

POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON EL USO DE PUZOLANA Y SUPERPLASTIFICANTE PARA VIVIENDAS EN VENEZUELA

MSc. Arq. L. Solangel Mejías¹, Dr. Ing. Idalberto Águila²

¹ Grupo Fort VG, C.A., email: *solangel.mejias@gmail.com*

² Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, e-mail: *idalbertoaguila@gmail.com*

RESUMEN

La actividad de la construcción es costosa y además genera un impacto considerable sobre el medio ambiente. En estructuras de concreto, su relativamente baja resistencia mecánica hace que se requieran cantidades de materiales muy grandes, comparado con edificaciones similares en acero. Por ello, se pretende elaborar un concreto de alta resistencia añadiéndole puzolana y superplastificante. La puzolana utilizada en esta investigación es microsílíce, ésta mejora algunas propiedades del concreto y el superplastificante, es un policarboxilato que reduce la relación agua/cemento; ambos componentes provocan un incremento notable de la resistencia a compresión. Para demostrar estas hipótesis, se realiza una serie de ensayos de laboratorio que establecen las proporciones en que se pueden combinar los materiales y los valores de resistencia a compresión que se pueden lograr. Se obtiene un concreto de alta resistencia con características sustentables, eficiente en costo, gracias a una mezcla con adición de 20% de microsílíce respecto al cemento, y 11,6 litros de policarboxilato por metro cúbico de concreto, logrando una resistencia a compresión, a los 28 días de 793 Kg/cm². Estos resultados permiten el diseño de componentes de secciones racionalizadas con menor consumo de concreto y así disminuir los costos y la demanda de recursos naturales. Está la posibilidad de ser utilizado masivamente de forma estructural, inclusive en ambientes agresivos, y ser producido industrialmente para vivienda de baja altura.

Palabras Clave: vivienda, concreto de alta resistencia, puzolana, microsílíce, superplastificante.

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material durable y resistente que ha evolucionado con los años. Se produce a partir de tres componentes básicos; el cemento, el agua y los agregados. Eventualmente se incorporan aditivos y adiciones que modifican algunas de sus propiedades. Durante más de un siglo ha sido el material de construcción más importante para la edificación de industrias, viviendas e infraestructura. Sus excelentes cualidades conjuntamente con la gran aceptación cultural lo hacen un material insustituible y así debe mantenerse por los próximos años.

Desde las últimas décadas del siglo pasado se ha desarrollado una cultura medio ambiental que estimula el uso de materiales reciclados o desechos de otras producciones. En el caso del concreto se han incorporado con mucho éxito las adiciones puzolánicas como una

forma de reducir la cantidad de cemento en la mezcla sin perder o incluso mejorando su calidad. Algunos residuos agrícolas e industriales han sido utilizados como fuentes de material puzolánico. La cascarilla de arroz, el bagazo de caña y la hoja de maíz cuentan entre los desechos agrícolas más utilizados. Algunos residuos industriales como las cenizas volantes, las escorias de alto horno y la microsílíce también han resultado efectivos.

Buitelaar (2004), relata su experiencia con el concreto de ultra alta resistencia durante los últimos años, y afirma que la resistencia a la compresión aumentó de 60 MPa a más de 300 MPa. Esto se hace posible por medio de técnicas para la densificación de la microestructura de la pasta de cemento fresca con el uso de súperplastificantes y partículas reactivas ultra finas. Una pasta normal de cemento Portland endurecido, es un material etéreo y poroso; esta porosidad en cierta medida refleja los espacios originales entre las partículas de cemento dentro de la estructura química. Esto es porque las tensiones superficiales entre el cemento y las partículas tienden a evitar que estos se deslicen entre si durante el mezclado y su colocación. Esto ocasiona una alta demanda de agua durante el mezclado para conseguir cierta trabajabilidad del mortero o del concreto. En comparación con materiales como el acero o el aluminio sinterizado, una pasta de cemento Portland desarrolla una baja resistencia mecánica durante su endurecimiento, y eso es debido a la porosidad capilar y el exceso de agua necesaria para la viabilidad de la pasta fresca (Buitelaar, 2004).

