



## “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA”

*Medardo Martínez  
Victor Armijos  
Marlon Valarezo  
Javier Luzuriaga*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

### **INTRODUCCIÓN**

Los hormigones de alta resistencia (HAR), con una resistencia a la compresión mayor a los 50 MPa, surgieron por la necesidad de poder construir edificios de gran altura, en donde el tamaño de las columnas del tercio más bajo de estos eran demasiado grandes cuando se utilizaban hormigones convencionales. Además de los ahorros en el costo de los materiales, los ingenieros constructores descubrieron que la elección de los hormigones de alta resistencia les permitía ahorros adicionales debido a la mayor velocidad en la construcción en comparación con las estructuras metálicas.

La definición de alta resistencia cambia a lo largo de los años a medida que la resistencia del hormigón empleado en las obras aumenta. Por ejemplo, hoy en día el 90% del hormigón premezclado (elaborado, preparado, industrializado) tiene una resistencia especificada a los 28 días que varía de 210 a 420 kg/cm<sup>2</sup> o 20 a 40 MPa (3000 a 6000 lb/pulg<sup>2</sup>), con la mayoría de ellos entre 280 y 350 kg/cm<sup>2</sup> o 28 a 35 MPa (4000 a 5000 lb/pulg<sup>2</sup>). Por lo tanto, se considera un hormigón de alta resistencia aquél que tenga, por lo menos, una resistencia de diseño de 500 kg/cm<sup>2</sup> o 50 MPa (7,000 lb/pulg<sup>2</sup>).

### **OBJETIVOS**

- Desarrollar una dosificación para Hormigones de Alta Resistencia con la utilización de aditivos superplastificantes y material pétreo triturado.
- Observar el comportamiento de los aditivos utilizados en la fabricación del HAR (Hormigones de Alta Resistencia) y su influencia en el desarrollo de su resistencia a diferentes edades.
- Conocer las ventajas de construcción, utilizando hormigones de Alta Resistencia.

### **HIPÓTESIS DEL PROBLEMA**

- La utilización de material pétreo triturado, aditivos superplastificantes y relaciones agua-cemento bajas permite obtener Hormigones de Alta Resistencia.

### **DESARROLLO DE LA PONENCIA**

El empleo de los hormigones de alta resistencia (HAR) se extiende, cada día a nuevos campos de aplicación. Considerándose que la relación precio/resistencia es la característica que mejor define las posibles ventajas económicas de estos súper hormigones.

En importantes sectores de nuestra provincia y país donde se explotan materiales de construcción (grava y arena), no se cuenta con agregados que se encuadren dentro de los



requisitos de calidad establecidos por las normas y reglamentos de construcción. Esto no impide que las construcciones civiles se realicen utilizando hormigones elaborados con agregados de menor calidad. Por cuestiones técnico económicas es necesario efectuar estudios experimentales a fin de optimizar la calidad de los hormigones y promover el incremento de la durabilidad de las estructuras. Las arenas de bajo módulo de finura, de playa y trituradas son materiales de uso habitual a pesar de que se encuentran fuera de los estándares establecidos, por lo que se hace necesario determinar las características de los agregados para dosificar la mezcla de hormigón

## COMPONENTES

El cemento usado en la investigación fue de tipo IP producido en nuestro país, el mismo que cumple con las normas ASTM. El agua empleada en el diseño de mezclas fue potable.

Ceniza volante, humo de sílice o escoria normalmente son obligatorios en la producción del hormigón de alta resistencia, pues el desarrollo de la resistencia obtenido con estos materiales no se puede lograr solamente con el incremento del contenido de cemento. Pese a esto en el presente estudio se obvió el humo de sílice por motivos de la escasez y costo elevado de su obtención, y de ceniza volante ya que en nuestro medio el cemento de tipo IP ya contiene alrededor de 15 % de puzolana.

En el hormigón de alta resistencia, debe haber una atención especial al tamaño, forma, textura superficial, mineralogía y limpieza de los agregados. Para cada fuente de agregado y nivel de resistencia del hormigón, hay un tamaño de agregado ideal que proporciona la mayor resistencia a compresión por unidad de cemento. El agregado grueso usado en la elaboración del hormigón de alta resistencia fue de 19 mm (3/4 pulg.), triturado y libre de recubrimientos perjudiciales de polvo y arcilla. En la siguiente tabla presentamos las características más importantes para la elaboración de un hormigón de alta resistencia.

Tabla 1. Características de agregado grueso.

