Construcción, Pruebas de Carga y Análisis de Vigas Presforzadas Utilizando Hormigón de Alto Desempeño y Comparación con Vigas Presforzadas Construidas con Materiales Convencionales Sometidas a las Mismas Condiciones de Carga.

Carlos Rodríguez [(1)], José Camposano. [(2)]
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. [(1)]
Escuela Superior Politécnica del Litoral. [(1)]
Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador. [(1)]
aplicacionhuad@gmail.com, carlos.rodriguez@ufl.edu [(1)]
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil [(2)], Ingeniero Civil, 1953 [(2)]

Resumen

Cada día en la industria de la construcción se exige la fabricación de elementos estructurales que sean capaces de salvar grandes luces, lo que obliga a utilizar elementos de grandes secciones para soportar las cargas actuantes, al utilizar materiales y métodos tradicionales se encarece la obra haciéndola económicamente no viable y arquitectónicamente poco atractiva. Los últimos estudios en el desarrollo de hormigones de alta resistencia han tenido éxito en la obtención de resultados en los ensayos a la compresión simple obteniéndose resistencias superiores a los 150 MPa y un mejoramiento notable en las características de desempeño. El desarrollo de este tipo de investigaciones en nuestro país es algo nuevo, recientemente, se han desarrollado estudios para obtener hormigones de alta resistencia en laboratorio con materiales locales y utilizando dosificaciones probadas en investigaciones previas en otros países, producto de estas investigaciones se han podido caracterizar los materiales a emplearse y comprobar las resistencias esperadas. El siguiente paso y el objetivo de esta investigación, consiste en analizar la posibilidad de elaborar elementos estructurales utilizando Hormigón de Alto Desempeño, a gran escala en nuestro medio, analizar sus posibles aplicaciones y sus repercusiones en el diseño y la economía de los proyectos.

Palabras Claves: *Hormigón de Polvo Reactivo (HPR), Hormigón de Alta Resistencia, Hormigón de Alto Desempeño (HAD), Hormigón de Ultra Alto Desempeño (HUAD), hormigón presforzado, vigas presforzadas.*

Abstract

Day by day, the construction industry requires the use of structural elements able to cover larger spans, demanding the use of elements with greater sections to support the acting loads, by using traditional methods and materials, the costs tend to rise, turning the civil work economically not performable and architectonically unattractive. Recent studies in the development of High Performance Concrete have succeeded in obtaining strengths higher than 150 MPa in simple compression test, and an important improvement in the performance characteristics. The development of this type of concretes in our country is something new, previous research in laboratory has been done to obtain High Performance Concrete using local materials and proportions already tested with success in other countries, product of this research, there have been able to characterize the materials and reach the targeted strengths. The next step and the objective of this research, consists in analyzing the feasibility to elaborate structural elements using High Performance Concrete, at great scale in our country, analyze the possible applications and their influence in the design and economy of construction projects.

Keywords: *Reactive Powder Concrete (RPW), High Strength Concrete, High Performance Concrete (HPC), Ultra High Performance Concrete (UHPC), Prestressed Concrete, Prestressed Beams.*

1. Introducción

La creciente demanda de infraestructura de gran escala en nuestro medio como es la construcción de edificaciones que requieren elementos estructurales que salven grandes luces como vigas para puentes vehiculares, peatonales y vigas para edificios, exige el empleo de vigas de hormigón de gran sección transversal o vigas metálicas. Vigas de hormigón de gran sección transversal añaden a las estructuras cargas adicionales originadas por el peso propio además de constituir elementos con peraltes incómodos e indeseables; mientras que los costos del acero hacen que los proyectos sean económicamente inviables.

La investigación desarrollada en el campo de la tecnología del hormigón ha permitido perfeccionar el diseño de elementos de concreto, el Hormigón de Ultra Alto Desempeño desarrollado a finales del siglo XX ha permitido obtener resistencias a la compresión simple en el hormigón superiores a los 150 MPa. Constituyendo una alternativa para el diseño, y en nuestro medio, un desafío para el constructor, la utilización de Hormigones de Alto Desempeño en elementos pre-esforzados ha dado como resultado la obtención de elementos de secciones transversales pequeñas, reduciendo cargas producidas por peso propio de los elementos, capaces de soportar grandes cargas. Lograr estos objetivos justifica la utilización de Hormigones de Alto Desempeño para logar estructuras más económicas y arquitectónicamente más atractivas.

