

Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades físico - mecánicas del hormigón

Influences of the fiber glass in properties physical - mechanical of the concrete

M. Consuelo Criado*, Carla Vera*, Patricio Downey**, M. Cecilia Soto*

* Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, CHILE

** Consultor Red Técnica de Cementos Polpaico S.A., Santiago, CHILE
consuelocriado@yahoo.es

Fecha de recepción: 01/ 09/ 2005
Fecha de aceptación: 01/ 12/ 2005
PAG. 201 - 212

Resumen

En la actualidad y desde hace varios años se han desarrollado diversos hormigones para propósitos especiales. El método más corriente es que la matriz basada en cemento sea modificada de algún modo para mejorar determinadas propiedades, reemplazando componentes o utilizando aditivos o adiciones o ambos. Entre estos hormigones especiales se encuentra el hormigón con fibra, que según el comité ACI 544 se define como: "hormigón fabricado con cemento hidráulico, que contiene árido fino, grueso o ambos, y fibras discontinuas. Las fibras pueden ser orgánicas o inorgánicas". El presente trabajo analiza la influencia que la fibra de vidrio tiene sobre las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Para ello se confeccionaron distintas mezclas, variando el porcentaje de fibra de vidrio adicionada, y se comparó su comportamiento con el de una mezcla patrón. Se estudiaron propiedades físicas y mecánicas tales como docilidad, fisuración en estado plástico, compresión, tenacidad, resistencia al desgaste y resistencia al impacto.

Palabras Clave: Fibra de vidrio, hormigón, hormigón reforzado con fibra, propiedades físico - mecánicas del hormigón, tenacidad

Abstract

At present time and for several years, some different concretes have been developed for special purpose. The most used procedure is to modify the cement based matrix, to improve some properties, substituting components or using admixtures, additions or both. Among these special concretes is the concrete with fibers, that according to ACI 544-3R-84: " fiber reinforced concrete is a composite material made of hydraulic cements, fine and gross aggregate, and a dispersion of discontinuos, small fibres". This paper analyzes the influence of the type and percentage of glass fiber, on the concrete physical mechanic properties. For this differents mixes were made changing the type and percentage of glass fiber added. The results are compared with those of a standard mix. The physical mechanical properties as workability, plastic cracking, toughness, abrasion and impact resistance.

Keywords: Glass fiber, concrete, fiber reinforced concrete, properties physical, mechanical of the concrete, toughness.

1. Introducción

Dentro del grupo de hormigones especiales se encuentra el hormigón con fibra, que ACI 544.2R (ACI 544.2R, 1999), define como "el hormigón reforzado con fibra es fabricado con cemento hidráulico, que contiene agregado fino, grueso o ambos, y fibras discontinuas. Las fibras pueden ser orgánicas o inorgánicas".

Entre los comportamientos o patologías asociadas al hormigón que se pretende mejorar con el reforzamiento con fibra, está controlar la fisuración que se puede producir tanto en estado plástico como endurecido. Es por ello que se busca reforzar el hormigón por medio del uso de fibras, en este caso la utilización de fibra de vidrio, incrementando su resistencia a la tracción para retardar la aparición de grietas y disminuir su ancho al transmitir

esfuerzo a través de la sección agrietada. Además aumenta la extensibilidad del hormigón comparada con la de un hormigón sin reforzamiento con fibra.

El uso de fibra mejora también la resistencia al impacto a la fatiga y disminuye la contracción por fraguado (Neville y Brooks, 1998).

A partir de un estudio efectuado en Aston, Inglaterra (BIT, 2004), se validan las propiedades que la fibra de vidrio le otorga al hormigón en condiciones locales.

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar la influencia que la fibra de vidrio tiene sobre las propiedades físico-mecánicas del hormigón, analizando en forma experimental distintos porcentajes



de adición de fibra de vidrio.

Para tal efecto se confeccionaron y ensayaron hormigones de prueba con distintas proporciones de fibra con el fin de:

- Establecer el efecto de la incorporación de fibra de vidrio sobre la fisuración por variaciones volumétricas del hormigón.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del hormigón con fibra de vidrio mediante ensayos de Docilidad, Exudación, Compresión, Flexión, Tenacidad, Impacto y Desgaste.
- Validar los resultados obtenidos con relación a estudios extranjeros.

2. Antecedentes generales de la fibra de vidrio y del HRF

Históricamente las fibras han sido utilizadas para mejorar y reforzar diferentes tipos de materiales de construcción. Estas fibras anteriormente eran de origen vegetal, hoy en día las fibras de acero, polipropileno y vidrio han ganado popularidad para modificar o mejorar propiedades del hormigón.

Según ASTM (ASTM C1116, 1997), la fibra se define como “un filamento delgado y alargado en forma de paquetes, redes, o filamentos de cualquier material natural o manufacturado que se puede distribuir en el hormigón.”

Una fibra tiene una longitud por lo menos 100 veces su diámetro, es decir, como mínimo 0.5 cm (0.2”). La longitud también determina si una fibra está clasificada como grapa o filamento. Los filamentos son fibras largas y/o continuas, en cambio las grapas son relativamente cortas, encontrándose en rangos de 2.5 a 15.2 cm (1” a 6”).

La estructura microscópica interna de las fibras, excluyendo las de acero, no difiere de otros materiales poliméricos. Cada fibra se compone de moléculas de polímero, sin embargo, los polímeros en las fibras de vidrio son generalmente más largos y alineados, más o menos paralelos al eje de la fibra.

