	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(92)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>MANUEL FERNANDO PEREZ ARIAS ALBERTO JOSE DAVILA VASQUEZ</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIAS</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>TECNOLOGIA EN OBRAS CIVILES</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>EDSON ARATES DIAZ BUSTO</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>APLICACIÓN DEL USO DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL USO DEL CONCRETO</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTA INVESTIGACIÓN CONTRIBUIRÁ AL MEJORAMIENTOS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO, ASI COMO TAMBIÉN ES UN APORTE AL ÁREA DE OBRAS CIVILES DESDE EL PUNTO DE VISTA CONSTRUCTIVO POR EL USO QUE SE LE PUEDE DAR AL CONCRETO CON ESTA FIBRA. EN LO ANTES MENCIONADO ES UNA NUEVA FORMA DE TRABAJAR CON LA FIBRA DE POLIPROPILENO DEBIDO A QUE ACTUALMENTE EN COLOMBIA LOS MATERIALES DEBEN SER ADQUIRIDOS A ALTOS COSTOS.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 92</b>	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:</b>	<b>CD-ROM: 01</b>



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL OCAÑA N. DE S.  
Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088  
[www.ufpso.edu.co](http://www.ufpso.edu.co)



**APLICACIÓN DEL USO DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL USO DEL  
CONCRETO**

**MANUEL FERNANDO PEREZ ARIAS**

**ALBERTO JOSE DAVILA VASQUEZ**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de tecnólogo en Obras Civiles

**DIRECTOR**

**EDSON ARATES DIAZ BUSTO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**TECNOLOGIA EN OBRAS CIVILES**

**Ocaña, Colombia**

**Junio, 2017**

## Índice

Capítulo 1. Aplicación del uso de fibra de polipropileno en el uso del concreto	6
1.1 Problema del problema	6
1.3 Formulación del Problema	7
1.4 Objetivo	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Justificación	8
Capítulo 2. Marco Referencial	10
2.1 Marco histórico	10
2.2 Marco Teórico	10
2.3 Marco Conceptual	29
2.4 Marco Legal	32
Capítulo 3. Diseño metodológico	35
3.1 Tipo de Investigación.	35
3.1.2 Población.	35
3.2 Recolección de Información.	35
3.3. Análisis de la información	36
Capítulo 4. Administración del proyecto	37
4.1 Recursos humanos	37
4.2 Recursos institucionales	38
4.3 Financieros	39
Capítulo 5. Presentación de Resultados	40
5.1 Primer Objetivo Específico	40
5.2 Segundo Objetivo Específico	57
5.3 Tercer Objetivo Específico	66
Conclusiones	86
Recomendaciones	88
Referencias	90
Apéndice	91

## **Capítulo 1. Aplicación del uso de fibra de polipropileno en el uso del concreto**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Actualmente, el concreto armado es uno de los materiales más utilizados en el ámbito mundial para la construcción, lo que conlleva a la evolución de las exigencias para cada uso del mismo. El uso de gran cantidad de polipropileno en la mezcla de concreto se ha utilizado para modernizar sus propiedades y comportamiento

El desarrollo constante de tecnologías que buscan satisfacer las propiedades del concreto, como lo son la implementación o el uso de polipropileno ha generado la necesidad de indagar e investigar acerca de este tema en Colombia a través de los centros de investigación, universidades, repositorios institucionales y de aquellas empresas que comercializan productos.

Como bien se sabe los polímeros según su clasificación, los productos sintéticos y naturales en aplicación al concreto, desplaza ciertas cantidades bien sea de agregados finos o agregados gruesos que pueden verse reflejados desde la manejabilidad del concreto hasta un cambio a favor o en contra de las propiedades mecánicas como lo son la durabilidad y resistencia entre otras evitando o controlando las patologías que se podrían presentar en la mezcla de concreto.

El material antes mencionado, es uno de los principales materiales, utilizados en construcción de obras civiles, es capaz de resistir esfuerzos a compresión y atracción, hoy en día

se han presentado diferentes adiciones para la mezcla del concreto, con el objeto de mejorar el comportamiento del mismo y bajar costos, tal es el caso de la fibra de polipropileno, estos agregados son importantes debido a que aportan beneficios a la mezcla, como lo es evitar la aparición de grietas o fisuras. Por tal razón, este proyecto se determinara mediante una investigación de resultados sobre el aumento de polipropileno en el concreto.

## **1.2 Formulación Del Problema**

¿Qué normas, procesos, procedimientos, tecnologías se deben considerar para la determinación del uso de fibra de polipropileno en el uso del concreto?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Investigar el uso de fibra de polipropileno para el uso concreto en las construcciones en Ocaña norte de Santander

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

Recopilar información sobre como son los usos de polipropilenos indicados para la protección de elementos estructurales de concreto en el país.

Determinar cuáles son las propiedades de estos polipropilenos y como son sus características para el concreto de acuerdo con las Investigaciones existentes.

Establecer las características que se debe tener en cuenta para realizar una mezcla con las fibras de polipropileno como un método de elaboración del concreto

#### **1.4 Justificación**

El desarrollo de la construcción durante el siglo XX ha generado nuevas técnicas y nuevos materiales que han ido remplazando los tradicionales. Es indudable que la industria ha evolucionado y es por eso que materiales como la piedra y la madera han dejado de ser materiales de primer orden dándole paso a materiales como el concreto y el acero.

Es por eso que la importancia del uso de concreto ha exigido al desarrollo tecnológico de alternativas que puedan junto con el concreto dar mayores logros y beneficios para el campo de la construcción.

La utilización de fibras dentro del concreto no es una novedad, al contrario se viene utilizando desde el antiguo Egipto cuando estos introducían paja al macizo arcilloso para darle mayor resistencia a los ladrillos que realizaban. También se observaba que se realizaban revoques reforzados con crin de caballo o paja, paneles de yeso reforzados con trenzado de bambú, como otros casos en particular.

En las décadas de los 50's y 60's se vieron los mayores adelantos en los estudios de las fibras, y hoy en día son de gran aplicabilidad para diferentes tipos de proyectos que se adelantan tanto en el país como en el mundo.

Actualmente existen un sin número de tipos de fibras, las cuales están siendo estudiadas; tal es el caso de las Macrofibras de polipropileno, las cuales tienen importantes aspectos a destacar como por ejemplo el ser más económicas con respecto a otras fibras como las de acero; adicionalmente son químicamente inertes y muy estables en el medio alcalino que supone el concreto, presentando una superficie hidrófoba, es decir que no absorbe agua durante la mezcla ni el posterior fraguado. [Alvarez, 2009].

Adicionalmente con la fibra de polipropileno se evitan agrietamientos del concreto aportando un esfuerzo secundario a la tensión y otras fuerzas internas

Esta investigación contribuirá al mejoramientos de las propiedades del concreto, así como también es un aporte al área de obras civiles desde el punto de vista constructivo por el uso que se le puede dar al concreto con esta fibra. En lo antes mencionado es una nueva forma de trabajar con la fibra de polipropileno debido a que actualmente en Colombia los materiales deben ser adquiridos a altos costos, a comparación de los materiales para la construcción con la fibra polipropileno es fácil la adquisición y a un bajo costo lo cual es una gran ventaja al momento de realizar una obra o proyecto porque permite aminorar costos de construcción.

## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1 Marco histórico

El uso de fibras en la construcción no es un concepto nuevo, innumerables evidencias arqueológicas dan fe de que en Babilonia y Egipto las fibras vegetales se combinaron con mezclas de arcilla para fabricar elementos estructurales. Con el paso del tiempo esta técnica cayó en desuso, hasta que ya muy entrado el siglo XX se retomó, primero con un enfoque empírico y más tarde bajo la lente de la investigación. (Mendoza, 2012)

Las fibras se han utilizado como refuerzo desde la antigüedad. Históricamente, los pelos de caballo se utilizaban en el mortero y la paja en ladrillos de barro. A principios de 1900, las fibras de asbesto (amianto) se utilizaban en el concreto, y, en la década de 1950 surge el concepto de materiales compuestos y el concreto reforzado con fibras fue uno de los temas de interés. Había una necesidad de encontrar un reemplazo para el amianto utilizado en materiales de construcción de concreto y otros, una vez que los riesgos para la salud asociados con la sustancia fueron descubiertos. Durante años hubo un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que trataran de copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal fue la fabricación de tejidos. (Franchesco, 2015)

Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. No obstante, las fibras metálicas sí han tenido una mayor presencia a lo largo de los años como adición a materiales de construcción.



Desde 1847 se inició con un estudio técnico, sobre la adición de fibras de hierro, yute y otras fibras naturales al concreto. El estudio se desarrolló lentamente y fue hasta 1960 que se comenzó a experimentar con el uso de fibras metálicas y fibra de vidrio. La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos se realizó en California en 1874 por A. Berard. Consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. A partir de ese momento han aparecido numerosas patentes. En 1911 Graham utilizó por primera vez estas fibras para incrementar la resistencia y estabilidad del concreto reforzado convencional. Cabe destacar la patente de G. Martin en 1927, en California también, que describe la adición de alambres de acero rizados en el concreto empleado en tuberías. Con el paso de los años, la forma de las fibras se va perfeccionando y en las patentes se emplean parámetros muy similares a los actuales para fibras de acero. (Medina, 2013)

**2.1.1 Antecedentes a nivel internacional.** Desde la antigüedad el hombre ha buscado un espacio donde vivir, llegando siempre a la búsqueda de mejores alternativas para tener comodidad, seguridad y funcionalidad en cada una de las estructuras, garantizando una mejor calidad de vida a los integrantes de su familia. Es así como el hombre ha hecho uso de los recursos que le brinda la naturaleza para satisfacer esa necesidad, consiguiendo día tras día avanzar en las técnicas empleadas para la construcción. Durante las tres últimas décadas de investigaciones y los trabajos desarrollados, junto con un amplio rango de aplicaciones prácticas, se ha confirmado que los compuestos de cemento con fibra son fiables y eficientes y que pueden ser materiales económicos de construcción cuando se usan inteligentemente. Las características de fragilidad del concreto simple, lo limitan a ser utilizado en los casos en donde trabaje a compresión. Estas deficiencias se pueden reducir incorporando al concreto fibras según (Ávila,

Olague, Almeraya, Gaona, y Martínez., 2000) quienes afirman que después de usar fibras como alambre en el concreto tradicional, El esfuerzo de compresión para el concreto reforzado con fibras de acero se incrementó hasta un 24%. ; El módulo de elasticidad, aumentó de 2 a 3 veces más que el concreto simple y el módulo de rotura no se incrementó considerablemente.

**2.1.2 Antecedentes a nivel nacional.** De esta manera, como lo afirma (Gutiérrez de López, L., 2003) los orígenes de concreto se remontan a dos siglos A. de C., en Roma, cuando utilizaron mezclas de caliza calcinada, tobas volcánicas y piedras, para construir algunas de las estructuras que hoy todavía subsisten. En el siglo 7 de nuestra era, con la caída del Imperio Romano se olvidó su uso. En el siglo XVIII es redescubierto por los ingleses, cuando en 1756, John Smeaton lo utilizó para la reconstrucción del Faro de Edystone, en la costa sur de Inglaterra, siguiendo en la historia, en 1817, Vicat, presentó por primera vez el procedimiento de fabricación del cemento, que en términos generales se sigue utilizando hoy día.

Sin embargo, fue Joseph Aspdin, quien, en 1824, obtuvo la patente para fabricarlo, además, el prototipo del cemento moderno fue producido en 1845 por Isaac Johnson, quien por primera vez utilizó una temperatura suficientemente elevada, para formar clinker de la arcilla y la piedra caliza, utilizadas, como materias primas. En este mismo año, Lambot, comenzó a construir en el Sur de Francia, sustancias en que combinaba el concreto y el acero, naciendo así el concreto reforzado. Como ya se ha mencionado, el concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, pero para su fabricación se requiere de recursos naturales, lo que afecta de forma notoria el medio ambiente, por esta razón el hombre ha creado otras alternativas y a nivel científico se han desarrollado significativos estudios que demuestran que es viable reemplazar

proporciones de material pétreo por otro tipo de material: residuos inertes agrícolas o industriales como lo anuncia (Serrano, Pérez, Barajas, y Oquendo, 2012).

**2.1.3 Antecedentes a nivel local.** Como única investigación relacionada con la inclusión de algún componente del agregado para un concreto encontramos a Duran Herrera, N.P., Amado Velásquez, N., (2016), titulado Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar de la Universidad francisco de paula Santander, Ocaña-Colombia. 16 Esta proyecto de grado contiene en su resumen que se estudió la resistencia a la compresión de mezclas de concreto, sustituyendo el 5%, 10%, 15% y 20% de cemento por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar; se clasificaron las cenizas ,posteriormente se determinó la resistencia de las muestras a edades de 7, 14 y 28 días. en cuanto a los resultados, se obtuvo como porcentaje óptimo de adición el 5% para ambas cenizas. Se concluyó también que, la preparación de concreto utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar y cenizas volantes (en el porcentaje óptimo encontrado), representa una economía del orden del 0,71% y 0,68%, respectivamente, por metro cubico de concreto; para un 10% de cenizas bagazo de caña y cenizas volantes, representa una economía del orden de 1,41% y 1,36%, respectivamente, lo cual representa un beneficio adicional al ambiental

## **2.2 Marco teórico**

De acuerdo con la definición del ACI-American Concrete Institute, el hormigón reforzado con fibras es un hormigón hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo áridos finos, o

finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas (American Concrete Institute, 1996), el cemento hidráulico se obtiene de la pulverización del clínker con la adición de una o más formas de sulfato de calcio, cuyas propiedades deben estar en concordancia con las normas ASTM C 150 (ASTM, 1998); los agregados (grueso y finos) de acuerdo a sus propiedades afectarán, en estado fresco la adherencia al cemento y trabajabilidad de la mezcla, y en estado duro su durabilidad y resistencia. (Perez, 2014)

En las últimas cuatro décadas se han realizado estudios relacionados con la incorporación de polímeros al concreto, en forma de fibras sintéticas o reciclables, para entender su comportamiento en las estructuras. Actualmente las fibras sintéticas presentan grandes ventajas desde el punto de vista tecnológico por cuanto tienen un elevado módulo de elasticidad, una alta resistencia a tracción (400-900 MPa) y poco peso (900-1400 kg/m<sup>3</sup>) y su principal aplicación en el campo de los materiales de construcción es el control de la fisuración en hormigones y morteros, en algunos casos también se han empleado en el reforzamiento de concretos frente a la acción de impactos (Álvarez, 2009).

La incorporación de fibras al hormigón mejora la respuesta frente a la fisuración y reduce su fragilidad, al mismo tiempo que gana tenacidad, resultando adecuado para sobrellevar acciones dinámicas o prevenir situaciones donde se requiera el control de los procesos de fisuración. El incremento de resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y reducción de la permeabilidad, contribuyen a una mayor duración del hormigón beneficiando a largo plazo los costos asociados por mantenimiento (Álvarez, 2009).

El concreto modificado con polímeros (PMC), a pesar de su alto costo (por encima de los US \$200/m<sup>3</sup>), puede justificarse utilizándose en estructuras marinas, puesto que por su alta impermeabilidad, reduce la absorción del agua en el concreto, además, no sólo se limita a estructuras marinas sino también para ambientes donde haya corrosión, abrasión y ciclos de hielo y deshielo (Gerwicfc, 1978). Cuando se trabaja con adición del polímero Butadieno-Estireno en el concreto, se mejora la resistencia química del concreto y la trabajabilidad con una relación agua-cemento baja, lo cual contribuye a un aumento en la resistencia, durabilidad y a la vez garantiza menores costos (Kuhlman, 1991) citado por (Kardon, 1997).

