

Diseño y Control del Concreto Autocompactante en el Valle del Mantaro

Design and Control of Self-consolidating Concrete in Mantaro Valley

Sendy Grace Santa Cruz Noriega *
Arturo Alayza Valenzuela **

RESUMEN

En los últimos años la tecnología del concreto ha evolucionado en gran medida debido a la aparición de nuevos aditivos que brindan al mercado soluciones a distintos requerimientos y que ofrecen innovadoras alternativas para mejorar procesos constructivos. La característica de la mezcla de concreto autocompactante (CAC) es su capacidad para llenar completamente y sin segregación la forma del encofrado y lograr consolidarse sin la necesidad de aplicar energía de vibración. En esta investigación se analiza previamente los diferentes procedimientos de diseño de mezclas y los equipos existentes para evaluar mezclas de concreto autocompactante. Los resultados obtenidos permiten plantear un criterio efectivo de evaluación y control de los requisitos de autoconsolidación de las mezclas. En la presente investigación se propone una metodología secuencial de diseño que comprende desde la combinación óptima de los agregados, la cantidad de agua necesaria y obtención de la dosis óptima de aditivo para saturar la pasta de concreto, el control de las mezclas de concreto con ensayos que miden las diferentes propiedades básicas del CAC en estado plástico.

Palabras clave: *Concreto Autocompactante, diseño de mezcla, ensayos y superplastificante.*

ABSTRACT

In recent years, concrete technology has largely evolved due to the appearance of new additives that provide different requirements to the market and offer innovative ways to improve construction processes. The characteristic of self-compacting concrete mix (CAC) is its ability to fill completely and without segregation of the formwork form and achieve to consolidate without the necessity of applying vibration energy. This research analyzes the different procedures of mix desing and the existing equipment to evaluate SCC mixtures. The achieved results allow an effective criterion of testing and control of mix self consolidation requirements. In the present research aims to design a method comprising the optimal combination of aggregates, the amount of water required and obtaining the optimum dose of additive to saturate the concrete paste, the control of concrete mixtures with test that measures different basic properties of plastic SCC.

Key words: *Self Compacting Concrete, mix design, testing and superplasticized*

* Sendy Grace Santa Cruz Noriega es tesista de la Escuela Académica de Ingeniería Civil EAPIC de la Universidad Alas Peruanas
E-mail: sendy-agua@hotmail.com

** Arturo Alayza Valenzuela es Docente de la Escuela Académica de Ingeniería Civil EAPIC de la Universidad Alas Peruanas
E-mail: arturoalayza@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El objetivo general de esta investigación es diseñar mezclas de concreto autocompactante que permitan mejorar procesos constructivos en el Valle del Mantaro. A partir de este objetivo se estudiaron el comportamiento y la Reología de mezclas de concreto fluidas, así como también los procedimientos de diseño de las instituciones de la EFNARC y ACI.

Inicialmente se quiso seguir estas metodologías de diseño, pero nuestro entorno impedía seguir los procedimientos propuestos por dichas instituciones por lo que fue motivo para realizar una base de datos propia. El punto de partida para el diseño de mezclas es el análisis de los materiales especialmente de los agregados que se extrajeron de las canteras de Huamancaca y Pilcomayo que se encuentran en el Valle del Mantaro.

En la presente investigación se evalúa el comportamiento del concreto con el aditivo Superplastificante Glenium 4700R. Y se utiliza como único material cementicio el cemento Andino Portland Tipo I. Así como también se presentan diseños de mezclas de concreto, cada una de ellas es evaluada según los ensayos de calidad para este tipo de concreto propuestos por la N.T.P el A.C.I. y la EFNARC.

Finalmente, es posible obtener los principios y una metodología de diseño de concreto autocompactante aplicables en el Valle del Mantaro.

Es necesario el desarrollo del Concreto Autocompactante en el Valle del Mantaro por las ventajas que posee este tipo de concreto de manera que se logren reducir costos y tiempos incrementando la calidad de las estructuras.

Propiedades del Concreto Autocompactante



Figura 1. Propiedades del CAC

Base Teórica del Comportamiento del CAC

El comportamiento del CAC en estado fresco es encontrado principalmente en la reología del concreto que es una suspensión concentrada de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento). La pasta de cemento no es un fluido homogéneo ya que está compuesto de granos de cemento en un líquido (agua).



Figura 2. Reología del concreto fresco

MATERIALES Y MÉTODOS

Material

Los materiales que componen un CAC son en general los mismos que se utilizan en los concretos convencionales, a diferencia de los usos de adiciones y el uso de aditivos superplastificantes y moduladores de viscosidad.