Los objetivos generales del presente trabajo de investigación consisten en: Evaluar la posibilidad de construir en nuestro medio, elementos estructurales utilizando Hormigón de Alto Desempeño (HAD). Construir vigas pre-esforzadas utilizando HAD y vigas pre-esforzadas utilizando hormigones convencionales para luego someterlas a pruebas de carga bajo las mismas condiciones. Comparar desde el punto de vista de respuesta estructural y económico, las ventajas y desventajas de la utilización del Hormigón de Alta Resistencia producido localmente.

2. Desarrollo de la investigación

2.1. Antecedentes

a) Hormigón Presforzado. En términos generales el pre-esfuerzo se define como el pre-cargado de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas, aplicado de una forma tal que mejore el comportamiento general de la estructura.

El concreto pre-esforzado se define como aquel concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado. El pre-esforzado del concreto implica la aplicación de una carga compresiva, previo la aplicación de las cargas consideradas en el diseño, ocasionando que se reduzcan o eliminan los esfuerzos de tracción que de tal forma ocurrirían.

Inicialmente el empleo del pre-esfuerzo en el concreto era utilizado para eliminar en el miembro sujeto a las cargas de diseño, todos los efectos de los esfuerzos de tracción que se producen. Sin embargo la práctica actual de diseño permite que existan esfuerzos de tracción limitados en el concreto así como agrietamientos mínimos.

b) Hormigones de Alto Desempeño. La definición exacta de este tipo de hormigón ha sido y sigue siendo tema de debate para la comunidad de científicos y profesionales. Durante los años setentas, cuando la resistencia a la compresión de concretos usados en las columnas de edificios altos, comenzó a fabricarse con resistencias superiores a las usuales, el termino hormigones de alta resistencia se utilizó para reconocer este tipo de hormigón, sin embargo para estándares actuales, estos constituían hormigones usuales, con la particularidad que eran fabricados utilizando cementos, arena y piedras cuidadosamente seleccionadas y procesos controlados, pero por lo general disponible Sin embargo cuando los Reductores de Agua de Alto Rango, conocidos comúnmente como Superplastificantes, se comenzaron a utilizar para reducir la relación agua/cemento y no solo para mejorar la trabajabilidad del hormigón, junto con la adición de cenizas volantes y microsílica, se demostró que hormigones con bajas relaciones agua/cemento, resultaron en mejoras importantes en las características del hormigón como son, mejor trabajabilidad, elevado modulo de elasticidad, elevada resistencia a la flexión, baja permeabilidad, mejorada resistencia a la abrasión y mayor durabilidad. Lo que ha llevado a la utilización generalizada de Hormigones de Alto Desempeño.

En años recientes se ha presentado un interés creciente por los hormigones de alta resistencia. Concretos con resistencias de 140 MPa está siendo actualmente utilizado en edificios de gran altura en Estados Unidos y en Europa. La aplicación más común del hormigón de alta resistencia ha sido en las columnas de edificaciones altos donde el hormigón normal o convencional resultaría en secciones transversales inaceptablemente grandes, con la perdida de espacio valioso de piso útil. Se ha demostrado que la utilización de mezclas de hormigón de alto desempeño, aunque más costosas, no solamente aumenta el área de piso utilizable, sino que también resulta más económico que aumentar la cantidad de acero de refuerzo

Figura 1. Two Prudential Plaza, Chicago. 82 MPa.

c) Hormigones de Ultra Alto Desempeño. Se define hormigones de ultra alto desempeño (HUAD), aquellos con altos contenidos de cemento y baja relaciones agua/material cementicio, y que su resistencia a la compresión simple se encuentre en el rango entre 200 y 800 MPa, siendo el menor de estos valores utilizado actualmente en la construcción de elementos estructurales debido a su gran ductilidad, mayores valores de resistencia a la compresión simple han sido utilizados en aplicaciones no estructurales como losas para pisos en galpones industriales y depósitos de desechos nucleares.

