad de pasar a través de obstáculos disminuye si se incrementa el tamaño del agregado grueso, lo que obliga a reducir su cantidad; un tamaño mayor es posible pero sólo si no existe congestión de acero de refuerzo.

2.4.2.5 Coeficiente de forma del agregado grueso 1

Este es un factor que influye en el comportamiento del concreto autocompactable plástico, por lo que no convienen agregados gruesos de forma plana o alargada. El coeficiente de forma de la grava debe ser mayor o igual a 0.20, con un tamaño máximo nominal entre 3/8" y 1/2". La grava y la arena pueden ser cribadas o trituradas.

2.4.2.6 Contenido de superplastificante

Se usa para darle fluidez a la mezcla. Una cantidad cercana a la saturación incrementa el riesgo de segregación, por lo tanto se debe tener cuidado en la dosificación, los más utilizados son naftalenos y melaminas modificados, y los copolímeros de nueva generación.

Este aditivo entra a formar parte del diseño del concreto autocompactable, permitiendo reducciones de agua hasta el 40%, con dosificaciones de 0.8 al 2% respecto de la masa del cemento, manteniendo una excelente trabajabilidad.

2.4.2.7 Uso de un agente para la viscosidad

Tienen la misma función de las partículas finas de minimizar el sangrado y evitar la segregación de las partículas gruesas al engrosar la pasta y retener el agua. Su uso es adecuado para el concreto autocompactable destinado a la edificación pero no para concreto de alta resistencia.

Estos agentes hacen menos sensible al concreto autocompactable a las variaciones del contenido de agua de los agregados. Su volumen en la mezcla es muy reducido.

2.4.3 Dosificación de los materiales

Los métodos de dosificación de mezclas para concreto autocompactable difieren de los métodos tradicionales empleados en el concreto, estando fundamentados en una base esencialmente empírica. En tales mezclas la obtención de las propiedades en estado fresco asociadas a la fluidez alta, moderadas viscosidad y cohesión, gobierna la definición de las proporciones de los componentes.

El procedimiento propuesto por Okamura (1997) y Ouchi “et al”. (1997) considera que el concreto está constituido por dos fases: agregado grueso y mortero. El volumen de agregado grueso se fija en el 50% del volumen sólido del esqueleto granular (constituido por el agregado fino y agregado grueso), mientras que el correspondiente al agregado fino es el 40% del volumen del mortero. Tales proporciones se han determinado mediante estudios de carácter experimental relativos al bloqueo de los agregados. La relación agua/ finos y la dosificación del superplastificante se obtienen mediante ensayos de fluidez de morteros⁶.

⁶ GOMES, Paulo, Cemento Hormigón, No. 832, enero 2002, Año LXXIII

El procedimiento propuesto por Petersson “et al.” (1996) consiste en determinar el mínimo volumen de pasta y un esqueleto granular que garanticen el paso del concreto por una determinada separación entre armaduras, sin que se presente el bloqueo de la mezcla. La determinación del contenido de finos, en que se considera partículas menores que 250 mm, de agua y superplastificante se ajustan mediante la utilización de un viscosímetro coaxial⁷.

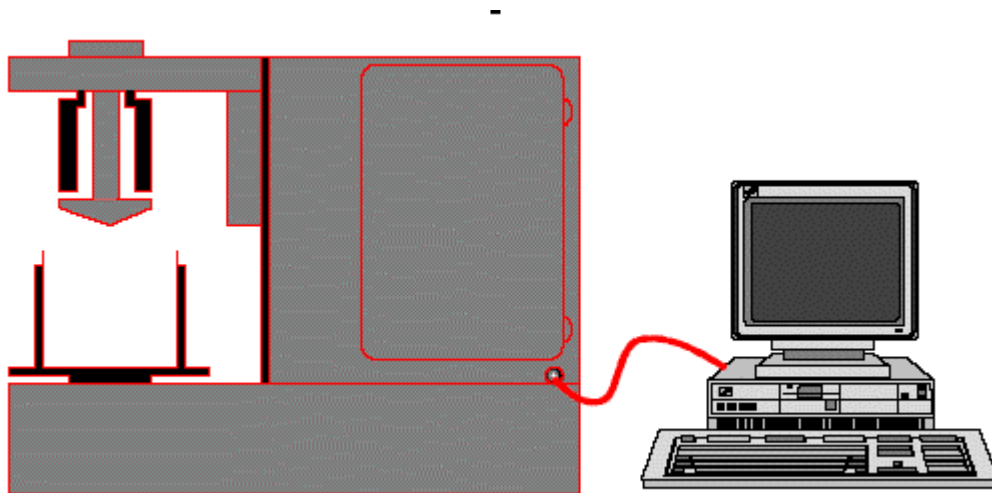


Figura 2-4-1 Viscosímetro BML

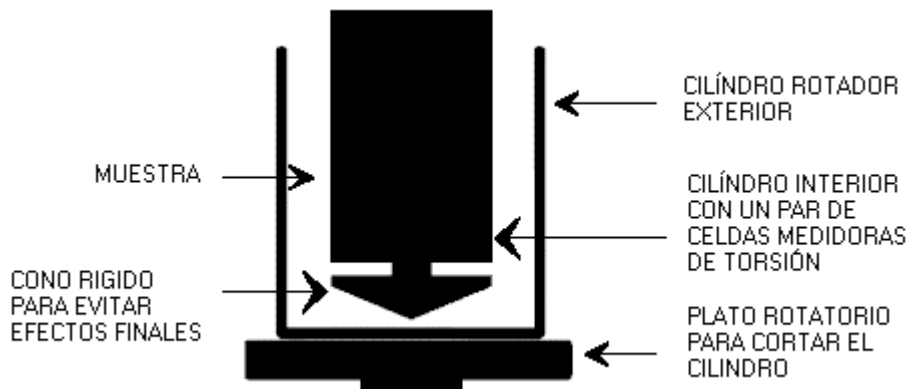


Figura 2-4-1-a Sección transversal de un viscosímetro cilíndrico

⁷ GOMES, Paulo, Cemento Hormigón, No. 832, enero 2002, Año LXXIII

Sedran “et al.” (1996) propone un método que consiste en utilizar un modelo computacional mediante el cual se establece un esqueleto granular compacto con el mínimo de vacíos, considerando el efecto pared y la viscosidad de la mezcla. La dosificación de finos se fija inicialmente, dependiendo de la resistencia y de los materiales disponibles. El contenido de superplastificante para las posibles combinaciones de finos se define mediante el ensayo del cono de Marsh. El ajuste final del agua y del superplastificante para obtener una viscosidad aceptable se realiza utilizando un reómetro y el ensayo de extensión de flujo.

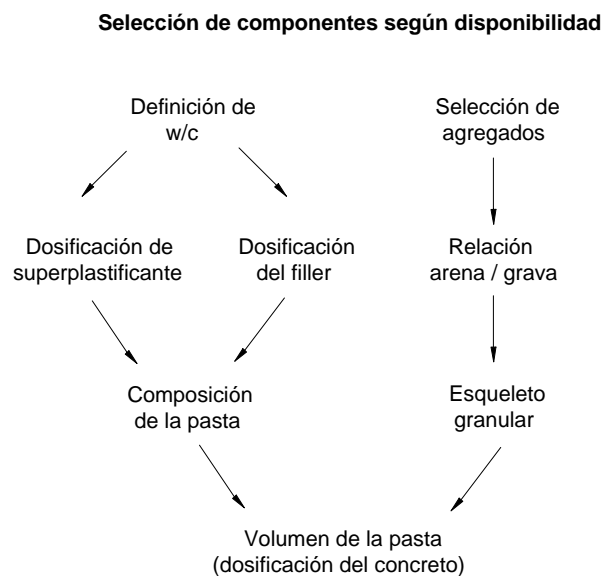


Figura 2-4-2 Esquema del procedimiento de optimización

La pasta está constituida por cemento, filler, agua y superplastificante, mientras que el esqueleto granular se define por la relación óptima entre arena y grava que proporciona la estructura de máxima compacidad en seco y sin compactar.

La relación agua/cemento se fija inicialmente en el límite superior de 0.4 para ir disminuyendo según sea el nivel de resistencia requerido. Asimismo, para el esqueleto granular se adopta un tamaño máximo del agregado de 12 mm.

La composición de la pasta queda definida por la cantidad de cemento y las relaciones agua/cemento, superplastificante/cemento, y filler/cemento.

La dosificación de superplastificante se determina mediante el ensayo del cono Marsh, con apertura de salida de 8 mm. El procedimiento consiste en introducir 1 litro de pasta en el cono y medir el tiempo (T) que tarda en fluir por la apertura inferior una cantidad de 500 ml. Este tipo de flujo se adopta como una medida inversa de la fluidez de la pasta. Variando la relación superfluidificante/cemento, el contenido de agua presente en el mismo se tiene en cuenta en la relación agua/cemento.

La composición del esquema granular en términos de la relación arena / grava se determina según el criterio de máxima compacidad en seco y sin compactar, a efectos de propiciar el mínimo contenido de huecos en el mismo.

Petersson “et al.” Habiéndose adoptado el método experimental de la norma ASTM C29/C29M (1986) pero sin realizar la compactación del material. El ensayo consiste en rellenar un recipiente de 5 litros con una mezcla seca correspondiente a una determinada relación arena/grava. A partir de las densidades y pesos de los componentes se determina el peso unitario de la mezcla y el contenido de vacíos. El ensayo se realiza para distintas relaciones arena/grava, obteniéndose la relación que da el esqueleto granular de máxima compacidad o mínimo volumen de huecos. Este sencillo procedimiento tiene en cuenta, para cada tipo de agregado, sus características físicas y granulométricas.

Una vez determinada la composición de la pasta y la relación arena/grava del concreto se determina el contenido óptimo de pasta necesario para satisfacer los requisitos de resistencia y autocompactabilidad exigidos al concreto.

INTRODUCCIÓN CAPITULAR III

En esta parte se trata de las pruebas de evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Las pruebas que evalúan las propiedades del concreto en estado fresco son totalmente distintas a las del concreto convencional, de hecho las pruebas como revenimiento con el cono de Abrams son obsoletas para el concreto autocompactable.

Las principales propiedades que importa evaluar en el concreto en estado fresco son fluidez, deformabilidad y segregación. Para el caso de las propiedades en estado endurecido son prácticamente análogas a las del concreto convencional.

También se mencionan algunos cuidados que se deben de tener en la elaboración, transporte, colocación y curado. Además se describen algunas ventajas y desventajas al igual que sus principales aplicaciones.

CAPÍTULO III. PROPIEDADES Y CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE

3.1 Evaluación de las propiedades del concreto

Los métodos de prueba, en estado fresco, tienen dos propósitos fundamentales: juzgar si el concreto autocompactable es capaz de consolidarse por sí mismo, y evaluar la deformabilidad o viscosidad de una mezcla que no tenga la suficiente capacidad de consolidarse por sí misma. Por otro lado las pruebas realizadas en el concreto en estado endurecido, son las mismas del concreto convencional.

3.1.1 En estado fresco

Los ensayos del concreto fresco utilizados para evaluar dichos requisitos se refieren, fundamentalmente, a la evaluación de la capacidad de fluir del material, sin presentar segregación ni bloqueo mediante técnicas experimentales sencillas.

La alta fluidez proporciona la facilidad de fluir en la cimbra y el llenado del mismo, la viscosidad y cohesión moderadas evitan la segregación de sus componentes garantizando una deformabilidad uniforme en el proceso de colado. La facilidad o habilidad para el relleno y el paso entre las armaduras son parámetros esenciales en la definición de las prestaciones de estos concretos.

Las propiedades básicas del concreto autocompactable en estado fresco como son la fluidez, resistencia a la segregación, deformabilidad, y viscosidad deben ser determinadas y cuantificadas por ensayos representativos. En este aspecto, los métodos tradicionales para la caracterización de concretos en estado fresco resultan totalmente obsoletos, y para ello deben proponerse nuevas alternativas de ensayo.

3.1.1.1 Fluidez

Como se ha venido mencionando la fluidez es una de las propiedades fundamentales en cualquier tipo de concreto, y en especial en concretos de alto comportamiento como es el autocompactable, en el cual no podría haber excepción, por lo tanto es muy importante llevar a cabo las pruebas de control de calidad de esta propiedad. La única prueba que hasta el momento esta normalizada es la prueba de extensibilidad, según la norma alemana (DIN 1048).

3.1.1.1.1 Prueba de extensibilidad (slump-flow test)

De acuerdo a la norma alemana DIN 1048, la prueba de extendido (slump-flow test) determina y cuantifica la fluidez de la masa relacionándose también con la viscosidad de éste. Mediante la prueba se determina la velocidad de deformación y el diámetro final del extendido y además, la homogeneidad y signos de segregación en el borde de avance. Se utiliza el cono de Abrams, se llena sin compactar hasta que la superficie quede

completamente horizontal y luego se levanta cuidadosamente. Se toma el tiempo requerido para que el concreto alcance un diámetro de 50 cm y se mide el diámetro máximo alcanzado. Se debe verificar, especialmente en el borde, la homogeneidad y si existe segregación de la mezcla.

Lo principal en esta prueba es llevar el control de la expansión diametral de la masa y el tiempo de fluencia, ya que estos parámetros deben de quedar dentro de los siguientes rangos para garantizar una fluidez adecuada y, una ausencia de segregación y exudación del concreto.

Esta prueba fue primeramente usada en Japón para determinar el asentamiento del concreto abajo el agua. Hasta estos momentos es la única prueba que se utiliza en nuestro país para evaluar la fluidez del concreto autocompactable.