La modificación del concreto con polímeros afecta su trabajabilidad en estado fresco, reducen la segregación, actúan como reductores de agua e incrementan significativamente el asentamiento (Chandra & Ohama, 1994; Su, 1995). Uno de los problemas con el uso de los polímeros en el concreto es su impermeabilidad, aunque reduce la presencia de soluciones dañinas en los poros del concreto, puede traer como consecuencia la formación de células de concentración y con ella la corrosión del acero (Cusson y Mailvaganam, 1996) citado por (Kardon, 1997).

Más recientemente, se realizó un estudio con la adición de fibras plásticas (polipropileno) en el pavimento de concreto, utilizando fibras de polipropileno virgen, de 19 mm de longitud, distribuidas uniformemente en la mezcla de concreto en un grado de dosificación de 900g por metro cúbico, aproximadamente un volumen de fibra de 0.1%, para ello se realizaron probetas cilíndricas de 15x30 cm para los ensayos de resistencia compresión, módulo estático, tracción

por compresión diametral y vigas de 10x10x30cm para los ensayos de flexión y tenacidad, a edades de 3, 7 y 28 días.

Con la adición de fibras se aumentó el asentamiento y se produjo una disminución del peso unitario y el porcentaje de aire incorporado respecto del hormigón sin fibras. Asimismo no se encontraron fisuras por retracción y los valores promedio de la resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días del hormigón con fibras fueron mayores que los obtenidos para esas mismas edades de ensayo en el hormigón sin fibras.

De igual forma, los valores del módulo de rotura a flexión y tenacidad para el hormigón con fibras resultaron mayores que los obtenidos en el hormigón sin fibras para todas las edades de ensayo, de esta manera se obtuvo una mejor trabajabilidad del concreto fresco y se favoreció el comportamiento del pavimento a las sollicitaciones dinámicas del tránsito, aumentando su vida útil para una misma capacidad de tránsito (Barreda, et al., 2000)

En las propiedades mecánicas que aportan las fibras de polipropileno al hormigón, se observa un notable aumento en su resistencia a compresión, tracción indirecta y flexo tracción, con lo cual se mejora la prolongación de las fisuras presentes en el concreto y se aumenta la energía de fractura debido al efecto cosido o costura (distribución uniforme) así llamado por el autor, que producen las fibras en el concreto, produciendo mayor ductilidad sobre todo con fibras de baja tenacidad y mayor elongación (F. Medina & Cifuentes, 2007).

De acuerdo con otras investigaciones (Álvarez, 2009), empleando macro fibras de polipropileno de longitud 55 mm y 40 mm con diámetro de 0.80 mm y 0.44 mm en dosificaciones de 2.28 kg/m<sup>3</sup> y 4.55 kg/m<sup>3</sup> , ensayadas en losas de hormigón de 3x1x0.2 m, se demostró la poca influencia que tienen las fibras en el hormigón, no obstante, la contribución de las fibras en una cuantía de 4,55kg/m<sup>3</sup> y 2,28kg/m<sup>3</sup> representa un aumento respecto al hormigón sin fibras de un 45,5% y 33% para resistencia a compresión, respectivamente. En el mismo sentido, la contribución de las fibras en una cuantía de 4,55kg/m<sup>3</sup> representa un aumento respecto al hormigón sin fibras de 40% para flexotracción, sin embargo, para el mismo tipo de fibra, pero en una dosificación menor (2,28kg/m<sup>3</sup> ), se apreció que la adición de fibras apenas contribuye a mejorar dicha resistencia.

Beltrán Luis (1986) en su tesis de Grado “Hormigón reforzado con fibras de polipropileno”, menciona que “el hormigón reforzado con fibras ha sido utilizado por diversas instituciones ecuatorianas, tanto públicas como privadas. Un ejemplo relevante de esto son las investigaciones realizadas por el entonces Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL, sobre hormigón con la incorporación de fibras de acero, como una posible alternativa de utilización en el desagüe de fondo de la presa, así como también en el recubrimiento de los túneles con fibras en el acceso a la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Agoyán, en la provincia de Tungurahua, en el año de 1985.”

En la elaboración de los pavimentos es importante la calidad de los materiales a utilizar para que, de esta manera, se garantice una buena resistencia y durabilidad. De igual manera, entre los factores que afectan la fatiga en el concreto hidráulico se encuentra el número de

aplicaciones de carga, la resistencia y módulo de ruptura, el espesor de la losa de concreto, el espaciado entre juntas transversales, apoyo en el borde de las losas, apoyo de la Subrasante, aditivos y el tiempo de curado y edad del concreto (Anguas, Gómez, & Sesma, 2002).

Otros autores utilizan ciertos métodos para la determinación del límite de fatiga (Thomas, Carrascal, Setián, & Polanco, 2009), dentro de los cuales se encuentra el método de Locati y el método de Staircase, cada uno descritos a continuación:

Método de Locati: requiere la aplicación de trenes de ondas de carga, de compresión en este caso, de amplitud constante durante un número determinado de ciclos, transcurridos los cuales se incrementa la amplitud en una cantidad preestablecida conservando el resto de parámetros, dicho procedimiento se repite hasta que se produzca la rotura del concreto. Ésta metodología permite aproximar el intervalo de cargas donde se sitúa el límite de fatiga del hormigón estudiado, utilizando una única probeta, para ello, se fija el valor de la carga correspondiente al límite inferior y se varía, escalonadamente, el límite superior del intervalo de carga y en cada escalón de carga, se aplica un número estipulado de ciclos de fatiga.

Método de Staircase: consiste en realizar una fatiga monótona con los parámetros del escalón de rotura, aplicando el número de ciclos acordado, luego se repite el ensayo sobre otra probeta con otro nivel tensional. El segundo intervalo de ensayo estará determinado por el resultado del primero, si la primera probeta supera los N ciclos sin romper, se pasará a un intervalo superior con un aumento  $\delta$  del valor superior de carga, manteniendo invariable la carga inferior. Otro modelo utilizado con frecuencia por algunos autores (J Roesler & Rao, 2005), es el



de Miner para predecir los daños por fatiga, el cual supone que los daños se acumulan linealmente en una base empírica y cuando llega a la unidad indica que los materiales deben fracturarse.

**Importancia de la investigación.** El hormigón es uno de los materiales de construcción artificiales más antiguos que se conocen. Ya los romanos empleaban un hormigón a base de cal y puzolanas para realizar sus construcciones, muchos de cuyos restos han llegado hasta nuestros días permaneciendo durante más de dos mil años expuestas al ataque de los agentes ambientales . En las últimas décadas se ha producido un gran avance en la industria de la construcción, no sólo gracias a las técnicas de diseño y de cálculo, sino también a la tecnología del hormigón como material.

La industria de la construcción en nuestro país, tiene en el hormigón, a uno de sus materiales importantes para las consideraciones del diseño y costo de las obras que se proyectan y ejecutan. Es indiscutible que esta industria requiere de un hormigón de calidad para la ejecución de sus obras, lo cual hace inevitable la necesidad de agregados o agregados de calidad, que cumplan las especificaciones señaladas en normas técnicas nacionales e internacionales. Instituciones importantes alrededor del mundo han publicado numerosas normas y métodos para experimentación de hormigones reforzados con distintos tipos de fibras.