Figura 2. Componentes del Hormigón de Ultra Alto Desempeño. De izquierda a derecha: Cemento tipo I, fibra metálica, polvo reactivo, arena silicia y humo de sílice. Detrás: Superplastificante

3. Construcción de vigas presforzadas utilizando Hormigón de Alto Desempeño.

Debido a que MAVISA S.A. prestó sus instalaciones para la construcción de las vigas pre-tensadas, ciertas condiciones fueron adaptadas a las facilidades que podía brindar al momento la empresa. Se utilizo un banco de pretensado para viguetas R-14, de acuerdo a la clasificación que maneja la empresa, este banco es capaz de producir viguetas de sección trapezoidal con dimensiones de 9 cm en la base menor, 11 cm en la base mayor, 14 cm de altura y de longitudes variables. La longitud de las viguetas a ser ensayadas, tuvo como limitante las dimensiones máximas del banco de pruebas del laboratorio, siendo esta de 3m de largo como máximo. De esta manera se procedió a fundir 5 viguetas de 3m de largo con Hormigón de Ultra Alto Desempeño 100 MPa y se completo la capacidad del banco de fundir 7 viguetas simultáneamente, con 2 viguetas empleando hormigón de la producción convencional de MAVISA S.A. con una resistencia de diseño de 44MPa.

3.1. Dosificación

La dosificación utilizada es el producto de una investigación previa en la cual se logro caracterizar los materiales y obtener resistencia en laboratorio de hasta 104.98 MPa en cilindros de 10 x 20 cm.

Tabla 1. Dosificación de vigas con Hormigón de Alto Desempeño.

Cemento Tipo I	712.00 Kg/m^3
Arena silicia	1020.00 Kg/m^3
Humo de silice	231.00 Kg/m^3
Quarzo mólido	211.00 Kg/m^3
Superplastificante	30.70 Kg/m^3
Fibras	156.00 Kg/m^3
Agua	218.64 Kg/m^3

3.2. Características técnicas de los materiales.

Los Hormigones de Alto Desempeño requieren una selección cuidadosa de todos los materiales que lo constituyen. El desempeño y calidad de cada constituyente, se torna crítico en cierto punto a medida que la resistencia final deseada se incrementa, siendo algunos de ellos más sensibles que otros. Ciertas propiedades de los materiales tienen un mayor impacto en la economía del Hormigón de Alto Desempeño, y determinaran su potencial ventaja económica, no solo frente a elementos metálicos, si no también comparado con concretos convencionales.

a) Cemento. En nuestro caso, el cemento escogido fue el cemento portland tipo I, por ser este el cemento más apropiado para obtener las características requeridas.

Tabla 2. Composición química del cemento tipo I.

Oxido de Calcio (CaO)	60 – 70 %
Dióxido de Silicio (incluyendo 5% de sílice libre)	19 – 24 %
Trióxido de Aluminio (Al_2O_3)	4 – 7 %
Oxido Férrico (Fe_2O_3)	2 – 6 %
Oxido de Magnesio (MgO)	< 5 %

b) Aditivos. La selección de un superplastificante bueno y eficiente es crucial al elaborar concretos de alto desempeño, debido a que no todos los tipos y marcas de superplastificantes reaccionan de la misma manera con un cemento en particular.

El aditivo que se escogió fue el Glenium 3000 NS que es un reductor de agua de alto rango listo para usarse, el mismo que es de una nueva generación de aditivos basados en la tecnología del policarboxilato. GLENIUM 3000 NS es un aditivo muy efectivo para producir hormigón con diferentes niveles de trabajabilidad, incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto autocompactante. GLENIUM 3000 NS cumple la norma ASTM C 494 para requerimientos Tipo A, reductores de agua, y Tipo F, aditivos reductores de agua de alto rango.

c) Agregados. Para elaborar el Hormigón de Alto Desempeño u Hormigón de Polvo Reactivo se utilizó arena fina de cuarzo y cuarzo molido. La arena proviene del oriente ecuatoriano es originaria de la formación Hollín. La arena fina contribuye con las partículas de mayor tamaño en la matriz, el tamaño de la arena es seleccionado dependiendo del grado de homogeneidad que se desea. En el Hormigón de Polvo Reactivo el tamaño de las partículas de arena utilizada está limitado a 600um, pero no menor a 150um. El polvo de cuarzo molido proviene de la molienda de la arena fina de cuarzo y es el componente reactivo de la mezcla, el beneficio que este brinda al hormigón es realmente su bajo costo y además, junto con el cemento, conforma una excelente pasta de gran dureza. El diámetro de las partículas de polvo de cuarzo es del orden de 10-15um.

