Estudio del Comportamiento de un Hormigón Elaborado con Cemento Puzolánico y Adición de Policarboxilato en Combinación con Inclusores de Aire y Retardadores de Fraguado

Ing. Hugo Egüez Alava, Sr. Carlos Aguirre Vera
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Km. 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador
Director de Tesis, Tesista
,omar_aguirrevera@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo trata acerca del comportamiento de un hormigón elaborado con cemento puzolánico y adición de aditivos superplastificantes, los que aportaron en épocas sucesivas notables avances en la tecnología de los hormigones tradicionales, actualmente el hormigón fluido está marcando un nuevo hito en la forma de aplicar el hormigón a la construcción aportando muchas ventajas en cuanto a la facilidad de puesta en obra, la seguridad en el trabajo y la durabilidad del hormigón. El hormigón una vez endurecido presentará un aumento en la resistencia mecánica por efecto directo de la reducción de agua y esto podrá ser apreciado a tempranas edades y a la edad final donde se registra la máxima resistencia que alcanzará dicho hormigón.

Palabras Claves: *puzolánico. superplastificantes*

Abstract

This research is about the behavior of concrete mixtures made with pozzolanic cement and addition of super-plasticizing admixture, these contributed in successive times in notable advances of technology for the traditional concretes, in the present days the flowing concrete is marking a new landmark in the construction field, contributing many advantages in the easiness of work, safety and durability of the concrete. When the concrete is hardened, it will have an increment in the mechanical resistance because of the direct effect of reduction of water and this effect will be able to be appreciated in early and the final ages, when it registers the maximum resistance that will reach this concrete.

Keywords: *pozzolanic, superplasticizing admixture*

1. Introducción

El desarrollo de la investigación de aditivos químicos dirigido a mejorar las propiedades del hormigón fresco se ha venido incrementando en la actualidad, son los aditivos superplastificantes que constituyen hasta el momento la tercera y última generación de los aditivos para el hormigón y comienzan con el nuevo siglo, ya que estos proporcionan las características deseables en un hormigón fresco como son la trabajabilidad, la consistencia, la temperatura y la reducción de agua.

La presente investigación está dirigida a mejorar las características físicas del hormigón fluido por adición de superplastificantes basados en Policarboxilatos en combinación de inclusores de aire y retardadores de fraguado, es de significativa importancia para la industria de la construcción el aportar con una nueva iniciativa para mejorar dichas características, ya que la investigación y experimentación es el único camino para desarrollar metodologías constructivas más eficientes, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos: puede ser transportado en camiones hormigoneras (mixer), gran facilidad y rapidez de colocación de los encofrados, resistencias mecánicas elevadas, gran durabilidad y muy buen acabado, mejora medioambiental por rebaja de ruido en la obra.

Finalmente conviene aclarar que para conseguir una mayor uniformidad en la comparación de características de este tipo de hormigón se precisa la normalización de todos los ensayos previos y de control. Este hormigón debe ir acompañado de una correcta dosificación que debe tener en cuenta las características particulares del material a preparar, el tipo de elemento el cual se va a utilizar y los métodos de control propios del hormigón a elaborarse.

2. Contenido

Diseñar una mezcla de hormigón envuelve una gran cantidad de factores que no permiten un método empírico infalible. Las proporciones de los materiales envueltos dependen de sus propiedades particulares y condiciones al momento de mezclar.

A efectos de evaluar la eficiencia de varios aditivos en hormigones elaborados con cemento puzolánico tipo IP HE (según norma NTE INEN 2380, ASTM C 1157-03) se escogieron varios diseños empleados por las plantas hormigoneras de HOLCIM ECUADOR en GUAYAQUIL.