Alrededor de 1964 un laboratorio de investigación en Dinamarca logró concretos con una resistencia a la compresión de aproximadamente 60 a 80 MPa con una relación a / c de 0.30. Para la misma época se habían desarrollado los súper plastificantes; se hizo posible dispersar mejor las partículas ultra finas y normales del cemento en soluciones acuosas; y se empieza a trabajar con el microsílíce, un sub producto industrial del silicio y ferrosilicio (Buitelaar, 2004).

Desde el año 1970 se ha empleado microsílíce en concretos, logrando obtener altas resistencias, baja permeabilidad, baja resistividad eléctrica, impedimento del paso de cloruros al acero de refuerzo, capas de cubiertas de losas, control de la reacción álcali-agregados. Los primeros puentes empleaban concretos de 1600 Kg/m^3 de peso, con una relación agua/material cementante menor a 0.33 y obtenían resistencias de 700 a 1000 Kg/cm^2 (Rivva, 2002).

En el caso de las estructuras masivas de puentes, con el uso del microsílíce en concretos de alta resistencia se ha incrementado la resistencia y la durabilidad con una disminución considerable de cemento Portland utilizado (Rivva, 2002). Con los años se han desarrollado procedimientos de puesta en obra para la colocación de concretos con microsílíce en puentes.

El microsílíce según el ACI (234R-06), lo definen como un monocristal producido en hornos de arco eléctrico como subproducto de la producción de silicio elemental o aleaciones que contengan silicio. Este material consiste en unas partículas esféricas suaves y frágiles con una superficie específica de $20.000 \text{ m}^2/\text{Kg}$ cuando es medido con el método de absorción de nitrógeno, el cual es el más usado. El microsílíce fue visto inicialmente

como un material de adición al cemento, pero en la actualidad se utiliza en la producción del concreto de alto desempeño para mejorar sus propiedades como la resistencia a la compresión, la durabilidad del material y la impermeabilidad. Los concretos que contienen microsílíce experimentan aumentos en la demanda de agua, por la gran superficie específica que posee. En la Figura 1, se puede apreciar un ejemplo de una sección de un mortero compacto con el uso de microsílíce.