1) Medidas:

T_{50} : tiempo que tarda en alcanzar un diámetro de 50 cm

$D_{m\acute{a}x.}$: diámetro final de extendido

2) Límites:

$4 < T_{50} < 10$ segundos

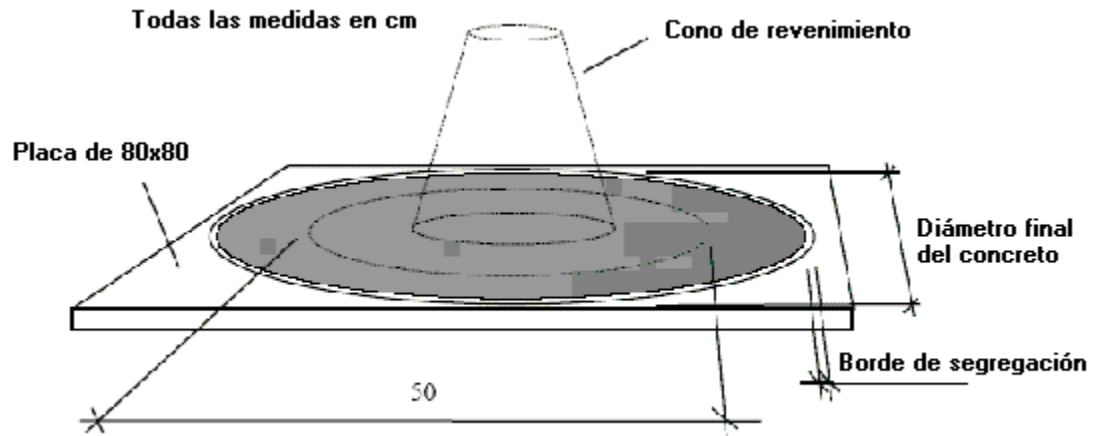
$65 < D_{m\acute{a}x.} < 75$ cm

Otros criterios:

1) Φ (Diámetro de la masa descargada) = 60-70 cm

2) T_{50} (tiempo en el que la masa ha alcanzado los 50 cm) = 3-5 seg

El concreto debe fluir libremente sin indicios de exudación y formando una torta circular.



a)



b)

Figura 3-1-1 Prueba de extensibilidad (slump-flow test)

a) Cono de revenimiento y placa de extensibilidad

b) Mediciones de la prueba de extensibilidad

3.1.1.1.2 Prueba del anillo “J” (J-Ring test)

Este dispositivo fue diseñado para analizar el bloqueo o la habilidad para pasar a través de un obstáculo, este obstáculo simula el acero de refuerzo del elemento estructural, además, es capaz de evidenciar signos de segregación. Se realiza un ensayo de extendido ubicando el cono de Abrams en forma concéntrica con un anillo con barras verticales, a través de las cuales deberá fluir el concreto autocompactable. El aro tiene 30 cm de diámetro con barras de 12 cm de alto separadas 25 o 55 mm conforme el tamaño máximo del agregado.

La principal prueba podría ser japonesa, pero no hay referencia conocidas. Esta misma prueba del anillo “J”(J-Ring test) ha sido desarrollada en la Universidad de Paisley.

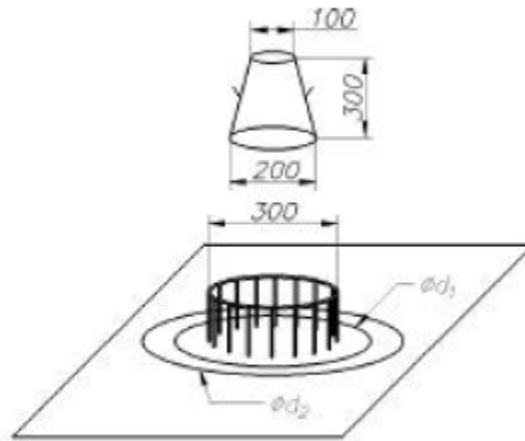


Figura 3-1-2 Prueba de anillo “J” (J-Ring test)

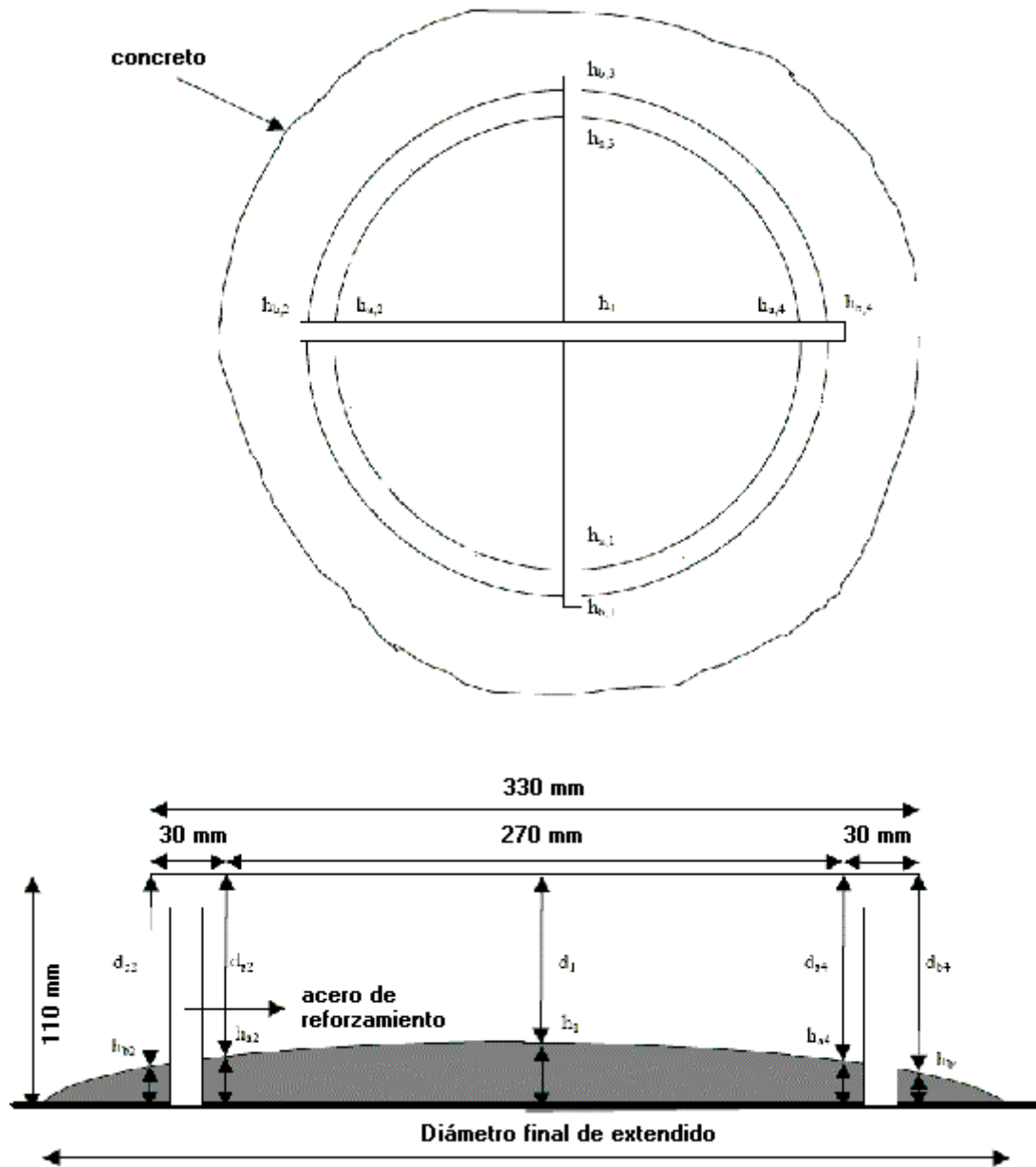


Figura 3-1-2” Prueba de anillo “J” (J-Ring test)

Medidas:

h_1 : altura en la parte central

h_2 : altura después de las barras

D_f : diámetro final

3.1.1.1.2-a Orimet & J-Ring

Esta propuesta combina el método anterior con el Orimet. Evalúa la habilidad de llenado (asociado al tiempo que tarda en pasar 10 litros de concreto autocompactable, a través de un obstáculo, simulando el acero de refuerzo) el bloqueo y segregación del concreto. Se llena el Orimet y se coloca debajo el aro. Se abre el tubo y el concreto atraviesa el aro a medida que fluye.

Medidas:

T50: tiempo en formar un diámetro de 50 cm

Ha: altura en el centro

Hb: altura en el perímetro exterior de las barras Df: diámetro final de extendido

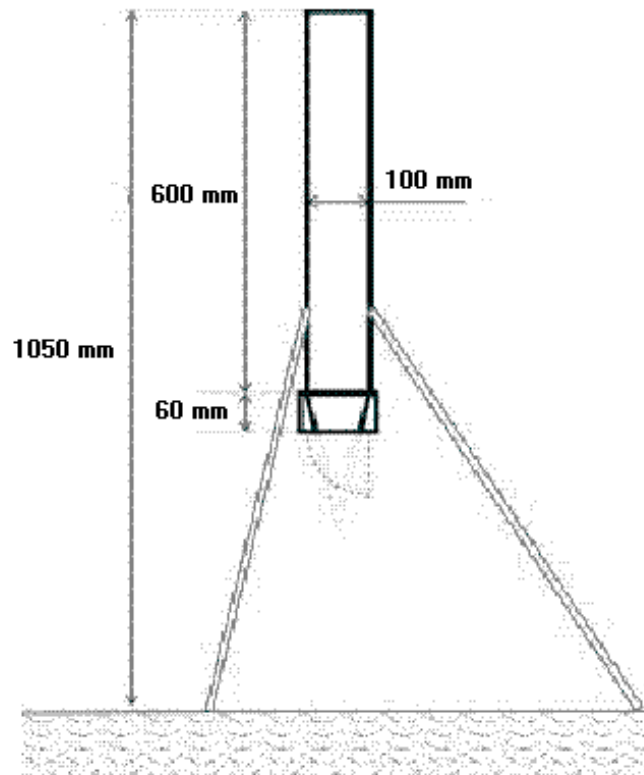




Figura 3-1-2a Prueba Orimet & J-Ring

3.1.1.2 Deformabilidad

3.1.1.2.1 Prueba embudo “V” (V-Funnel)

La prueba **V-Funnel** cuantifica la deformabilidad del concreto en estado fresco que se relaciona con la capacidad del concreto para acomodarse a la geometría de la cimbra.

El V-funnel consiste en un embudo de sección inicial rectangular de 51.5 cm de ancho y 7.5 cm de espesor, con una sección de salida de 7.5 x 6.5 cm y una altura total de 60 cm. El recipiente se llena sin compactar, se abre una compuerta que permite el vaciado por gravedad y se mide el tiempo que tarda en vaciarse. Es un buen indicador de la viscosidad de la mezcla y de su tendencia a la segregación. Un bajo tiempo es favorable, pues indica una buena capacidad o habilidad de fluir, en cambio un alto tiempo significa alta viscosidad, bloqueo y tendencia a segregar.

Esta prueba fue desarrollada en Japón y usada por Ozawa.

Medidas:

T_v : tiempo para el vaciado completo del aparato

Límites:

$10 < T_v < 15$ segundos (ref. Sakata)

$6 < T_v < 10$ segundos (ref. Osawa)

T (tiempo de descarga) = 5-12 seg

La descarga de la masa debe producirse de manera continua, sin interrupciones.

T_{20} y T_{40} : tiempos en alcanzar 20 y 40 cm de la compuerta

Límites:

T_{20} de 1 ± 0.5 segundos

T_{40} de 2 ± 0.5 segundos

ΔH : $H_2/H_1 > 0.8$

Bloqueo en las barras: Sin indicios de bloqueo

H_2/H_1 (autonivelación) > 0.8

t_{20} (tiempo de fluencia) < 1.5 seg.

t_{40} (tiempo de fluencia) < 3.5 seg.

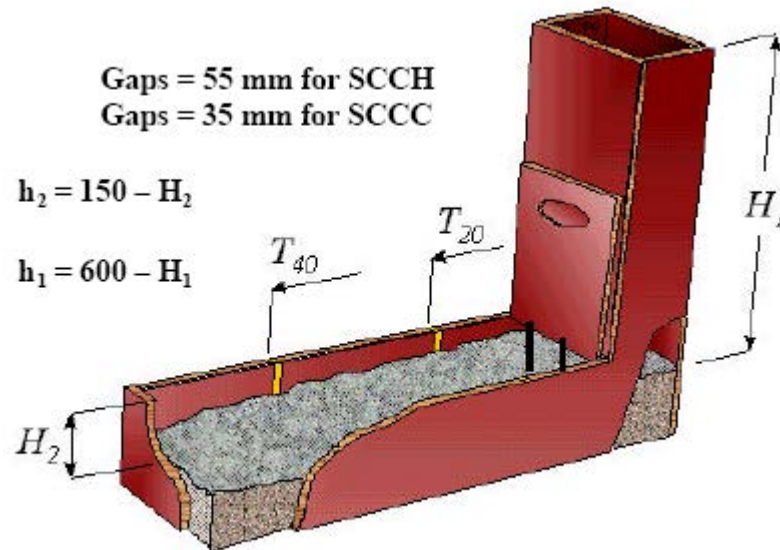


Figura 3-3-1 Prueba caja "L" (L-Box test)

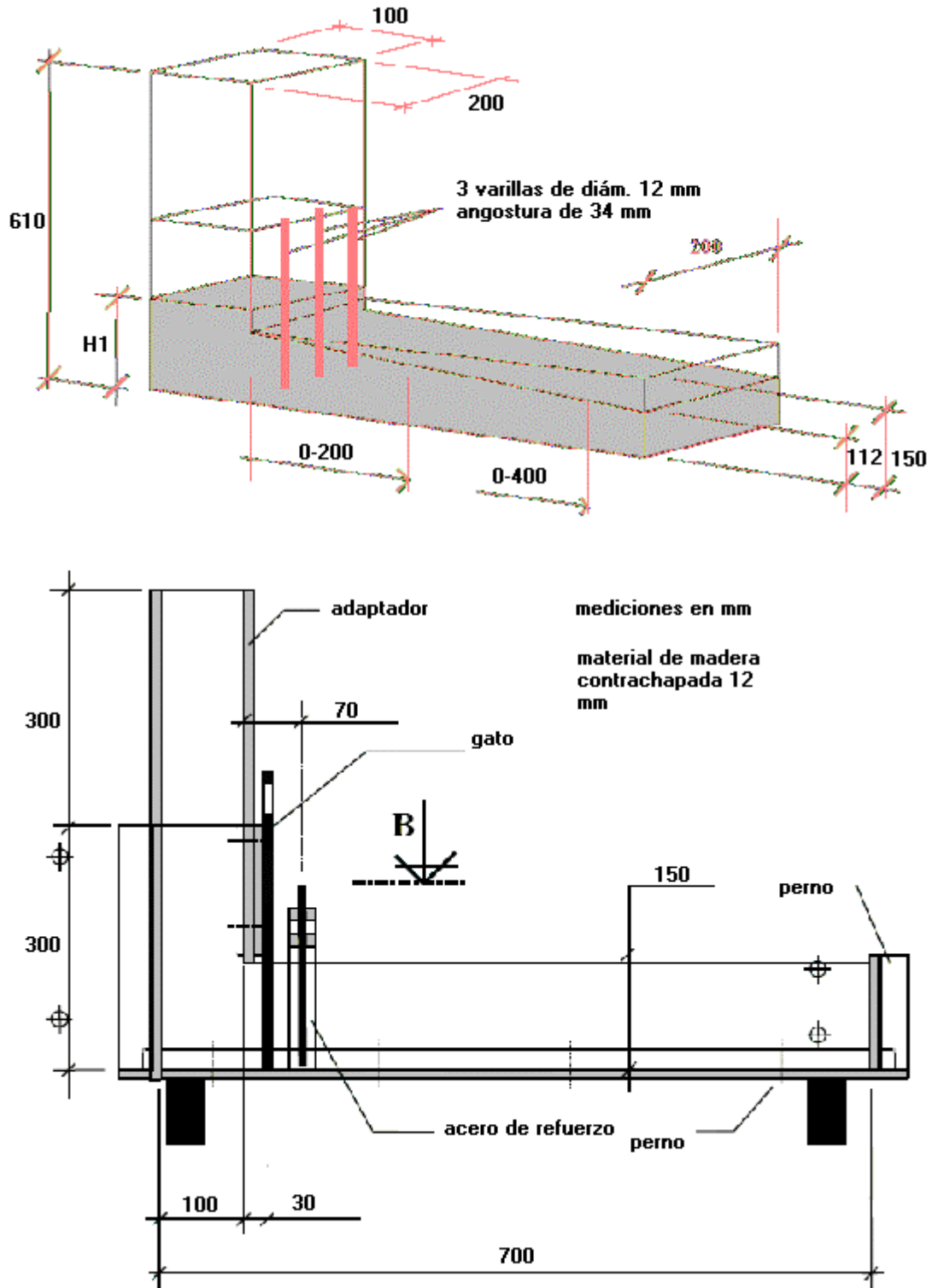


Figura 3-3-1” Prueba caja “L” (L-Box test) corte transversal y longitudinal

3.1.1.3.2 Prueba de capacidad de llenado (Fill-box test)

Esta prueba es de origen japonés y nos indica la capacidad del concreto para autocompactarse en presencia de zonas de alta densidad de armado y por lo tanto es una prueba que intenta reproducir el comportamiento del concreto autocompactable en condiciones extremas.