3. Selección de los diseños de hormigón X10

3.1 Resistencia a la Compresión 20.6 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 38%, 28% y 15% en las tres pruebas obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en valores que fluctúan entre 165% y 209%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	**Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento**			**Temperatura Hormigón °C**	**Relación a/c**	**Humedad Relativa (%)**	**Aire Incorp. (%)**	**Reducción Agua (%)**
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	26.5	0.55	66	1.7	38
2	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.645	25	2.0	28
3	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25.5	0.758	40	1.8	15

3.2 Resistencia a la Compresión 27.6 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 33% y 18% en las dos pruebas obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en valores que fluctúan entre 178% y 200%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	**Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento**			**Temperatura Hormigón °C**	**Relación a/c**	**Humedad Relativa (%)**	**Aire Incorp. (%)**	**Reducción Agua (%)**
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	26	0.492	33	2.5	33
2	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	27.5	0.604	32	1.8	18
Patrón	----			25	0.734	30	1.5	0

3.3 Resistencia a la Compresión 41.2 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.0%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 12%, se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días óptima sobrepasando la del diseño patrón, en un valor de 125%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.0%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	25.2	0.485	41	2.1	12
Patrón	----			24	0.553	30	1.5	0

4. SELECCIÒN DE LOS DISEÑOS DE HORMIGÓN Y13

4.1 Resistencia a la Compresión 20.6 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 24% y 16% en las dos pruebas obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en valores que fluctúan entre 133% y 149%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 4)

Tabla 4. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	----	0.580	----	2.5	24
2	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.639	36	2.2	16
Patrón	----			23	0.762	32	1.7	0

4.2 Resistencia a la Compresión 27.6 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.3%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 24%, se diseñó una sola prueba obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 166%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.3%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.552	40	1.8	24
Patrón	----			----	0.728	30	----	0

5. SELECCIÒN DE LOS DISEÑOS DE HORMIGÓN Z13

5.1 Resistencia a la Compresión 20.6 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%), retardador de fraguado (0.6%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 27%, se diseñó una sola prueba obteniendo una buena trabajabilidad y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 184%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.4%)	Sika Retarder (0.6%)	Sika Pump (0.5%)	24	0.733	35	5.8	27
Patrón	----			25	1.00	27	1.6	0

5.2 Resistencia a la Compresión 27.6 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%), retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 40%, se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad óptima y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la de diseño patrón, en un valor de 172%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	25	0.480	66	4.0	40
Patrón	----		24	0.802	33	1.8	0

5.3 Resistencia a la Compresión 41.2 MPA.

El hormigón dosificado con superplastificante (1.4%), retardador de fraguado (0.4%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 22%, se diseñó una sola prueba obteniendo una trabajabilidad no muy óptima, y una resistencia a la compresión a los 28 días muy buena sobrepasando la del diseño patrón, en un valor de 137%, cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por BASF. (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento		Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Glenium (1.4%)	Delvo Estl. (0.4%)	26	0.486	59	3.0	22
Patrón	----		25	0.622	29	1.8	0

5.4 Resistencia a la Flexión 4.0 MPA.

El hormigón de 4.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.4%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 39%, se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad con un revenimiento de 90mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.1 MPa. cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.444	38	2.5	39
Patrón	----			24	0.726	40	1.7	0

5.5 Resistencia a la flexión 5.0 MPA.

El hormigón de 5.0 MPa. dosificado con superplastificante (1.2%), retardador de fraguado (0.4%) e incorporador de aire (0.5%) por peso de cemento presentó una reducción de agua de 31%, se diseñó una sola prueba obteniendo buena trabajabilidad con un revenimiento de 70mm. y una resistencia a la flexión a los 28 días de 5.6 MPa. cuando se utilizaron aditivos en base a Policarboxilatos proporcionados por SIKA. (Ver Tabla 10)

Tabla 10. Características mecánicas del hormigón

Prueba No.	Cantidad de Aditivo (%) en peso de cemento			Temperatura Hormigón °C	Relación a/c	Humedad Relativa (%)	Aire Incorp. (%)	Reducción Agua (%)
1	Viscocrete10 (1.2%)	Sika Retarder (0.4%)	Sika Pump (0.5%)	25	0.446	30	2.3	31
Patrón	----			22	0.645	36	1.7	0

6. Propiedades del hormigón endurecido

Sus bajas relaciones A/C permiten una importante reducción de la porosidad, lo que implica una mayor impermeabilidad, como parámetro fundamental de la durabilidad. Debido a sus características de formulación, la resistencia siempre se ve mejorada.