Figura 3. Obtención del polvo reactivo producto de la molienda de arena cuarzosa.

d) Adiciones. La adición de humo de sílice a la mezcla es importante para poder alcanzar los objetivos de fluidez y resistencia. El humo de sílice es un subproducto que resulta de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en calderos de arco eléctrico en la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio. El humo, consiste de partículas esféricas muy finas y cuyo contenido de sílice amorfo es muy elevado. Este material, a causa de su extrema finura y su alto contenido de sílice, cumple un papel muy importante en la estructura de la pasta de cemento. Actúa como relleno físico o filler, aumentando la compacidad de la mezcla. Reduce considerablemente la exudación en el hormigón fresco debido a su gran superficie específica y mejora la capacidad para retener el agua.

e) Fibras metálicas. La superior ductilidad de los Hormigones de Alta Resistencia es obtenida a través de la incorporación de microfibras de acero. Sin la adición de las fibras el concreto presenta un comportamiento completamente frágil. Debido a que las fibras refuerzan la mezcla a nivel micro se elimina la necesidad de colocar refuerzo por temperatura y retracción y a la vez permite la reducción y en algunos casos la eliminación por completo del acero para cortante. El tamaño de las fibras integradas en la mezcla es muy importante, tanto el grado de ductilidad como al resistencia a la tracción obtenidos dependen no solo del tamaño de fibras sino también del porcentaje de fibras usado por metro cubico. Las fibras de acero que se emplearon en el presente trabajo fueron las fibras Dramix OL 13 0.16, fabricadas por la empresa Bekaert. Las fibras tienen un diámetro nominal de 0,2 mm (0,008 pulgadas) y una longitud nominal de 12,7 mm (0,5 pulgadas). La composición química de las fibras se muestra en la Tabla. Previamente se utilizo otra marca de fibras disponible localmente, pero debido a su mayor tamaño y peso, y puesto que el hormigón que se preparo no posee agregados gruesos, esta fibra se segregaba en la mezcla, sin distribuirse uniformemente en toda la mezcla, es por esto que se decidió utilizar esta fibra más pequeña de mayor calidad y menor peso.

Tabla 3. Composición química de las fibras metálicas.

Element	Composition (percent)
Carbon	0.69-0.76
Silicon	0.15-0.30
Manganese	0.40-0.60
Phosphorus	0.025
Sulfur	0.025
Chromium	0.08
Aluminum	0.003

3.2. Procedimientos técnicos constructivos.

Una vez que hemos efectuado mezclas de prueba, se ha establecido la dosificación y se ha comprobado la resistencia, la principal preocupación para el constructor esta en el procedimiento de vertido y colocación en sitio. A continuación se detallan los pasos constructivos sugeridos, en base al desarrollo experimental del presente trabajo:

a) Reunión antes de la construcción. Varios días antes de la fabricación de los elementos, es necesario llevar a cabo una reunión con el personal operativo involucrado. Es esencial determinar el equipo a ser utilizado, las facilidades con las que se va a contar para la dosificación, el mezclado y vertido, el criterio para aceptación de la mezcla y los efectos que tendría el cambio de estas condiciones.

b) Selección y procesamiento de materiales. Los procedimientos establecidos para la construcción de hormigones convencionales puede ser adecuado también para Hormigones de Ultra Alto Desempeño, sin embargo no siempre puede ser el más preciso. Alcanzar la combinación optima de agregados, cemento, puzolanas, adiciones químicas y reductores de agua de alto rango y su interacción, se convierte en un proceso de ajuste de prueba y error, hasta conseguir la dosificación deseada.