Consiste en una caja con paredes laterales de acrílico; tiene en su interior 35 tubos transversales de 16 mm de diámetro distribuidos en 7 columnas y 5 filas a una distancia de 50 mm entre ejes (espacio libre entre barras: 34 mm). El equipo considera la oposición que las barras imponen al paso del concreto. El procedimiento consiste en vaciar el concreto por la parte delantera de la caja a una velocidad constante, hasta llegar a la fila más alta de tubos y luego se registra la altura en la cara opuesta. De esta forma mientras mayor sea la altura en la cara opuesta a la de llenado mayor será la capacidad para atravesar el obstáculo que simula el acero de refuerzo en un elemento estructural.

Esta prueba es además conocida como la prueba Kajima, es una prueba difícil de desarrollar en el sitio por la estructura compleja del aparato y gran peso del concreto. Esta da una buena impresión de las características del concreto autocompactable.

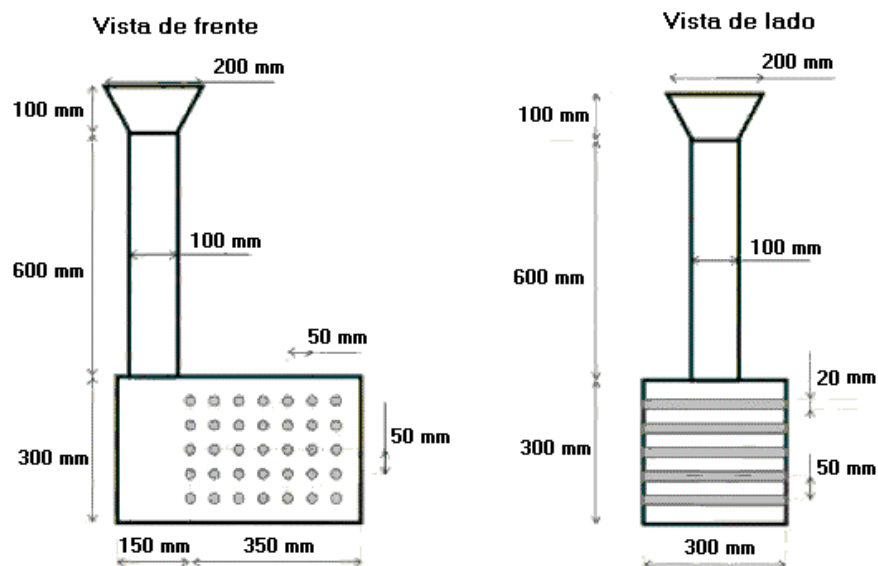


Figura 3-3-2 Prueba caja "L" (L-Box test)

Medidas:

h_1 : altura en la parte de llenado

h_2 : altura en la parte opuesta

Factor de llenado:

$$F(\%) = (h_1+h_2)/2 h_1*100$$

Límites:

$$90 < F(\%) < 100$$

$$(H_1+H_2) \times 100 / 2H_2 > 90\%$$

3.1.1.3.3 Caja U (U-shape test Box)

La caja U (U-shape test Box) fue diseñada para evaluar la capacidad de pasaje y la capacidad de llenado. Para el ensayo se llena completamente la mitad A con 19 litros de concreto, luego al abrirse la compuerta el concreto autocompactable deberá fluir desde la zona “A” hacia “B”, atravesando las barras (separación 35 mm) hasta que el material se estabilice.

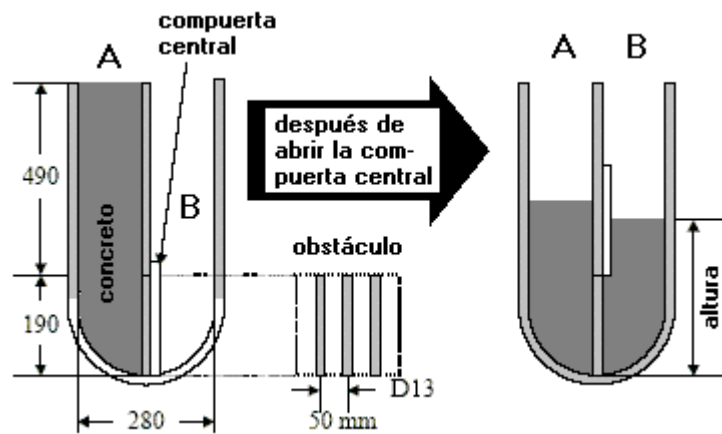


Figura 3-3-3 Prueba caja “U” (U-Box test)

Esta prueba fue desarrollada por el centro tecnológico de investigaciones de corporación Taisei en Japón.

Medidas:

H_1 : altura en “A”

H_2 : altura en “B”

Límites

$$0 < H_2 - H_1 < 3 \text{ cm}$$

Otro método es el Box-shape test que utiliza diseños similares. En esta caja se observa la altura en la parte “B”. Se llena el sector “A” con 19 litros de concreto luego al abrirse la compuerta el concreto autocompactable deberá fluir desde la zona “A” hacia “B”, atravesando las barras (separación 35 mm) hasta que el material se estabilice.

Medidas:

Bh: elevación en “B”

Bt: tiempo transcurrido desde la apertura de la compuerta hasta “Bh”

Límites:

Bh > 30 cm

3.1.2 En estado endurecido

Las pruebas de control de calidad en el concreto en estado endurecido para este tipo de concreto autocompactable, son realmente análogos al concreto convencional. Por lo tanto se nombran brevemente algunas pruebas, relacionándola a su correspondiente propiedad que se trata de analizar.

Pueden hacerse pruebas para diferentes propósitos, pero los dos objetivos principales de una prueba son el control de calidad y el cumplimiento con las especificaciones.

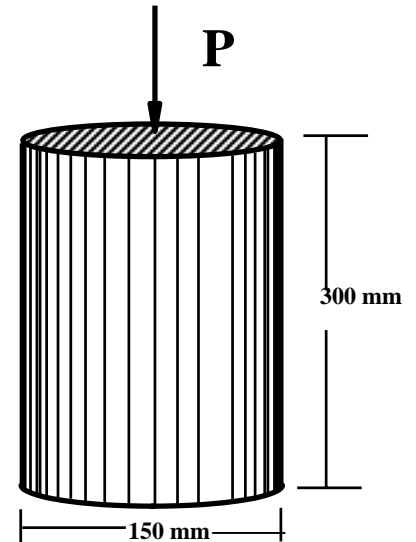
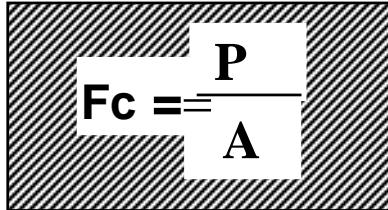
La más común de todas la pruebas sobre concreto endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, porque es fácil de practicarse y porque muchas de las propiedades del concreto están ligadas cuantitativamente con su resistencia.

3.1.2.1 Resistencia a la compresión

Como resultado de la baja relación agua/cemento de este tipo de concreto, se favorecen las propiedades del concreto endurecido como por ejemplo, la resistencia mecánica que se incrementa tanto a corto como a largo plazo se le compara con el concreto convencional. La baja relación agua/cemento reduce la porosidad del concreto lo cual implica una mayor impermeabilidad, aumentando en consecuencia la durabilidad. Durante el punto de vista estético el concreto autocompactable presenta un excelente acabado debido principalmente al elevado contenido de finos y la excelente compactabilidad.

Los esfuerzos de compresión de elementos en el sitio son similares a los esfuerzos de concretos convencionales, pero se incrementan cuando las partículas más finas se emplean como relleno, debido probablemente a un mecanismo de densificación y la poca susceptibilidad a curados imperfectos.

P= Carga axial aplicada al cilindro (kg).
A= Área del cilindro (cm²)
H= Altura (mm)
D= Diámetro (mm)
H/D= 2



**Figura 3-1-2-1 Prototipo de cilindro
de ensayo**

Los cilindros son colados en un molde generalmente hecho de acero o fierro, con una base sujeta con abrazaderas, el concreto es vaciado en los moldes como comúnmente se hace con el concreto convencional, con la diferencia de que es eliminada la compactación manual ya que el concreto fluye y se acomoda por su propio peso.

Como se puede apreciar en la anterior figura los cilindros de ensayo son de 15.0 x 30.0 cm y son probado, de acuerdo a la norma ASTM-C- 039 ó NMX-C-083.

Se realizan ensayos de compresión a los concretos con características autocompactantes a las edades de 3, 7 y 28 días, con el objeto de verificar su comportamiento.

3.1.2.2 Resistencia a la tensión

La prueba de resistencia a la flexión se realizan en vigas como se muestra en la figura, pueden ser tres diferentes tipos de pruebas como son: prueba de tensión directa, prueba de tensión indirecta, y prueba de tensión por flexión (vigas). Este tipo de pruebas nos da idea del comportamiento del concreto reforzado.

El procedimiento se lleva acabo como se describe; se debe voltear el espécimen sobre un lado con respecto a la posición de moldeado, se centra en los bloques de apoyo y estos a su vez deben estar centrados respecto a la fuerza aplicada; los bloques de aplicación de carga se ponen a un tercio entre los apoyos. Se debe tener contacto total, entre los bloques de apoyo o de aplicación de la carga con la superficie del espécimen. Se deben lijar o cabecear las superficies del espécimen o bien usarse tiras de cuero si la separación de la línea de contacto entre ellas y los bloques es mayor de 0.1 mm en una longitud de 25 mm.

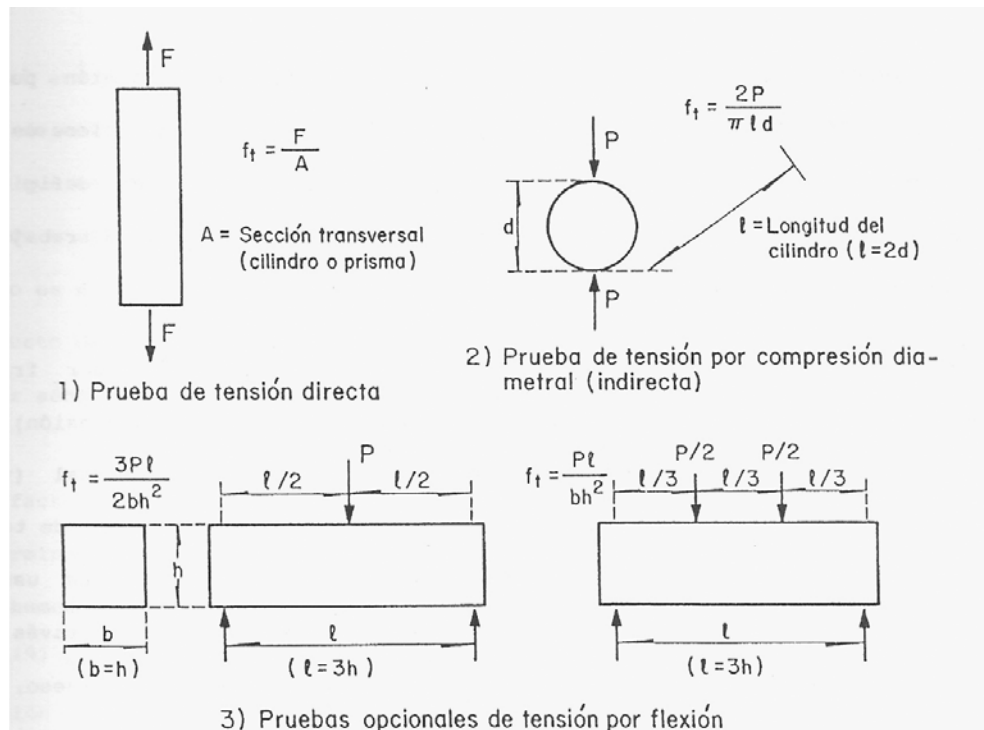


Figura 3-1-2-2 Prototipo de ensayos a tensión

3.1.2.3 Adherencia del concreto con el acero de refuerzo

El comportamiento del concreto endurecido se ve influenciado por la adherencia del concreto con el acero de refuerzo, además del anclaje de las barras, el control del agrietamiento y la capacidad de rotación de la estructura. De acuerdo a experimentos se concluyó que el concreto autocompactable tiene mejor adherencia que el concreto convencional.

La prueba de extracción mide la fuerza requerida para extraer un inserto de metal colado previamente con un extremo agrandado. El método de prueba para la prueba de extracción se prescribe en la norma ASTM C 900-87.