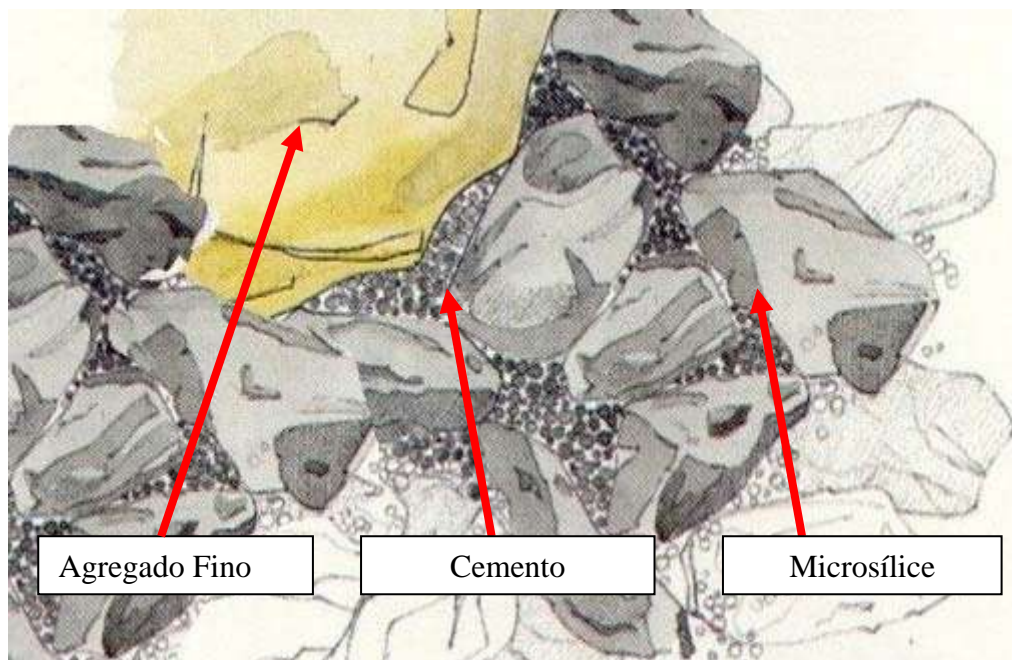


Figura 1. Sección de mortero compacto con uso de microsílíce. Fuente: Buitelaar, 2004.

Al agregar microsílíce en la mezcla de concreto, ésta reacciona con el hidróxido de calcio para formar como un subproducto en el proceso de hidratación del cemento, origina un incremento en la cantidad de silicato de calcio hidratado (un gel), que disminuye los poros capilares de la pasta, hace la masa más compacta, facilita la distribución de los elementos mayores, y aumenta la densidad del sistema. El microsílíce en la mezcla tiene un área superficial muy alta, por lo que se incrementa la demanda de agua y los superplastificantes son usualmente recomendados para disminuir la demanda de agua a nivel apropiado y permitir una adecuada dispersión y acomodo de las partículas de microsílíce.

Dentro de las características del concreto de alta resistencia el uso de microsílíce permite la resistencia a impactos; y en relación a la corrosión, el microsílíce mitiga la corrosión del acero embebido en concretos con microsílíce, ya que los niveles de penetración del cloruro son de solo 1/5 en relación al concreto convencional de la misma edad.

Según la norma española UNE 83-200-84, los aditivos se definen como: "Aquellas sustancias o productos que incorporados al hormigón, mortero o pasta antes o durante el amasado y/o durante un amasado suplementario, en una proporción no superior al 5 % del peso de cemento (salvo casos especiales), producen la modificación deseada en dicho

hormigón, mortero o pasta -en estado fresco y/o endurecido- de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento”.

El uso de un aditivo súper plastificante (policarboxilado) de alto desempeño, está diseñado para mejorar las propiedades del concreto, hacerlos más trabajable gracias a la baja relación agua/cemento, pudiendo lograr una reducción de agua hasta un 40%, sin cambiar las características del diseño de mezcla. Dependiendo de la dosis empleada en la prueba de cono de Abrams, el asentamiento puede ser incrementado de manera considerable.

Las aplicaciones del concreto de alta resistencia han sido en diversas áreas y con fines diversos como: puesta en servicio a una edad mucho menor, edificios altos reduciendo la sección de las columnas e incrementado el espacio disponible, superestructuras de puentes de mucha luz y para mejorar la durabilidad de sus elementos, garajes de estacionamiento mejorando la densidad y minimizando la permeabilidad, losas para disminuir las cargas muertas y reducir el espesor que es requerido por la rigidez, vigas rectangulares y vigas T en las cuales se reduce el ancho y el espesor de las secciones y permite tramos más largos, reparaciones para bases de puentes. Estas amplias aplicaciones son gracias a las características mecánicas del material, que les permite soportar grandes cargas y ser durable incluso en ambientes agresivos. Además, la utilización de este concreto puede realizar aportes desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Aunque las principales aplicaciones a nivel mundial de este material son en grandes estructuras, esta investigación se enfoca hacia la construcción de edificaciones de viviendas de baja altura. Se trata de desarrollar un concreto de alta resistencia a partir de la incorporación, en la mezcla de concreto, de un aditivo superplastificante y una adición puzolánica, (policarboxilato y microsílíce respectivamente) para ser aplicado en la fabricación de componentes constructivos.