Figura 4. Dosificación de los materiales. Pesado del Polvo Reactivo.

c) Mezclado. El factor más importante en el mezclado es la combinación de todos los materiales constitutivos en una mezcla homogénea. Esto es afectado en gran parte por la secuencia usada para cargar los materiales en la mezcladora y la eficiencia de la mezcladora para poder combinarlos. Es muy importante que la fibra sea distribuida homogéneamente y en direcciones aleatorias dentro de la mezcla.

Es recomendable introducir primero en la mezcladora los constituyentes secos de la mezcla, los agregados, la fibra, puzolana y cemento; y mezclarlos a una velocidad normal de carga entre 12 y 18 revoluciones por minuto, esto ayuda a que la fibra se distribuya uniformemente entre los agregados. Luego de que todos los agregados han sido añadidos se recomienda mezclar a velocidades más altas de 4 a 5 minutos. El agua puede ser introducida a continuación, las adiciones químicas, en este caso el superplastificante, suele ser más efectivo al agregarse lentamente luego de la hidratación de la mezcla. Luego se puede revolver la mezcla húmeda de 2 a 3 minutos más.

d) Transporte. El transporte del concreto desde el mezclador hasta el sitio de fundición debe ser realizado sin ningún cambio significativo en el revenimiento, relación agua/material cementicio, contenido de aire, consistencia y temperatura.

e) Colocación y vertido. El Hormigón de Ultra Alto Desempeño posee gran a fluidez, lo cual permite una trabajabilidad adecuada, sin embargo la mezcla requiere una consolidación completa que debe ser lograda rápidamente. El uso de vibradores internos no es necesario para la fabricación de elementos con secciones pequeñas, una de las propiedades de los Hormigones de Alto Desempeño es su capacidad auto nivelante. Sin embargo para ayudar a la consolidación de la mezcla se sugiere golpear el encofrado con martillo de goma o un varillado constante.

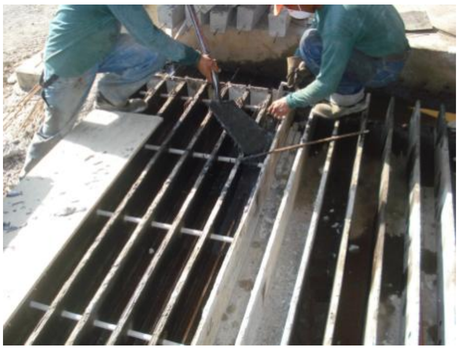

Figura 5. Vertido del Hormigón de Alto Desempeño en los moldes de las viguetas pretensadas.

f) Acabado. Las operaciones de acabado deben ser tales que la superficie deseada de concreto sea lograda con mínimas manipulaciones. La manipulación excesiva de la superficie del concreto, puede resultar en la reducción del contenido de aire de la superficie, lo que provocaría un incremento en la susceptibilidad del hormigón a los efectos de cambios de temperatura.

g) Curado. Solamente un curado apropiado puede permitir el desarrollo total de las propiedades a largo plazo de desempeño y durabilidad en el hormigón. Esto se aplica de manera similar para los hormigones convencionales y los Hormigones de Alto Desempeño.

Figura 6. Desmolde de viguetas pretensadas. Izquierda viguetas de HAD, derecha hormigón convencional.

4. Pruebas de carga de vigas presforzadas construidas con Hormigón de Alto Desempeño y construidas con hormigón convencional.

En el caso del presente trabajo se sometió a una prueba de carga dinámica a dos vigas pre-tensadas, una construida utilizando Hormigón de Alto Desempeño y otra construida utilizando hormigón convencional. Las vigas estarán simplemente apoyadas y se les aplicará una carga puntual con incrementos definidos y medibles en el centro de la luz mediante un gato hidráulico, a su vez se medirá la deflexión máxima en el centro de la luz por medio de deformímetros digitales. Los datos serán transmitidos por medio de un Data Logger hacia un computador personal que por medio de un software se encargara de ordenar y almacenar los datos de las pruebas. Esto nos servirá para poder hacer las comparaciones correspondientes y podremos obtener conclusiones.

4.1 Ensayos de control de calidad.

Tabla 4. Resistencia a la compresión simple de muestras de las vigas construidas con HAD.