Para elaborar CAC es obligatorio emplear aditivos superplastificantes. En la presente investigación se utilizará aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos que actúan sobre las partículas de cemento impidiendo la floculación, mediante repulsión estérica y otorgándole a la pasta de cemento una alta fluidez y una elevada capacidad de dispersión. La fluidez que se consigue en la pasta, con el superplastificante, se logra con una mínima disminución de su viscosidad si se compara con el drástico descenso de la fluidez añadiendo agua a la mezcla. Por otro lado está el hecho que producir un concreto con menor cantidad de agua, mediante el uso de estos aditivos, lo que significa lograr mayores resistencias, menor permeabilidad y concretos más duraderos.



Figura 3. Repulsión Estérica

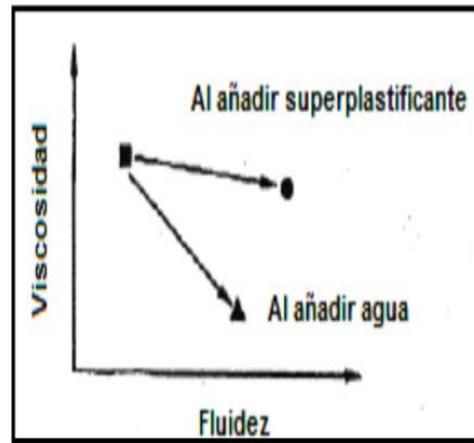


Figura 4. Efecto del superplastificante y del agua sobre la viscosidad

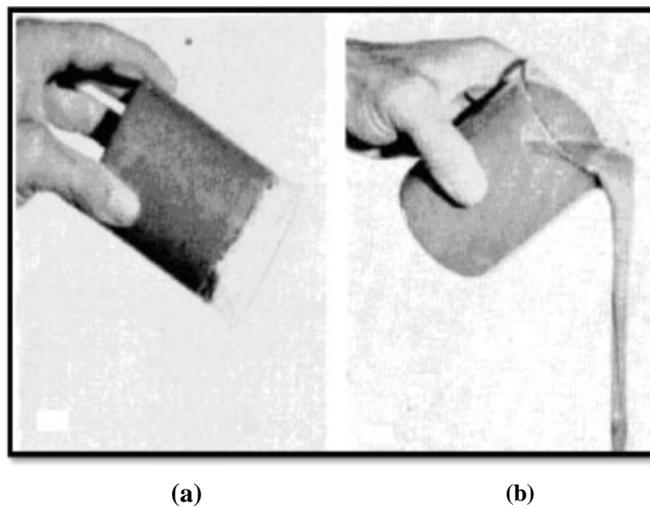


Figura 5. Efecto del superplastificante sobre el cemento. (a) cemento y agua (b) cemento, agua y superplastificante

Según las metodologías de diseño mencionadas los requisitos de los materiales son los siguientes:

Tabla 1. Requerimientos de los Materiales según ACI y EFNARC

Material	ACI	EFNARC
Cemento	No requiere propiedades especiales	No existe requisito específico solo detalla que depende del requisito global del concreto
Agregados	Tamaño máximo $\frac{1}{2}$ " y el volumen debe estar en rango de 28 – 32" Granulometría graduada	Tamaño máximo de 16 – 20 mm
Aditivos	A base de policarboxilatos	Reducción superior a 20%

De acuerdo a los requisitos los materiales utilizados fueron los siguientes:

Cemento Andino Tipo I. Este cemento es comercial y común en el Valle del Mantaro.

Para considerar aptos a los agregados es necesario realizar ensayos para determinar la propiedad de los agregados.

Agregado Fino (A.F.) cantera de Pilcomayo - Rio Mantaro.

El agregado fino estudiado tiene granulometría graduada debido a que cumple con los llamados usos granulométricos que representan los rangos dentro de los cuales debe encuadrarse determinada gradación para obtener la distribución de partículas más adecuadas para el concreto.

Agregado Grueso (A.G) Chancadora de Huamancaca – Chupaca – Rio Mantaro

El agregado grueso estudiado tiene granulometría graduada debido a que cumple con el uso granulométrico N°89 especificado en la norma NTP 400.037.

Aditivo Superplastificante Glenium 4700r

El rango de dosificación recomendado para el GLENIUM 4700R es de 500 ml a 2000 ml por 100 kg de cemento. Es recomendable añadir GLENIUM 4700R con la última parte del agua de amasado para agilizar la dispersión.

Metodología

A nivel mundial se han generado diversos principios y metodologías de diseño del CAC, siendo las más conocidas y usadas la metodología de Diseño de las Federación Europea (EFNARC) y la asociación americana del concreto (ACI), las cuales precisan las proporciones relativas de los componentes claves.