Con la aplicación de este nuevo material se espera mejorar el carácter sostenible de las edificaciones. Esto gracias a una potencial reducción en el consumo de materiales y en el peso de las estructuras debido a la posibilidad de diseñar secciones transversales de los elementos estructurales mucho más reducidas, así como a un esperado incremento de su durabilidad como consecuencia de lograr un concreto más denso, impermeable y estable químicamente.

En esta ponencia se presentan los primeros resultados de un proyecto para obtener un concreto de alta resistencia con vista a su utilización en edificaciones de vivienda de baja altura. Como adiciones se utilizan; una puzolana (microsílíce) y un superplastificante (policarboxilato) intentando lograr una relación agua/cemento cercana a 0,30.

1. DESARROLLO

1.1. El concreto de alta resistencia

En términos generales no hay diferencias en la forma de establecer las proporciones para lograr concretos de alta resistencia respecto a un concreto normal. Sin embargo, para lograr concretos de alta resistencia, se deben seleccionar las proporciones de sus componentes considerando las características del cemento y las adiciones, la calidad de los agregados, la proporción de la pasta, la interacción pasta-agregados, los tipos de mezclado y la dosificación. Por consiguiente se deben evaluar y caracterizar tanto el cemento como las adiciones, el superplastificante y los agregados antes de determinar la proporción adecuada. El agregado influye significativamente en la resistencia y propiedades estructurales del concreto, porque ocupa mayor volumen que cualquier otro componente. Deben estar constituidos por partículas redondeadas y texturas lisas para requerir menos cantidad de agua en una trabajabilidad utilizada. El tamaño recomendado para este tipo de concretos oscilan entre $\frac{1}{2}$ " (12.7mm) y $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm), por proporcionar una mayor superficie adherente y requerir menores dosis de cemento (ACI 211.4R-93).

Uno de los recursos para elaborar este tipo de concretos es utilizar altas dosis de cemento. Los altos contenidos de cemento, superiores a 400 Kg/m^3 , producen elevaciones significativas de la temperatura del concreto durante su hidratación por lo que se recomienda combinar el cemento con proporciones variables de puzolanas como: escoria, cenizas volantes o microsílíce, entre otras.

La microsílíce en el concreto es utilizada para mejorar algunas de sus propiedades como la resistencia mecánica y la permeabilidad. Para obtener estas propiedades son importantes las proporciones a utilizar. Usualmente la microsílíce es colocada por masa de cemento entre un 5 y 20%. Esto suele incrementar la demanda de agua, por lo que se recomienda el uso de aditivos reductores de agua de alto rango.

La ley de Abrams establece que la resistencia a compresión del concreto es inversamente proporcional a la relación agua/cemento (a/c). Si se utilizan otros materiales cementicios, como puzolanas, en la mezcla, estos deben ser considerados y la relación sería agua/cemento+puzolanas ($a/(c+p)$).

La relación $a/(c+p)$ normalmente supera los 0,50. El uso de aditivos reductores de agua en muchas otras investigaciones ha permitido obtener rangos de relación $a/(c+p)$ entre 0.20 y 0.50. Los aditivos reductores de alto rango, conocidos como superplastificantes, son los más efectivos para mezclas de concreto con alto contenido de cemento o de material cementicio. El aditivo ayuda a disipar las partículas del cemento, pudiendo reducir los requerimientos de agua en la mezcla hasta un 30%, y con esto aumentar la resistencia a la compresión del concreto.

Algunas de las aplicaciones más notables del concreto de alta resistencia las tenemos en:

a.- Torres Petronas: Construidas en 1998 en Kuala Lumpur, Malasia. La estructura se basa en un núcleo y columnas de concreto armado, con una resistencia a compresión de 800 kg/cm^2 y tiene una altura de 452 m. La estructura metálica fue desechada debido a la poca

disposición de los constructores malayos a trabajar con estructura de acero, así como a la necesidad de minimizar las vibraciones en las partes superiores de las torres.

b.- Torre (Burj) Khalifa: Construida en Dubai, Emiratos Árabes Unidos en 2010. Actualmente es el edificio más alto del mundo con una altura de 828 m. Las columnas son de concreto armado de 970 kg/cm^2 de resistencia a compresión.