La mayoría de estas instituciones tales como la ACI, ASTM, de origen Americano ó la BSI, de origen Británico, desarrollan programas de investigación de manera constante en sus respectivos países, para los cuales se emplean, en todos los casos, materia prima propia de sus

regiones. Materia prima, que por cierto, dista mucho de poseer al menos similares características tanto físicas como mecánicas a las del resto de regiones del mundo. Lo cual hace que aquellas normas internacionales para el diseño de hormigones (sean o no reforzados), que mencionamos anteriormente, no se apliquen para materiales propios de nuestra región, en particular nuestro país, Colombia Debido particularmente a que nuestro país esta surcado de norte a sur por una sección volcánica de la cordillera de los Andes, se tiene una infinidad de materiales de tipo pétreo básico para la fabricación de hormigones. Estos materiales indudablemente variarán dependiendo, entre otros factores, de su origen y su composición mineralógica.

Luego, las características físico-mecánicas de los hormigones que se fabriquen varían en función de la procedencia del material pétreo extraído, incluso si éstos son o no reforzados. Por otra parte, el uso del hormigón reforzado con fibras está avanzando a una gran velocidad debido a varios factores, al constante incremento del precio del acero estructural y de sus derivados para el refuerzo del hormigón durante los últimos años, a las nuevas tendencias constructivas, a las exigencias actuales de la industria de la construcción y a la gran variedad de tipos de fibras aparecidas en los últimos años que ha entrado en competencia con las fibras de acero más tradicionales, dicho sea de paso, siendo esta última la razón por la cual el interés tras las Fibras de Polipropileno.

De todo lo expuesto, se halla importante realizar, mediante esta tesis, una investigación que aporte información relacionada con la utilización de fibras como refuerzo en hormigones con un agregado propio de nuestra región, debido a la poca o nula información que en la actualidad existe en nuestro país acerca de este material compuesto. Para esto la prioridad se centrará en

determinar la cantidad adecuada de fibra que debe añadirse a nuestro hormigón para que éste presente mejoras positivas en resistencia a la compresión simple.

**Investigaciones realizadas sobre el tema propuesto, en nuestro país.** Aunque el hormigón reforzado con fibras es considerado un material moderno en nuestro país, históricamente se han utilizado fibras para reforzar elementos de mampostería y estructura en viviendas construidas de adobe, ladrillo de arcilla y yeso. Las fibras utilizadas, generalmente paja seca o pelo de caballo, contribuían generosamente en la resistencia a la tensión y la tenacidad del elemento, lo cual evitaba los agrietamientos y los desgastes por abrasión. Paralelamente al incremento de la utilización del hormigón como material importante en la construcción, se han ido desarrollando estudios e investigaciones, tendientes a conocer con mayor profundidad el comportamiento de este material, permitiendo el crecimiento de sus aplicaciones.

Las investigaciones realizadas en otros países, sobre hormigón reforzado con fibras, alentaron a que nuestro país también vea la posibilidad de encontrar un material de construcción con mejores propiedades y costos menores a los existentes. Así es que diversas instituciones, tanto públicas como privadas, han realizado estudios con la finalidad de satisfacer las necesidades de cumplir con los parámetros de construcción en obra.

McCormac y Brown (2011) sostienen que el concreto es una mezcla en la que se pueden agregar aditivos para cambiar características del concreto y mejorarlo para su utilización.

### Ventajas del concreto reforzado.

Sus estructuras son muy rígidas del concreto reforzado.

No necesita de mucho mantenimiento.

Tiene larga vida de duración comparado con otros materiales.

La resistencia del concreto no disminuye con el tiempo sino que aumenta con los años, debido al extenso proceso de solidificación del cemento.

Puede colocarse en una variedad extraordinaria de formas que van desde las más simples losas, vigas y columnas hasta grandes arcos y cascarones.

Se necesita mano de obra de calificación baja para su montaje, en comparación con otros materiales como el acero industrial.

### Desventajas del concreto reforzado

Se requieren cimbras para mantener el concreto en posición hasta que se endurezca lo suficiente.

Las propiedades del concreto varían ampliamente debido a las modificaciones en su proporción y mezclado.

El concreto tiene una resistencia muy baja a la tensión, por lo que requiere el uso de un refuerzo de tensión.

## Propiedades

Alta resistencia a la compresión.

Cemento ecológico.

Moderado calor de hidratación.

De moderada resistencia a los sulfatos.

Mayor trabajabilidad.

## Normas del Cemento

Las normas en las cuales está basado el proceso de fabricación y las características del cemento son:

NORMA NACIONAL: NTC –ISO 5667-1

NORMA INTERNACIONAL: A.S.T.M. C – 595

## Aplicaciones.

Las aplicaciones del cemento Inka tipo I son de carácter general, puede usarse en cualquier obra civil debido a sus características.

## Resistencia a la Tracción

“Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos de tracción, esta propiedad conduce generalmente a que no se tenga en cuenta en el diseño de estructuras normales. La tracción tiene que ver con el agrietamiento del concreto, a causa de la contracción inducida por

fraguado o por los cambios de la temperatura, ya que estos factores generan esfuerzos internos de tracción”. (Niño, 2010, p. 124).

#### Resistencia a la Tracción del Concreto (NTC –ISO 5667-1)

La fibra de polipropileno es un aditivo de reforzamiento que se le añade al concreto, mejorando así, la calidad de construcciones. (QuimiNet, 2012).

#### Fibras de Polipropileno

##### Uso de Fibras

Puede aplicarse en los casos en que se desee reducir la fisuración y mejorar la durabilidad. Es la mejor alternativa como refuerzo adicional para prevenir fisuración y puede hacer innecesario el uso de mallas metálicas. (Moreno, 2010).

#### Clasificación de Fibras

Según la Revista EMB Construcción:

Las fibras son adiciones que se mezclan en el hormigón para mejorar sus cualidades.

Fibras de Polipropileno-FIBERMESH.

Fibras de Refuerzo Metálicas-NOVOCON.

Fibras de Refuerzo de Polipropileno-S-152 HPP

#### Efectos de las Fibras en el Concreto Endurecido

Muñoz, Albiol y García (2011) nos dicen que existe un aumento de la resistencia en el hormigón pero este es muy reducido y poco relevante.

Por otro lado Martínez, Rubio et.all (2009) sostienen que Resistencia a compresión las fibras de polipropileno afectan ligeramente esta propiedad del concreto hidráulico disminuyéndola.

El Polipropileno (PP), es un polímero termoplástico utilizado en una amplia variedad de aplicaciones incluyendo el embalaje, industria textil (por ejemplo, cuerdas, ropa interior térmica y alfombras), artículos de papelería, partes de plástico y envases reutilizables de varios tipos, equipos de laboratorio, los altavoces , componentes de automoción, la más recientemente en la industria de la construcción. Además de un polímero a partir de la monómero propileno, es resistente y extraordinariamente resistente a muchos solventes químicos, bases y ácidos.

Su clasificación como elemento reciclable lleva por símbolo un triángulo, dentro un 5 y debajo las letras PP

El polipropileno es un tipo de plástico que puede ser moldeado con la calefacción solamente, es decir, es un termoplástico. Tiene propiedades similares al polietileno (PE), pero con un punto de ablandamiento más alto.

Características principales:

De bajo coste;

Alta resistencia química a los disolventes;

Fácil de moldear;

Fácil de colorear;

Alta resistencia a la fractura por flexión o fatiga;

Buena resistencia al impacto superior a temperaturas superiores a los 15 ° C;

Buena estabilidad térmica;

Aumento de la sensibilidad a la luz UV y agentes oxidantes, sufriendo a la degradación más fácilmente.

Transformación:

El polipropileno es transformado mediante varias técnicas, algunas son:

Moldeo por inyección,

Moldeo por soplado,

Termoformado

Producción de fibras

Extrusión

Producción de película

El procesamiento de polipropileno se puede lograr a través de extrusión y moldeo. Los métodos comunes de extrusión incluyen la producción de fusión-soplado y fibras hiladas de bonos para formar largos rollos para su futura conversión en una amplia gama de productos útiles, tales como mascarillas, filtros, pañales y toallitas húmedas.

