ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CCENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Diseño de Mezclas para Hormigón Autocompactante

Lady León Parra, Ing. Hugo Eguez Álava.
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Km 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador
lleon@espol.edu.ec , heguez@espol.edu.ec

Resumen

El hormigón autocompactante (HAC) se caracteriza por su capacidad de fluir a través de obstáculos llenando los encofrados por la acción de su propio peso, con poca o sin necesidad de vibrado. Para el diseño y caracterización de este hormigón no existe un método aceptado universalmente, su desarrollo se ha basado en la aplicación de las experiencias adquiridas con hormigones convencionales. El objetivo del presente trabajo es establecer un método apropiado para diseñar hormigones autocompactantes con materiales disponibles localmente, desarrollando un procedimiento conceptual que luego será validado a través de ensayos en el laboratorio. Para la elaboración de las mezclas se consideró las recomendaciones del ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE 2008, donde se indican los parámetros que debe cumplir un diseño para obtener en la práctica un HAC, tales como: volumen absoluto de agregado grueso, fracción de pasta y fracción de mortero. En el proceso de diseño de un HAC es común elaborar varias mezclas hasta conseguir que las proporciones de los componentes sean adecuadas. Una vez conseguido el primer diseño de HAC valido, se diseñaron cinco mezclas adicionales variando las proporciones de sus componentes, con la finalidad de presentar diseños de hormigón aplicables a cualquier campo estructural.

Palabras Claves: Hormigón Autocompactante, HAC, diseño de mezclas, agregados, trabajabilidad.

Abstract

Self-compacting concrete (SCC) is characterized by its capacity of flowing through obstacles filling formworks by its own weigh action, with little or not vibration. For designing and evaluating this kind of concrete, there is no a worldwide accepted method, its development has been based on application of acquired experiences with conventional concretes. The objective of this topic is to establish an appropriate method to design selfcompacting concretes with locally available aggregates, developing a theoretical procedure which will be checked with laboratory tests. The recommendations from ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE 2008 were considered for trial mixes, where parameters that fulfill the design were suggested, to obtain a SCC in the practice, such as; coarse aggregate absolute volume, paste fraction, mortar fraction. In the SCC design process is common to elaborate some mixture until obtaining excellent proportions for components. Once the first valid SCC design, has been gotten another five mixtures were designed changing components proportions, in order to obtain suitable designs for structural works.

Keywords: Self-compacting Concrete, SCC, Mix Design, aggregates, workability.

1. Generalidades

El hormigón autocompactante ha sido desarrollado para asegurar adecuada compactación, facilitar la colocación del hormigón en estructuras de congestionado reforzamiento y en áreas limitadas. Estas propiedades del HAC no se consiguen con el hormigón convencional, por lo cual es considerado como uno de los avances más importantes en la tecnología del hormigón.

A finales de la década del 80 se iniciaron en la Universidad de Tokio (Japón) con la dirección del profesor Okamura, los primeros desarrollos de lo que hoy se conoce como Hormigón Autocompactante. Surge como consecuencia de la necesidad de garantizar la obtención de estructuras durables (sin defectos de compactación).

Okamura (1997) define al HAC como un hormigón diseñado para que posea una consistencia líquida, capaz de llenar los moldes y encofrados por la acción de su propio peso, sin ayuda de medios de compactación. Es preciso señalar que una excesiva consistencia liquida puede acarrear problemas de segregación en los agregados y exudación en la pasta.

El hormigón Autocompactante presenta amplias ventajas desde el punto de vista de la ejecución, sin perder ninguna de sus propiedades resistentes o de durabilidad. Entre las más significativas están: una rápida y muy simple colocación, rellenar zonas con elevada congestión de armaduras, ausencia de compactación mecánica, calidad superior en los acabados, posibilidad de reducción de costos globales (optimización de personal y equipos) y un mejoramiento de las condiciones de seguridad e higiene del trabajo debido a menores niveles de ruido[1].

En este trabajo se sugiere la utilización de las recomendaciones del ACI manual técnico del hormigón 2008 (237R-2 a 237R-18), como punto de partida para comenzar el diseño de las mezclas de HAC. Este texto indica que el nivel de fluidez de la mezcla depende del elemento a hormigonar, para lo cual se analizan ciertas tablas que indican los parámetros conceptuales que el diseño debe cumplir para considerar un hormigón como autocompactante.