Además se pueden mencionar los edificios Odakyu Southern Tower de Tokio, la corte suprema de Brasilia, la corporación Taisei en Japón. Algunos puentes también construidos con este material son: Puente Confederación en Canadá; Intercambiador Vial en Medellín, Colombia; Puente La Unidad, Monterrey, México; Puente Millau, Francia; Puente Baluarte, México, entre otros.

En esta investigación no se pretende lograr un concreto de alta resistencia para aplicarlo en la construcción de rascacielos. En este caso se trata de construir edificaciones de baja altura pero con elementos estructurales de secciones mucho más pequeñas y racionalizadas que las edificaciones convencionales.

1.2 Ventajas del uso de concretos de alta resistencia

Rivva (2002) explica que se ha empleado en el estado de Pennsylvania, en Estados Unidos, concretos de alta resistencia con microsílíce para alcanzar resistencias de 105 Mpa en la construcción de un condominio, una estructura de 21 pisos. El uso de microsílíce en el concreto permitió un significativo ahorro del acero, concreto, mano de obra, peso y tiempo. El diseño inicial de las columnas era de 38" x 38" con 20 varillas de acero N° 11, se redujeron a 36" x 26" y sólo usaron 6 varillas. El área del garaje sólo requirió cuatro vigas doble T, y la alta densidad de la estructura impidió el ingreso de cloruros y la necesidad de acabados costosos. Otro ejemplo dado por Rivva (2002) es la de la compañía AT & T, que tiene proyectado un ahorro de un millón de dólares en un plazo de 20 años por el empleo de concreto de muy alta resistencia. Además Rivva (2002) agrega que los concretos con microsílíce han significado un concreto mucho más durable en el tiempo con un ahorro de \$26 a \$40 por m^3 .

Se ha utilizado concretos con microsílíce con resistencias variables, con el uso de los mismos encofrados en las columnas desde el primer piso hasta el último, con concretos de 83 Mpa para los primeros 14 pisos, luego 69 Mpa a 52 Mpa hasta el último piso. El ahorro calculado en relación a un concreto convencional es de 3 mil toneladas de concreto y 8 mil m^3 de concreto. Además, el ahorro en volumen de columnas fue equivalente al incremento del espacio dentro del edificio.

La resistencia en este tipo de concretos es importante en los fraguados, porque las resistencias iniciales altas son utilizadas en industrias de prefabricación, a fin de reutilizar los moldes rápidamente. Esto permite rápida construcción, una alta velocidad de retorno de los encofrados, y cortos períodos de paralización en proyectos que requieran suspensión de otras actividades durante la obra.

El uso del concreto de alta resistencia ha sido por muchos factores, entre ellos se destaca el comportamiento mecánico y químico como material, además, es rentable económicamente al construir columnas de edificios de gran altura, con reducción en la cantidad de acero de refuerzo y las dimensiones de las mismas, permitiendo aumentar la vida útil e incrementar el número de pisos sin afectar los pisos inferiores. El concreto de alta resistencia con el uso de microsilíce permite diseños de elementos estructurales, secciones menores, quedando mayor área disponible por piso. Se ahorra significativa cantidad de acero por columna, y ahorros importantes en el contenido de cemento con una alta relación agua-cemento.

La utilización del concreto de alta resistencia permite la industrialización de elementos o componentes constructivos, y da pie a la prefabricación. La prefabricación de estos componentes permite una eficiencia de procesos, además de flexibilizar, seriar, ensamblar, montar, fabricar, optimizar recursos y procesos, proponer nuevos retos y la necesidad de innovar, procesar, y planificar.