PROPIEDADES	U	CARACTERÍSTICA	REQUISITO
Tamaño Máximo Nominal	Mm	19	9.5 – 25
Densidad Real (D <sub>ss</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	2.64	-
Densidad Seca (D <sub>s</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	2.613	-
Densidad Aparente (D)	gr/cm <sup>3</sup>	2.686	-
Densidad Aparente en Estado Compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.594	-
Densidad Aparente en Estado Suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.426	-
Porcentaje de Absorción (P <sub>a</sub> )	%	1.06	0.2 - 4
Porcentaje de Abrasión	%	27.8	< 50

En los estudios realizados para la obtención de HAR se utilizó arena gruesa, limpia, de río con un módulo de finura superior a 3, procedente del sector llamado Chingalamaca (a 15 minutos de la ciudad de Loja), con las siguientes características:



Tabla 2. Características de agregado fino.

PROPIEDADES	U	CARACTERÍSTICA	REQUISITO
Modulo de Finura	%	2.9	2.8 – 3.2
Densidad Real (D <sub>ss</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	2.676	-
Densidad Seca (D <sub>s</sub> )	gr/cm <sup>3</sup>	2.665	-
Densidad Aparente (D)	gr/cm <sup>3</sup>	2.695	-
Densidad Aparente en Estado Compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.861	-
Densidad Aparente en Estado Suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.753	-
Porcentaje de Absorción (P <sub>a</sub> )	%	0.41	0.2 - 2

Los aditivos usados fueron:

**Aditivo1:**

Es un aditivo líquido superplastificante, reductor de agua de alto rango y economizador de cemento. No contiene cloruros, no es corrosivo.

*Densidad.*-  $1,18 \pm 0.01\text{g/cm}^3$

*Consumo.*- Se recomienda entre el 0.70 al 2% del peso del cemento (300 a 850 cc por saco de cemento de 50 Kg).

*Método de aplicación.*- Adicionarlo al hormigón o mortero con la última parte del agua de amasado y extender el tiempo de mezclado un mínimo de 5 minutos hasta obtener una mezcla fluida. Nunca añadir directamente al cemento o a los agregados secos.

**Aditivo2:**

Es un aditivo superplastificante de tercera generación de alta capacidad de reducción de agua, basado en polímeros sintéticos que permite máxima fluidez, alta cohesión y mantener la trabajabilidad de la mezcla en forma prolongada.

*Densidad.*-  $1,08\text{ kg/dm}^3$

*Consumo.*- El rango que se puede usar es 0,3 a 1,5% del peso de cemento, dependiendo del efecto deseado.

*Método de aplicación.*- se utiliza en dosis de 0,3 a 1,5% del peso del cemento, dependiendo del efecto deseado. El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado en el momento del mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador. Para un óptimo comportamiento, mezclar enérgicamente durante un mínimo de 1 minuto.

## PROPORCIONAMIENTO Y DOSIFICACIÓN

El mejor enfoque para la selección de las proporciones del hormigón de alta resistencia consiste en la realización de mezclas de pruebas. Para la obtención de alta resistencia, es necesario el uso de baja relación agua-material cementante y alto contenido de cemento. La resistencia unitaria obtenida por cada unidad de cemento usada en un metro cúbico de hormigón se puede graficar como la eficiencia de la resistencia, para ayudar en el diseño de la mezcla.

## RESULTADOS



Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la UCG en la UTPL.(Loja – Ecuador) durante los meses de noviembre 2005 hasta enero 2006 en la elaboración de especímenes de prueba, prolongándose hasta abril 2006 en lo que se refiere a las pruebas de compresión.

Se determinó con el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia es el ensayo de revenimiento o asentamiento en el cono de Abrams especificado en la norma ASTM C143, la masa volumétrica (masa unitaria) y el rendimiento del hormigón fresco se determinan de acuerdo con ASTM C 138. Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica (rendimiento) del hormigón producido en cada mezcla.

Tabla 3. Consistencia del HAR

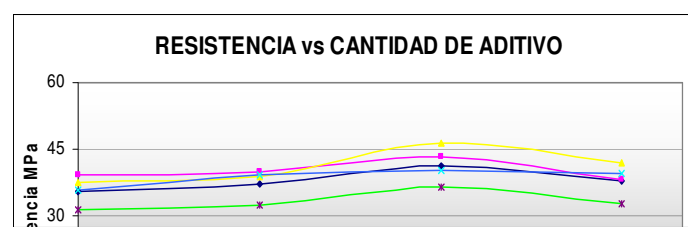
MEZCLAS ADITIVO 1	ASENTAMIENTO (cm)
w/c = 0,32 Aditivo = 650 ml/saco	10
w/c = 0,32 Aditivo = 750 ml/saco	20
w/c = 0,35 Aditivo = 650 ml/saco	12
w/c = 0,35 Aditivo = 750 ml/saco	22
MEZCLAS ADITIVO 2	ASENTAMIENTO (cm)
w/c = 0,31 % de Aditivo = 0,8 %	20
w/c = 0,31 % de Aditivo = 0,9 %	22
w/c = 0,34 % de Aditivo = 0,8 %	21
w/c = 0,34 % de Aditivo = 0,9 %	23