La técnica más común es el moldeo por inyección, que se utiliza para obtener piezas tales como vasos, cubiertos, copas, tapas, envases, utensilios domésticos y piezas de automóviles, tales como baterías. Las técnicas relacionadas de moldeo por soplado y moldeo por inyección-soplado y estiramiento también se utilizan, que implican tanto de extrusión y moldeo.



El gran número de aplicaciones de uso final para el polipropileno son a menudo posible debido a la capacidad de adaptar los grados con propiedades moleculares y aditivos durante su fabricación. Por ejemplo, los aditivos antiestáticos se pueden agregar para ayudar a las superficies de polipropileno a resistir el polvo y la suciedad. Los tratamientos de superficie se puede aplicar a las piezas de polipropileno con el fin de promover la adhesión de la tinta de impresión y pinturas.

#### Ventajas y desventajas del polipropileno

Polipropileno tiene muchas ventajas: es barato, utilizable en la industria alimentaría (es inodoro y no tóxico), muy resistente a la fatiga y flexión, muy denso, químicamente inerte, esterilizable y reciclable. Es un excelente aislante eléctrico.

#### Desventajas:

Es frágil a baja temperatura, sensible a los rayos UV, menos resistente a la oxidación que el polietileno y difícil de pegar.

La resistencia de polipropileno se puede mejorar mediante la mezcla con elastómeros EPR o EPDM.

Su producción en masa es una fuente de impactos ambientales y el consumo de petróleo y las emisión, retardantes de llama) puede hacer difícil o imposible reciclaje de manera rentable.

El progreso de diseño ecológico en los plásticos podría facilitar la clasificación y reciclado de este material.

#### Aplicaciones: algunos de los usos del polipropileno:

Juguetes;

Boomerangs;

Vasos de plástico;

Los recipientes para alimentos, medicinas, productos químicos;

Ropa y electrodomésticos;

Fibras;

Sacacorchos

Alfombras;

jeringa para inyección

Prado sintético

Bolsas y Bolsos

Suministros para hospital esterilizados;

Materiales de construcción hechos en autoclaves;

Piezas de automóviles (defensas, los pedales, las cubiertas de la batería, tapicería interior, lámparas, ventiladores, sopladores y otras varias piezas).

Piezas para lavadoras.

Algunas de las innovadoras aplicaciones del polipropileno en la construcción, son los novedosos sistemas constructivos que permiten realizar viviendas a partir de módulos o contenedores de polipropileno que se pueden apilar para ampliar el espacio.

Sistema modular de construcción de viviendas hechas en plástico prefabricado que se montan para armar módulos y casas mediante la conexión con tornillos. Los paneles están hechos de polietileno y polipropileno reciclado y son ligeros, durables y de bajo costo. Casas de una sola planta se pueden poner juntas para construir cualquier superficie de la casa es necesario para una familia.

Actualmente hay una tendencia a utilizar sólo el PP dentro de los coches. Esto facilitaría el reciclaje de material de desecho en el momento del vehículo, ya que se sabe de qué material se trata.

### **2.3 Marco conceptual**

**Concreto.** El concreto u hormigón es una mezcla de cemento, agua, arena y grava que se endurece o fragua espontáneamente en contacto con el aire o por transformación química interna hasta lograr consistencia pétreo. (Tischa, 2016)

Por su durabilidad, resistencia a la compresión e impermeabilidad se emplea para levantar edificaciones, y pegar o revestir superficies y protegerlas de la acción de sustancias químicas.

**Cemento.** Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire; se emplea para tapar o rellenar huecos y como componente aglutinante en bloques de hormigón y en argamasas.(Liscano, (2015)

**Aditivos.** Los aditivos son modificadores y mejoradores de las mezclas de concreto. Son productos solubles en agua, que se adicionan durante el mezclado, en porcentajes no mayores al 1% de la masa de cemento, con el propósito de producir una modificación en el comportamiento del concreto en estado fresco o en condiciones de trabajo. La importancia de los aditivos es que, entre otras acciones, permiten la producción de concretos con características diferentes a los

tradicionales y han dado un creciente impulso a la construcción. Los aditivos pueden clasificarse según las propiedades que modifican en el concreto fresco o endurecido.

Fibras de polipropilenos. Son productos sintéticos que se emplean cada día más, debido principalmente a que reducen considerablemente el agrietamiento del concreto, estos productos plásticos se fabrican en diversos tamaños y grosores. Normalmente las fibras se adicionan un poco antes de vaciar el concreto de los camiones premezcladores, dando tiempo suficiente a que se distribuyan uniformemente en la mezcla de concreto (es usual mezclar por 5 minutos o dar 70 revoluciones).

Concreto reforzados con fibras. El concreto reforzado con fibras es un elemento que contiene fibras cortas uniformemente distribuidas y orientadas al azar. Éstas pueden ser metálicas, sintéticas (polipropilenos o acrílicas), de vidrio y naturales, cada una de las cuales proporcionan propiedades diferentes al concreto.

Las fibras están disponibles en variedad de formas, tamaños y espesores, pudiendo ser redondas, planas, onduladas. Estos elementos se añaden al concreto durante la mezcla.

Aplicación. La acción de emplear algo para un propósito específico y está relacionada con el proceso de construcción, de armar cualquier cosa, como casas, rascacielos, puentes, presas, caminos e incluso barcos

Mezclas. Se denomina mezcla a un proceso mediante el cual distintos elementos se combinan y se llega a una composición específica. En esta suele incorporarse agua para lograr

que toda la sustancia en cuestión adquiriera una consistencia tal que pueda evidenciarse un proceso de homogenización. La mezcla es un tipo de procedimiento que se utiliza en numerosas áreas de la actividad humana, la construcción.

**Construcción.** Con el término de Construcción a aquel proceso que supone el armado de cualquier cosa, desde cosas consideradas más básicas como ser una casa, edificios, hasta algo más grandilocuente como es el caso de un rascacielos, un camino y hasta un puente.

**Obras civiles.** El término obras civiles se aplica a la construcción de las infraestructuras y estructuras que hacen posible el aprovechamiento y control del medio físico y natural y sus recursos, así como las comunicaciones; esto incluye carreteras, túneles, puentes, vías férreas, presas, canales y muelles.

**Resistencia.** La resistencia de un elemento, en cambio, tiene que ver con la capacidad de un sólido para soportar presiones y fuerzas aplicadas sin quebrarse, deformarse o sufrir deterioros.

**Adición.** Son sustancias minerales inorgánicas que se le añaden al hormigón en dosis mayores del 5% del peso del cemento (10 - 15%).

**Hormigón:** El hormigón o concreto es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

**Cimentación:** Conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.

**Contaminación:** Es la introducción de sustancias en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido, calor, luz o radiactividad)

## **2.5 Marco legal**

ASTM C 1399 “Método de ensayo para determinar el esfuerzo residual promedio del concreto reforzado con fibra” Esta norma es usada sobre todo para diseño de pisos en donde se determina el esfuerzo residual promedio (post fisuración) luego de prefisurar de manera controlada una viga de concreto fibroreforzado. No requiere una máquina de falla controlada por la deflexión de la viga. (Circuito cerrado)

ASTM C 1609 “Método de ensayo para determinar el desempeño del concreto reforzado con fibra (Usando una viga cargada en los tercios)” Este ensayo similar al descrito en la ASTM C 1399 no emplea una platina de apoyo sobre la cual prefisurar el material, la deformación post fisuración es medida gracias a que la aplicación de la carga es controlada por la deflexión del espécimen.