1.3 Primeras pruebas experimentales

Para evaluar las posibilidades de obtener un concreto de alta resistencia se realizaron varias muestras en el laboratorio que fueron ensayadas a compresión a los 7, 28 y 56 días. Las pruebas se realizaron en el Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI). Los materiales utilizados y sus características fueron los siguientes:

- Agua: agua potable de la red de la zona de experimentación.
- Arena normalizada gradada: la norma indica que las proporciones de los materiales secos del mortero normalizado, deberán ser una parte de cemento a 2,75 partes de arena gradada normalizada en peso; esta proporción es válida solamente para el caso de usar arena Ottawa u otra granulometría equivalente. En los ensayos realizados en esta investigación se utilizó arena Ottawa para cumplir lo especificado en la norma.
- Cemento Portland Tipo I: cemento CEMEX Venezuela SACA, en formato de saco de 42,5 Kg.
- Microsilíce: el proveedor de este material fue la empresa nacional TECNOCONCRET, y se despachó en sacos de 22,7 Kg bajo el nombre comercial SILICA FUME.
- Policarboxilato: se obtuvo por medio de la empresa Sika Venezuela bajo la denominación comercial Sika[®] Viscocrete[®] – 1078, reductor de agua de alto rango, superplastificante.

Los mejores resultados se obtuvieron con una muestra a la que se añadió un 20 % de microsilíce respecto a la cantidad de cemento y 11,6 litros de policarboxilato por m³ de concreto. Las cantidades de materiales de esta muestra y el patrón así como la resistencia a compresión obtenida a 7, 28 y 56 días aparecen en la Tabla 1

Tabla 1: Datos y resultados del ensayo

	Muestra patrón	Muestra con adiciones
Cemento (g.)	740	740
Microsílice (g.)	0	185
Arena (g.)	2.035	2.035
Agua (ml.)	359	323,8
Relación agua/cementente	0,485	0,35
Policarboxilato (litros/m3)	0	11,6
Resistencia 7 días (Kg./cm ²)	330	526
Resistencia 28 días (Kg./cm ²)	442	793
Resistencia 56 días (Kg./cm ²)	527	792

La Figura 2 muestra los resultados del ensayo de resistencia a compresión para la muestra con adición y para el patrón. Se puede apreciar el incremento notable en la Resistencia a compresión, sobre todo a los 28 días. Se logran valores de resistencia muy cercanos a los 800 Kg/cm².

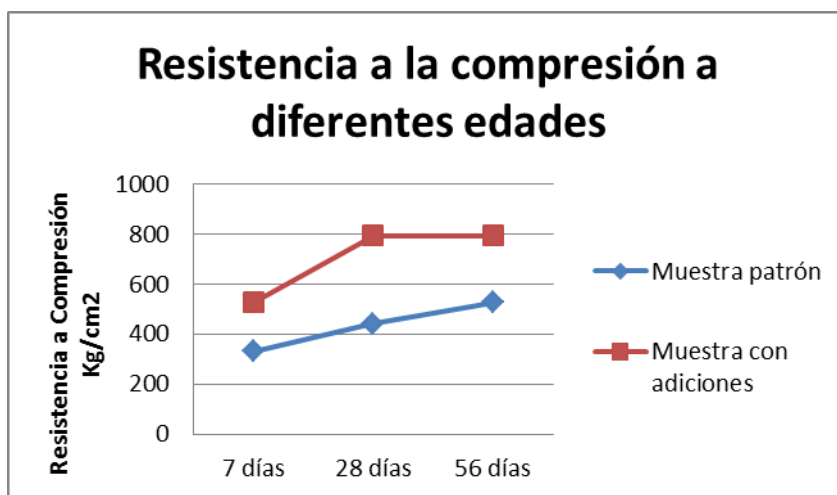


Figura 2: Resistencia compresión a diferentes edades

Estos resultados abren un abanico importante para futuros estudios y aplicaciones del material.