Tabla 2. Parámetros de Diseño

Parámetros	EFNARC	ACI 237-R
Relación a/f (en vol.)	0.80-1.10	-
Relación a/f (en peso)		0.32-0.45
Contenido Total de Finos (Kg/m ³)	400-600	386 - 485
Agregado grueso (% en vol.)	28-35	28-32
Agua (l/m ³)	< 200	-
Fracción en pasta (% en vol.)	-	34 - 40
Fracción en Mortero (% en volumen)	-	68-72
Cantidad de cemento (Kg/m ³)	350-450	.

En la presente investigación solo se puede usar el alto contenido de finos, utilizando como único material el cemento debido a que en el valle del Mantaro no es usual el uso de adiciones, por lo

que en el mercado no se encuentra con facilidad así como también el aditivo modulador de viscosidad no se encuentra disponible para venta en el Perú. El (ACI) propone los parámetros para escoger el flujo de asentamiento en función de las características del elemento.

Tabla 3. Parámetros para escoger el Flujo de Asentamiento

Características	Nivel	Slump Flow mm		
		<550	550-650	>650
Nivel de Refuerzo	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Intrincación de la forma Del elemento	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elemento profundo	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Importancia de la superficie de Acabado	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elemento largo	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Espesor de la pared	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Contenido del tamaño del agregado	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Energía de colocación	Bajo			
	Medio			
	Alto			

Para proponer una metodología de diseño adecuada a nuestro medio generamos una serie de mezclas de relación a/c = 0.40, 0.45 y 0.50, mediante reducción de agua y un aditivo superplastificante (Glenium 4700R – Policarboxilato modificado). Estas mezclas fueron sometidas a seis ensayos, todas especiales para estos tipos de concreto. Las variaciones en la capacidad de relleno, de paso y resistencia a la segregación, tanto en un medio libre como restringido, además de los tiempos de desplazamientos en dichos medios, son analizados. La segunda sección se varió la relación AF/AG incrementando el contenido de agregado fino en 1% y 2% para variar el contenido de mortero. Dichas mezclas también fueron sometidas a los diferentes ensayos especiales para este tipo de concreto.

Tabla 4. Relación de mezclas generadas a partir de mezclas de concretos patrones

Mezclas Patrones		Variación de Aditivo			Variación de Relación AF/AG		
ID mezcla	R A/C	ID mezcla	Aditivo % del peso del cemento	Reducción del agua (%)	ID mezcla	% de Variación AF/AG	Reducción del agua (%)
P 0.40	0.40	A 401	0.5%	19.4	A 403-1	51/49	29.8
		A 402	1.0%	25			
		A 403	1.5%	36.1			
		A 404	2.0 %	35.3	A 403-2	52/48	28
		A 405	2.5%	34.5			
P 0.45	0.45	A 451	0.5%	9.6	A 453-1	51/49	29.8
		A 452	1.0%	20.2	A 453-2	52/48	28
		A 453	1.5%	31.7			
		A 454	2.0 %	32.2			
		A 455	2.5%	32.7			
P 0.50	0.50	A 501	0.5%	4.6	A 503-1	51/49	15.5
		A 502	1.0%	8.7			
		A 503	1.5%	16.3	A 503-2	52/48	13.9
		A 504	2.0 %	21.6			
		A 505	2.5%	22			

RESULTADOS

Luego de obtener varias mezclas de concretos autocompactantes y entender cómo se genera y cuál es el comportamiento característico, fue necesario realizar variaciones del aditivo y de la pasta de tal manera de poseer un rango amplio de mezclas de concretos autocompactantes con relaciones a/c entre a 0.50 y 0.26.

Para realizar una dosificación adecuada del CAC en la presente investigación proponemos 2 etapas de procedimiento en el primer flujograma se determina las características del elemento y evaluación de los materiales según los criterios y requisitos de las metodologías de diseño analizadas a nivel mundial como el ACI y la EFNARC.

Para obtener una dosificación más exacta con los resultados obtenidos generamos gráficos que hacen posible una dosificación adecuada para nuestro medio.