Las fibras se caracterizan como vigas microscópicas y, como tales, sus características estructurales dependen de factores tales como el área de la sección transversal, forma y longitud. La forma y el diámetro de la sección transversal de las fibras varían extensamente. El vidrio y el nylon, por ejemplo, son

esencialmente circulares, los sintéticos son ovalados, mientras que otros son irregulares. Las fibras de algodón son tubos redondos, y las de seda son triangulares.

Los diámetros de las fibras se encuentran entre los 0,01 a 0,04 mm. Debido a la sección transversal irregular de muchas fibras, es común especificar el diámetro o el área seccionada transversalmente en términos de la fineza, que se define como una relación peso/longitud.

El límite plástico de las fibras debe ser muy bajo. El módulo de Poisson debe ser similar para que no ocurran esfuerzos laterales inducidos, que pudiera afectar la adherencia entre las superficies en contacto. Las características de las fibras que se tienen en cuenta al elegir las son Relación de Forma L/d (longitud /diámetro medio), Forma y Textura de la superficie, Longitud y Estructura.

La fibra de vidrio es de origen inorgánico (mineral), es el resultado del “enfriado al estado sólido sin que se presente cristalización física como un líquido subenfriado, con estructura amorfa característica de los líquidos” (Toledo y Graindorge, 1993). Se fabrica a partir de sílice (SiO_2), fundida a altas temperaturas con boratos y fosfatos. Si bien es una sustancia amorfa, sus unidades moleculares, aunque dispuestas de manera desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica.

La flexibilidad y la resistencia de las fibras aumentan conforme disminuye el diámetro. La fibra de vidrio contiene óxido de zirconio que le proporciona una excepcional capacidad de resistencia química a medios alcalinos, mayor resistencia a la tracción y alto módulo de elasticidad que caracteriza a la generalidad de las fibras de vidrio. Por otro lado es inalterable a la corrosión, por lo que se convierte en un material noble en aplicaciones hidráulicas. La fibra de vidrio entregará al hormigón características excepcionales de resistencia, siendo posible la producción de piezas más finas más livianos, añadiendo a las ventajas mecánicas las facilidades de transporte y de aplicación.

La industria de la construcción en nuestro país es muy apegada a las tradiciones y, por lo tanto, un poco reacia a innovar. La fibra de vidrio es una tecnología muy eficiente, pero aun subvalorada, porque es considerada muy nueva y quizás poco probada; no así en el extranjero, donde se presenta como una tecnología exitosa en la construcción de hormigones de espesor más fino, especialmente pensado para la producción de paneles de revestimiento, paneles ondulados de cubierta, conductos, canalizaciones, barreras anti-ruido, casetas eléctricas, etc.

Al igual que otras fibras utilizadas en el mercado, la fibra de vidrio otorga grandes beneficios de los cuales podemos citar los más importantes: fuerza mecánica, características eléctricas, incombustibilidad, estabilidad dimensional, compatibilidad con matrices orgánicas, no se pudre, baja conductividad térmica, permeabilidad de dieléctricos y alta resistencia a agentes químicos.

El hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV), es fabricado generalmente por centrales hormigoneras o proyectado. El método elegido se da normalmente por factores tales como requisitos de resistencia, tamaño del molde, especificaciones de los arquitectos, etc. Como regla general, los elementos más grandes, tales como paneles de revestimiento de edificios, "se llenan proyectando", en tanto que los elementos pequeños son manufacturados por "premezclado".

Los elementos fabricados por proyección son generalmente más resistentes que los premezclados. Las razones para esto son: que con el proyectado es posible alcanzar un contenido de la fibra de 5% a 6% mientras que la premezcla se limita a alrededor de 3.0% a 3.5%, y en segundo lugar que el proyectado tiene un contenido de agua más bajo que la premezcla.

Un hormigón sin reforzar es frágil, presentando poca resistencia a tracción comparada con la resistencia a compresión. La razón principal para incorporar fibras en una matriz de cemento es aumentar la resistencia a tracción y la durabilidad, disminuyendo el agrietamiento y deformación del compuesto resultante. Para muchos usos, este mismo objetivo se puede también lograr usando barras que refuerzan o alambres de acero convencionales. Los objetivos que busca lograr el hormigón reforzado con fibra (HRF) son: ser un material de construcción viable y competir económicamente con los sistemas de refuerzos actuales.

HRF es un hormigón o mortero con cemento reforzado con fibras aleatoriamente distribuidas. El uso de fibras naturales en el hormigón precede al advenimiento del hormigón reforzado convencional en contexto histórico. Sin embargo, los aspectos técnicos de los sistemas de HRF siguieron siendo esencialmente subdesarrollados por muchos años. En los últimos 30 años, una cantidad significativa de investigación se ha realizado en el campo de HRF. Muchos compuestos diversos de HRF se comercializan hoy.

El empleo de HRF ha pasado de usos experimentales en pequeña escala, a usos rutinarios de fabricación y del campo de colocación de miles de metros cúbicos cada año en todo el mundo. Esto ha creado la necesidad de re-estudiar y estandarizar métodos y equipos

existentes de ensayo y desarrollar otros nuevos que son indispensables para determinar las propiedades de HRF para que los resultados puedan ser comparados efectivamente.

Hasta el momento, algún progreso sobre la estandarización de métodos de ensayo ha sido hecho en Norteamérica por ASTM y otras organizaciones similares fuera de Norteamérica.