Los diseños de hormigón presentados en este trabajo son producto de la elaboración de varias mezclas referenciales de las cuales se combinaron los mejores resultados para conseguir un diseño óptimo que cumpla con los requisitos de un HAC.

Para caracterizar los agregados que se utilizarán en las mezclas se recurre a las normas ASTM. El hormigón será caracterizado por los ensayos propuestos en normativa internacional.

2. Principios Básicos y Requerimientos de Autocompactabilidad

Una mezcla de hormigón solo puede ser considerada como autocompactante si cumple con las propiedades en estado fresco que aseguran una buena trabajabilidad.

Para evaluar las propiedades del HAC en estado fresco se utilizaran cuatro ensayos (escurrimiento, anillo japonés, caja en L, embudo V) específicos que garantizan la autocompactabilidad del hormigón.

Una buena trabajabilidad de la mezcla implica un uso adecuado de los materiales que la constituyen, para lo cual se establecen los tipos de cementos, agregados, adiciones y aditivos a utilizarse para este tipo de hormigón.

El concepto de trabajabilidad es uno de los términos más utilizados para caracterizar al hormigón en estado fresco. La trabajabilidad se relaciona con la facilidad con la que se consigue un hormigón adecuadamente compactado. El HAC es un hormigón con alto nivel de trabajabilidad, porque no requiere trabajo externo para su compactación.

El HAC tiene que cumplir con tres paramentos de trabajabilidad para garantizar su autocompactabilidad, los cuales son:

a) Capacidad de relleno.
b) Resistencia a la segregación.
c) Capacidad de paso.

a) Capacidad de relleno.- La capacidad de relleno está relacionada con la movilidad y fluidez del hormigón. El hormigón tiene que deformarse y moldearse en el encofrado únicamente bajo la acción de su propio peso y sin utilización de medios mecánicos externos.

Para obtener una capacidad de relleno adecuada es necesario reducir la fricción entre las partículas sólidas y mejorar la deformabilidad de la pasta.

La fricción entre las partículas sólidas de la mezcla (árido grueso y fino) reduce la deformabilidad del hormigón. Una forma de reducir la fricción es reducir el contacto entre las partículas, disminuyendo el volumen de áridos, aumentado el volumen de pasta, y optimizando el esqueleto granular con el aumento de finos.

b) Resistencia a la segregación.- La segregación del hormigón ocurre cuando los componentes del hormigón se separan y su distribución no es homogénea. La segregación puede manifestarse de varias formas; como exudación, separación del árido grueso, o distribución no uniforme de los poros de aire. El HAC, al ser más fluido, está más propenso a la segregación que el hormigón convencional.

c) Capacidad de paso.- Se presentan casos en que el hormigón debe fluir a través de pequeñas aberturas en el encofrado o a través de una gran congestión de armaduras. En tales casos el HAC debe cumplir con un requisito adicional para poder evitar el bloqueo del hormigón en dichas aberturas.

El bloqueo del hormigón se produce cuando el tamaño máximo del árido es demasiado grande y/o cuando el contenido del árido grueso es demasiado alto.

Por tal motivo deberá existir una compatibilidad entre el tamaño y cantidad de partículas grandes en el HAC y el espacio libre entre barras de armaduras y aberturas de los encofrados a través de los cuales debe fluir el hormigón.[2]

2.1 Métodos de Ensayos

Para caracterizar las mezclas de hormigón diseñadas se realizaron tres ensayos específicos para determinar si se cumplen con los requisitos de trabajabilidad.

Los ensayos que sirvieron para evaluar la trabajabilidad en las mezclas son:

a) Ensayo de escurrimiento (Slump flow)

El objetivo de este ensayo es evaluar la habilidad o facilidad de fluir del hormigón. Además se puede valorar cualitativamente, en términos visuales, la presencia de segregación.