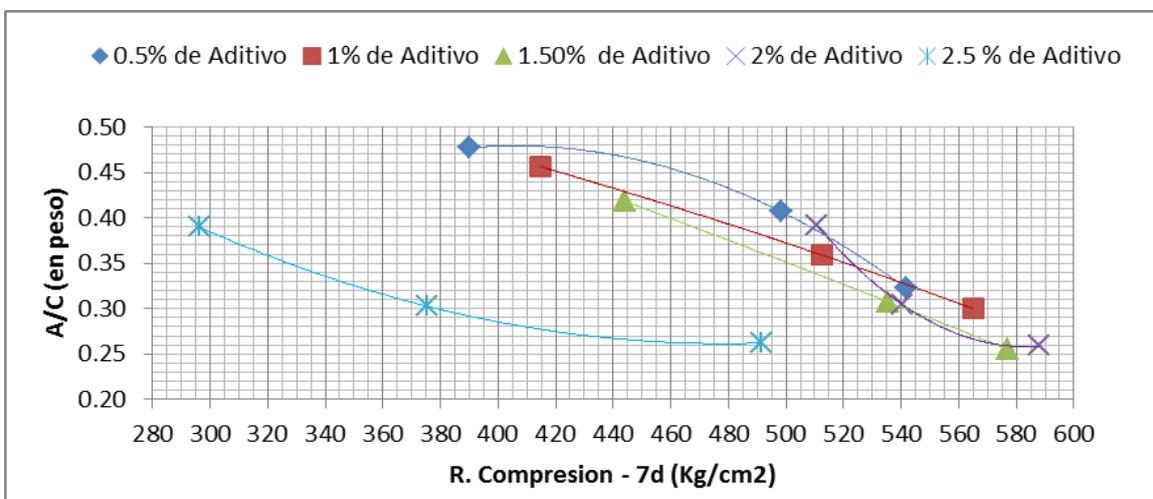


Figura 6. Relación a/c vs R. Compresión (7d) con diferentes % de aditivo

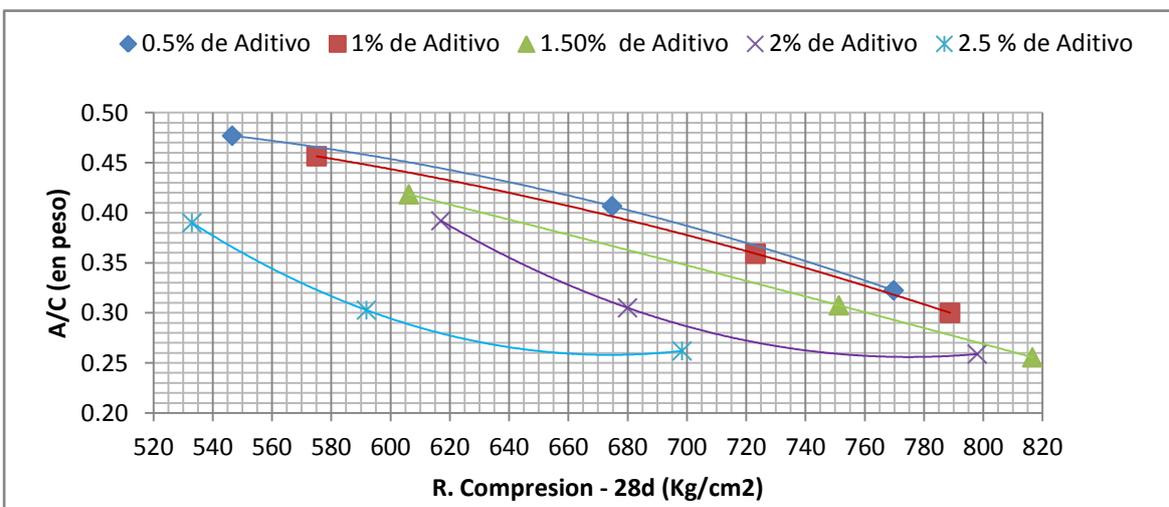


Figura 7. Relación a/c vs R. Compresión (28d) con diferentes % de aditivo

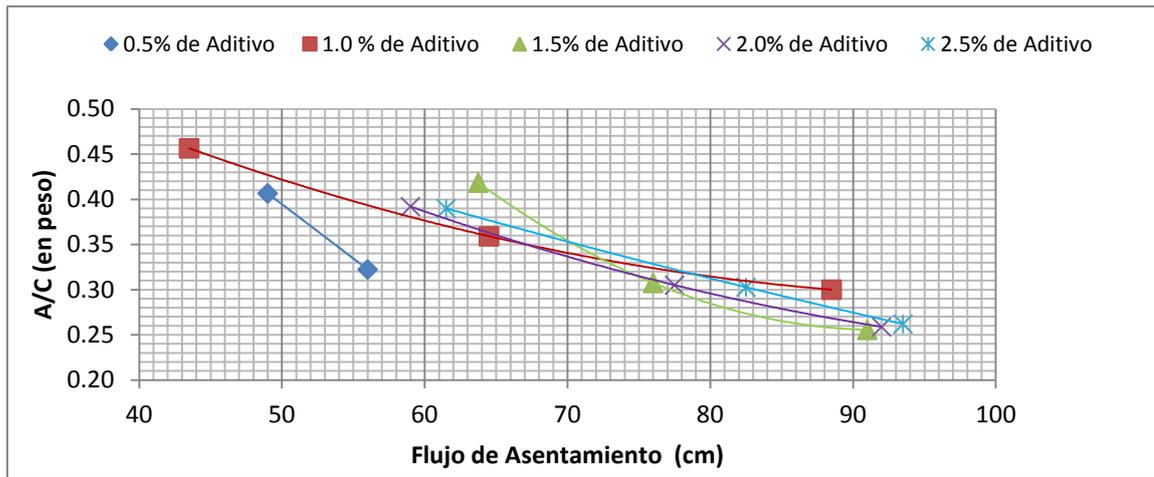


Figura 8. Relación a/c vs Flujo de Asentamiento (cm) con diferentes % de aditivo

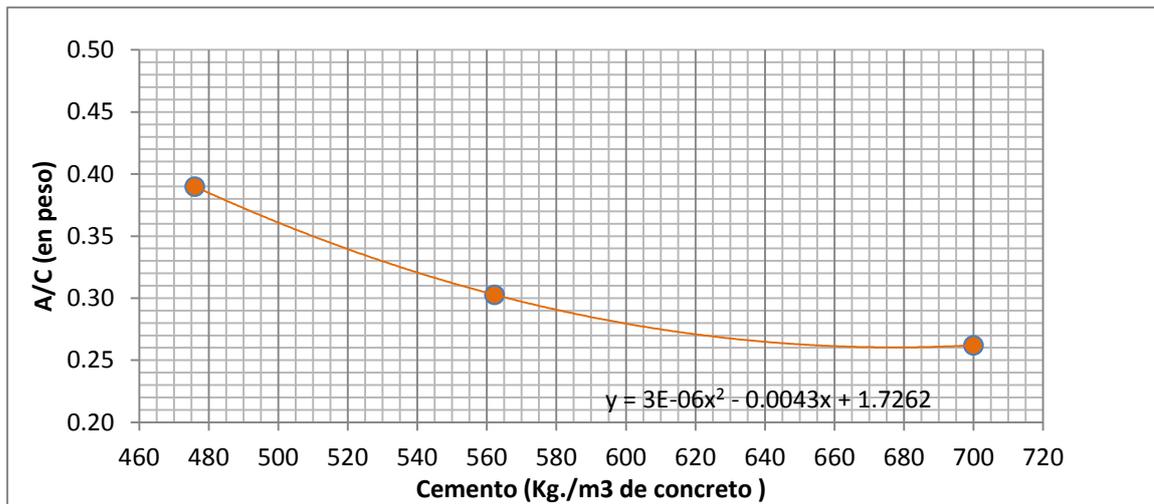


Figura 9. Relación a/c vs Contenido de Cemento

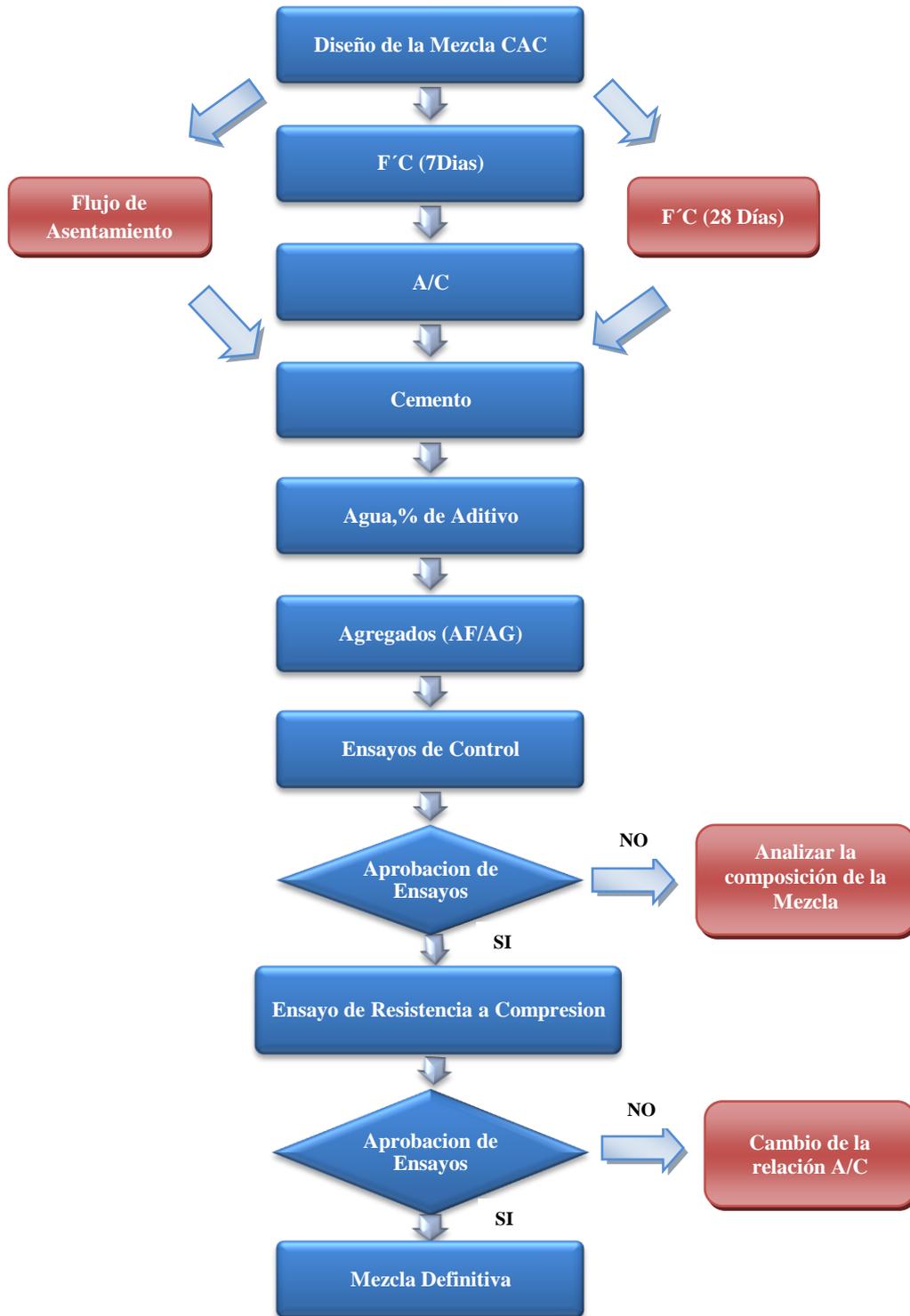


Figura 10. Procedimiento de Diseño de Mezcla de CAC

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La dosificación de aditivo se obtiene dependiendo de la relación a/c con la que se trabaja. Se observa que el punto de saturación del aditivo para relaciones a/c de 0.40 y 0.45 es de 1.5% de aditivo y para relaciones a/c de 0.50, el punto de saturación del aditivo es de 2% del peso del cemento. Se recomienda que para relaciones a/c entre 0.40 y 0.45 se utilice como máximo 1.5% y para relaciones a/c =0.50 se utilice como máximo 2%. Si sobrepasamos esta dosificación, el concreto podría presentar alteraciones de fragua y aumento de segregación en la mezcla generando así inestabilidad.