Aunque la mayor parte de los métodos de prueba fueron desarrollados en un comienzo para el hormigón reforzado con fibra de acero, estos son también aplicables a hormigones reforzados con otros tipos de fibra (vidrio, poliméricas, y naturales), excepto cuando se estipula lo contrario.

Los métodos de prueba pueden en algunos casos conducir a dificultades o problemas en la obtención de resultados significativos, debido a que las pruebas fueron desarrolladas en un principio para el hormigón con fibra de acero.

Las propiedades mecánicas del HRFV dependen del contenido de fibra, la razón agua/cemento, la porosidad, el contenido de arena, la orientación de fibra, la longitud de fibra y el curado.

Es importante mencionar que como todo hormigón, el HRFV presenta propiedades y características interesantes tanto en estado fresco como en estado endurecido, es por ello que enunciaremos dichas propiedades y características de acuerdo al estado que presenta el hormigón.

3. Programa experimental

3.1 Metodología

Para lograr los objetivos planteados, se fabricaron mezclas de prueba con distintos porcentajes de adiciones y un hormigón patrón de referencia (sin fibra). Se utilizó fibra de vidrio de 24 mm de largo, en dos dosis, de 11 kg/m³ y 22 kg/m³. Se realizaron tres series de cada dosificación. Además se confeccionó una amasada con microfibras de polipropileno de 19 mm, en dosis de 11 kg/m³, a modo de comparación con el hormigón de fibra de vidrio.

Para las mezclas de pruebas se utilizaron áridos rodados provenientes del Río Maipo. El ajuste de las dosificaciones se realizó de acuerdo al método Faury, modificado por Cemento Polpaico S.A. El asentamiento de cono definido fue de 6.0 cm.

La dosificación base utilizada fue la siguiente:

· Cemento Corriente	350 kg
· Gravilla 10 mm.	824 kg
· Arena Gruesa	1.032 kg
· Agua	171 lt
· Aditivo Plastificante	2.685 kg
· Razón A/C	0.569

Cabe señalar que el largo de fibra es condicionado por el tamaño máximo del árido grueso, que para un refuerzo eficiente no debe sobrepasar los 2/3 de longitud de la fibra (Bravo, 2003).

3.2 Propiedades y características del HRFV en estado fresco

a) Variaciones de volumen

Ya que el agua de amasado en el hormigón tiende a evaporarse si no se mantiene un ambiente saturado de humedad (curado), se produce el secado desde la superficie exterior hacia el interior, lo que se traduce en una contracción de las zonas sometidas a secamiento, en tanto que el resto de la masa permanece invariable. Esto provoca contracciones diferenciales y tensiones de tracción en las capas expuestas a secamientos. Si este proceso se produce muy rápido, sumado a altas temperaturas o a corrientes de viento, se pueden generar grietas aun cuando el hormigón está fresco. Las variaciones volumétricas de este tipo deben ser controladas ya que pueden afectar la durabilidad del hormigón y más aun, pueden llevar a problemas estructurales.

Las tensiones derivadas de las fuerzas externas pueden ser resistidas colocando elementos estructurales que colaboran en las estructuras de hormigón, pavimentos y losas. Sin embargo, históricamente ha sido un problema controlar las tensiones intrínsecas, ocasionadas por el encogimiento dentro del propio hormigón, debido a su variedad y ocurrencia impredecible. Un método de ensayo para evaluar la susceptibilidad a la fisuración de un hormigón en estado fresco es el ensayo de fisuración plástica.

Para simular un ambiente de secado, se utiliza un molde de fisuración, el que se coloca en un túnel de viento a una velocidad de 30 km/hr, por medio de una fuente de aire con controlador.

Cada hora se registra la aparición de posibles fisuras y después de cinco horas de iniciada la experiencia se corta la corriente de aire y se registra el total de fisuras,

midiendo su largo y ancho, ya que éstas se forman dentro de las primeras horas posteriores a la colocación del hormigón (Ver Figuras 1 y 2).



Figura 1. Molde de fisuración

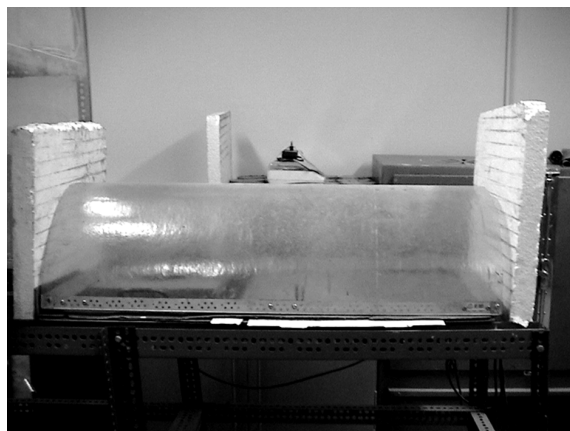


Figura 2. Túnel de viento

b) Propiedades físicas del hormigón

· Trabajabilidad o docilidad

La norma ASTM C 995 define que la trabajabilidad del HRF se debe medir con el método del cono invertido que mide la movilidad o la fluidez del hormigón. Sin embargo, para determinar la trabajabilidad en esta investigación se utilizó el ensayo de asentamiento de cono Abrams (NCh 1019) ya que se definió una docilidad de 6 cm, cumpliendo con los requisitos de la NCh 1019 (Ver Figura 3).