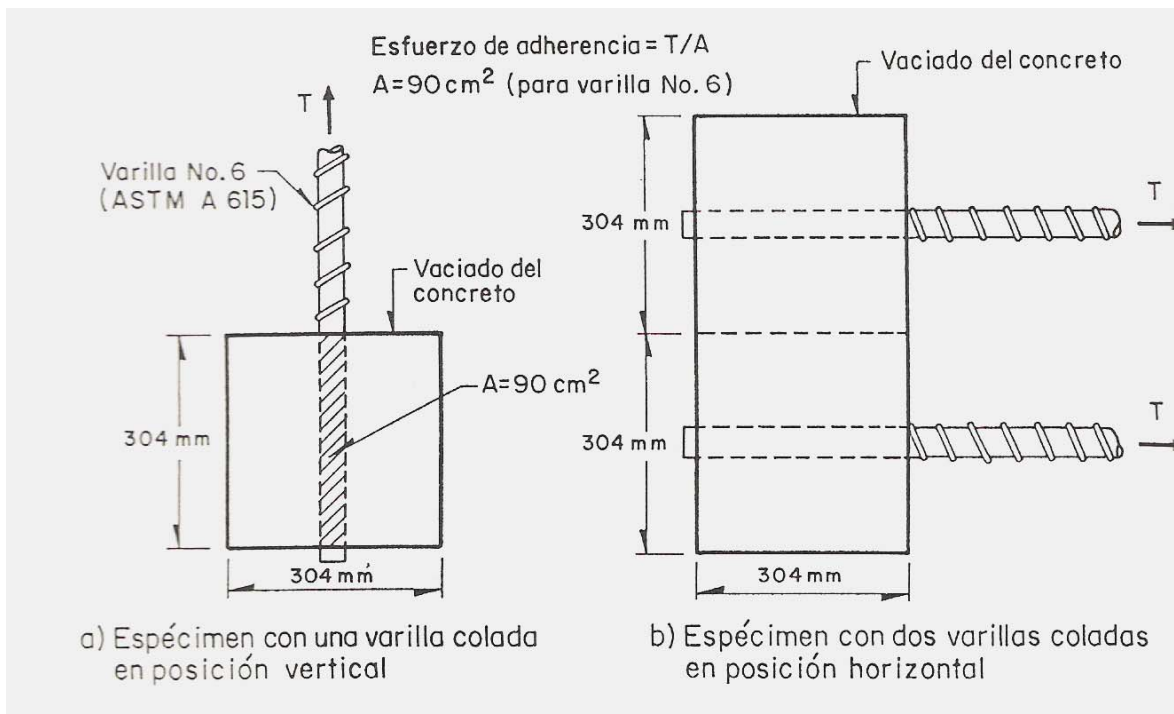


Figura 3-1-2-3 Ensayo de prueba de adherencia

3.1.2.4 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad puede variar en función de diversos factores tales como el estado de humedad y de compactación del concreto, la relación agua/cemento (a/c) y edad de la pasta y las características de los agregados.

La prueba se realiza conforme la norma ASTM-C-469 o NOM-C-128, esta define el procedimiento para determinar el módulo de elasticidad estático a compresión del concreto, ensayando especímenes cilíndricos.

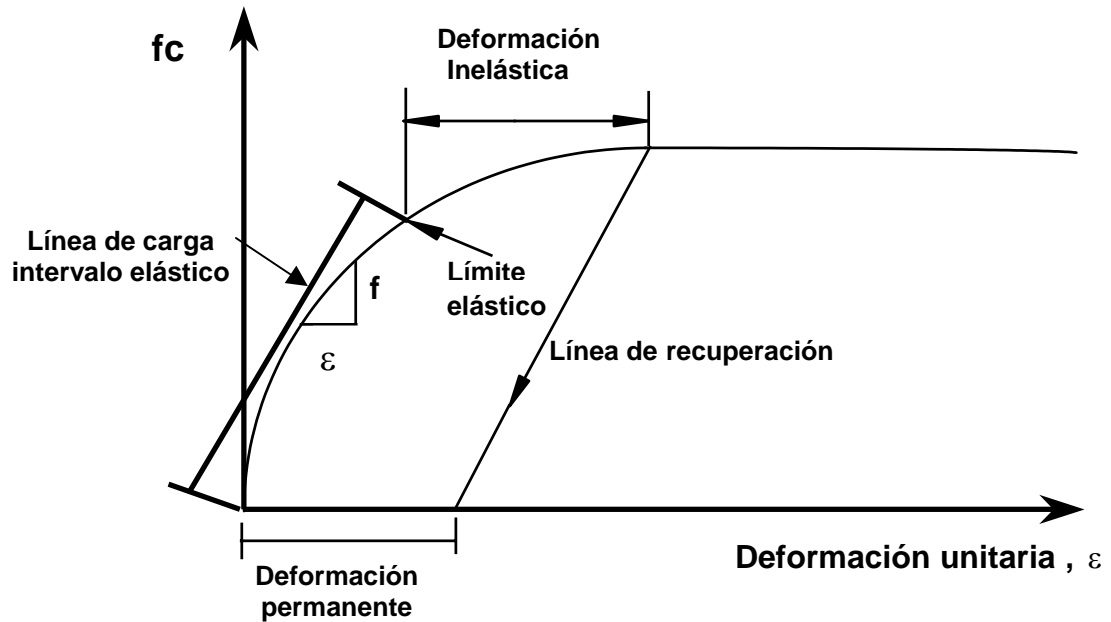


Figura 3-1-2-4 Módulo de elasticidad

3.1.2.5 Resistencia al congelamiento y deshielo

Una fuente de deterioro prematuro del concreto en climas fríos es cuando la temperatura desciende por debajo del punto de congelación del agua. Puede decirse que el daño por congelamiento y deshielo se da por presiones internas que se originan por fenómenos relacionados con la congelación del agua que ocupa sus poros.

Básicamente se requiere de dos condiciones para que el daño exista y son: que el concreto contenga suficiente agua y que la temperatura sea lo suficientemente baja como para provocar la congelación del agua en el interior del concreto. Aunque puede existir una tercera condición y es cuando se trata de concreto a punto de fraguar o recién fraguado, donde solo la congelación puede ser suficiente para ocasionarle daño irreversible.

Las pruebas para medir la resistencia al congelamiento y deshielo en forma acelerada, de acuerdo a la norma ASTM-C-666 ó NOM-C-205, comprende dos procedimientos alternativos: rápida congelación y deshielo en agua, y rápida congelación al aire y deshielo en agua. Ambos procedimientos emplean ciclos de congelación y deshielo en que la temperatura del concreto desciende desde +4°C hasta -18°C, aproximadamente y después asciende de -18°C hasta +4°C, en lapso de 2 a 5 horas, lo cual representa una velocidad de enfriamiento del concreto bastante mayor de la que se produce en forma natural, y que normalmente no excede a 3°C/hora, aproximadamente.

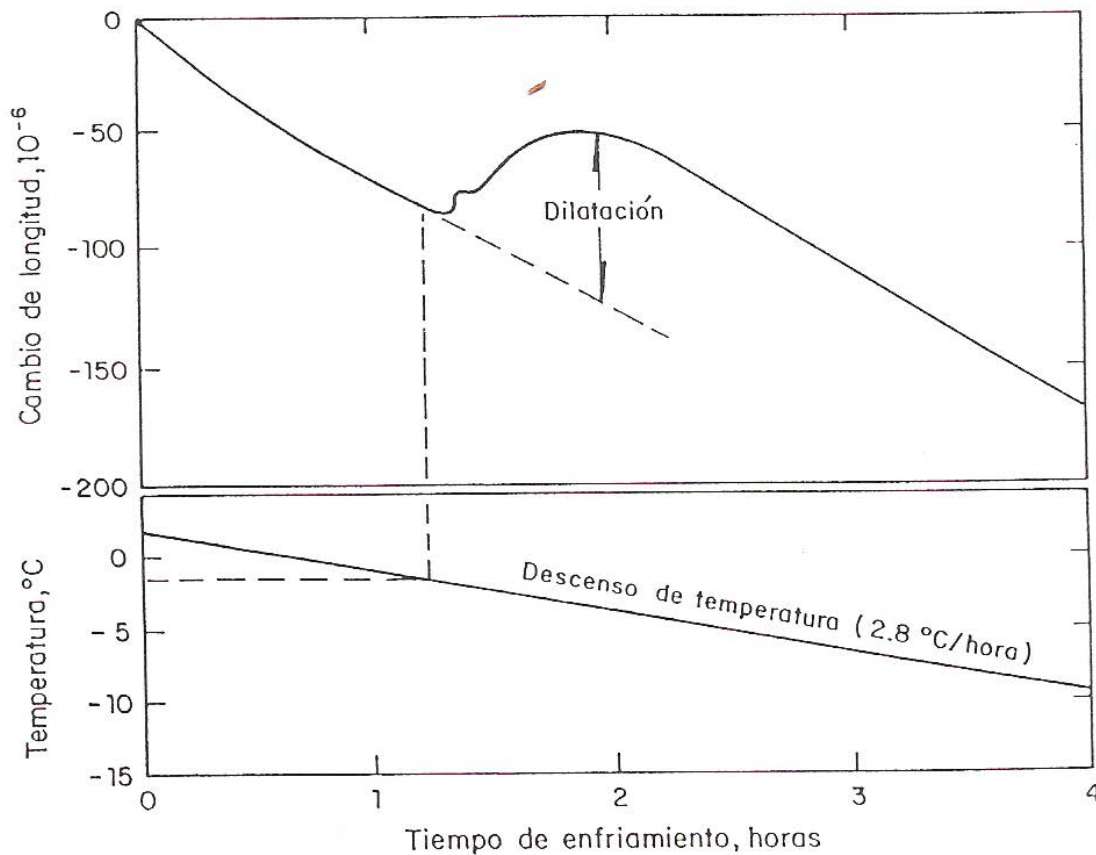


Figura 3-1-2-5 Relación de cambio de longitud, temperatura vs tiempo de enfriamiento

La evaluación del deterioro del concreto se realiza cada 36 ciclos, midiendo el módulo de elasticidad dinámico de los especímenes, y comparándolo con su módulo inicial determinado al inicio de la prueba. La ejecución de ésta debe prolongarse hasta completar 300 ciclos, o bien puede suspenderse antes si el módulo dinámico registra un valor equivalente al 60% de su valor inicial. La evaluación final se efectúa por medio del llamado factor de durabilidad.

Un procedimiento para evaluar la durabilidad potencial del concreto bajo los efectos de la congelación y el deshielo, corresponde a la norma ASTM-C-671, en el cual se determina la dilatación crítica de especímenes de concreto sujetos a congelación lenta. El procedimiento consiste en medir la variación dimensional del concreto a medida que se

enfría desde +2 °C hasta -9 °C a una velocidad de 3 °C/hora, aproximadamente, después de lo cual se regresa a la temperatura inicial sumergiéndolo en agua a +2 °C, para completar el ciclo de congelación y deshielo. Los especímenes permanecen inmersos en agua a esta temperatura durante dos semanas, con el fin de que continúen saturándose antes de repetir el siguiente ciclo.

3.1.2.6 Cambios volumétricos (expansión y contracción)

Los cambios volumétricos del concreto pueden ocurrir como expansiones y contracciones. En la práctica los elementos estructurales casi siempre tienen restricciones para expandirse o contraerse libremente, así que una expansión genera esfuerzos a compresión y una contracción los produce a tensión, debido a la reducida capacidad del concreto para resistir esfuerzos a tensión, las contracciones son los cambios de volumen más inconvenientes porque se traducen en agrietamientos, al generar esfuerzos que sobrepasan la resistencia a tensión del concreto.

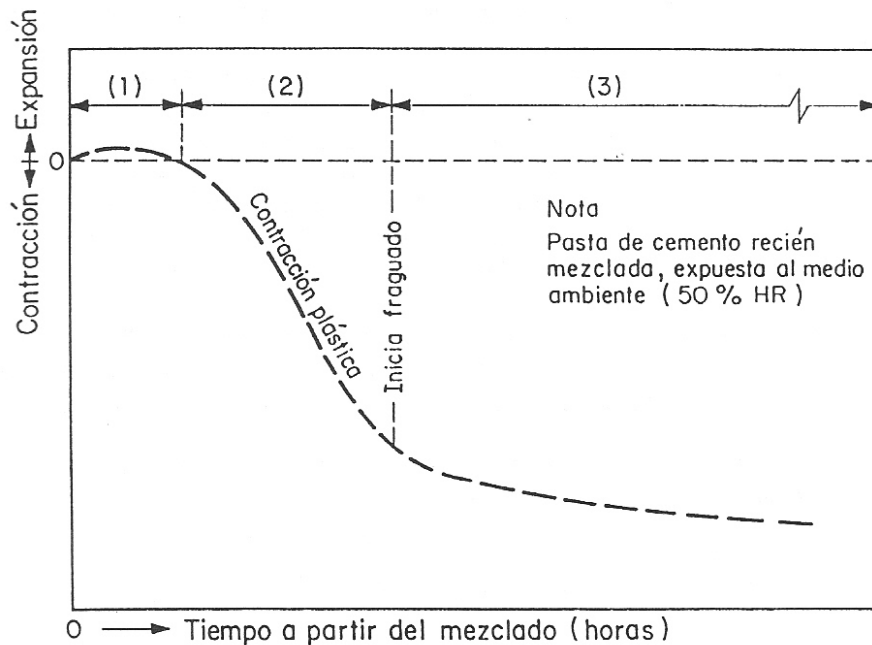


Figura 3-1-2-6 Relación de contracción, expansión vs tiempo de mezclado

Por lo tanto se hablará de contracciones; las primeras contracciones que se presentan en el concreto son las **contracciones plásticas** y algunas medidas precautorias pueden ser:

- Evitar que ocurran pérdidas de agua por absorción o fugas a través de la superficie base y/o de las formas.
- Evitar el uso de agregados demasiados secos, sobre todo si tienen alta capacidad de absorción.
- Tratar de elaborar el concreto a la temperatura más baja que sea posible, en temperatura cálida.
- Procurar la ejecución de los colados en las horas menos propicias para el secado del concreto, preferiblemente de la noche si el clima diurno es adverso.
- Emplear medios que protejan al concreto recién colado del sol y del viento
- Utilizar un eficaz sistema de pronto curado, que inhiba adecuadamente la evaporación o que reponga el agua evaporada del concreto, desde sus primeras horas de edad.

Por otro lado tenemos las contracciones por secado, y corresponden a uno de los cambios volumétricos mas importantes y difíciles de prevenir en el concreto bajo condiciones de exposición y servicio que la propicien. Los factores que mas influyen en la contracción por secado son la humedad relativa y la temperatura ambiental.