23CONCRETO Concreto Reforzado con Fibras NTC 5721 “Método de ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía (Tenacidad) de concreto reforzado con fibras” (EFNARC) Esta norma describe en detalle el procedimiento de ensayo mencionado en las “Especificaciones para Contratistas” de la EFNARC, donde se mide sobre una placa cuadrada de 100 mm de espesor y 600 mm de lado la tenacidad del concreto reforzado con fibra. Su aplicación principal se encuentra sin duda sobre el concreto lanzado. El ensayo se concentra en determinar la curva Carga vs. Deflexión de estas probetas provenientes de campo, constituyéndose en un ensayo sobre un elemento de similares dimensiones que la estructura misma. Esta norma permite evaluar no solamente el cumplimiento frente a una especificación sino además comparar el desempeño entre diferentes tipos de fibras

IIS-SF4. “Método de ensayo para determinar la tenacidad de concreto reforzado con fibra”

Este ensayo se efectúa sobre la viga simplemente apoyada sobre la que determina el parámetro RE,3 resistencia residual a 3 mm de deflexión. Parámetro muy usado en el diseño de pisos

ASTM C 1550 “Método de ensayo para determinar la tenacidad a flexión del concreto reforzado con fibras (usando una carga central sobre un panel redondo) Este ensayo de origen australiano, es el equivalente a la norma EFNARC 14488-5, solo que hay una mejor distribución de la carga, un espécimen circular apoyado en tres puntos no restringidos y el panel cuenta con un espesor de 75 mm.

NTC 5214 “Fibras de acero para refuer-zo de concreto” (ASTM A 820)Equivalente a la ASTM A 820 define las propiedades y especificaciones , de las fibras de acero destinadas a ser usadas en concreto.

NTC 5541 “Concretos reforzados con fibras” (ASTM C 1116) Constituye en la norma general de fi-bras, con las definiciones y clases gene-rales de reforzamiento con fibras. Igualmente lista las propiedades del concreto modificadas por la inclusión de las fibras. Así como señala las recomendaciones de mezclado, transporte y manipulación de un concreto reforzado con fibras. Establece igualmente las tolerancias de variación sobre las propiedades más importantes de los concretos reforzados con fibras.



## Capítulo 3. Diseño metodológico

### 3.1 Tipo de Investigación.

El proceso investigativo que se adelanta, tiene que ver con un enfoque de investigación aplicada de forma cualitativa, de nivel descriptivo; por lo tanto, constituye el primer nivel del conocimiento científico. Como consecuencia del contacto directo o indirecto con los fenómenos que en este caso corresponde a la evaluación de las vías principales, recogiendo sus características externas: enumeración y agrupamiento de sus partes, las cualidades y circunstancias que lo entornan, etc.

**3.1.2 Población.** La población objeto del presente trabajo de investigación se escogerá lugares donde lleven ejecuciones de los proyectos de obras civiles también se realizara una serie de entrevistas a arquitectos, ingenieros civiles, maestros, obreros de construcción donde se aplique el uso fibra de polipropileno para el uso concreto en las construcciones, para que lo utilizan, si para vigas, columnas, zapatas, etc... y con qué finalidad se aplica esta fibra.

### 3.2 Recolección de Información.

Fuentes Primarias: Los instrumentos que se utilizaran para recolectar la información serán la observación directa, entrevistas a los trabajadores de las obras, arquitectos e ingenieros civiles, considerando que son alternativas básicas para cumplir con los objetivos de la investigación.

Fuentes Secundarias: Para la recolección de información secundaria se recurrirá al uso de libros, revistas, cartillas, normas, información por internet, oficina de infraestructura y planeación.

### **3.3. Análisis de la información**

Con base en la información obtenida se procedió a realizar estructurar un documento donde se muestre el procedimiento de cómo es la aplicación de la fibra de polipropileno para el uso concreto en las construcciones con las normas y leyes necesarias e impuestas por los gobiernos, cuál es la finalidad de las fibras, sus costos en el mercado, para así poder garantizar la seguridad y confort en las personas a las que va destinado el proyecto.

## **Capítulo 4. Administración del proyecto**

### **4.1 Recursos humanos**

En el presente proyecto se requirió de un recurso humano con el personal quien estuvo implicado directamente para el proceso de investigación como son: los responsables del proyecto quienes realizaron los estudios e investigaciones, director y asesor del proyecto. A continuación se relacionan:

MANUEL FERNANDO PEREZ ARIAS Estudiante de tecnología en obras civiles

ALBERTO JOSE DAVILA VASQUEZ Estudiante de tecnología en obras civiles.

EDSON ARATES DIAZ BUSTO Ingeniera civil. Director y asesor del proyecto

### **4.2 Recursos institucionales**

Para el presente proyecto de investigación se requirió contar con el apoyo de alguna instituciones tales como: instituciones educativas, públicas, entre otras que aportan información válida para la realización y ejecución del mismo. A continuación se mencionan:

Universidad francisco de paula Santander

Alcaldía municipal del municipio de Ocaña

Sector comercial de la población objeto en proceso de construcción

## 4.3 Financieros

RECURSO	VALOR HORA	NUMERO DE HORAS	TOTAL
ASESORÍAS PROFESIONALES	\$60000	32	<b>\$1 920 000</b>

ÍTEM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
<b>EQUIPOS</b>			
COMPUTADOR PORTÁTIL	1	\$1 200 000	\$1 200 000
CÁMARA FOTOGRÁFICA	1	\$300 000	\$300 000
IMPRESORA Y SCANNER	1	\$450 000	\$450 000
<b>OTROS</b>			
TRANSPORTE	100	\$5000	\$125 000
MATERIAL BIBLIOGRÁFICO	1	\$30 000	\$30 000
ELABORACIÓN TRABAJO FINAL	1	\$70 000	\$70 000
IMPRESIONES	200	\$200	\$40 000
APORTE CIENTIFICO	1		\$800.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 30015 000</b>

## Cronograma de actividades

ACTIVIDAD/DESCRIPCION	DURACION (SEMANAS)															
	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elección del tema																
Recopilar y analizar información sobre como son los usos de polipropilenos en el país																
Elaboración de la primera etapa de la monografía, con sus objetivos y la metodología a utilizar																
Utilización de libros, cartillas, revistas y tesis de grados para la recolección de información																
Investigación de cuáles son las propiedades de estos polipropilenos y como son sus características para el concreto de acuerdo con las Investigaciones existentes.																
Conocer las características que se debe tener en cuenta para realizar una mezcla con las fibras de polipropileno como un método de elaboración del concreto																
Verificar que los objetivos planteados se hayan cumplido durante el transcurso de la investigación.																
Sustentación de la monografía final																

## Capítulo 5. Presentación de resultados

### **5.1 Primer objetivo específico. Recopilar información sobre como son los usos de polipropilenos indicados para la protección de elementos estructurales de concreto en el país.**

Uso de las Fibras El uso de fibras se hizo imprescindible en el concreto, ya que las deficiencias de una mezcla fluida, se ven afectadas por el secado o una deshidratación rápida, lo que ocasiona contracciones, sin embargo, estas contracciones son controladas gracias al uso de la fibra de polipropileno. De estas fibras deben usarse las del tipo de segunda generación, es decir las que forman una malla tridimensional de refuerzo con el fin de evitar los problemas de curado, por otro lado, los productos de concreto prefabricados son más susceptibles mientras ganan buena parte de su resistencia, por lo que al moverlos entre el tercero y sexto días son susceptibles a despiques, la fibra ayuda a controlar esos movimientos y a controlar las grietas por golpes, además se ha demostrado que el uso de la fibra aumenta la resistencia a la tensión en un 10% y a compresión en un 6%