Figura 3. Asentamiento de Cono

Exudación del agua de amasado

Debido a que el hormigón está constituido por materiales de distinta densidad real, tiende a producirse la decantación de los de mayor peso unitario, que son los sólidos, y el ascenso del más liviano, que es el agua. Debido a que este proceso produce efectos desfavorables, debe tomarse en consideración en las pruebas, ya que en obras de edificación, en los puntos de unión de los elementos estructurales, es donde se provoca mayor descenso del material sólido, lo que conlleva la inducción de fisuras.

Para obtener la cantidad de agua exudada, se realizó el ensayo según ASTM C 232, en donde se indica que se debe tapar una muestra de modo que no se produzca evaporación durante tres horas, transcurrido este tiempo se procede a la extracción del agua y se pesa, obteniendo así la cantidad de agua de amasado exudada. (Ver Figura 4)



Figura 4. Exudación

3.3 Propiedades y características del HRF en estado endurecido

a) Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón, siendo también el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad.

Las probetas fueron ensayadas según NCh 1037, una a 7 y dos a 28 días, luego de ser curadas en piscina a una temperatura promedio de 20° C (Ver Figura 5).



Figura 5. Prensa ensayo compresión

b) Tenacidad

Las probetas, que en este caso fueron vigas de 10 x 45 cm, (luz de ensayo de 30 cm) se ensayaron a flexo - tracción y se determinó la tenacidad según ASTM C78 y C1018, que es una medida de la energía que es capaz de absorber un material y equivale al área bajo la curva carga-deflexión, hasta una deflexión especificada.

Al mezclar la fibra en una matriz de hormigón, la curva carga-deformación presenta un incremento en la capacidad de carga. Así mismo, se mejora el post-agrietamiento permitiendo sostener cargas hasta valores altos de deformación, dando como resultado, mayor ductilidad del elemento. En un hormigón sin fibras inicialmente la curva es lineal, presentando un brusco descenso en la capacidad de carga luego de alcanzar su resistencia máxima, fallando súbitamente el material (Ver Figura 6).

La resistencia a la primera fractura caracteriza el comportamiento del HRF hasta el comienzo del fracturamiento de la matriz, mientras que los índices de tenacidad caracterizan la tenacidad posterior hasta las deflexiones especificadas del punto extremo (Ver Figura 6). Los factores de resistencia residual que se derivan directamente de los índices de tenacidad, caracterizan el nivel de resistencia retenido después de la primera fractura, simplemente expresando el promedio de carga post-fractura sobre un intervalo de deflexión específico como un porcentaje de la carga en la primera fractura. La importancia de cada uno depende de la naturaleza de la aplicación propuesta y del nivel de servicio requerido en términos de fractura y deflexión. La tenacidad y la resistencia a primera

fractura se ven influenciadas de diferentes modos por la cantidad y el tipo de fibra contenida en la matriz de hormigón. En algunos casos las fibras pueden incrementar enormemente la tenacidad, los índices de tenacidad y los factores de resistencia residual determinados por este método de ensayo, al tiempo que produce una resistencia a primera fractura sólo levemente mayor que la resistencia a la flexión de la matriz de hormigón simple. En otros casos, las fibras pueden aumentar significativamente la resistencia a primera fractura con incrementos relativamente pequeños en la tenacidad, índices de tenacidad y factores de resistencia residual.

Fueron usados tres índices de tenacidad promedio, cada uno calculado por la cantidad de energía absorbida hasta la deflexión definido para el índice, dividida por la energía absorbida hasta la primera grieta. Ellos fueron:

- Índice de tenacidad I5, que es la energía absorbida hasta 3 veces la deflexión a la primera rotura dividida por la energía absorbida hasta la primera grieta, fluctuando los resultados de 1 (hormigón simple) a 5 (perfecto comportamiento elástico/ plástico).
- Índice de tenacidad I10, que es la energía absorbida hasta 5.5 veces la deflexión a la primera rotura dividida por la energía absorbida hasta la primera grieta, fluctuando los resultados de 1 (hormigón simple) a 10 (perfecto comportamiento elástico/ plástico).
- Índice de tenacidad I20, que es la energía absorbida hasta 10.5 veces la deflexión a la primera rotura dividida por la energía absorbida hasta la primera grieta, fluctuando los resultados de 1 (hormigón simple) a 20 (perfecto comportamiento elástico/ plástico).

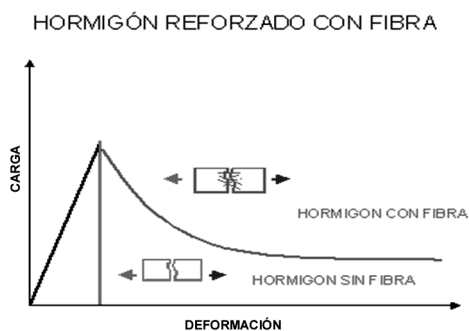


Figura 6. Esquema del comportamiento del hormigón reforzado con y sin fibra frente a la tenacidad

c) Desgaste

El desgaste mecánico se produce por el desplazamiento de materiales sólidos, cuerpos en movimiento tales como medios de transporte (desgaste en pavimentos), o material granular arrastrado por el agua (desgaste en obras hidráulicas), sobre la superficie de un elemento de hormigón.

Al pasar estos materiales sobre el hormigón se desgasta la superficie desprendiendo las partículas que lo componen, acción que por lo general va en aumento pudiendo llegar a afectar el espesor del elemento en cuestión.