Tabla 3. Masa volumétrica del HAR

MEZCLAS ADITIVO 1	MASA VOLUMETRICA (Kg/m <sup>3</sup> )
w/c = 0,32 Aditivo = 650 ml/saco	2395
w/c = 0,32 Aditivo = 750 ml/saco	2400
w/c = 0,35 Aditivo = 650 ml/saco	2410
w/c = 0,35 Aditivo = 750 ml/saco	2440
MEZCLAS ADITIVO 2	MASA VOLUMETRICA (Kg/m <sup>3</sup> )
w/c = 0,31 % de Aditivo = 0,8 %	2370
w/c = 0,31 % de Aditivo = 0,9 %	2378
w/c = 0,34 % de Aditivo = 0,8 %	2400
w/c = 0,34 % de Aditivo = 0,9 %	2420

Como primera fase de la investigación se realizaron ensayos de prueba para diferentes cantidades de aditivo (400, 550, 700, 850 cm.<sup>3</sup> / saco para el aditivo 1 y 0.9%, 1.1%, 1.3% y 1.5% para el aditivo 2) y diferentes relaciones agua/cemento, la muestra (3 cilindros) fue ensayada a los 7 días, con placa de neopreno en la parte superior e inferior y a la velocidad de 530 Kgf/seg de aplicación de carga, a continuación las gráficas detallan los primeros resultados.

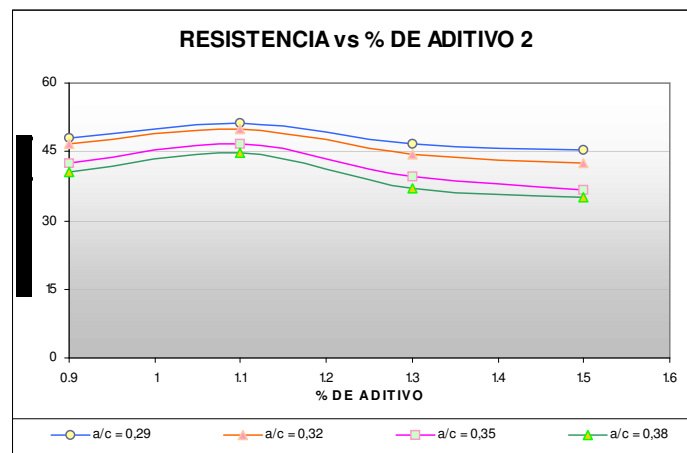
Grafica 1 Resumen de resistencia vs cantidad de aditivo1