El ensayo se fundamenta en determinar:

- T_{50}: tiempo, expresado en segundos, que tarda el hormigón en alcanzar el círculo de 500 mm de diámetro, contado desde el inicio del levantamiento del cono.
- D_F: diámetro final de la extensión de flujo, una vez la muestra ha dejado de fluir, determinado por la media aritmética de dos diámetros perpendiculares. (Ver figura 2.1)

a) Lectura del T_{50}

b) Medición Df

Figura 2.1 Ensayo de Escurrimiento

b) Caja "L"

Este ensayo evalúa la capacidad de relleno y de paso del HAC y cualquier falta grave de estabilidad (segregación) puede detectarse visualmente.

Los datos que se obtienen en el ensayo son:

- El tiempo que tarda el hormigón en recorrer 20 cm y 40 cm (T_{20} y T_{40}). (Ver figura 2.2)
- La diferencias de alturas que alcanza el hormigón entre los extremos de la caja (H_1 y H_2).

a) Lectura del T_{20} *b) Lectura del T_{40}*

Figura 2.2 Realización del ensayo caja "L"

c) Embudo "V"

El ensayo tiene como objetivo evaluar la habilidad de fluir del hormigón en áreas restringidas en dirección vertical y bajo su propio peso.

El ensayo consiste en llenar el embudo con la muestra representativa (aproximadamente 10 litros) de forma continua y sin compactación. Seguidamente, se abre la compuerta y en ese instante se comienza a medir el tiempo Tv, que tarda el volumen total de hormigón en fluir a través de la apertura.

Figura 2.3 Lectura del T_V

d) Anillo "J"

El ensayo tiene como objetivo valorar la autocompactabilidad del hormigón considerando los aspectos relacionados con su capacidad de fluir bajo su propio peso, su resistencia a la segregación o estabilidad, y su habilidad para pasar entre las barras que constituyen las armaduras o resistencia frente al bloqueo.

El ensayo consiste en la combinación del cono de Abraham con un anillo de barras, se llena el cono sin compactación y se alza dejando fluir el hormigón a través de las barras. Se miden las alturas de hormigón justo dentro y fuera del anillo para evaluar el bloqueo (figura 2.5) También debe medirse el diámetro final de extensión, como la media de dos diámetros perpendiculares.

a) Inicio del ensayo *b) Medición de alturas*

Figura 2.4 Ensayo Anillo "J"

3. Diseño de Mezclas para Hormigón Autocompactante.

En este capítulo se plantean bases para diseñar HAC, desarrollando un procedimiento conceptual para luego verificar su validez con pruebas de laboratorio. Para la elaboración de las mezclas, se consideró las recomendaciones del ACI-2008 (manual práctico del hormigón), en el cual se indican los parámetros que deben cumplirse para obtener en la práctica el hormigón deseado.

Para llegar a un diseño de hormigón que cumpla con los requisitos de autocompactabilidad se deben realizar varias mezclas, en nuestro caso se elaboraron 10 mezclas referenciales que debían cumplir con parámetros básicos como; fluidez, cohesión y bajo contenido de aire. Además de cada diseño se obtuvieron cilindros para analizar la distribución granulométrica resultante. Todos estos aspectos permitieron definir las proporciones adecuadas para obtener un HAC.

Una vez conseguido el diseño HAC, se realizaron cinco variaciones adicionales con la finalidad de presentar otras alternativas de hormigones autocompactantes. Los parámetros implicados en estas variaciones fueron: el tipo de cemento, tamaño máximo de agregado grueso, y la relación agua/material cementicio.

Los componentes de las mezclas elaboradas fueron básicamente:

- Cementos; cemento holcim IP HE (puzolanico), y cemento holcim portland tipo I.
- Agregado grueso; piedra caliza # 78 y #67
- Agregado Fino; arena triturada, arena de río y arena de San Jorge (muy fina).
- Adiciones; microsilice y filler calcáreo
- Aditivos; Viscocrete 2100, sikapump y sikament
- Agua

3.1. Procedimiento para la selección de una proporción adecuada de los componentes del hormigón autocompactante

La necesidad de trabajabilidad en el hormigón al momento de ser colocado depende del tipo de construcción, de la complejidad del encofrado y del diseño estructural. Todo esto afecta el grado de congestionamiento que pueda tener la mezcla al pasar por una zona de refuerzo.