El ensayo se realizó según ASTM C 418, el que determina la resistencia a la abrasión del hormigón sometándolo a la acción de un chorro de arena estandarizado. Las probetas cúbicas se ubican dentro de un cajón, luego de ser sumergidas por 24 hrs se coloca un disco protector con un orificio en su zona media, el que permite dejar expuesta una superficie circular de hormigón, que será desgastada por un chorro de arena (en nuestro caso cuarzo) normalizado a una presión de 60 ± 1 (psi).

Luego de ser desgastada la probeta se rellenan las cavidades con plasticina, obteniendo así el volumen desgastado de hormigón (Ver Figura 7).

d) Resistencia al impacto

Se define como la capacidad del hormigón de absorber energía dinámica. Este es uno de los atributos más importante del hormigón reforzado con fibra. El impacto es una forma de medir la degradación del hormigón resultante de una carga puntual, reflejando las características de adherencia de las fibras al mantener unidos los segmentos fracturados de un hormigón originalmente sano.

El ensayo se realizó mediante la prueba de caída de martillo, definida en ACI 544. Consiste en determinar la resistencia al impacto por medio de golpes verificando el número de impactos en que se produce la primera fisura y la rotura completa de la probeta.

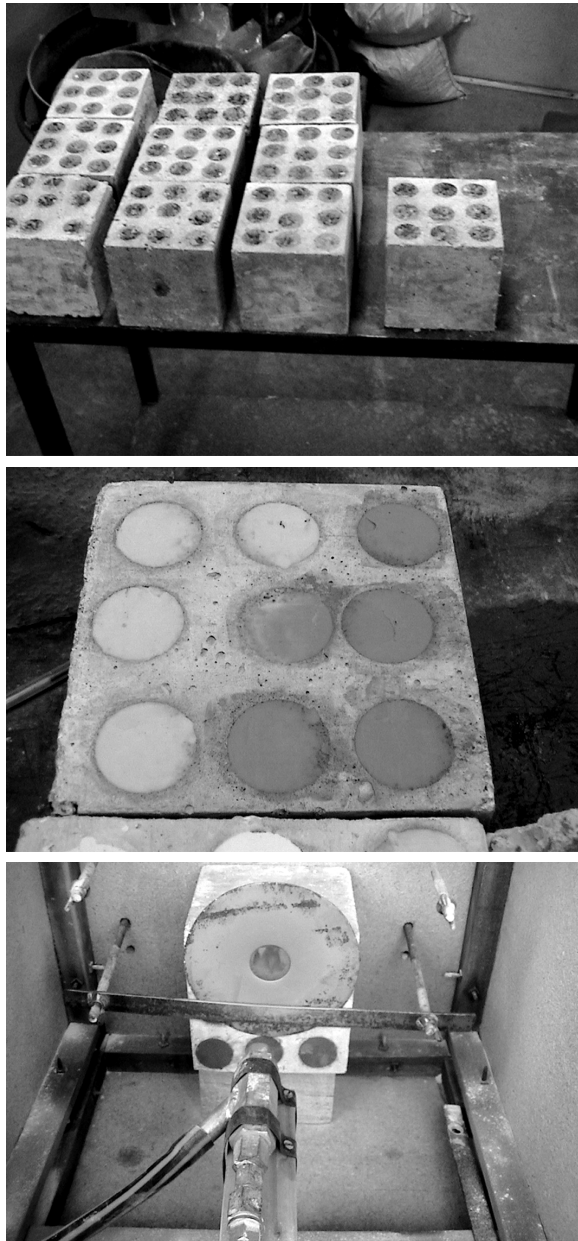


Figura 7. Ensayo de desgaste

4. Resultados

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en la presente investigación, analizando los factores de manera tal de apreciar cuales de ellos presentan mayor relevancia.

Para controlar el comportamiento del hormigón, la docilidad se mide antes y después de incorporar la fibra. Este control se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de docilidad según tipo de hormigón

Hormigón	Promedio cono inicial (cm)	Promedio cono después de la adición (cm)
Patrón	6,6	-
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	6,9	0,8
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	6,7	0,7
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	7,0	0,0

En los hormigones reforzados con fibra se observa una disminución importante de la trabajabilidad, siendo mayor la disminución cuando se usa fibra de polipropileno. Este comportamiento se debe a que las fibras forman mallas dentro de la matriz de hormigón, reduciendo el flujo normal de la pasta porque el agua es retenida por estas mallas.

Se puede entonces observar que sería mejor trabajar este tipo de hormigón con un asentamiento más alto, o con dosis de fibra menores, para lograr una mejor trabajabilidad del material compuesto.

En relación a la fisuración, el HRFV tuvo tan buen comportamiento como el con fibra de polipropileno que se tomó como base de comparación. Los resultados de las mediciones se anotan en la Tabla 2 y Figura 8.

Tabla 2. Resultados total área fisurada según tipo de hormigón

Hormigón	Total Área Fisurada (mm ²)	Total Área Fisurada Relativa (%)
Patrón	94,83	100
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	0,00	0
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	0,00	0
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	0,00	0

Ensayo de Fisuración

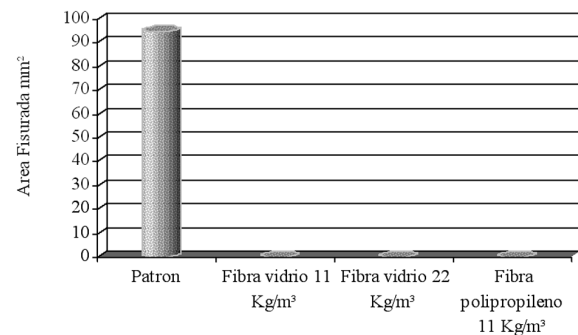


Figura 8. Ensayo fisuración

Con respecto a la exudación que experimentan los hormigones los resultados obtenidos arrojan datos interesantes: el patrón presenta una exudación bastante

alta en relación a un hormigón con fibra. El HRFV presenta prácticamente menos de la mitad de agua exudada que la matriz sin adición, mientras que el hormigón con fibra de polipropileno usado de comparación, en igual dosis que la de vidrio, presenta exudación cero (Ver Tabla 3 y Figura. 9). Por lo notado, la fibra de polipropileno es más adecuada para el control de la exudación; la fibra de vidrio ayuda a controlar este problema.