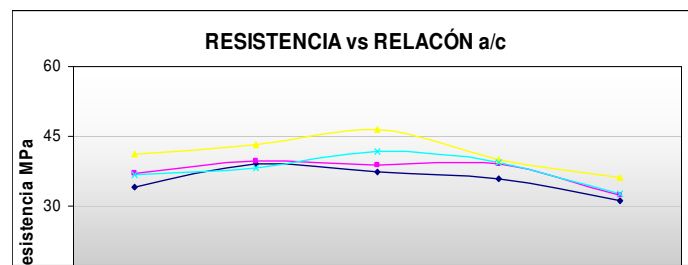
Fuente: El Autor

Gráfica 2 Resumen de resistencia vs cantidad de aditivo2



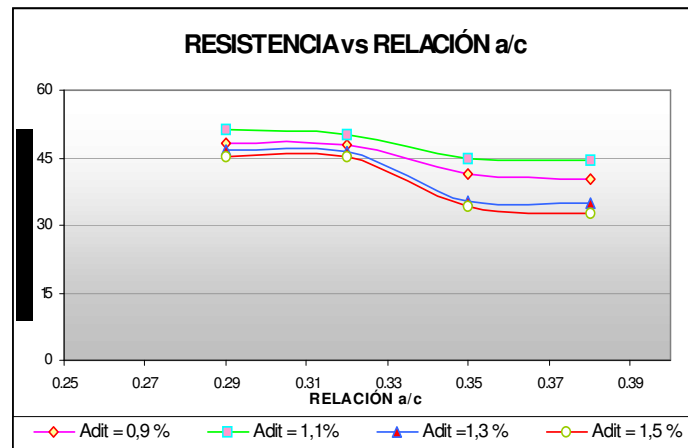
De la gráfica 1 se obtiene las cantidades óptimas de aditivo1 para lograr la resistencia deseada (650 y 750 cm<sup>3</sup>/ saco), de la grafica 2 se puede determinar que el valor más óptimo de aditivo es de 1.1%, pero se produce segregación, por lo que se escogió trabajar con el valor de 0.9% que evita este problema y tiene una muy buena trabajabilidad, además se trabajo con un valor de 0.8% para bajar costos. También se analizó la relación a/c vs resistencia para escoger valores de a/c que nos puedan servir para las dosificaciones finales, en las siguientes gráficas están los resultados.

Gráfica 3 Resumen de relación agua/cemento vs. Resistencia (aditivo 1)





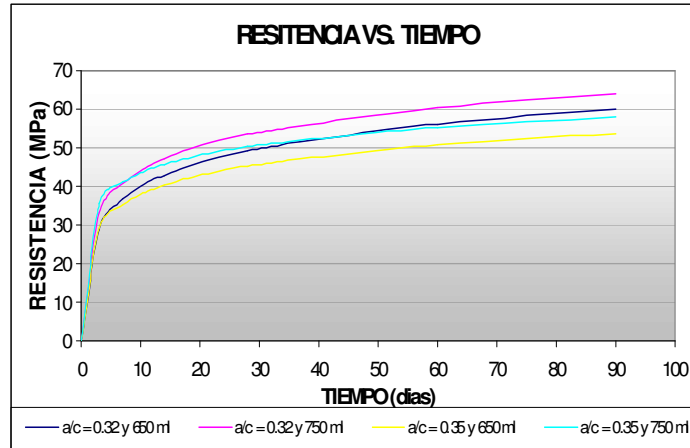
Grafica 4 Resumen de relación agua/cemento vs. Resistencia (aditivo 2)



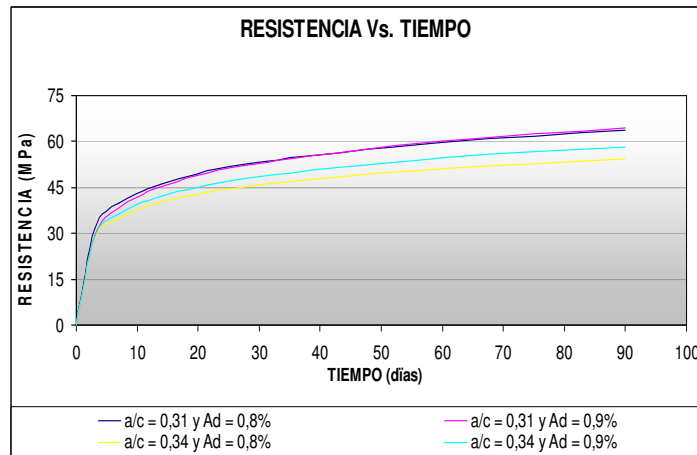
De las graficas podemos ver que las resistencias más altas a los 7 días, está entre el rango de 0,32 y 0,35 de relaciones agua/ cemento usando el aditivo1, y de 0,29 y 0,32 son las más altas para el aditivo2, por lo que se decidió tomar un valor promedio entre las dos (0,31) para las dosificaciones finales, además de este valor se tomo el valor de 0,34. Se logró obtener resistencias de 45 Mpa aproximadamente.

Luego de elegidas las cantidades óptimas de aditivo y las relaciones agua/cemento, se realizaron patrones para ensayarlos a los 3, 7, 14, 28, 56 y 90, a continuación se presentan los resultados.

Grafica 5 Resumen de resistencia vs. tiempo (aditivo 1)

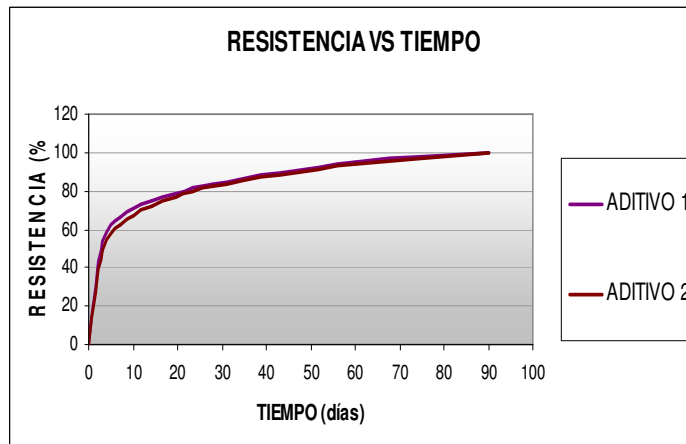


Gráfica 6 Resumen de resistencia vs. tiempo (aditivo 2)