Días	Resistencia (MPa)	Porcentaje
7	61.75	60.31%
14	87.56	85.52%
21	90.39	88.28%
28	102.39	100%

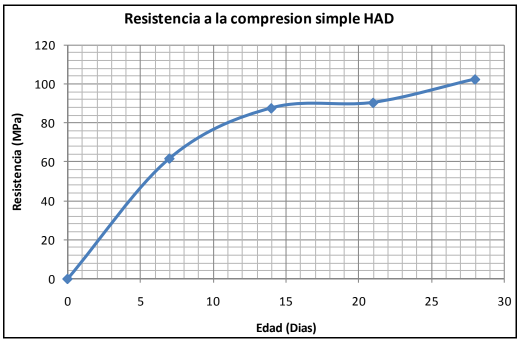

Figura 7. Resistencia a la compresión simple.

4.2. Prueba de carga dinámica con carga puntual en vigas simplemente apoyadas.

Las pruebas de carga para las vigas se las realizó en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural y Sismoresistente, se utilizo un gato hidráulico con una capacidad de 5 ton. de marca Enerpac, el cual se dimensiono previamente con los resultados teóricos del análisis de compatibilidad de deformaciones de vigas pre-esforzadas, el cual dio como resultado para la carga máxima de falla valores menores a la capacidad del gato y se considero un factor de seguridad de 3.

Figura 8. Detalle de montaje de la instrumentación. Se observa el gato hidráulico y la celda de carga, a los costados dos deformímetros.

Una vez montada la instrumentación, calibrado y encerado el equipo se procedió a comenzar con la prueba de carga primero con la viga construida con hormigón convencional y luego la viga construida con HAD, se le iba agregando carga y se almacenaban los incrementos de carga y deflexión en intervalos de 1 segundo, el archivo de datos generado de las pruebas servirá para generar gráficos carga vs deflexión.

5. Resultados Obtenidos

Para poder comparar la respuesta estructural de las vigas construidas con hormigones convencionales y Hormigones de Alto Desempeño se procedió a colocar en un mismo grafico las curvas Carga – Deflexión resultantes de las pruebas de carga respectivas. De esta manera podremos contrastar la respuesta que presentaron las vigas bajo las mismas condiciones de carga. A continuación se presenta la grafica comparativa, posteriormente se hará un análisis que permitirá obtener conclusiones con respecto a las hipótesis inicialmente planteadas.

Figura 9. Detalle de fisura en la zona de falla de la viga construida con hormigón convencional (vista posterior).

Figura 10. Detalle de fisura en la zona de falla de la viga construida con HAD (vista posterior).

Las fisuras que se presentaron en ambas viguetas son características de la falla a flexión, produciéndose muy cerca del centro de luz, en el lugar donde se colocó la carga puntual. En la viga construida con HAD se pudo observar la fibra metálica actuando, brindándole un comportamiento dúctil al hormigón, lo cual puede ser confirmado en los gráficos comparativos de carga vs deflexión.

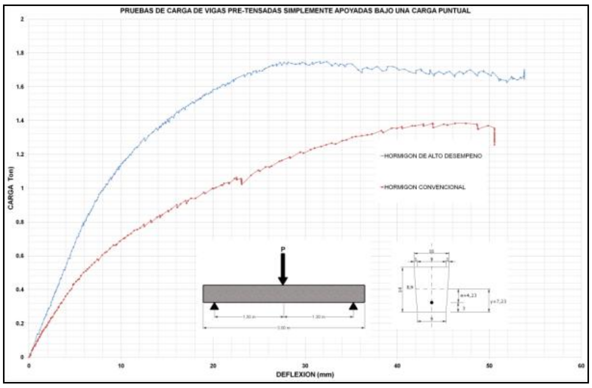

Figura 11. Comparación de la respuesta estructural de vigas pretensadas construidas con HAD y Hormigones Convencionales.

Esta grafica resume las propiedades del Hormigón de Alto Desempeño y sus ventajas de aplicación frente a hormigones convencionales. La combinación del pre-esfuerzo con la utilización de un hormigón de alta resistencia al cual se le han añadido fibras mejoran notablemente las características de desempeño, la viga construida con Hormigón de Alto Desempeño muestra un mayor comportamiento elástico esto debido a su mayor modulo de elasticidad y se pudo comprobar durante la prueba de carga que la fibra metálica contribuye a un comportamiento más dúctil que para la viga construida con hormigón convencional. La viga de HAD alcanza mayores cargas a menores deformaciones, y el proceso de falla es muy lento sin presentar fisuras súbitas y menos aun comportamientos explosivos.