Tabla 3. Resultados de Exudación según tipo de hormigón

Hormigón	Promedio Agua Exudada (%)	Agua Exudada Relativa (%)
Patrón	3,53	100
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	1,58	47
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	1,70	47
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	0,00	0

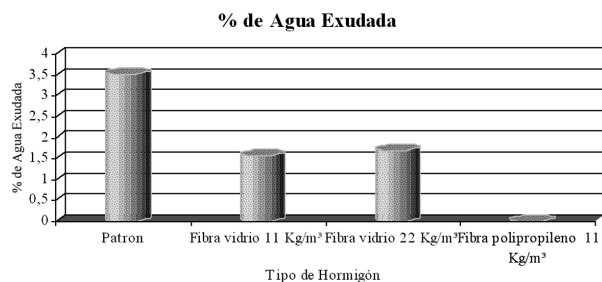


Figura 9. Porcentaje (%) agua exudada

Si ahora se toma la cantidad de agua exudada y se analiza respecto a una superficie expuesta de hormigón, se nota que el volumen de agua exudada por superficie en el HRFV se reduce a la mitad. Podemos pensar entonces que en una determinada superficie de hormigón con estos índices no presentará fisuras, ya que la fibra no sólo trabaja como enlace, sino que también controla la pérdida de agua.

La disminución de agua exudada es producto de la alta cantidad de fibra adicionada en el hormigón, ya que el entramado que generan las fibras en la matriz impide el ascenso del agua a la superficie. En la Tabla 4 se anotan los resultados del ensayo.

Tabla 4. Resultados del volumen de agua exudada por superficie según tipo de hormigón

Hormigón	Promedio Volumen de Agua Exudada (ml/cm ²)	Agua Exudada Relativa (%)
Patrón	0,0372	100
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	0,0173	47
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	0,0175	47
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	0,0000	0

Se puede observar que la resistencia a compresión se ve levemente favorecida por la fibra de vidrio, mientras que con polipropileno disminuye, siendo que la dosis utilizada en ambas mezclas es la misma. Los resultados a 7 y 28 días se anotan en la Tabla 5 y Figura 10.

Tabla 5. Resultados de resistencia a la compresión a 7 y 28 días, cubos de 15 cm

Hormigón	Resistencia Promedio a 7 días (MPa)	Resistencia Promedio a 28 días (MPa)
Patrón	22,8	35,3
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	24,9	36,1
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	19,1	30,9
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	22,2	31,5

Ensayo de Resistencia a Compresión

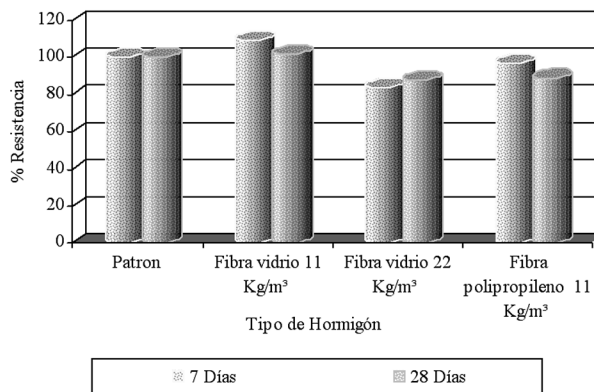


Figura 10. Ensayo resistencia a compresión a 7 y 28 días

El ensayo de tenacidad resulta bastante interesante, ya que a pesar de que el hormigón con fibra de polipropileno presentó un mayor índice de tenacidad y deformación, la resistencia a tracción a la primera fisura fue notablemente menor que la del hormigón con fibra de vidrio a la edad de 7 días. Dicho comportamiento tiende a nivelarse a los 28 días, sólo en relación a la resistencia alcanzada.

Los índices de tenacidad obtenidos nos dan a entender que los hormigones con fibra de vidrio presentan un comportamiento lineal elástico bajo, a diferencia de la fibra de polipropileno que es más bien medio. Estos datos podemos observarlos en las Tablas 6 y 7. Las Figuras 11 y 12 muestran las gráficas más representativas del ensayo de tenacidad.