Luego de obtener las dosificaciones del cemento, agua y aditivo se puede calcular el volumen de la pasta presente en la mezcla de concreto para 1 m³ de mezcla, el volumen restante será ocupado por los agregados. La dosificación de los agregados se puede calcular en función del volumen total que ocuparán y de la relación arena piedra. Para relaciones a/c 0.50 se recomienda incrementar el contenido de arena y para relaciones de 0.40 y 0.50 se recomienda trabajar con iguales proporciones de arena y piedra.

Para escoger los métodos de ensayo es importante establecer los requisitos del proyecto. Por ejemplo si se va a utilizar en una columna se ensayarán la columna de segregación, embudo V y caja L ya que se evaluará la capacidad de paso entre las armaduras, capacidad de deformación en los encofrados y resistencia a la segregación. Si en caso no se contara con los equipos necesarios, puede ser factible solo utilizar el cono de Abrams que siempre será considerado por sus resultados prácticos e inmediatos.

El control del CAC y los valores de aceptación se muestran la *Tabla N°5* de la presente investigación. En el caso de que no se cumplen con estos valores se deberá tomar en cuenta la composición de la mezcla que por recomendaciones del ACI y de la EFNARC % promedios de Agregado grueso entre 28% - 32%, pasta 34% -40% y de mortero entre 68% y 72%. Si se exceden estos % se presentarán variaciones en el comportamiento, principalmente inestabilidad y radio de bloqueo.

Tabla 5. Margen de Valores de los ensayos para CAC

	MÉTODO	UNIDAD	MARGEN DE VALORES	
			MÍNIMO	MÁXIMO
1	Columna de Segregación	%	0	15
2	Extensión de Flujo	cm	65	90
3	Flujo de asentamiento T50 cm	segundos	2	5
4	Anillo J	D1-D2 cm	0	5
5	Caja L	h1/h2	0.8	1.0
7	Embudo V	segundos	6	12
8	Embudo V a T5 minutos	segundos	0	+4
9	Caja en U	h2-h1cm	0	5

Mediante los ensayos de peso unitario, contenido de aire, resistencia mecánica, se comprobó la autocompactación de las mezclas de concreto que aprobaron los ensayos de calidad especiales para este tipo de concreto. La diferencia en los resultados generados por concretos compactados y no compactados de un mismo diseño de mezcla es despreciable y asegura la autocompactación del concreto.