De acuerdo a la prueba ASTM C 157 destinada a evaluar esta contracción se define en tres tipos de especímenes:

- Barras de 25 x 25 x 285 mm aplicables a mezclas de mortero
- Barras de 75 x 75 x 285 mm para mezclas de concreto con grava hasta 25 mm de tamaño máximo
- Barras de 100 x 100 x 285 mm para concretos con grava hasta 50 mm.

Estos especímenes se elaboran bajo condiciones establecidas, se curan en agua a 23 ± 2 °C durante 28 días y a continuación se someten a secado en una atmósfera controlada a 23 ± 2 °C de temperatura y 50 ± 4 % de humedad relativa.

Para estimar la contracción por secado del concreto a cualquier edad, suele considerarse que en su evolución sigue tendencia hiperbólica y que sus incrementos resultan prácticamente imperceptibles al cabo de 30 años según el Comité ACI 209 (47).

En resumen se presentan los principales tipos de contracciones en el concreto fresco y endurecido.

CAMBIOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO			
ETAPA	EXPOSICIÓN	CAUSA	MANIFESTACIÓN
Antes del fraguado (concreto fresco) y	al aire	Asentamiento, sangrado y pérdida inicial de agua	Contracción plástica
		Efectos físicos, y químicos de la hidratación inicial del cemento	Expansión post- sangrado
durante el fraguado (concreto en rigidización)	sumergido	Consumición de agua por la hidratación del cemento	Contracción autógena
Después del fraguado (concreto en curso de endurecimiento y ya	Al aire	Continuación de la pérdida del agua	Contracción por secado
		Generación de calor interno por la hidratación del cemento	Expansión térmica inicial al acumularse el calor, y contracción posterior al disiparse
		Variaciones externas de temperatura (medio ambiente y otras causas)	Expansión al calentarse y contracción al enfriarse
	sumergido	Acción del bióxido de carbono atmosférico	Contracción por carbonatación
	sumergido	Consumición del agua por hidratación del cemento	Contracción autógena
	sumergido	Absorción de agua por el gel de cemento	Hinchamiento por saturación

Tabla 3-1-2-6: Principales cambios volumétricos que suelen ocurrir en el concreto fresco y endurecido.

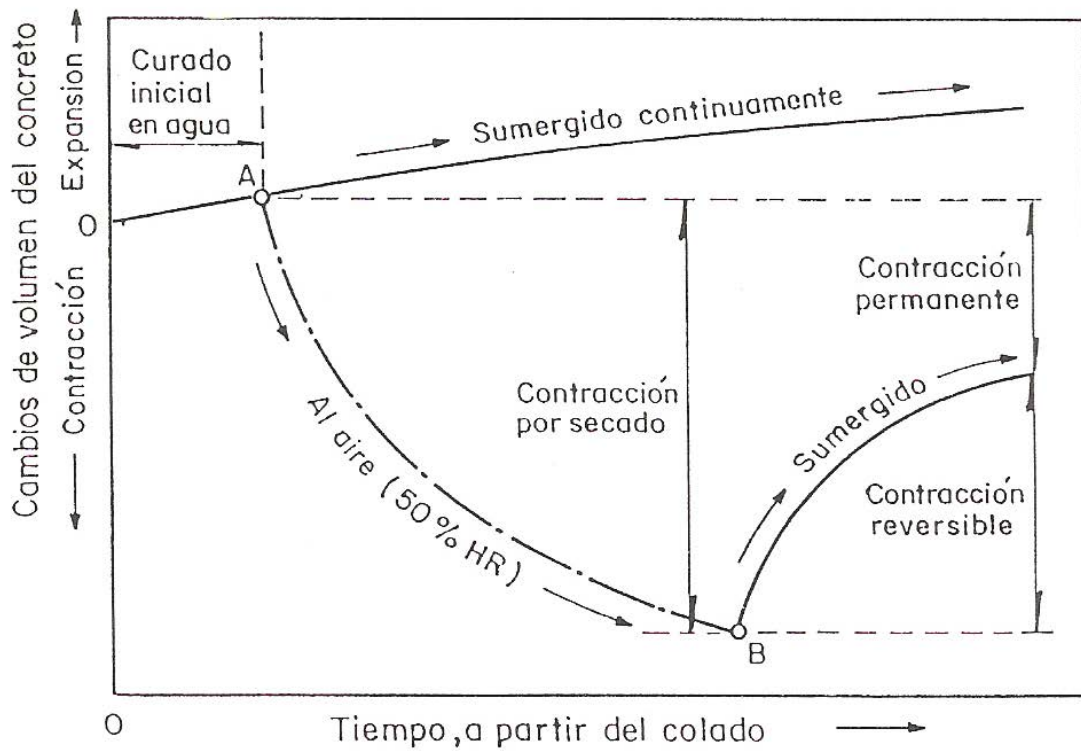


Figura 3-1-2-6" Cambios de volumen vs tiempo

3.1.2.7 Prueba de resistencia a la penetración

Una prueba mas que hay que tener en consideración dentro de las prueba del concreto endurecido, es la prueba de resistencia a la penetración, para determinar el tiempo de fraguado del concreto. El principio fundamental de esta prueba es la profundidad de penetración ya que es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto, pero aun no sea establecido algo teórico a esto.

El método de esta prueba esta prescrito por la norma ASTM C 803-90 ó NMX-C-177-1997-ONNCE.

La prueba de resistencia a la penetración es útil para determinar si puede ser removida la cimbra. Este ensayo es mejor que la prueba del martillo de rebote porque se ensaya una mayor profundidad del concreto. Sin embargo, el costo de la prueba de resistencia a la penetración es mas alto.

3.1.2.8 Permeabilidad (Absorción de agua cerca de la superficie)

La absorción de agua cerca de la superficie es un parámetro de la permeabilidad del concreto y por lo tanto de su durabilidad. La permeabilidad de un material es la facilidad con que puede ser penetrado por un fluido, ya sea líquido o gaseoso, bajo determinadas condiciones de aplicación.

En el caso del concreto la permeabilidad al aire es importante porque favorece el fenómeno de carbonatación, con sus consiguientes efectos perjudiciales sobre la contracción del concreto, corrosión del acero de refuerzo, etc., por otro lado la permeabilidad al agua es un grave problema en todo tipo de estructuras, también por su contribución al riesgo de corrosión del acero de refuerzo y al deterioro prematuro del concreto.

Según investigaciones y pruebas realizadas, los resultados indican que las capas cercanas a la superficie son más densas en el concreto autocompactable y por lo tanto más resistentes, esta propiedad se determinó por la prueba RILEM TC116-PCD¹. Esto se puede deber a que el tamaño máximo del agregado utilizado en este tipo de concreto es menor (T.M.A. 20 mm) al que se utiliza comúnmente en el concreto convencional.

La siguiente gráfica pone de manifiesto la influencia del tamaño máximo del agregado en la permeabilidad del concreto

¹ Brite EuRam; <http://scc.ce.luth.se:9> de mayo de 2003.

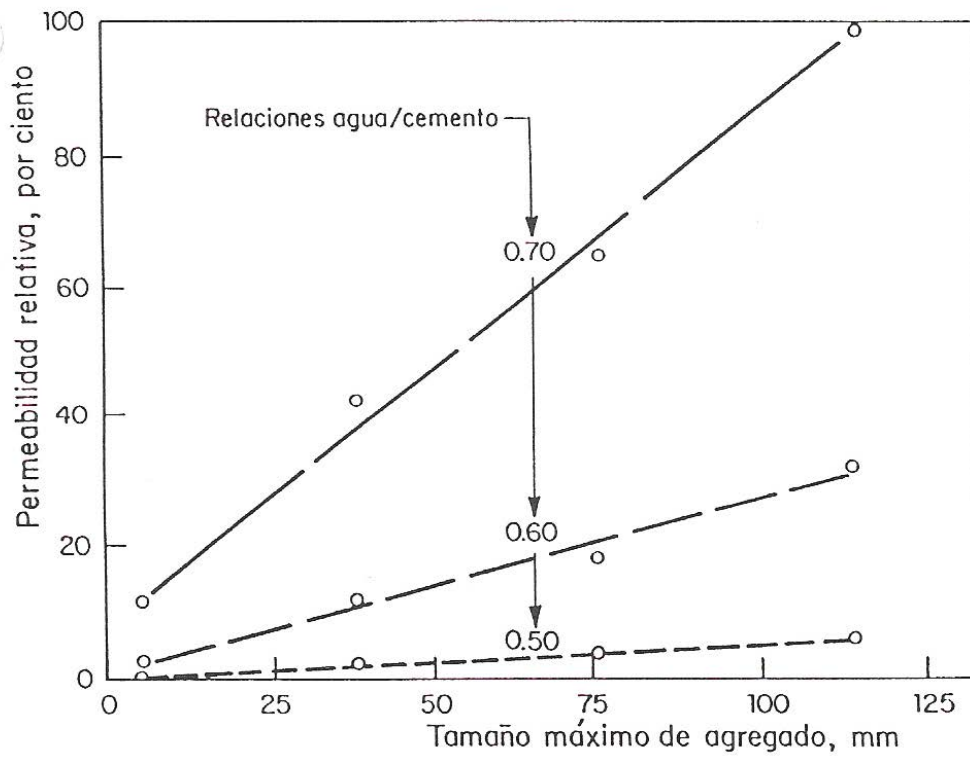


Figura 3-1-2-8 Permeabilidad vs T.M.A.

3.1.2.9 Carbonatación

La carbonatación es una de las propiedades químicas en el concreto que se debe de tener un especial cuidado, ya que esta muy ligada con la durabilidad de cualquier elemento de concreto. La carbonatación es un proceso químico en el cual el dióxido de carbono se difunde a una profundidad del elemento de concreto y reacciona con los componentes alcalinos de la pasta de cemento, principalmente hidróxido de calcio.

La causa de la carbonatación significa cambios en la fase de la composición y del poro en la estructura del concreto. La razón de la carbonatación es mas afectada por las condiciones de humedad del concreto. La humedad relativa de aproximadamente 60 a 65% es la mas apropiada para la iniciación de la carbonatación en el concreto².

En pocas palabras la carbonatación es la disminución del pH, y esto ocurre como se mencionó anteriormente con la penetración del dióxido de carbono atmosférico en los poros del elemento estructural, reaccionando con la humedad de estos y convirtiéndose el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio.

Si se admite que el pH del concreto endurecido normalmente es del orden de 12.5, o más, puede suponerse que un valor mas bajo deba interpretarse como síntoma de carbonatación; y así se dice que al descender el valor del pH a un nivel inferior de 12.5 el concreto deja de ser eficaz para favorecer la permanencia íntegra de la película de pasivación.

Un recubrimiento bajo y defectos en la superficie del elemento de concreto como grietas, fisuras pueden proporcionar corrosión en el acero a través de la carbonatación. Entre mas permeable es un concreto mayor posibilidad tendrá de que exista la carbonatación y esto se podrá inhibir solo con relaciones bajas de agua/cemento (a/c),

² L'UDOVIT, Krajc, Materials Journal, ACI, Vol. 97, No. 2, Marzo-Abril 2000

compactación apropiada, uso de puzolanas (cenizas volantes, humo de sílice, etc.) y curado apropiado.

La prueba que mide la carbonatación consta en romper un pedazo de concreto en donde se sospeche que hay carbonatación, se limpia todo el polvo residual del espécimen o substrato, se pulveriza una solución de 1 o 2% de fenolftaleína en alcohol sobre el concreto. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor de 9 a 9.5 adquirirán un color rosado brillante.

3.2 Influencia de la cantidad de finos en las propiedades del concreto autocompactable.

La adición de finos es muy importante en los concretos autocompactables. Los finos dan la cohesión y consistencia al concreto para evitar la segregación y controlar la exudación.

Entre los parámetros que afectan la trabajabilidad destaca la cantidad de finos utilizada en el concreto. La cantidad de finos afecta la porosidad del concreto y el área superficial total de los finos afecta tanto a las características de autocompactabilidad así como también las propiedades mecánicas del concreto. Si el concreto contiene muchos finos su fluidez disminuye. Por otro lado, si posee una pequeña cantidad de finos, no hay bastante mortero para cubrir a los agregados adecuadamente. Las cantidades de finos afectan la fluidez, cohesión y retención de agua, lo que podría producir segregación y exudación del concreto, con todos los problemas asociados a ellos. Por este motivo es muy importante determinar apropiadamente la cantidad de finos a utilizar para fabricar concreto autocompactable cuando la cantidad de cemento es una constante.

Altas cantidades de material fino mejoran las características de autocompactabilidad hasta una cantidad límite, la cual depende del material fino utilizado. Mas allá de este

límite, la autocompactabilidad disminuye y se obtiene segregación, exudación o resultados fuera de los rangos previamente establecidos.

La principal característica de los finos que afectan el comportamiento de los concretos autocompactables es la superficie específica.

3.3 Efecto del tipo de fino en las características del concreto autocompactable.

La influencia de finos es un factor muy importante en este tipo de concreto, ya que de estos depende la fluidez del concreto, por lo tanto se debe tener un extenso cuidado al elegir el tipo de fino, ya que la superficie específica es la principal característica de los finos que afecta el comportamiento del concreto autocompactable.

Están extensamente ligado la superficie específica de los finos y la cantidad de material fino incorporada al concreto.

Los finos mas recomendados independientemente de las arenas son cenizas volantes, filler, microsílíce, etc.

3.4 Influencia de la cantidad de aditivos en las propiedades del concreto autocompactable.

Los aditivos son uno de los componentes imprescindible en el concreto, ya que este elemento es el que le da la propiedad de fluidez, característica que el propio concreto no es capaz de tener por si solo. Por lo tanto se debe de llevar un control cuidadoso de su contenido al momento de elaborar la mezcla.

La cantidad de aditivo tiene una importante influencia en las propiedades del concreto autocompactable. Una sobre dosificación puede causar segregación, exudación y un aumento del costo del concreto. Por otro lado, una cantidad insuficiente de aditivo producirá una baja fluidez y una pérdida de resistencia.

Algunos resultados nos indican que la cantidad óptima de aditivo para ser usadas con los materiales finos esta entre 1.2 y 1.8 %.

3.5 Comportamiento reológico

Es de suma importancia el control del comportamiento reológico en cualquier tipo de concreto, y por ende en el concreto autocompactable por tratarse de un concreto de alto comportamiento.