El grado de capacidad de llenado, habilidad de paso y resistencia a segregarse del HAC son variables para cada aplicación. Por ejemplo, la habilidad de paso solo es importante en estructuras reforzadas y en secciones que limitan el fluido del hormigón. Debido a estas consideraciones, el ACI 237R-2 en el manual práctico del hormigón 2008 presenta unas recomendaciones generales para diseñar mezclas de HAC.

Antes de comenzar a dosificar, se debe elegir un valor para el ensayo de escurrimiento (slump flow) que se obtiene a partir de las características de los elementos estructurales, para luego con este valor y haciendo uso de otra tabla estimar la cantidad de material cementicio a utilizar en el diseño. La tabla 1 (Daczko y Constantiner 2001) proporciona una guía para la elección de estos valores.

Tabla 1*
Objetivo del ensayo de escurrimiento

CARACTERISTICAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		SLUMP FLOW		
		<550 mm	550 a 650mm	>650 mm
Nivel de refuerzo	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elementos de forma complicada	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elementos profundos	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Excelentes acabados superficiales	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elementos largos	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Paredes delgadas	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Contenido de agregado grueso	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Energia de colocación	Bajo			
	Medio			
	Alto			

* Tomado de *Referencia #3.*

Las áreas sombreadas en la tabla representan un potencial problema y deberían ser evitadas. Por ejemplo si el nivel de refuerzo de una estructura es alto, el HAC con un valor de slump flow menor que 550 mm no es recomendado.

El contenido del material cementicio se estima a partir del valor del ensayo de escurrimiento y haciendo uso de la siguiente tabla.

TABLA 2*
RANGOS DE CONTENIDO DE MATERIAL CEMENTICIO

SLUMP FLOW			
mm	< 550	550 - 600	>650
Contenido de material cementicio(Kg/m3)	355 - 385	385 - 445	> 458

Tomado de *Referencia #3.*

<u>A continuación se realiza el procedimiento utilizado para determinar las proporciones de los componentes del Hormigón Autocompactante en base a las recomendaciones del ACI 237R-2 a 237R-26.</u>

- Se establece contenido de cemento (tabla 1 y 2), porcentaje de aditivo superplástificante (de experimentación previa) y se elige la relación agua/material cementicio.
- Se realiza una curva granulométrica global, para determinar así el porcentaje de agregados finos y gruesos.
- El diseño inicial, comienza fijando una densidad teórica del hormigón, y con el peso del material cementicio, aditivos, agua, por diferencia se obtiene el peso total de los agregados. La cantidad exacta de cada agregado se obtiene de multiplicar el peso total de los agregados por el porcentaje que ocupan en la curva granulométrica.
- Una vez calculados el peso de cada componente del HAC, se comprueba si el diseño cumple con los parámetros de autocompactabilidad.

3.2. Parámetros para el proporcionamiento de mezclas de hormigón autocompactante

Establecido el peso de cada componente del HAC, se procede a calcular el volumen de cada uno de ellos, para así determinar el volumen absoluto de agregado grueso, fracción de pasta y fracción de mortero, con el propósito de comprobar si el diseño previo cumple con los parámetros para HAC(tabla 3). Los valores sugeridos en la tabla son solo para empezar a probar las mezclas, estos variaran de acuerdo con los materiales locales

TABLA 3*
RESUMEN DE LOS PARAMETROS PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE HAC

Volumen absoluto de agregado grueso	28 - 32 % (tamaño máximo nominal 12 mm)
Fracción de pasta	34 - 40 % (volumen total de la mezcla)
Fracción de mortero	68 - 72 % (volumen total de la mezcla)
Relación típica agua/material cementicio	0,32 - 0,45
Contenido de material cementicio	386 -475 Kg/m3 (contenido menor usar agentes modificadores de viscosidad)

* Tomado de *Referencia #3.*

Si el diseño no cumple con los parámetros para HAC, se hace un reajuste en la curva granulométrica hasta obtener los valores deseados.

3.3. Mezclas realizadas

Se realizaron 10 mezclas referenciales, trabajando siempre con los mismos componentes (cemento, adiciones, superplástificante, agregados, agua), hasta llegar a una dosificación satisfactoria.