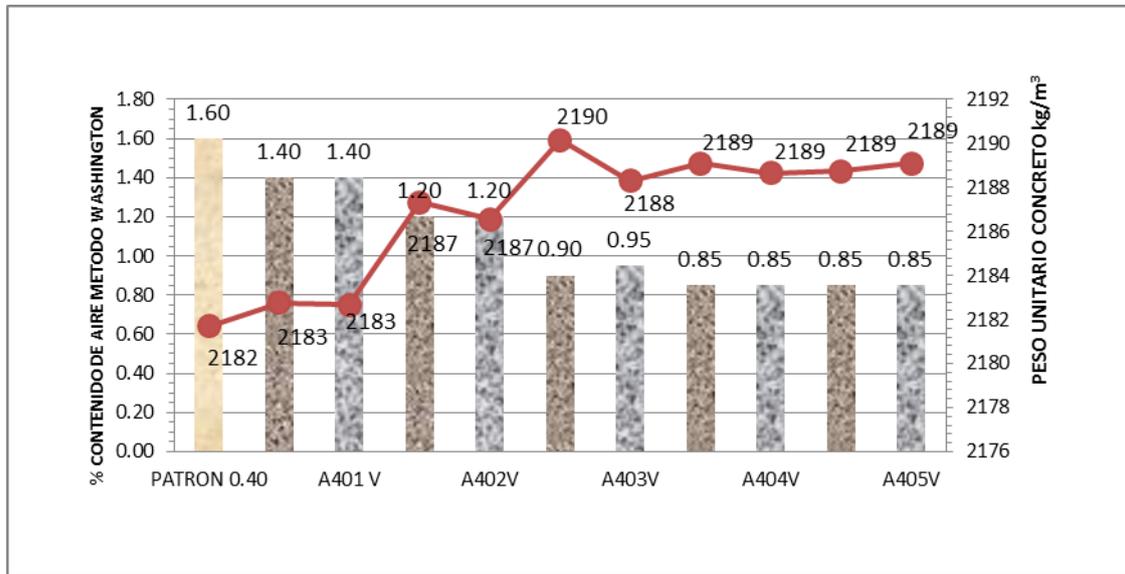


Figura 11. Peso Unitario del Concreto vs % contenido de aire

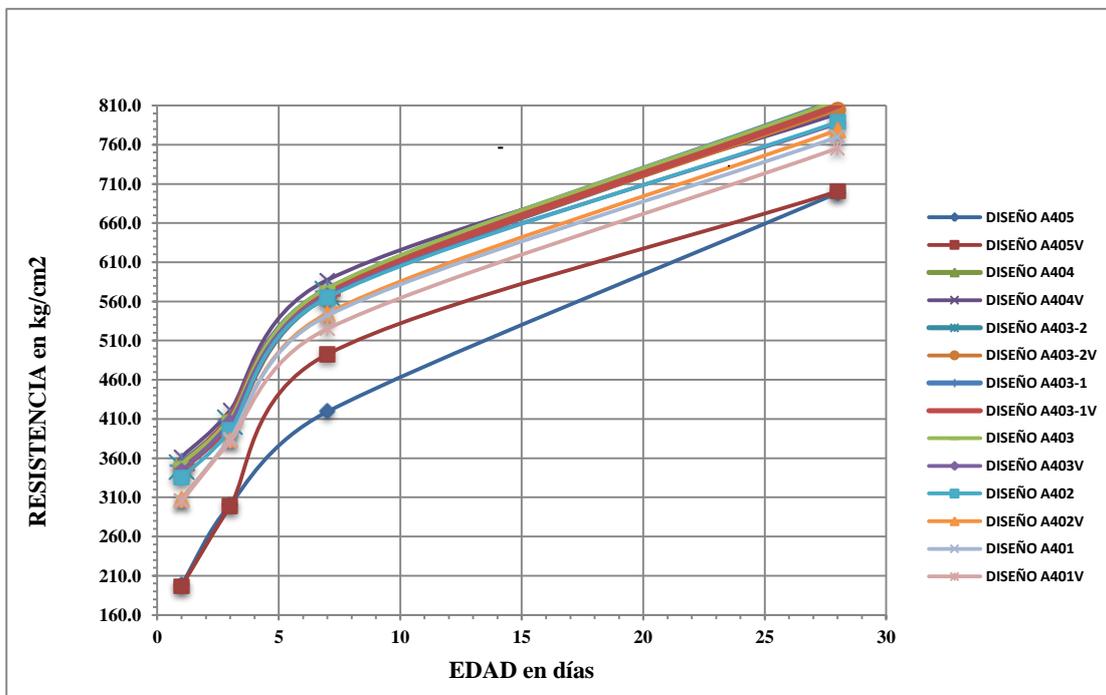


Figura 12. Evolución de la Resistencia a compresión de las mezclas generadas del concreto patrón a/c 0.40