La deformabilidad del concreto fresco dependen esencialmente de dos parámetros : un mínimo esfuerzo cortante necesario para fluir que es caracterizada por el punto de cedencia y la viscosidad plástica. Estos parámetros son necesarios para describir el comportamiento reológico del concreto fresco dentro del modelo de Bingham (Tattersall y Banfill, 1983), ver anexo. La figura siguiente representa el comportamiento típico de un concreto convencional.

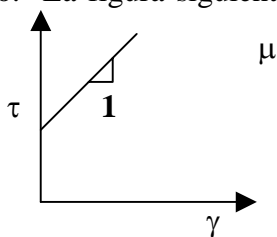
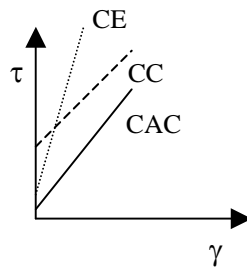


Figura 3-5-1 comportamiento reológico de concreto convencional

Como el concreto convencional es colado usando energía externa, no es necesario especificar características reológicas. De hecho, la intensidad de energía aplicada en el proceso de consolidación es ajustada para compensar variaciones en las propiedades plásticas. En el concreto autocompactable son necesarias otros requerimientos reológicos

para obtener buena consolidación, ya que no se adiciona operaciones en el colado que compensará cualquier carencia del cumplimiento reológico.



CE= Concreto especial

CC= Concreto convencional

CAC= Concreto autocompactable

Figura 3-5-2 comportamiento reológico de distintos concretos

Se compara en forma esquemática el comportamiento reológico de un concreto convencional (CC), un concreto especial (CE), y un concreto autocompactable (CAC).

En términos reológicos, según investigaciones han demostrado que la viscosidad del concreto autocompactable varía con el tipo de esfuerzo y actúa como un material pseudoplástico, el concreto autocompactable con frecuencia se describe como un fluido viscoelástico donde el tipo de relación esfuerzo/cortante es lineal y caracterizado por dos constantes, viscosidad y punto de cedencia.

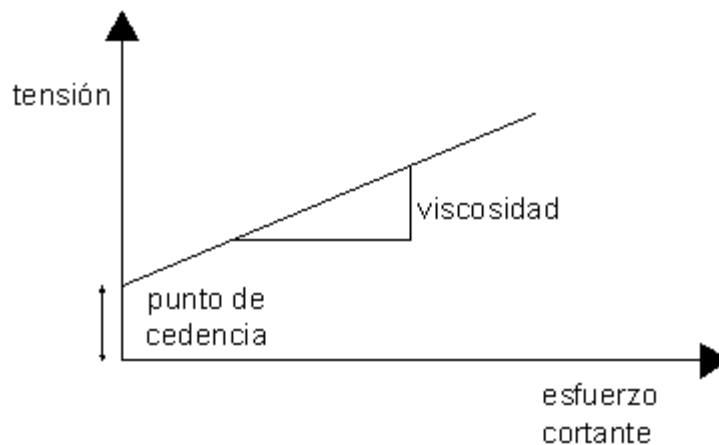


Figura 3-3. relación esfuerzo cortante vs tensión

El concreto autocompactable esta principalmente gobernado por el punto de cedencia, mientras que la viscosidad afectaría la homogeneidad y la habilidad para fluir a través del acero de refuerzo. Como la viscosidad del concreto autocompactable puede ser ajustada dependiendo de la aplicación, el punto de cedencia debería permanecer significativamente mas bajo que otros tipos de concreto en el orden para lograr la auto consolidación.

En pocas palabras el conocimiento de estos dos parámetros, punto de cedencia y viscosidad, permite describir cuantitativamente la trabajabilidad.

3.6 Cuidados que se deben de tener en el concreto autocompactable

Es muy importante cuidar cada etapa en el concreto autocompactable, desde la elaboración, transportación, la colocación, y terminado final. Ya que una error en estas etapas puede invalidar el buen diseño de la mezcla que se haya llevado a cabo.

De hecho existen estudios de que el mayor porcentaje de error se da en donde interviene el factor humano, por lo que a mayor número de personas en cualquier actividad, mayor será el error a efectuar. Así que se dan algunas recomendaciones y cuidados que se deben de tener presente al momento de producir concreto.

3.6.1 En la elaboración.

Los mezcladores comunes pueden usarse para producir el concreto autocompactable. Los camiones revoladora son menos efectivos pues requieren más atención y más tiempo de mezclado.

El tiempo de mezclado es ligeramente mayor que el del concreto convencional y dependen sobre todo de la cantidad de relleno y de material fino en la mezcla.

El concreto autocompactable es más sensible a la variación del contenido de agua de los agregados; la humedad debe tener una tolerancia de $\pm 5\%$; deben realizarse pruebas mas frecuentes a los agregados, si no es posible medirla con frecuencia entonces la mezcla debe diseñarse de modo que sea más tolerante a su variación. Antes del mezclado, la mezcladora debe estar limpia, húmeda y sin agua en exceso.

La producción de concreto autocompactable tiene límites más estrechos en las tolerancias y requiere de operadores experimentados.

3.6.2 En el transporte

Dependiendo del tamaño de la estructura de concreto, la capacidad de producción, tiempo de jornada y capacidad necesaria de colado debe ser balanceada al producirse concreto autocompactable, ya que un inesperado paro de producción puede resultar variaciones de consistencia que adversamente afecta el resultado final.

Conviene que los operadores de los camiones revolvedora tengan instrucciones por escrito sobre el manejo del concreto autocompactable. Si éste es producido en plantas fuera del sitio de la obra, debe transportarse en camiones revolvedora, y si se produce dentro de la misma, el concreto autocompactable debe transportarse en autobombas, recipientes o canales, desde luego las bandas transportadoras están descartadas.

El concreto autocompactable no se segrega mientras no sea agitado durante su transporte; el tiempo de espera de los camiones debe ser vigilado cuidadosamente para evitar dicho fenómeno. El tambor de concreto del camión debe estar limpio y libre de agua antes de introducir la mezcla.

Durante el transporte y tiempo de espera la velocidad de rotación debe ser como mínimo de 1 rmp (revoluciones por minuto). La velocidad de rotación justo antes de la entrega debe ser de 10 a 20 rpm.

No se recomienda añadir aditivos o fibras de acero durante el transporte. Si el concreto está muy duro, su fluidez puede ajustarse al agregar un aditivo superplastificante directamente en el tambor. En tal caso el operador debe contar con instrucciones precisas por escrito para tal efecto. No debe agregarse agua pues el riesgo de segregación es grande.

El concreto autocompactable debe ser diseñado para que la trabajabilidad se mantenga y cumplir con los requerimientos del contrato. El colado es rápido, especialmente si es usada una bomba, pero esto es esencialmente tranquilo para asegurar que la entrega y el colado pueden ser completado con el tiempo de retención de trabajabilidad del concreto.

3.6.3 En la colocación

Antes de colar el concreto autocompactable, debe ser confirmado que el reforzamiento y la cimbra están como se planeo. La cimbra debe de estar en buenas condiciones, pero no son necesarios criterios especiales para prevenir la pérdida de lechada.

Para formas de mas de 3 m de profundidad, el llenado hidrostático debe ser tomado en consideración, esto podría requerir modificaciones en el diseño de la cimbra y/o el concreto autocompactable.

Antes de emplear concreto autocompactable por primera vez, debe capacitarse al personal al respecto. Antes del vaciado el concreto autocompactable debe inspeccionarse visualmente y verificarse mediante pruebas que midan su revenimiento y fluidez, así como asegurar su resistencia a la segregación.

El concreto autocompactable puede fluir libremente sin segregación por distancias de 10 a 15 m, pero se recomienda que la distancia máxima sea de 10 m en tramos sin obstáculos como un armado denso. Si se hace fluir la concreto autocompactable por distancias más largas, entonces deberán tomarse precauciones desde el diseño.

El vaciado en losas puede dificultarse debido a la rapidez con que fluye el concreto, lo que se soluciona con un revenimiento menor; las áreas pueden delimitarse con metal expandido.

Si el área a cubrir es demasiado grande y el volumen de concreto también lo es, conviene ubicar varias tuberías con separaciones entre sí de 6 a 8 m y provistas de válvulas para regular el flujo. Esto además es útil en sitios donde es imposible ver y verificar el vaciado.

Si el concreto autocompactable ha sido correctamente diseñado no existen problemas de segregación, aun para una altura libre de caída de 2.5 – 3 m, incluso se han probado satisfactoriamente alturas de caída de 8 m. Pero este es un factor que debe considerarse en el diseño de la mezcla.

Si se produce una interrupción inesperada durante el vaciado y el concreto ha comenzado a endurecer, es necesario reactivar el concreto autocompactable, ya colocado antes de continuar el vaciado; esto se logra utilizando algún aditivo.

Las pendientes mayores a 2% son difíciles de lograr con el concreto autocompactable. Si la superficie a colar tiene varias pendientes, es necesario disminuir el revenimiento desde el diseño de la mezcla. Si existen diversos niveles pueden utilizarse paneles flotantes que se ajusten al nivel deseado. Las áreas más inclinadas pueden colarse con concreto normal.

Si se coloca una capa de concreto autocompactable viejo, también con concreto autocompactable, hay mejor adherencia que en el caso de dos capas de diferentes edades de concreto tradicional.

El vibrado normal no daña al concreto autocompactable si se cuela una capa de concreto convencional sobre una capa de concreto autocompactable fresco.

3.6.4 Curado

El concreto autocompactable tiene un secado mas rápidos que el concreto convencional por que hay sangrado de agua en la superficie. El curado inicial debe ser comenzado tan pronto como sea posible después del colado, para minimizar el riesgo de contracción y grietas.

El curado y acabado de losas es difícil debido a que no es posible caminar sobre la superficie trabajada, por lo que el uso de llanas es restringido. Tan pronto como se pueda se debe cubrir la superficie con mantas protectoras.

El concreto endurecido debe tratarse de la misma forma que el concreto convencional; se obtienen buenos resultados si la superficie es pulida algunos días después del colado, pero el tiempo transcurrido no debe ser demasiado largo por el riesgo de dañar la superficie.

El tiempo de secado de losas y pisos es ligeramente inferior al de concretos convencionales.

3.7 Ventajas y desventajas en su uso

El concreto autocompactable ha obtenido un cierto auge en esta época, con sus ventajas y desventajas. Independientemente de cualquier cosa que se nos pueda hablar de este tipo de concreto, lo claro es que desde su diseño de mezcla hasta el último paso que es la colocación, se debe de tener una estricta vigilancia y control para que se haga cumplir las propiedades con las que cuenta este tipo de concreto de alto comportamiento.

3.7.1 Ventajas

- Elimina la necesidad de aplicar energía externa lo que mejora la seguridad.
- Mejora la calidad, durabilidad y confiabilidad de las estructuras al asegurar la consolidación del concreto, aún en elementos esbeltos y de difícil acceso.
- Logra la uniformidad estructural de los elementos.
- Buen comportamiento ante sulfatos, cloruros y bióxido de carbono.
- Reducción de costos de mano de obra durante la colocación (50 al 80%).
- Reducción de tiempos y costos relacionados con la vibración.
- Reducción de costos de energía por colocación y reducción de niveles de ruido, tanto en los sitios de colado como en las plantas productoras.
- Reducción de costos por mantenimiento.
- Mejoramiento del acabado superficial y eliminación de oquedades.
- Disminuye los errores humanos potenciales durante la colocación del concreto.
- Permite la producción industrial a mayor escala de elementos prefabricados.

3.7.1 Desventajas

Las desventajas serian prácticamente pocas, una está en el consumo de cemento, porque comparado con el concreto convencional en concreto autocompactable se utiliza una mayor cantidad de cemento, y por lo tanto se incrementa el costo del mismo. Pero al aumentar el contenido de cemento también aumenta la durabilidad del elemento estructural, haciéndolo más permeable y más resistentes a cualquier agente agresivo del medio ambiente.

Una desventaja mas sería que debido a que se trata de un concreto que recientemente llegó a nuestro país, aun no se tiene pleno conocimiento de su comportamiento y de sus propiedades; por lo tanto no se tiene el debido control del mismo, trayendo como consecuencia una nula función, provocando la segregación y exudación.

El hecho de que por ser un concreto de alto comportamiento requiere de un diseño de mezcla mas especializado, un control de calidad mas riguroso, y por lo tanto son necesarios una serie de pruebas en el concreto fresco, totalmente diferentes a las que se realizan al concreto convencional, haciendo necesario el uso de aparatos e instrumentos para la realización de las pruebas, incrementándose aún mas el valor del producto.

Por el momento solo una prueba esta avalada por la norma alemana DIN 1048, que viene siendo la prueba de extensibilidad; mientras las otras aun están en espera de que sean considerada por alguna norma de control de calidad, y así llevar un estricto control de este.

Por otra parte, no siempre es posible la reducción de costos, a menos que se coloque concreto a gran escala, debido a que los sistemas constructivos se basan en la necesidad de vibrar el concreto. Por lo tanto se requiere del desarrollo de nuevos proceso para hacer más eficiente su uso y aprovechar al máximo sus propiedades.

3.7.3 Aplicaciones

- Puentes (anclajes, torres)
- Pisos y losas de concreto
- Muros y elementos estructurales con acero muy congestionado.
- Reparaciones con difícil acceso.
- Elementos prefabricados
- Elementos de sección irregular, estrecha o inclinada.
- Túneles

Algunas aplicaciones particulares:

- Colado bajo agua: el concreto autocompactable fue utilizado en construcciones bajo el agua, una técnica muy cara cuando se utiliza el concreto convencional. Existe un mercado sumamente especializado y pequeño para esta aplicación, exclusivo de este tipo de concreto.
- Áreas con acceso restringido o limitado: debido a su fluidez, alta estabilidad y bajo riesgo de obturación, el concreto autocompactable es más fácil de colocar. Es una solución cuando es necesario hacer reparaciones de elementos estructurales en áreas restringidas o cuando el número de operarios y los medios de acceso se encuentran limitados.
- Colocación en obra: El concreto autocompactable permite una colocación en obra más industrializada, el trabajo de compactación manual es eliminado y al mismo tiempo se puede alcanzar una mejor calidad. Se ha estimado que aproximadamente el 50% de los costos totales de la construcción se encuentran relacionados con la mano de obra y las cimbras, permitiendo importantes reducciones en estos puntos.
- Premoldeados: En este campo los productos de concreto tienden a ser más grandes y más complicados, necesitando mayor técnica para la compactación del concreto. El concreto autocompactable ofrece la posibilidad de reducir los costos de transporte y colocación. Se puede ahorrar en mantenimiento, mano de obra y eliminar el ruido de la vibración.