#### Aplicaciones.

El concreto con fibras es apropiado para superficies grandes que tiendan a fracturarse precisamente por su longitud muros, losas, pavimentos y pisos industriales. Como se menciono, la adición de fibras de diversas clases y tipos al concreto, puede reducir la desfavorable contracción. Los beneficios de la adición de fibras al concreto de baja densidad son

considerables, estas fibras pueden reducir notablemente la formación de grietas por contracción plástica o por secado e incrementan la resistencia a la flexión y a la tensión. La fibra debe ser resistente al álcali; puede tratarse de resinas sintéticas o de fibra de vidrio, fibras de polietileno, polipropileno o acero según las necesidades del proyecto. La cantidad utilizada está determinada por la trabajabilidad del concreto y el costo. Estos concretos pueden catalogarse como de “Prevención de grietas”. Al interceptar diminutas grietas, las fibras evitan que lleguen a formar grietas grandes y visibles. Todo especialista sabe que el concreto va a agrietarse, eso es algo que resulta inevitable. Sin embargo, al usar fibras junto con una disposición apropiada de las juntas, se puede generar un concreto que sea durable, atractivo, y que sea visto de manera positiva por los ojos del constructor y del cliente. Otras aplicaciones de fibras pueden servir para mantener las grietas rígidamente juntas, lo que puede denominarse “Confinación de grietas”. Se sabe que el concreto va a agrietarse, pero ¿a qué ancho de grietas la apariencia se convierte en algo inadecuado para el propietario? Esta es una cuestión de percepción; sin embargo, aplicando las dosis adecuadas de fibras sintéticas más grandes, macro fibras sintéticas, productos combinados de acero/sintéticos o fibras de vidrio o acero, se puede resolver este problema.

Otra aplicación de las fibras que apenas comienza a tomar forma es el uso de altas dosis, en las cuáles o bien se desea flexibilidad de la matriz del concreto, o se eleva el desempeño estructural o bien, en pisos industriales en donde por muchos años, su uso ha probado ser efectivo para reducir los problemas de desempeño de las juntas por las pesadas cargas en las llantas. El enfoque actualmente está en la prevención de grietas por contracción.

Expectativas.

Se supone que el 50% del mercado de concreto premezclado es para trabajos de superficies planas como losas, losas elevadas, muros, etcétera. En este sentido, el mercado de fibras, tan sólo en los Estados Unidos, fue de 83 millones de metros cúbicos en 2006. Sin embargo en México durante el mismo año solo se produjeron alrededor de 600,000 metros cúbicos. Dentro del mundo del concreto con fibras, la barrera más grande que actualmente existe es la falta de comprensión de los contratistas, propietarios o funcionarios de reglamentos acerca del valor, desempeño y registro de las fibras. Se podrá ver porqué se hace una disertación sobre el concreto reforzado con fibras. Nota: El concreto de ultra alto desempeño (Ultra-High Performance Concrete) ha sido objeto de numerosas investigaciones. Las resistencias a la tensión del UHPC están limitadas a 8 MPa. Para resolver estos problemas, se les agregaron fibras.

#### Concreto ligero estructural

Es un concreto hidráulico premezclado para ser empleado en la Construcción de proyectos donde se requiere de un peso volumétrico ligero con resistencia estructural. El concreto celular en altas densidades mezclado con arena se utiliza cada vez más como elemento estructural de construcción. Particularmente indicado para la realización de bloques de construcción, para paneles prefabricados, o también para proyectar sobre paramentos verticales. El Concreto ligero estructural está elaborado bajo un estricto Control de Calidad conforme parámetros aplicables de las normas americanas ASTM, con una dosificación de materiales como son: cemento Pórtland, agua, agregados finos y agregados gruesos de granulometrías controladas y aditivos químicos



para mejorar las características del producto, tanto en el estado fresco como en el estado endurecido.

### Usos y aplicaciones

Elementos de requerimientos estructurales bajos (Resistencia a Compresión  $f'c = 100, 140$  y  $180 \text{ kg. /cm}^2$ , equivalentes a 1,400, 2,000 y 2,500 psi), como son:

- Divisiones para todo tipo de edificaciones
- Capas de nivelación en pisos o losas
- Aligerar las cargas muertas en las estructuras
- Construcción de viviendas en serie o de tipo monolítico
- Elementos prefabricados para usos decorativos o artesanales
- Protección de estructuras contra el fuego
- Elementos que no estén sujetos a ataques químicos y/o ambientales severos

### Ventajas

1. Calidad uniforme, garantizada, por la dosificación de materiales controlados.
2. Mayor facilidad de colocación, en relación a mezclas de concreto tradicionales.
3. Disminución del personal requerido para la colocación del concreto.
4. Capacidad de fluir sin segregarse, tanto horizontal como verticalmente, minimizando eliminando el vibrado en su colocación.
5. Con capacidad para ser bombeado.
6. Incremento de la velocidad de colocación del concreto.

7. Excelentes propiedades acústicas y térmicas. Se puede aserrar y clavar fácilmente.
8. Resistente al fuego
9. Reducción de las cargas muertas en las estructuras.

Tabla 1.

*Presentación: Porrones de 20 litros y Tambores de 200 litros.6 Dosificaciones básicas iniciales para producir un metro cúbico de concreto c*

<b>Para densidad 1600 Kg./m<sup>3</sup>:</b>		<b>Para densidad 1400 Kg./m<sup>3</sup>:</b>	
cemento:	300 kg.	Cemento:	250 kg.
Arena:	1200 kg.	arena:	1050 kg.
agua:	120 kg.	agua:	110 kg.
espuma:	450 lts.	espuma:	520 lts.
fibra polipropileno:	1 kg.	fibra polipropileno:	1 kg.
<b>Para densidad 1200 Kg./m<sup>3</sup>:</b>		<b>Para densidad 1000 Kg./m<sup>3</sup>:</b>	
cemento:	240 kg.	Cemento:	225 kg.
Arena:	870 kg.	arena:	680 kg.
agua:	100 kg.	agua:	95 kg.
espuma:	620 lts.	espuma:	685 lts.
fibra polipropileno:	1 kg.	fibra polipropileno:	1 kg.
<b>Para densidad 700 Kg./m<sup>3</sup>:</b>		<b>Para densidad 500 Kg./m<sup>3</sup>:</b>	
cemento:	210 kg.	Cemento:	200 kg.
Arena:	400 kg.	arena:	215 kg.
agua:	90 kg.	agua:	85 kg.
espuma:	900 lts.	espuma:	1250 lts.
fibra polipropileno:	1 kg.	fibra polipropileno:	1 kg.

Fuente. Administración y tecnologías

El uso de polímeros para estructuras de base cemento.

Fluidos de origen organico como añadido

•Las soluciones de fluidos de origen orgánico, son los que implican los polímeros solubles en agua tales como metilcelulosa, alcohol y polyacrylamide polivinilo o las resinas como por ejemplo; epoxy; y el poliéster no saturado.

- Gracias a la forma líquida de estos hace que la distribución espacial sea más uniforme, incluso en pequeñas proporciones, en contrario con las soluciones con polímeros en otros tipos (forma larga) que dependerá de más proporción en la mezcla para llegar a compararse con los resultados que da la mezcla en forma líquida.

- La adición de mezclas poliméricas también optimizan la distribución de los vacíos dentro de la mezcla húmeda. De ahí sale los MDF (macrodefect-free) estos son importantes por su gran capacidad a flexión, pero estos tienen una mala resistencia al agua, ya que están compuesto por partículas solubles en su mezcla de origen.

#### Fibras cortas poliméricas.

- Las fibras cortas más bien que las continuas o largas, se utilizan porque pueden ser incorporadas en la mezcla del cemento, de tal modo facilitando el proceso en el campo además, fibra corta son menos costosas que las largas.

- Las más comunes por sus precios y la resistencia a los ambientes alcalinos de los materiales de cemento: son el polipropileno, el polietileno y las fibras acrílicas. Comparado con las fibras del carbón, de cristal y de acero, las fibras poliméricas son atractivas gracias a su alta ductilidad, que da lugar a alta capacidad a flexión en el material.

- El uso combinado partículas de fibra corta (ejemplo látex) y de polímeros, da como resultado una rigidez superior y un mejor comportamiento a flexión en comparación al uso de la fibra larga sin la dispersión adecuada de la partícula del polímero bajaría su comportamiento.