Como la resistencia de diseño se obtuvo a los 90 días, se estimó que a esta edad se tienen el 100 % de la resistencia usando el método del ACI para la dosificación. De las tablas anteriores promediaremos la resistencia en porcentaje para determinar los porcentajes a diferentes edades.

Gráfica 7 Promedio resistencia en porcentaje vs. tiempo



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:



- Con 750 ml/saco y 0.9 % de aditivo y relación agua cemento de 0.32 y 0.31 se obtuvieron las mayores resistencias llegando hasta 640 y 650 Kg/cm<sup>2</sup>, para aditivo 1 y aditivo 2 respectivamente
- Los hormigones de alta resistencia a los 3 días de elaborados se tienen 54 y 49 % de la resistencia de diseño, a los 28 días la resistencia es del 84 y 82%; llegando a los 90 días a 100 %, para aditivo 1 y 2 respectivamente
- Las mezclas mejor trabajables se obtuvieron con 750 ml/saco y 0.9% de aditivo, con asentamientos de hasta 22 y 23 cm. para los aditivos 1 y 2 respectivamente, teniendo en cuenta el lapso de tiempo de colado, colocación y terminados del HAR para evitar la pérdida de la trabajabilidad.
- La cantidad de agregado grueso debe estar entre 70 y 72 % (aditivo 1), 63 y 65 % (aditivo 2) para la dosificación por el método del ACI
- Al usar superplastificantes en hormigón de alta resistencia, mejora la trabajabilidad e incrementa notablemente la resistencia
- La proporción de aditivo influye notablemente en la resistencia a compresión del hormigón. Existe para cada cantidad de cemento empleada en la dosificación, un valor de la proporción de aditivo a emplear, del que si nos pasamos, sufriremos pérdidas de resistencia a compresión
- El tamaño máximo del agregado grueso se recomienda que sea triturado menor o igual a ¾ de pulgada para mejorar la resistencia
- El agregado fino deberá tener una granulometría uniforme y modulo de finura mayor a 2.5 para lograr mayor resistencia
- Trabajar las dosificaciones teóricas con material pétreo en lo posible saturado con superficie seca
- Mezclar el aditivo en la cantidad de agua de amasado para lograr una mejor uniformidad dentro de la mezcla
- Realizar mezclas de prueba de HAR con aditivos superplastificantes dentro de los rangos recomendados por el fabricante para llegar a una optima dosificación y obtener buenos resultados
- Los agregados deberán estar libres de impurezas orgánicas que puedan influir negativamente en la pasta de cemento

## BIBLIOGRAFÍA



III CONGRESO LATINOAMERICANO DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL  
CONCURSO DE TRABAJOS LIBRES DE INVESTIGACIÓN ESTUDIANTIL  
HOTEL HILTON Y PUERTA DEL SOL, PORLAMAR -VENEZUELA

- Guide for Selecting Proportions for High – Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash. Reported by ACI Committee 211.4R-93
- PCA. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Steven H. Kosmatka. Primera Edición 2004.
- State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete. Reported by ACI Committee 363. 363R-92.
- Concrete, Sidney Mindess, J. Francis Young & David Darwin, Segunda Edición
- Guide to Quality Control Testing of High-Strength Concrete. Reported by ACI Committee 363. 363.2R-98.
- ASTM C39/C39M-99, Standard Test Method for Compressive of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C172-99, Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.
- ASTM C143-99, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM C31/C31M-98, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- ASTM C138/C 138M – 01a, Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- Internet
  - [www.arqcon.com](http://www.arqcon.com)
  - <http://www.monografias.com/>
  - <http://ciks.cbt.nist.gov/bentz/welcome.html>
  - [http://www.portcement.org/pdf\\_files/RD014.pdf](http://www.portcement.org/pdf_files/RD014.pdf)
  - [http://www.portcement.org/pdf\\_files/RD056.pdf](http://www.portcement.org/pdf_files/RD056.pdf)
  - <http://hormigónelaborado.com>
  - <http://www.grupominetti.com.ar>
  - <http://www.ucn.cl/FacultadesInstituto/laboratorio>
  - <http://www.disensa.com>