CONCLUSIONES

1. Las altas dosificaciones del aditivo provocan inestabilidad en la mezcla, incrementan el % de segregación y exudación; el tiempo de fragua y reduce la resistencia del concreto.
2. La concentración del cemento con respecto al agua, es decir la relación a/c también es un factor a considerar dentro de la tendencia a la segregación que puede mostrar un concreto. A relaciones a/c altas es posible encontrar mayor segregación.
3. En esta investigación se demostró que a, medida que se disminuía el contenido de pasta, disminuían las propiedades de este tipo de concreto. Para ello se decidió incrementar el contenido de AF y disminuir el AG resultando positiva solo para concretos derivados del diseño patrón de relación a/c de 0.50.
4. En esta investigación solo se pudo generar mezclas con relaciones a/c menores a 0.50 porque se detectó casos de segregación para relaciones a/c mayores, debido a la alta concentración de agua que, sumado al efecto de dispersión del aditivo superplastificante, incluso con menor dosificación provocaba inestabilidad.
5. Las mezclas de concreto, al ser fluidas, no necesariamente son autocompactantes debido principalmente al bloqueo generado por la poca presencia de pasta.
6. El control de cada uno de los materiales componentes de la mezcla de concreto debe ser minucioso.
7. Es necesario llevar a cabo una exhaustiva y correcta elección de los ensayos, tanto en estado fresco como endurecido, con los diferentes equipos con el objetivo de discriminar la importancia particular de cada uno de ellos, los cuales estarán en función de los requisitos del proyecto.
8. El CAC deberá permitir mejoras en la obra para reducir costos, especialmente en tiempo, calidad y reparaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 237R-07 (2007). Self- Consolidating Concrete. Usa.
- ACI 318S-08 (2008). Requisitos de Reglamentos para Concreto Estructural y Comentario. Usa.
- Asocem (1993). Cemento: Boletines Técnicos N°1 al N°58. Perú: Ed. Martegraf e.i.r.l.
- Chutan. (2004). Concreto Autocompactado experimentación en Guatemala
- Colección del Concreto, Asocreto (2010). Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezcla (3a. ed.) Colombia: Nomos Impresores.
- EFNARC – European federation dedicated to specialist construction chemicals and concrete systems (2002): Specification and Guidelines for self Compacting Concrete”. Usa: Biblioteca Asocem.
- Hajime Okamura (1997): Concreto Autocompactante de Alto Comportamiento ”.Mexico : Biblioteca Asocem.
- Magno. (2009). Los aditivos de última Generación en la elaboración de concretos
- Mario Corradi, Rabinder Khurana y Roberta Magarotto. (2009): An innovative approach to low fines SCC: the indian concrete journal UK: Biblioteca Asocem
- Neville A. y Brooks J. (1998). Tecnología del Concreto. México: Ed. Trillas S.A.
- Prabir C. (2007): Impact of fine aggregate particle size on rheology of mortar for SCC: the indian concrete journal UK: Biblioteca Asocem.
- Norma Técnica Peruana N.T.P. 339.218 (2006). Ensayo de la Columna de Segregacion. Perú: Indecopi.
- Norma Técnica Peruana N.T.P. 339.219 (2005). Ensayo de la Fluidez de Asentamiento. Perú: Indecopi.
- Norma Técnica Peruana N.T.P. 339.220 (2006). Ensayo de la Fluidez con el anillo J. Perú: Indecopi
- Ravindra Gettu, Shaik Nawaz Shareef (2009): Evaluation of the robustness of SCC: the indian concrete journal UK: Biblioteca Asocem
- Skarendahl and O. P. (2000): Report 23 “Self Compacting Concrete”. Usa: Biblioteca Asocem.
- Subrato.ch, Sandeep Kadam y Sandeep Keskar. (2011): Impact of fine aggregate particle size on rheology and compressive strength of mortar for scc: the indian concrete journal UK: Biblioteca Asocem.
- Vilanova. (2009). Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cemento y Adiciones en las propiedades mecánicas del Hormigón Autocompactante (tesis doctoral).

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Richard Reymundo Gamarra y al Bach. Ing. Omar Huamani Salazar por los consejos y correcciones.
- ASOCEM: Ing. Manuel Gonzales de la Cotera – Presidente Ejecutivo.
- LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SENCICO-ZONAL HUANCAYO: Ing. Adolfo Eulogio Camayo Ginche – Jefe de Laboratorio.

- LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES N°1-UNI: Mg. Ing. Ana Torre Carrillo – Jefa de Laboratorio
- LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO-FIQ-UNCP: MSc Olga Angulo Gutiérrez - Jefa de Laboratorio