Después de conseguir el primer diseño valido de HAC con los materiales ya mencionados, se ensayaron mezclas con diferente tipo y cantidad de cemento, con y sin adiciones. Así se obtuvieron cinco diseños de HAC para diferentes aplicaciones estructurales.

En la tabla 4 se resumen los diseños de hormigón autocompactante resultado de la investigación realizada.

TABLA 4
DISEÑOS DE HORMIGON AUTOCOMPACTANTE OBTENIDOS

Materiales	Cantidades en Kg/m3					
	1	2	3	4	5	6
Piedra #67	-	255	-	-	-	-
Piedra #78	576	255	542	565	604	577
Arena Triturada	251	342	270	283	264	289
Arena de Río	585	852	472	494	618	505
Arena Fina	262	-	405	424	276	433
Viscocrete 2100-R	12,1	5,2	13,5	12	11,4	10,5
Sikapump	-	0,8	-	-	-	-
Sikament	-	1,2	-	-	-	-
Filler	120	-	-	-	127	-
Microsilice	22	-	-	-	32	-
Cemento IP HE	-	400	450	-	-	350
Cemento tipo I	430	-	-	470	350	-
Agua	190	216	223	183	165	168
Relación w/m.c	0,42	0,54	0,50	0,39	0,43	0,48

4. Clases de Hormigón Autocompactante[3].

El concepto de HAC debe asociarse y referirse al tipo de estructura a la que se destine el material, en este sentido también varía la zona de autocompactabilidad. En efecto, la capacidad de paso dependerá del espaciado de barras del elemento que está siendo llenado, el grado de resistencia a la segregación dependerá de los métodos de colocación y transporte y del tamaño, en particular la altura del elemento a llenar. En este sentido se han definido varias clases de HAC según sus aplicaciones (ver tabla 5 y tabla 6).

TABLA5
CLASES DE ESCURRIMIENTO

Clase	Criterio
AC-E1	550 mm ≤ df ≤ 650 mm
AC-E2	650 mm < df ≤ 750 mm
AC-E3	750 mm < df ≤ 850 mm

Se recomienda la siguiente especificación de clases en función de las características de cada aplicación:
• Clase AC-E1: Adecuada para:
- Hormigones en masa o ligeramente armados.
- Hormigones armados donde por su reducida sección no se prevea un largo recorrido horizontal para el hormigón (por ejemplo, cimentaciones profundas).
- Hormigones bombeados en túneles.
- Hormigonado de pavimentos en rampa.
• Clase AC-E2: Adecuada para la mayor parte de aplicaciones (muros, vigas, pilares, forjados, losas).
• Clase AC-E3: Aplicable en estructuras densamente armadas, esbeltas, con formas complejas o a rellenar desde el fondo del encofrado.

TABLA 6
CLASES DE VISCOSIDAD

Clase	Criterio por el ensayo de escurrimiento	Criterio alternativo por el ensayo del embudo en V
AC-V1	2'5 seg < T50 ≤ 8 seg	10 seg ≤ Tv ≤ 20 seg
AC-V2	2 seg < T50 < 8 seg	6 seg ≤ Tv ≤ 10 seg
AC-V3	T50 ≤ 2 seg	4 seg ≤ Tv ≤ 6 seg

Se recomienda la adopción de:
• Clase AC-V1: Para obtener alta capacidad de relleno en zonas congestionadas, hormigones con carácter autonivelante o acabados óptimos. Es, más vulnerable a la segregación.
• Clase V2: Cuando deban reducirse las presiones sobre los encofrados. Los acabados son de menor calidad y son hormigones más sensibles a dejar marcas o producir juntas frías cuando se interrumpe el hormigonado.

5. Resultados y Análisis de Ensayos Realizados.

5.1 Resultado de ensayos de autocompactabilidad

Para evaluar la autocompactabilidad de cada mezcla ensayada se realizaron cuatro pruebas (extensión de flujo, embudo "V", caja "L", anillo "J"). Los resultados de estas pruebas se rigen de acuerdo a la normativa Europea. Ver tabla 7

TABLA 7 *
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE ENSAYOS DE AUTOCOMPACTABILIDAD

ENSAYOS REALIZADOS	PARAMETRO MEDIDO	RANGO ADMISIBLE	
		Minimo	Maximo
Escurrimiento	T_{50} (segundos)	2	8
	d_f (milimetros)	550	850
Anillo J	A_2-A_1 (milimetros)	-	15
Caja en "L"	H_2/H_1	0,75	1
Embudo "V"	T_v (segundos)	6	15

* Tomado de *Referencia*[4].