1.4. Posibilidades de utilización en edificaciones de baja altura para viviendas

En la Universidad de Liverpool en Inglaterra se desarrolló un estudio de concreto de alta resistencia en donde lograron comparar secciones de vigas con igual resistencia a la flexión y con secciones más esbeltas (Figura 3). Se aprecia a la izquierda la sección de concreto armado de alta resistencia con un peralte similar al perfil de acero. Destaca el aumento de sección necesario para las piezas de concreto ordinario armado.

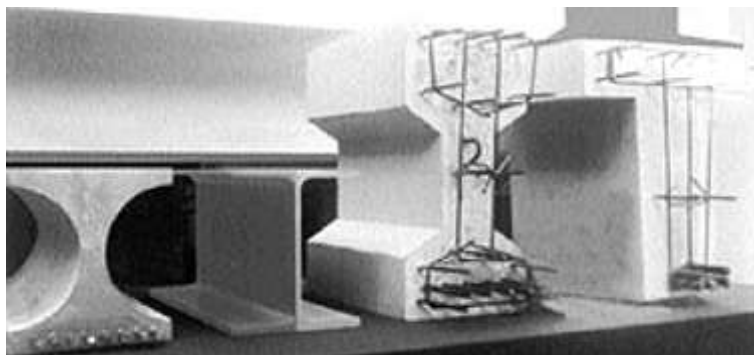


Figura 3. Secciones de vigas. Fuente: Soutsos Millard.

Se han construido edificaciones residenciales en el mundo para viviendas residenciales de baja y alta escala. Un ejemplo son las Residencias en la ciudad de Berlín, en Alemania, donde la construcción del complejo residencial Uferkrone, a orillas del río Spree, se suministró concretos especiales altamente resistentes al agua. El complejo de siete pisos y 10.000 metros cuadrados está programado para completarse en la primavera de 2016.

En base a la experiencia internacional y a los resultados parciales mostrados en esta ponencia se trabaja en estos momentos en el diseño de secciones de concreto reforzado racionalizadas con formas no rectangulares como I T, L, y U, para consumir menos material, pero manteniendo la alta inercia para no aumentar la esbeltez. Además se evalúan las opciones de barras y fibras de acero en el refuerzo del concreto.

2. CONCLUSIONES

El concreto de alta resistencia cobra cada vez más importancia a nivel mundial. Ya son muchas las obras en que su uso ha representado un mejor comportamiento estructural, permitiendo llevar el concreto a condiciones de trabajo más exigentes. Rascacielos y puentes destacan entre las aplicaciones más importantes. Su uso ha permitido reducir las secciones de elementos estructurales. Por esta razón ya se pueden construir grandes rascacielos que con la tecnología tradicional del concreto era imposible décadas atrás.

En esta investigación se obtiene a nivel de laboratorio, pero con materiales existentes en Venezuela, un concreto con una resistencia a compresión cercana a los 800 Kg/cm². Esto se logra gracias a la utilización de adiciones puzolánicas y aditivos superplastificantes en el concreto.

Partiendo de aquí se continúa la investigación con el diseño de componentes constructivos con secciones racionalizadas para ser utilizados en la edificación de viviendas de baja altura y alta densidad.

3. AGRADECIMIENTOS

Parte de esta investigación ha sido financiada por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT) a través del Proyecto de Grupo N° 2011000776 “Desarrollo de materiales y tecnologías constructivas a base de concreto para viviendas sostenibles y de bajo costo, para ser transferidas a pequeñas empresas, cooperativas o comunidades organizadas”.

4. REFERENCIAS

Alcocer, Sergio. Aperador, William. Carrillo, Julián. (2013). *Propiedades mecánicas del concreto para vivienda de bajo costo. Ingeniería Investigación y Tecnología*. Volumen 6, número 2. Colombia.