La Figura 1, muestra a las probetas desencofradas, visualizando en lo que se refiere a la estética, el hormigón diseñado presenta excelentes acabados que colaboran en su durabilidad, el color es más uniforme sin eflorescencias de vibrado. El perfecto relleno de los encofrados junto a la baja porosidad se traduce en la presentación de superficies impecables que dejan elementos de hormigón visto realmente atractivos.

Figura 1. Muestras de hormigón desencofradas

7. Mezclas de pruebas definitivas de hormigón

Las mezclas diseñadas en el laboratorio siempre deben afinarse en el campo. Esto es necesario en virtud de las muchas variables que influyen sobre las proporciones de las mezclas. La temperatura alterará el revenimiento y, por consiguiente, provocará un cambio en la relación agua/cemento para un revenimiento igual. Se debe hacer notar que el uso de aditivos retardadores hará que se retarde el tiempo de fraguado pero, en general, no influirá sobre la pérdida de revenimiento resultante de una elevación de la temperatura. El uso de un retardador que reduzca la cantidad de agua, como medio de reducción de la cantidad de agua, puede compensar el aumento en el agua cuando se encuentran temperaturas más altas.

7.1 Pruebas Industriales.

La finalidad de las pruebas de rutina del hormigón es mantener una calidad uniforme, asegurando de este modo los valores de, contenido de cemento y contenido de agua. Por lo común es bastante difícil producir una mezcla uniforme de manera constante, debido a las variaciones mayores en la absorción, contenido de humedad y gradación del agregado. Como consecuencia el hormigón debe probarse con todo detenimiento en el campo, durante su producción y uso, se deben hacer pruebas de con frecuencia de revenimiento, contenido de aire, temperatura del hormigón y del ambiente, y humedad relativa. Véase la Figura 2, que muestra al hormigón diseñado vaciándose en el carro transportador (mixer).

Figura 2. Hormigón vaciado de planta al carro transportador

8. Conclusiones

De la revisión de todo lo expuesto sobre los distintos ensayos preliminares y definitivos de hormigón, tanto en experiencias previas en campo y de laboratorio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El uso de aditivos reductores de agua como los Policarboxilatos permite disminuir agua en las mezclas elaborados con cemento puzolánico que van desde rango de 15% hasta un 55%.
- Por otro lado, la trabajabilidad del hormigón en su estado fresco, es notablemente incrementada y el asentamiento del hormigón se mantiene por un periodo de 1.5 horas cuando la dosificación del aditivo es del 1.0% al 1.2% con respecto al peso del cemento, en condiciones de temperatura de 24^0C (en condiciones de laboratorio).
- Ésta última conclusión es considerada importante, ya que hormigones elaborados con cementos finos puzolánicos, tienden a perder rápidamente su trabajabilidad.
- Los importantes niveles de reducción de agua logrados con éstos aditivos permiten obtener hormigones que desarrollan altas resistencias tempranas, garantizando además su prolongada durabilidad.

9. Referencias

1. ADAM M. NEVILLE, Tecnología del concreto, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
2. JOSHEP J. WADDELL Y JOSHEP A. DOBROWOLSKI, Manual de la construcción con concreto I edición.
3. DIEGO SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Tecnología del concreto y del mortero.
4. STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARESE, Y JUSSARA TANESI, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association.
5. ASTM, Annual book of ASTM Standards, Section 4 Construction

Director de Tesis