Los resultados de las pruebas realizadas se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 8
RESULTADOS DE PRUEBAS DE AUTOCOMPACTABILIDAD

ENSAYOS	PARAMETRO MEDIDO	MEZCLAS REALIZADAS					
		1	2	3	4	5	6
Escurrimiento	T_{50} (segundos)	4	4,2	4,73	3,47	4,3	3,4
	d_f (milimetros)	720	670	785	800	715	705
Anillo J	A_2-A_1 (milimetros)	3	-	8	3,25	6,75	9,5
Caja en "L"	H_2/H_1	0,84	0,8	0,96	0,94	0,93	-
Embudo "V"	T_v (segundos)	9	14	14,53	7,23	17,14	-

Además de evaluar autocompactabilidad de las mezclas elaboradas, también se hizo un seguimiento de las resistencias a compresión. En la tabla 9. Muestra un resumen de los resultados obtenidos.

TABLA 9

RESULTADOS DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESION

Nº mezcla	RESISTENCIA A COMPRESION (MPa)						
	Edad (días)						
	1	2	3	5	7	28	56
1	-	-	-	34,2	42,6	62,7	68,1
2	10	-	19,5	-	-	37,4	42.1
3	-	-	-	27,2	27,9	39	43,2
4	-	24,9	-	-	36,9	50,3	53,8
5	15,3	-	-	37,9	-	56,7	70,2
6	7,3	-	-	16	-	22	28,6

En la figura 5.1. Se aprecia el comportamiento de las resistencias a compresión desarrollada en cada diseño.

Figura 5.1 Evolución de las resistencias

5.2 Análisis de resultados

A continuación se realiza un análisis de las características que presentaron las mezclas de hormigón.

Mezcla #1

Constituida por: cemento tipo I, agregado grueso, agregados finos, filler, microsílice, viscocrete y agua, se caracterizó por presentar excelente trabajabilidad, propiedad que fue determinada a través de la realización de ensayos de autocompactabilidad. Como resultado de la evaluación del hormigón se determina:

- Excelente capacidad de fluidez, debido a un nivel medio de viscosidad y cohesión.
- Estabilidad en la mezcla, no existe presencia alguna de segregación.
- No existe riesgo de bloqueo por el contacto de los áridos gruesos en dirección vertical.
- Manejabilidad de la mezcla por más de una hora.

Mezcla #2

Diseño constituido por: cemento puzolanico agregados gruesos, agregados finos, aditivos y agua, al ser ensayado presento un nivel medio de trabajabilidad, de los ensayos de autocompactabilidad se determinó:

- Buena fluidez, debido a un nivel medio de viscosidad y cohesión, pero sin la presencia de obstáculos.
- No existe presencia de exudación.
- Segregación de los áridos gruesos, manifestada por una mayor concentración de los mismos en la zona central.
- No existe riesgo de bloqueo, en dirección vertical
- Manejabilidad de la mezcla por alrededor de una hora.

Mezcla #3

La diferencia de esta mezcla con la anterior es el uso de un solo tipo de agregado grueso, además de arena fina. Las propiedades de esta mezcla se determinaron a través de los ensayos de autocompactabilidad. De la evaluación del hormigón se determina:

- Buena fluidez.
- Estabilidad en la mezcla, no existe presencia de exudación de la pasta.
- No existe segregación de los áridos gruesos.
- Capacidad para fluir en dirección vertical en secciones limitadas, sin riesgo de bloqueo
  Manejabilidad de la mezcla por alrededor de una hora.

Mezcla #4

Esta es una variante del primer diseño, aquí no se utilizaron adiciones pero se elevo la cantidad de cemento. A pesar de haber prescindido de las adiciones en esta mezcla, mantuvo buena trabajabilidad, esto se determinó a través de la realización de ensayos de autocompactabilidad. Obteniendo los siguientes resultados:

- Excelente capacidad de fluidez
- Estabilidad en la mezcla, no existe presencia alguna de segregación.
- Capacidad para fluir en dirección vertical a través de pequeñas secciones.
- Manejabilidad de la mezcla por más de una hora.