ACI 211.4R-93 (1998). *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*. Farmington Hills, Michigan, USA.

ACI 363R-92 (1997). *State of the Art Report on High Strength Concrete*. Farmington Hills, Michigan, USA.

ACI 363.2R - 98 (1998). *Guide to Quality control and testing of High Strength Concrete*. Farmington Hills, Michigan, USA.

Büyüköztürk y Lau (2007). *High Performance Concrete: Fundamentals and Application*. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA.

COVENIN 484 – 93 (1993). *Cemento Portland. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en probetas cúbicas de 50,8 mm de lado*. Fondonorma. Caracas, Venezuela.

COVENIN 277. (2002). *Concreto. Concreto. Agregados. Requisitos*. Fondonorma. Caracas, Venezuela.

Elken ASA materials (2002). *High strength and very high strength concrete 80 – 100 MPa*. Noruega.

Rivva, Enrique (2002). *Concretos de Alta Resistencia. Congreso Internacional de la Construcción 2002*. Instituto de la Construcción y Gerencia Fondo editorial ICG. Lima, Perú.

TECNOCONCRET (2013). *Manual de productos*. Caracas, Venezuela.

BCA ACADEMY (2008). *Design Guide of High Strength Concrete*. Singapur. Extraído el 30 de Abril de 2014 de www.bca.gov.sg/academy

Borralleras, P. (2012). *Criterios de selección del aditivo superplastificante en HAC*. Extraído el 27 de Enero de 2015 de http://www.autocompacto.net/wp-content/themes/splendio/pdf/ponencias/07_ID69_PBorralleras_def.pdf

Cemex. CEMEX Contribuye a Hermosas y Modernas Residencias en Berlín – Extraído el 10 de marzo de 2016 de <http://www.cemex.com/ES/SalaDePrensa/Historia/Historia20150917.aspx#sthash.MSCtCUQW.dpuf>

Kosmatka, SH y Wilson, ML (2011). *Design and control of Concrete Mixtures*. Washington D.C., USA. Bajado el 30/04/2014 de http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/PCA_manual
http://sci.umich.edu/docs/Li_VC_04_High_Performance_Fiber+.pdf

Michael A. Caldarone (2008). *High Strength Concrete*. London, Inglaterra. Extraído el 30 de Abril de 2014 de <http://es.scribd.com/doc/73551250/High-Strength-Concrete>

Pierre – Claude Aïtcin (2004). *Modern Concrete Technology 5. High Performance Concrete*. New York, USA. Extraído el 30 de abril de 2014 de http://books.google.co.ve/books?id=d_yojcvXOf4C&pg=PA398&lpg=PA398&dq=Burg+and+Ost+1994&source=bl&ots=JjN3mk8Y5-&sig=IsTWLz-tjlulp9ati6vloea25uQ&hl=es-419&sa=X&ei=ySJhU866Lda2sATVioDABw&ved=0CCsQ6AEwAA#v=onepage&q=Burg%20and%20Ost%201994&f=false

Portugal, Pablo (2010). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Perú. Extraído el 22 de Mayo de 2015 de <http://es.scribd.com/doc/42540958/Tecnologia-Del-Concreto-de-Alto-Desempeno#scribd>

Ravi Ranade (2011). *Development of high strength high ductility concrete*. 2nd international RILEM Conference on Strain Hardening Cementitious Composites. Rio de Janeiro, Brasil. Extraído el 30 de Abril de 2014 de <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/94195/SHCC2-Ranade-HSHDC.pdf?sequence=1>

Soutsos, M. N., Millard, S. G., and Karaiskos, K. *Mix design, mechanical properties and impact resistance of: Reactive Powder Concrete (RPC)*. University of Liverpool. UK. Extraído el 30 de Abril de 2014 de <http://tchfc.engin.umich.edu/doc/Presentations/TGF/Soutsos-Mix.pdf>