INTRODUCCIÓN CAPITULAR IV

En esta parte se describen las normas para evaluar las propiedades del concreto autocompactable, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Para la evaluación de las propiedades en estado fresco solo una prueba esta hasta el momento normalizada (DIN 1048). Para el caso del estado endurecido son las mismas del concreto convencional.

Se mencionan algunas construcciones a nivel mundial y nacional realizadas con este tipo de concreto de alto rendimiento. Se describen casos prácticos exponiéndose el problema y la solución.

CAPÍTULO IV. NORMAS Y ESPECIFICACIONES

4.1 Normas que rigen el concreto autocompactable

Como se ha mencionado en el capítulo anterior la evaluación de las propiedades en estado fresco del concreto autocompactable difieren del concreto convencional, debido a que los parámetros de diseño cambian contundentemente. Así que las pruebas que comúnmente se le realizan al concreto convencional quedan absolutamente fuera y obsoletas para este tipo de concreto autocompactable.

En la actualidad, de acuerdo a investigaciones existen pruebas que evalúan las propiedades de mayor interés en el concreto autocompactable, como son consistencia, fluidez, capacidad de llenado, etc., con el inconveniente de que solo una prueba esta normalizada, prueba de extensibilidad, por la norma alemana DIN 1048 [♦].

[♦] Ver capítulo III, sección 3.1.1.1.1 Prueba de extensibilidad.

Pruebas en concreto fresco y endurecido*:

Pruebas en el concreto fresco:

- Prueba de extensibilidad (slump-flow test)♦
- Prueba del anillo “J” (J-Ring test)
- Orimet & J-Ring
- Prueba embudo “V” (V-Funnel)
- Prueba Caja “L”-Box (L-Box test)
- Prueba de capacidad de llenado (Fill-box test)
- Caja U (U-shape test Box)

Por lo tanto el resto de las pruebas pueden caer en una aberración, mientras no sean certificadas y avaladas.

Respecto a las normas que evalúan las propiedades en el concreto endurecido, se habla de las mismas del concreto convencional, ya que las propiedades del concreto autocompactable en estado endurecido son análogas al concreto común. Como ya se describieron en el capítulo anterior, solo renombrarán como se hizo con las pruebas en el concreto fresco.

Principales pruebas en el concreto endurecido:

- Resistencia a la compresión, ASTM-C- 039 ó NMX-C-083.
- Resistencia a la flexión, ASTM C 78 ó NMX-C-191
- Módulo de elasticidad, ASTM-C-469 o NOM-C-128
- Adherencia del concreto con el acero de refuerzo, ASTM C 900-87.
- Resistencia al congelamiento y deshielo, ASTM-C-666 ó NOM-C-205
- Cambios volumétricos (contracción), ASTM C 157
- Resistencia a la penetración, ASTM C 803-90 ó NMX-C-177-1997-ONNCE.
- Permeabilidad
- Carbonatación

* Ver capítulo III. Tecnología del concreto autocompactable

4.2 Casos prácticos del uso del concreto autocompactable

Se describirán algunos caso de construcciones tanto nacionales como internacionales, haciendo hincapié el principal uso del concreto. Como todo producto si se tiene el debido cuidado desde la elección de sus componentes, el proceso de elaboración, lo más seguro es que se tendrá un producto terminado de calidad.

4.2.1 Construcciones Internacionales importantes

Reparación puente Rempenbridge, Suiza

Problema: serios daños en el concreto y en el acero de refuerzo por condiciones agresivas del ambiente como congelamiento y sales de deshielo.

Solución: Incremento de capacidad de carga

Construcción de nuevas vigas

El espacio entre vigas fue aprovechado para colocar grandes cantidades de acero de refuerzo y cables de tensionamiento; pero la colocación del concreto era altamente complicada.

Tunel Meinrad Lienert Square, Suiza

(Tunnel ferroviario de doble via, 9.4 km de longitud con portal de salida en el centro de Zurich en la plaza Meinrad Lienert)

Problema: Edificios de importancia histórica y arquitectónica construidos sobre una capa de terreno muy delgada por encima del portal del túnel.

Solución: Construcción preliminar de una red de tuberías sobre el túnel para proporcionar soporte adicional.

Fueron introducidos a presión en el suelo 10 tubos de aproximadamente 150 m de largo. Se requería llenar completamente en concreto las tuberías que tenían gran densidad de acero de refuerzo.

El suelo dentro de los tubos fue removido y el espacio alrededor de los tubos inyectado con concreto autocompactable. Se requirió colocar 2000 m³ de concreto con las siguientes características:

- Distancia mínima del bombeo 50 m
- Colocación sin posibilidad de vibración con la garantía de que no hubiera segregación y exudación s/c exudación.
- Concreto impermeable

Túnel para agua potable, Lutry Suiza

Problema: Construcción de una galería para transporte de agua potable.

Difícil acceso a galería

Distancia de bombeo 120 m

Denso acero de refuerzo

Aplicación del concreto en una zona de difícil acceso.

Vibración difícil y costosa

Solución: Uso de concreto autocompactable

Prefabricados en edificios, Oldcastle / Rotondo, E.U.A

Proyecto: prefabricados de elementos modulares de concreto destinados a la construcción de cárceles, colegios, viviendas, etc.

Problema: Los muros generaban limitaciones de diseño por excesivo peso, para la colocación de paneles de aislamiento.

La colocación del acero de refuerzo se volvía imposible

Problemas con el terminado del concreto.

Solución: La única manera de reducir el espesor de los muros fue usando concreto autocompactable. El concreto se colocó desde la base de la formaleta mediante el uso del embudo. Se utilizó un sistema de reforzamiento para reemplazar parcialmente acero de refuerzo. Adicionalmente el uso de aditivo permite obtener un excelente acabado superficial.

4.2.2 Construcciones nacionales importantes

Obra torre mayor, México

(La torre mayor con 55 pisos y 225 m de altura, vol. de concreto 24000 m³ aprox.)

Resultados obtenidos:

Resistencia obtenida 290-310 kg/cm²

Excelente trabajabilidad y consistencia.

Conjuntos habitacionales en Edo. de México y Jalisco

4.2.3 Otros construcciones realizadas con este concreto

Torre Macao, China

Muelle Bornholm, Dinamarca

Embajada de Israel, China

Viviendas, Santiago de Chile

Prefabricados, Uruguay

Cárcel, Bogotá

Piscina, Ecuador

Reparación de superficie de canal de salida en presa, Quito Ecuador

Construcción de túnel Riobamba

Protección de costa, Marina del Sur, Guatemala

Hidroeléctrica las Vacas, Guatemala

CONCLUSIONES

El concreto autocompactable es un avance tecnológico que ha venido a evolucionar los procesos constructivos, donde se tiene que tomar en cuenta otros aspectos no comunes en el concreto convencional.

Este tipo de concreto tiene la función de autonivelarse por su propio peso sin necesidad de ser vibrado, eliminando un porcentaje de error humano durante su manejo, ya sea desde la elaboración hasta el terminado final.

Respecto a los agregados gruesos no deben de pasar de un tamaño máximo de agregado (T.M.A.) de 20 a 25 mm.

Un aspecto muy importante y que siempre hay que tener presente es la adición de finos en este tipo de concreto, ya que los finos dan cohesión y consistencia al concreto para evitar la segregación y controlar la exudación. Si no se añade suficiente cantidad de finos,

se debe adicionar una mayor dosis de cemento, lo que produce mayor costo del concreto y podría traer como consecuencias problemas de agrietamiento por retracción o hidráulica.

La principal característica que afecta el desempeño de los concretos autocompactantes es su superficie específica. Si bien la cantidad de finos necesaria para obtener un concreto autocompactante es distinta para cada fino en particular, existe una relación directa entre la finura del material y la cantidad que se debe adicionar: a mayor finura menor es la cantidad de agregados requerido y viceversa.

La dosis de aditivo necesaria para obtener un concreto autocompactable es diferente para cada tipo de fino estudiado. Se requiere una menor cantidad de aditivo para los finos que poseen mayor superficie específica.

Los concretos autocompactables aparecen como una excelente alternativa no solo para lograr una reducción en los tiempos constructivos, posibilitar la realización de nuevos tipos de diseños y/o métodos de reparación, y reducir costos (mano de obra, compactación, etc.), sino también para asegurar un nivel de compacidad y ausencia de defectos que se traduzca en la construcción de estructuras más durables.

Siempre se debe tener en cuenta que para que el concreto cumpla con su función se debe cuidar que sus propiedades no cambien, respetando las características de sus componentes, el procedimiento del diseño de mezcla, y los cuidados adecuados desde su elaboración, colocación hasta el terminado final.

En México no se ha logrado muy buenos resultados debido a que existen demasiadas discrepancias respecto a sus propiedades y funcionabilidad. Además en lugares donde es casi imposible obtener la granulometría adecuada del agregado que se requiere se llega a utilizar otro tipo granulometría provocando el riesgo segregación y anulando la función del concreto; o de lo contrario si se importa el tipo de agregado adecuado encarecería demasiado el costo del concreto; lo mismo ocurre con el tipo de cemento y los superfluidificantes.

Por lo tanto no queda otra opción mas que continuar con investigaciones y experimentos para conocer mas a fondo el comportamiento de este tipo de concreto autocompactable.

Para aquellas personas que alguna vez lean este documento y se interesen por el tema, sería benéfico continuar con investigaciones donde se realicen diversas dosificaciones para estandarizar los componentes, realizársele las pruebas convenientes, ya enunciadas u otras que puedan mejor estas, y evaluar su comportamiento reológico.

Otra línea de investigación importante sería realizar probetas para medir la resistencia a sulfatos, cloruros, etc. A continuación se enuncian algunos puntos interesantes:

IMPORTANCIA EN PRÓXIMAS PRUEBAS FUTURAS

- Identificar procedimientos de pruebas para diferentes métodos de ensayos usándolas en campo y laboratorio.
- Lograr pronta resistencia dentro de diferentes temperaturas ambientales.
- Identificar la influencia del tamaño máximo del agregado sobre la cantidad de la pasta (filler) con respecto al bloqueo.
- Identificar la influencia de la forma de las partículas respecto al bloqueo.
- Iniciar investigaciones o combinaciones de filler y agentes de viscosidad.
- Identificar el mejor orden de introducir los aditivos a la mezcla.
- Introducir nuevo tipos de aditivos
- Identificar e investigar diferentes tipos de filler, ambos por razones económicas y reológicas.
- Estabilizar la disminución del volumen de la pasta, usando agentes de viscosidad, influenciando en la habilidad al no bloqueo.

RECOMENDACIONES

Lo primero que se debe de tener presente al utilizar este tipo de concreto de alto rendimiento es conocer su comportamiento desde que es elaborado hasta su colocación, pues de esto depende su adecuada funcionabilidad y una máxima durabilidad de los elementos estructurales donde es utilizado.

La evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco es otro de los puntos que se deben de cuidar, ya que las pruebas de evaluación de este tipo de concreto son totalmente distintas a las pruebas que se le realizan al concreto convencional. Existen alrededor de siete pruebas, pero solo una esta avalada por la norma alemana (DIN 1048).

Respecto a los componentes, se deben de usar los tipos de cementos adecuados, los tamaños máximos de agregados que se mencionaron anteriormente (20 a 25 mm), y no excluir las adiciones (cenizas volantes, humo de sílice, filler, etc.) que son uno de los componentes básicos del concreto autocompactable, al igual que el tipo de fluidificante.

Se recomienda que cuando se utilice un material de mayor finura se aumente el tiempo de mezclado, de tal manera de lograr que todos los componentes se mezclen de buena forma. Este efecto se comprobó en concretos fabricados con ceniza volante, microsílíce y filler, requiriéndose de un mayor tiempo de mezclado.

Una recomendación más sería a aquellas personas que tomen conciencia y no hagan uso de este concreto si no se tienen los conocimientos previos a su comportamiento, porque les podría ocasionar problemas graves técnicos y económicamente.

BIBLIOGRAFÍA

Tecnología del concreto, IMCYC, pags. 176-181,405-445

GONZALÉZ CUEVAS, Tecnología del concreto.

GIACCIO, G. (2002), Hormigones autocompactables, Revista Ciencia y Tecnología del Hormigón, núm. 9, LEMIT, Comisión de investigaciones científicas de la provincia de Buenos Aires, pags. 33-45

BORRALLERAS, M., (2001, Agosto-Noviembre), Hormigón autocompacto y Glenium: un compromiso perfecto, Revista Cemento Hormigón, núm. 826, Chile, pags. 716-691

GOMES, P., (2002, Enero), Diseño de hormigones autocompactables de alta resistencia. Procedimiento para su dosificación y métodos de caracterización, Revista hormigón, núm. 832, Año LXXIII, España, pags. 30-42.

SKARENDAHL, A., (2002, Septiembre), Aceptación en el mercado del hormigón autocompactable, La experiencia sueca, Revista hormigón, núm. 840, España, pags. 38-48.

DACZKO, J.A., (2002, Diciembre), Quality Control Testing of Self-consolidating and Rheodynamic Concrete, Innovations in Design with Emphasis on seismic, wind, and Environmental Loading, ACI, Fifth international conference, México, pags. 213-223.

SAAK, A.W., (2001, Noviembre - Diciembre), New Methodology for Designing Self-Compacting Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 98, núm. 6, USA, pags. 429-439.

BUI, V.K., (2002, Noviembre - Diciembre), Rheological Model for Self-Consolidating Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 99, núm. 6, USA, pags. 549-559.

KHAYAT, K.H., (2002, Julio - Agosto), Air-Void Stability in Self-Consolidating Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 99, núm. 4, USA, pags. 408-416.

KHAYAT, K.H., (1999, Mayo - Junio), Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 96, núm. 3, USA, pags. 346-352.

KHAYAT, K.H., (2000, Septiembre - Octubre), Optimization and Performance of Air-Entrained, Self-Consolidating Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 97, núm. 5, USA, pags. 526-535.

KHAYAT, K.H., (1999, Noviembre), Factorial design models for proportioning Self-Consolidating Concrete, Revista Materials and Structures, vol. 32, RILEM, USA, pags. 679-686.

CLAISSE, P.A., (1999, Mayo - Junio), Permeability and Pore Volume of Carbonated Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 96, núm. 3, USA, pags. 378-381.

KRAJCI, L., (2000, Marzo - Abril), Measurement Techniques for Rapid Assessment of Carbonation in Concrete, Revista ACI Materials journal, ACI, vol. 97, núm. 2, USA, pags. 168-171.