Mezcla #5

Es una variante del primer diseño, la diferencia es la disminución en la cantidad de cemento y aumento en el porcentaje de Microsílice. También presento muy buena trabajabilidad al igual que la mezcla #1. A través de la realización de ensayos de autocompactabilidad se obtuvo los siguientes resultados:

- Excelente capacidad de fluidez
- Estabilidad en la mezcla, no existe presencia de exudación de la pasta.
- No existe segregación del agregado grueso.
- Capacidad para fluir en dirección vertical a través de pequeñas secciones.
- Manejabilidad de la mezcla por más de una hora.

Mezcla #6

La mezcla de hormigón # 6 es una variante del tercer diseño, la diferencia es la disminución en la cantidad de cemento puzolanico. Este diseño se caracterizo ser una mezcla de fluidez moderada pero sin la suficiente cohesión para impedir la segregación del agregado grueso. De los ensayos se obtuvo los siguientes resultados:

- Poca capacidad para fluir
- Inestabilidad en la mezcla, no presenta un nivel de cohesión necesario para enlazar a la pasta y agregados.
- Segregación del agregado grueso y exudación de la pasta.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Las mezclas de hormigón realizadas con cemento tipo I se caracterizaron por desarrollar mejor cohesión y viscosidad que las mezclas constituidas por cemento puzolanico, a pesar de ser un cemento con mayor finura.

El cemento puzolanico produce mezclas de morteros con dificultad de fluidez, debido a la falta de cohesión. Para mejorar este problema es necesaria la adición de materiales finos como el filler de caliza o Microsílice.

Los diseños de hormigón autocompactante con mejores resultados se obtuvieron de las mezclas cuyos componentes principales son: cemento tipo I y adiciones. Optimo desempeño en estado fresco y mayor evolución de las resistencias a compresión, son características principales de estos diseños.

Para futuras investigaciones, es conveniente realizar mezclas utilizando cemento puzolanico y adiciones como filler de caliza.

Diseñar mezclas de hormigón autocompactante con aditivos superplástificantes más económicos que el utilizado en está investigación.

Además se pueden variar las características de los hormigones resultantes, reduciendo la relación agua cemento, empleando aditivos modificadores de viscosidad y de esta manera buscar mayores resistencias.

7. Agradecimientos

Agradecimientos especiales al Ing. Hugo Eguez, por dirigir este trabajo. Al personal del Centro Técnico del Hormigón (HOLCIM) por toda su valiosa colaboración y a la empresa SIKA por facilitar los aditivos utilizados en esta investigación.

8. Referencias

[1] BRAVO MARINA, "Estado del arte del hormigón autocompactable", 2008.PDF disponible en www.upcommons.upc.edu

[2] GALIT AGRANATI L., "Estudio sobre la aplicabilidad de los modelos de Cálculo de la fluencia y retracción al hormigón Autocompactable" (Tesis Doctoral, Escuela Superior de Caminos, Canales y Puertos, Madrid), 2008.PDF disponible en www. oa.upm.es

[3] INSTRUCCIÓN DEL HORMIGON ESTRUCTURAL EHE. "Anejo 21, Recomendaciones para hormigón autocompactante",2008.PDF disponible en http://www.upct.es

[4] EFNARC "Directrices europeas para el hormigón autocompactante" ,2006.PDF disponible en www.efnarc.org

- ASTM, Norma ASTM C136: Áridos para hormigón. Determinación de la granulometría.
- ASTM, Norma ASTM C29: Áridos para hormigón. Determinación de la masa unitaria y del porcentaje de huecos.
- ASTM, Norma ASTM C29: Áridos para hormigón. Determinación de los materiales más finos que pasan 75µm.
- ASTM, Norma ASTM C29: Áridos para hormigón. Determinación de impurezas orgánicas en las arenas.
- ASTM, Norma ASTM C128: Áridos para hormigón. Determinación de la densidad y absorción del agua.