Tabla 6. Resultados resistencia a la flexotracción a 7 y 28 días según tipo de hormigón

Hormigón	Promedio Deformación 7 días (mm)	Promedio Resistencia 7 días (MPa)	Promedio Deformación 28 días (mm)	Promedio Resistencia 28 días (MPa)
Patrón	0,063	3,64	0,0232	4,09
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	0,090	3,84	0,0407	4,40
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	0,074	3,32	0,0427	4,14
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	0,153	1,99	0,1190	3,38

Tabla 7. Resultados ensayo de tenacidad 1ª fisura e índices de tenacidad a 7 y 28 días según tipo de hormigón

Hormigón	Tenacidad 1ª fisura 7 días	Índice de Tenacidad			Tenacidad 1ª fisura 28 días	Índice de Tenacidad		
	(N/cm)	I5	I10	I20	(N/cm)	I5	I10	I20
Patrón	77	0,40	0	0	31	1,3	0,0	0,0
Fibra vidrio 11 (Kg/m ³)	114	0,89	0	0	59	1,4	0,4	0,4
Fibra vidrio 22 (Kg/m ³)	83	0,89	0	0	60	1,8	0,8	0,9
Fibra polipropileno 11 (Kg/m ³)	101	4,32	7,93	13,63	132	4,6	8,3	14,0

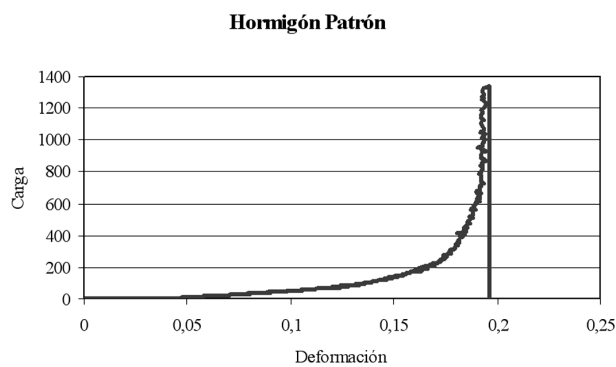


Figura 11. Ensayo de tenacidad del hormigón patrón a 28 días

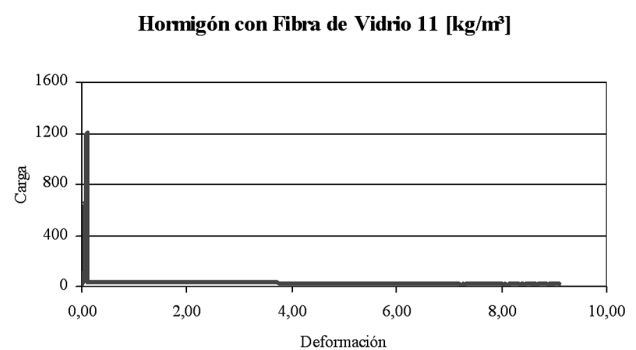


Figura 12. Ensayo de tenacidad del hormigón con fibra de vidrio 11 (kg/m³) a 28 días

Los datos obtenidos en el ensayo de impacto muestran el buen desempeño de la fibra de vidrio frente a esta propiedad del hormigón (ver Tabla 8 y Figura. 13).

El número de muestras ensayadas se obtiene de

12 cilindros confeccionados por amasada fabricada los cuales fueron cortados, obteniéndose de cada uno de ellos 4 cortes de 2 1/2" de espesor, con lo que se tiene un total de 48 muestras.

Tabla 8. Resultados ensayo impacto según tipo de hormigón

Hormigón	Primera fisura		Rotura completa	
	Promedio	Relativa (%)	Promedio	Relativa (%)
Patrón	65	100	66	100
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	85	131	88	133
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	57	88	60	91
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	36	55	47	71

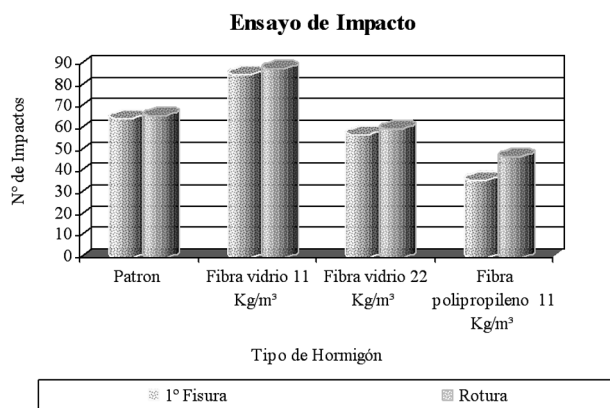


Figura 13. Ensayo de impacto a 28 días

Los resultados para el ensayo de desgaste por arenado, se presentan en la Tabla 9 y en la Figura 14. El mejor resultado se obtuvo con Fibra de Vidrio en dosis de 11 (kg/m³). Para otra dosis u otra fibra la resistencia obtenida fue inferior al patrón. Se efectuó una corrección indicada por el método del desgaste respecto de la cantidad de cuarzo utilizada para dicho ensayo ya que la norma estipula que el gasto medio de este material debe ser de 600 (gr/min). Cada resultado corresponde al promedio de tres cubos ensayados para cada mezcla. La variación entre resultados individuales fue bajo de aproximadamente 0.02 (cm³/cm²).