6. Conclusiones

a) Por medio de la presente investigación, podemos concluir que es técnicamente viable construir en nuestro país elementos estructurales con Hormigones de Alto Desempeño.

b) Las propiedades de mezclas de Hormigón de Alto Desempeño son muy sensibles a pequeños cambios en parámetros ambientales y en procedimientos. Es por esto que se muestran diferencias entre las resistencias obtenidas en laboratorio y las obtenidas en obra.

c) Resulta primordial seguir los procedimiento técnicos recomendados en esta investigación para la etapa de construcción de elementos de Hormigón de Alto Desempeño para poder alcanzar los objetivos de resistencia y desempeño deseados en las estructuras.

d) La combinación de las características del hormigón pretensado con las propiedades de los Hormigones de Alto Desempeño resultan en un incremento notable en las propiedades estructurales de vigas sometidas a flexión, incrementando la capacidad de carga y disminuyendo las deformaciones.

e) El uso de fibra metálica de alta resistencia añade al hormigón capacidad de deformarse elásticamente, retrasan la aparición de fisuras haciendo de las estructuras más seguras.

f) Las ventajas económicas que han sido ampliamente demostradas para el uso de Hormigones de Alto Desempeño en obras a gran escala abren la posibilidad de introducir en nuestro medio la fabricación de elementos estructurales con este hormigón.

6. Agradecimientos

Al Ing. José Camposano, gran profesor y Director de la presente Tesis de Graduación. A las empresas HOLCIM y MAVISA y a su equipo humano que prestó su colaboración para el desarrollo de esta investigación. Agradecimiento especial a aquellos profesores de mi Facultad cuya vocación a la enseñanza y excelencia profesional nos ha permitido ser sus alumnos más allá de las aulas.

7. Abreviaturas

HAD: Hormigón de Alto Desempeño
HC: Hormigón Convencional
HPR: Hormigón de Polvo Reactivo
ACI: American Concrete Institute
ASCE: American Society of Civil Engineers
HRWR: Reductor de agua de alto rango
CEINVES: Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural y Sismoresistente.

8. Referencias

[1] Aitcin, P. –C., High-Performance Concrete, A & FN Spon, New York, 1998, pp. 162 - 214, 546 – 568.

[2] Fundamentals of High-Performance Concrete, Nawy, Edward G.,Segunda Edicion, New York, 2001, pp. 115 – 120, 290 – 309, 382 – 386.

[3] Nilson, Arthur H., Diseño de Estructuras de Concreto, Mc. Graw Hill, Duodécima Edición, Bogotá, 2001, pp. 62 – 102, 241 – 273. 584 – 644.

[4] Nilson, Arthur H,. Diseno de Estrucutras de Concreto Presforzado, Segunda Edición, New York, 1987.

[5] American Concrete Institute, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318R-05), EE.UU., 2005.

[6] Voo, J Y L., Foster, S. J., Gilbert, R. I., Shear Strength of Fibre Reinforced Reactive Powder Concrete Girders Without Stirrups, The University of South Wales, Sydney, 2003.

[7] Fernández, Carlos, Concretos de Ultra Alto Desempeño Tecnología y Aplicaciones, HOLCIM, Costa Rica, 2005.

[8] Helmink, Heidi., Schibley, James E., Batching, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber-Reinforced Floors, ACI Concrete International, EE.UU., Julio 2009.

[9] Ordóñez, Ángel., Egüez, Hugo., Comportamiento de Hormigón Simple Mezclado con Polvo Reactivo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 2009

[10] Cantos, Mario., Pena, Carlos., Velasco, Cecilia., Análisis, diseño de elementos estructurales utilizando Hormigón de Alto Desempeño (HAD) y comparación con elementos estructurales diseñados con Hormigones Convencionales para soportar las mismas condiciones de carga, ESPOL, Ecuador, 2009.