MONTANI, R., (2000, Diciembre), La carbonatación, enemigo olvidado del concreto, Revista Construcción y Tecnología, IMCYC, vol. XIII, num. 151, México, pags. 39-43.

VACHON, M., (2002, Julio), ASTM Puts Self-Consolidating Concrete to the Test, http://www.astm.org/SNEWS/JULY_2002/vochon_jul02.html

McGOVERN, M., (2002, Diciembre), Going with the flow, <http://www.imcc.com/news/fall2002/fall2002-07.asp>

Advanced Concrete and Masonry Centre, (2002, Diciembre), Self-Compacting Concrete, <http://www-civeng.paisley.ac.uk/acm/concrete01.html>

APÉNDICES

ENTREVISTA

CASAS GEO, S.A. DE C.V.
ING. EMILIO SAINTMARTIN

1. ¿A utilizado el concreto autocompactable y en dónde?

Si, en fraccionamientos, para casas de intereses social, y se utilizan en cualquier elemento, columnas, losas, trabes, etc.

2. ¿Cuál ha sido la función técnicamente del concreto autocompactable?

Realmente la función no ha sido buena, de hecho se suspendió el uso de este concreto en nuestras construcciones debido a que había demasiada segregación en los elementos en que se utilizaba.

3. ¿Y cuál ha sido la función económicamente del concreto autocompactable?

Primeramente para conseguir el tipo de cemento y agregados de características adecuadas que necesitamos para este tipo de concreto se eleva el costo, y lo mismo sucede con los tipos de aditivos superfluidificantes. Así que económicamente hablando no nos conviene.

4. ¿Las mezclas son diseñadas por un método o son realizadas arbitrariamente?

Son diseñadas

5. ¿Cuáles son las pruebas que se le realizan en estado fresco?

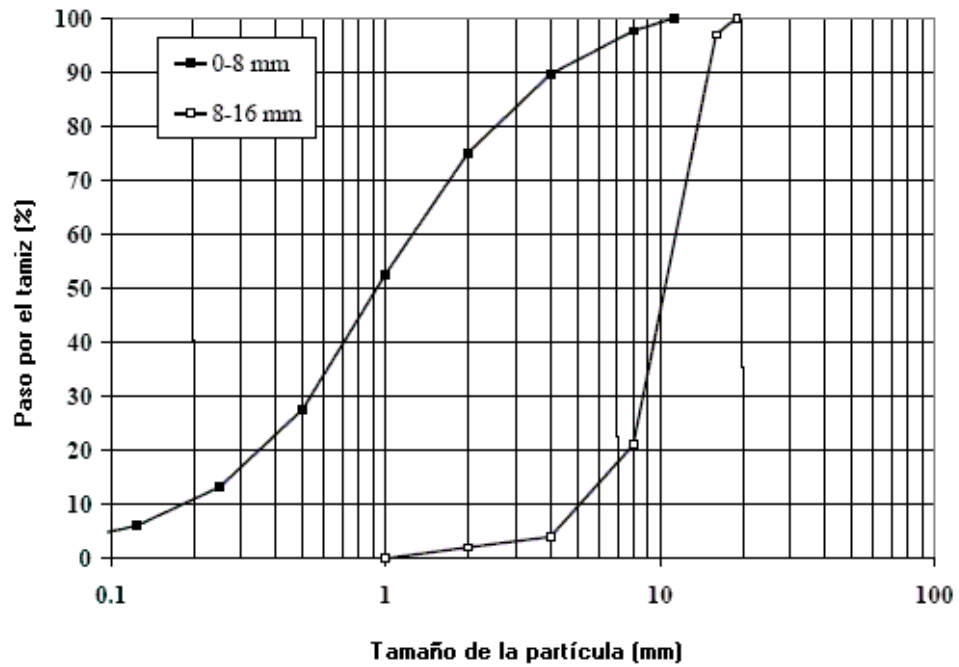
Pues prácticamente ninguna prueba asegura la calidad del producto, debido a que ninguna esta aun normalizada. Y la prueba que se realiza es la de la mesa de extensibilidad basada en una norma adaptada, pero realmente no existen normas normalizada para este tipo de concreto.

6. ¿Cuál es la norma en la que se basan para el control de calidad de este concreto?

En la que se basan la mayoría, la norma DIN 1048, una norma alemana que fue adaptada como se mencionó anteriormente para medir la fluidez del concreto autocompactable (prueba de extensibilidad).

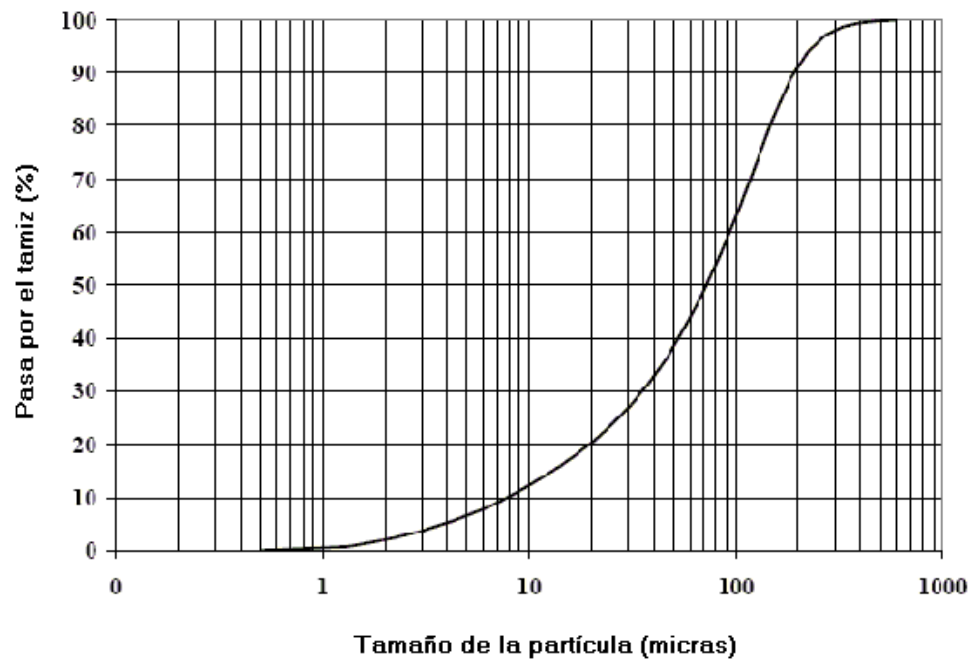
Comentarios: En lo personal el Ing. Saint Martín se encuentra realizando investigaciones sobre este concreto, porque existen muchas lagunas y dudas sobre el comportamiento de este concreto de alto rendimiento. En México hay poca información y poco se ha investigado, así que se espera que pronto haya buenos resultados para continuar con el avance tecnológico.

ANEXOS



Curva de clasificación de los agregados

Gráfica 1: Curva de clasificación de agregados



Gráfica 2: Clasificación de filler



FOTO 1: COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN CIMBRA



FOTO 2: BOMBEO DE CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN PUENTE

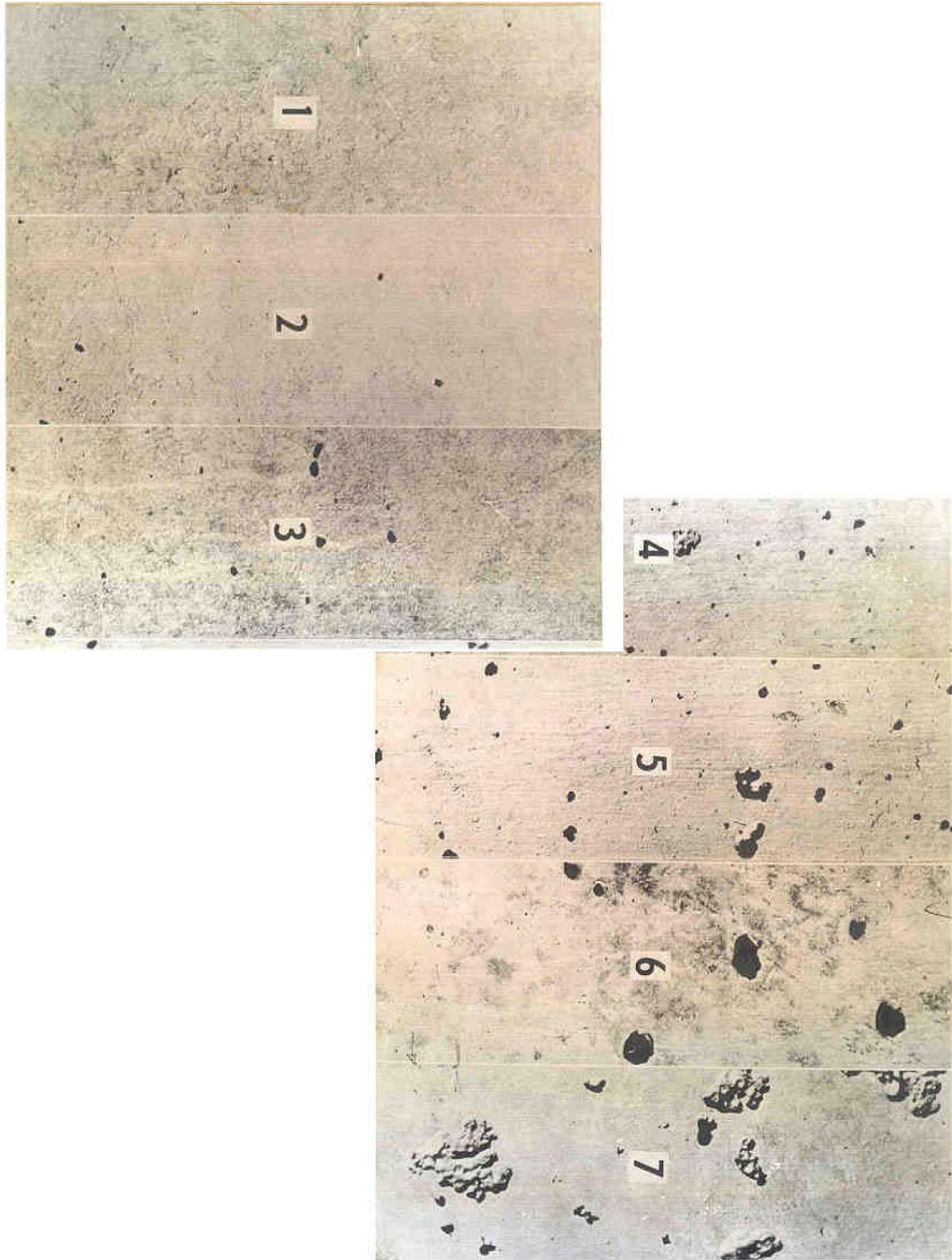
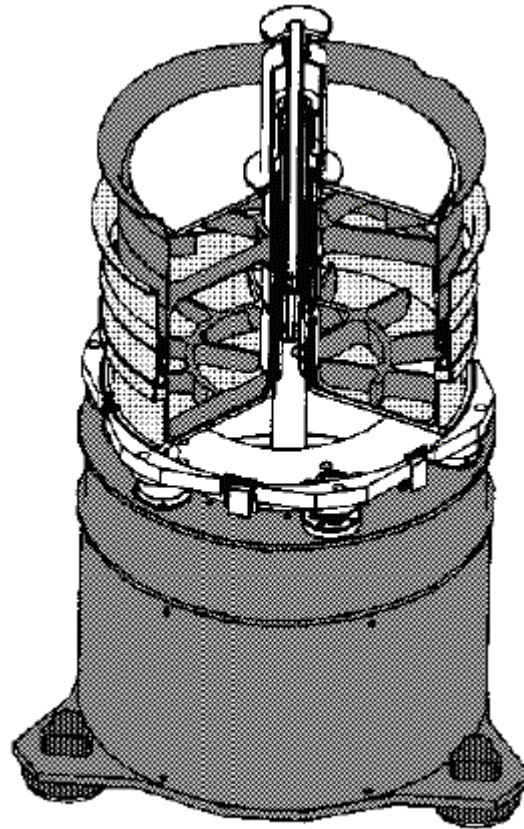


FOTO 3: PROBETAS DE CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DONDE SE OBSERVAN BURBÚJAS DE AIRE ATRAPADO.



Reómetro Btrheom

FOTO 4: REÓMETRO

GLOSARIO

Adiciones	Material fino que se añade al concreto para hacerlo mas plástico como cenizas volantes, humo de sílice, filler.
Áridos	Igual a agregado grueso.
Cementante	Cualquier producto que tenga la capacidad de unir piezas entre si mismas, por ejemplo, el cemento Portland, el asfalto, las resinas, etc.
Ceniza volante (Fly Ash)	Puzolana artificial, similar al polvo de cemento, subproducto de la combustión de carbón en polvo, en las plantas generadoras de electricidad.
Coeficiente de forma del agregado	Factor según forma que puede ser redondeada, plana, o alargada.
Comportamiento reológico	Es la actuación de la fuerza de tensión de corte inicial y la viscosidad plástica, momento en el cual el concreto empieza a fluir a través de la cimbra y toma la forma de ésta.
Encofrado	Igual a cimbra
Exudación del concreto	Sangrado del concreto, fenómeno de separación natural del agua hacia la superficie del concreto fresco antes de su endurecimiento.
Fluidificantes	Aditivo empleado en concreto de alto rendimiento para hacerlo más fluido.
Hormigón	Equivalente a concreto
Humo de sílice (sílica fume)	Conocida también como microsíllica, es una puzolana artificial que se presenta como polvo de tamaño ultrafino, de color gris claro a oscuro, que se obtiene como subproducto de la manufactura del silicio o de las aleaciones de ferro-silicio.
Moldajes	Igual encofrado o cimbra
Punto de cedencia	Tensión de corte inicial, momento en el cual el concreto inicia a fluir, propiedad de reológico.

Puzolana	Material natural o artificial amorfo, silicioso capaz de reaccionar con la cal que libera el cemento durante su hidratación para mejorar las propiedades del concreto. La puzolana más popular es la piedra poma.
Segregación del concreto	Separación de los constituyentes del concreto, de modo que la distribución de los tamaños de las partículas deje de ser uniforme.
Superficie específica del agregado	Es la superficie del agregado limpio, resistente, durable y libre de productos químicos.
Superfluidificantes	Aditivo empleado en concreto de alto rendimiento para hacerlo mas fluido.
Trabajabilidad	La propiedad de la mezcla de concreto que determina su facilidad de ser moldeada, colada y acabada.
Viscosidad plástica	Propiedad reológica del concreto, evita la segregación y mejora el acomodo en la cimbra.