Tabla 9. Resultados ensayo desgaste según tipo de hormigón

Hormigón	Desgaste Promedio Corregido (cm ³ /cm ²)	Desgaste Relativo (%)
Patrón	0.26	100
Fibra de vidrio 11 (kg/m ³)	0.24	92
Fibra de vidrio 22 (kg/m ³)	0.28	108
Fibra polipropileno 11 (kg/m ³)	0.27	105

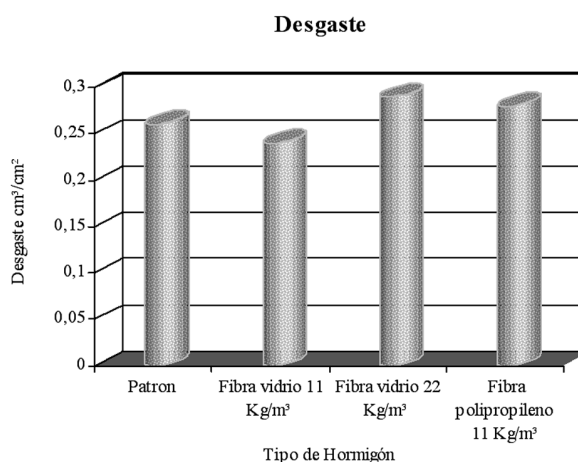


Figura 14. Ensayo de desgaste a 28 días

5. Conclusiones

- La trabajabilidad disminuye al incorporar fibra, lo que concuerda con la bibliografía consultada.
- Los hormigones fabricados con la fibras estudiadas no presentan figuraciones plásticas.
- Al medir la exudación, se observa una disminución del agua exudada en los hormigones con fibra, lo que se debe a que la fibra forma una malla dentro de la mezcla, uniendo los materiales, impidiendo así el descenso de las partículas más gruesas y, por lo tanto, la ascensión de las partículas más finas, logrando con esto menor exudación de agua y finos.
- Con Fibra de Polipropileno y con alta dosis de Fibra de Vidrio la resistencia a compresión disminuye significativamente (alrededor del 11%).
- La resistencia a la flexión crece con una mayor proporción de fibra de vidrio para dosis entre 10 y 22 (kg/m³). En cambio, la fibra de polipropileno, a iguales dosis, disminuye la resistencia a flexión.
- La fibra de vidrio en dosis de 11 y 22 (kg/m³) son menos efectivas en alcanzar la tenacidad, a diferencia de la fibra de polipropileno que sobrepasa los rangos citados en dicho estudio, con una dosis de 11 (kg/m³).
- Los resultados del ensayo de impacto indican que el porcentaje que presentó mejor desempeño es 11(kg/m³) de fibra de vidrio, tanto a la primera fisura como a la rotura. También se llegó a la conclusión que los hormigones con fibra presentan una diferencia en el número de impactos entre la ocurrencia de la primera fisura y la rotura. Esto se explica por el hecho de que una vez ocurrida la primera fisura, las fibras absorben gran cantidad de energía antes de que se produzca la desintegración total de la probeta.
- El ensayo de desgaste nos entrega como conclusión que a mayor porcentaje de fibra de vidrio mayor es el desgaste del hormigón.
- En resumen, dado que los hormigones reforzados con fibra de vidrio, muestran un beneficio, es necesario seguir investigando el tema de manera de optimizar su uso y encontrar nuevas aplicaciones.

6. Agradecimientos

Queremos agradecer a todas las personas que hicieron posible la realización de este estudio, tanto en su aporte moral como material.

Al Laboratorio del Departamento de Física y a la Coordinación de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad Tecnológica Metropolitana por facilitarnos las fuentes de aire con controlador utilizadas en la experiencia.

Queremos agradecer a la Red Técnica de Cementos Polpaico S.A. por el financiamiento y facilitar las dependencias del laboratorio, junto con su personal, haciendo posible el desarrollo de esta investigación, en especial al Sr. Miguel González y el Sr. Patricio Downey por su apoyo incondicional.

7. Referencias

- American Concrete Institute (1999), ACI 544.2R, "Manual Of Concrete Practice", Part 5-198 (1)
- American Concrete Institute (1995), ACI, Testing of Fiber Reinforced Concrete".
- American Society for Testing and Materials (2002), ASTM C78 "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete" (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- American Society for Testing and Materials (1997), ASTM C1018, "Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete" (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- American Society for Testing and Materials (1997), C1116, "Standard Specification for Fiber - Reinforced Concrete and Shotcrete".
- BIT (2004), Aston University de Inglaterra, "Hormigones con fibra: es más resistente", BIT, N° 34, pp.50 - 52. (6)
- Bentur A. y Mindess S. (1990), "Fibre Reinforced Cementitious Composites", Elsevier Applied Science, USA.
- Brady G. S. y Clauser H. R. (1991), "Materials Handbook", McGraw-Hill, USA. (8)
- Bravo J. (2003), "Comportamiento Mecánico del Hormigón reforzado con Fibra de Vidrio: Influencia del Porcentaje de Fibra Adicionado", Memoria de Ingeniería, Universidad de Chile, Santiago, Chile. (9)
- Colegio de Constructores Civiles e Ingenieros Constructores (2002), "El Auge del Hormigón", Construcción, N° 13, pp. 32-37. (10)
- Escorza E. y Vergara J. (2002), "Hormigón Reforzado con Fibras e Polipropileno: Determinación de la Fisurabilidad Plástica", Memoria para Optar al Título de Ingeniero Constructor, Facultad Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial Escuela de Construcción Civil, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile. (11)
- Neville A. (1975), "Rilem Symposium 1975: Fibre Reinforced Cement and Concrete", The Construction Press Ltd, Inglaterra. (12)



- Nevill A. M. y Brook J. J. (1998), "Tecnología del Concreto", Trillas, México. (13)
- Olivares O. F. (1995), "Manual de Diseño en Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio" Santiago, Chile, UTEM, pp. 16. (14)
- Portland Cement Association (1991), "Fiber Reinforced Concrete", PCA, USA. (15)
- Toledo J. C. y Graindorge V. (1993), "Propiedades del Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno", Memoria para Optar al Título de Constructor Civil, Facultad Ingeniería Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. (16)