### Propiedades mecánicas

•En ausencia de la fibra, la capacidad a flexión y a compresión aumentan con el aumento de la dispersión de la partícula del polimérica Látex. Sin embargo, en la presencia de la fibra de carbono, la fuerza a flexión disminuye debido al aumento del contenido y dispersión del polímero.

•En la presencia de la fibra, la capacidad a flexión puede llegar aun su máximo con un contenido con una dispersión media de polímeros, ya que el contenido de vacío de aire es mínimo.

•El látex como añadido da un mayor comportamiento a tensión-flexión y un menor contenido de vacíos de aire que la fibra de metilcelulosa, pero esta es superior en lo que se refiere a la dispersión de la fibra dentro de la mezcla.

•La dispersión de acrílico es más eficaz que la dispersión del látex o la solución del metilcelulosa en realzar las propiedades a tensión en la presencia de la fibra del carbón. En ausencia de fibras, la solución con metilcelulosa como añadido incrementa la capacidad a flexión y la ductilidad considerablemente, y esto va en aumentó si se aumenta el contenido de la misma.

•El comportamiento a flexión aumenta con el aumento del coeficiente de látex-cemento cuando las fibras están ausentes, pero disminuye con el aumento de coeficiente del látexcemento cuando la fibra está presente. En cualquier fibra del coeficiente del látex-cemento la adición aumenta grandemente la dureza.

### Propiedades mecánicas

- El contenido de los vacíos (con un 0,53% de fibra de carbón), disminuye cuando las fibras están ausentes al principio disminuye y después aumenta con el aumento de cociente del látex-cemento (ya que el contenido del vacío es de un coeficiente de 0,15), cuando las fibras están presentes. En cualquier coeficiente de látex-cemento, el aumento de la fibra aumenta el contenido vacío.

- El volumen de resistencia eléctrica en la mezcla del cemento aumenta con el aumento de coeficiente del látex-cemento (0 o del 0.53% Vol.) de fibras de carbón. A cualquier coeficiente de látex-cemento la adición de la fibra disminuye grandemente la resistencia.

- En conclusión que la fuerza a flexión es gobernada por el contenido vacío, de modo que cuando aumenta el contenido vacío, disminuye y aumenta cuando el contenido vacío disminuye.

### Capacidad de amortiguamiento de vibraciones

- Las vibraciones son algo no deseables en las estructuras, ya que se busca en ellas unas ciertas características como una buena estabilidad estructural, un buen control de la posición, una buena durabilidad que aguante las fatigas a que esta sometida constantemente, y que verdaderamente funcione como estructura es por esto que las soluciones poliméricas son un gran avance para esto.

- Esta capacidad se expresa por la pérdida de la tangente, es realizado por el uso de la dispersión de partículas de látex o metilcelulosa. El efecto crece, cuando se añade mas contenido del látex, esto se debe a la propiedad visco elástica del polímero. La solución con metilcelulosa,

en pequeñas proporciones, en combinación con el humo de silicona, es muy efectiva también, gracias a humedecer a la interfaz, por difusión, entre el humo de silicona y el cemento.

#### Propiedades térmicas

•Una baja conductividad térmica y un alto calor específico es algo deseado en el hormigón. Se disminuye el grado de conductividad térmica y el calor específico es aumentado debido a la dispersión de la partícula del látex o de metilcelulosa.

A continuación le presentamos precios de referencia, precio estimado, precios de lista o precios solicitados por compradores de Fibra de Polipropileno para concreto. Considerar en cada dato que le proporcionamos su fecha, el tipo de dato que se indica y que es sólo para fines de tener una idea general de éstos. Si usted requiere un reporte más detallado o actualizado de Precio de Fibra de Polipropileno para concreto.

Fibra De Polipropileno Para Concreto Microfibra	\$ 14.000
Fibra De Polipropileno Para Concreto 600gr.	\$ 13.700
Fibra Para Concreto De Polipropileno Refuerzo Del Concreto	\$ 12.000
Fibra De Polipropileno Para Concreto (sustituto De Malla)	\$ 12.000
Fibra Polipropileno Para Concreto 500gr	\$ 8.500

## **Reforzamiento a cortante en vigas**

### a) Conceptos básicos

Existen varias posibles tipologías de refuerzo de vigas a cortante, que dependen tanto del tipo y magnitud de la sollicitación como del tipo de material a emplear, sea este en platinas o en tejido.

Teóricamente, envolviendo una viga de H.A. en tejido de fibra de polipropileno de forma continua en la zona donde se producen los peores valores de cortante se obtendría un excelente refuerzo. El problema se presenta en la práctica, cuando las vigas han sido fundidas monolíticamente con las losas.

Se recomienda para todos los casos que las fibras principales estén orientadas a 45 o 90 respecto al eje longitudinal de la viga.

En el caso que el conjunto a reforzar sean vigas continuas con losas, se deberá estudiar en detalle, ya que en esa situación las fibras traccionadas están por arriba.

## **Refuerzo estructural de columnas**

a) Conceptos básicos El refuerzo estructural de columnas de hormigón armado se puede realizar con Fibras tanto confinando el hormigón como reforzando a flexión la pieza. El confinamiento de columnas se lleva a cabo con el tejido de fibra de polipropileno, colocándolo tanto en tiras espaciadas, en espiral o como una envoltura continua de tejido. Se han hecho pruebas de reforzamiento con “cascaras” de platinas precuradas, pero hasta el día de hoy no se ha profundizado tanto el conocimiento de esta configuración como si se ha hecho con el refuerzo en base a tejidos fibras. Los tejidos pueden colocarse transversalmente a la columna, o axialmente.

La envoltura transversal de la columna con reforzamiento fibras confina el hormigón, contribuyendo a aumentar la resistencia a compresión específicamente, y adicionalmente colabora en la resistencia a cortante de la pieza. También se utiliza adherido de este modo para rehabilitación sísmica, aumentando la ductilidad de la pieza y/o el confinamiento de los solapes (estos no serán de estudio en el presente trabajo, por no ser las estructuras sísmicas de estudio y uso en nuestro país). Para reforzar la pieza frente al esfuerzo flector, se colocan el material reforzante en sentido axial, y este a su vez puede ser luego recubierto por el encamisado transversal de fibras, en caso de ser necesario. Cabe destacar que el confinamiento con tejido fibras a columnas es pasivo, comienza a actuar cuando la columna empieza efectivamente a expandirse lateralmente.

#### Recomendaciones específicas

La colocación del tejido para el confinamiento de columnas se hace colocando sucesivas tiras de un ancho determinado. Se recomienda que entre tira y tira se asegure un solape de 4" de ancho, y estos solapes no deben estar alineados, sino irse colocando en distintos planos, escalonándose, a lo largo de toda la altura de la columna, evitando de esta manera generar puntos débiles en el reforzamiento. Respecto a las protecciones, existe una alternativa que busca contemplar tanto las fallas por pérdida de adherencia como la posibilidad de ser víctima de vandalismo o incendio, y consiste en encapsular el reforzamiento dentro de una capa adicional de acero o concreto (según la configuración del refuerzo).



Fibras de polipropileno, vidrio y nylon Estos materiales se usan como microfibras destinadas a prevenir la fisuración del concreto en estado fresco o durante edades tempranas debido a la retracción plástica. Están diseñados para ser compatibles con el ambiente altamente alcalino de la matriz del concreto; sin embargo, en su caso particular, las fibras de vidrio deben ser resistentes a los álcalis. Normalmente se usan bajas dosificaciones en masa, de alrededor de 1 kg/m<sup>3</sup>.

### Prefabricados

Para elementos prefabricados cuyas dimensiones y espesores están optimizadas, las fibras han sido desde la década de los setenta un elementos comunes. El transporte, la colocación de estos elementos hacen que sean susceptibles a desportillamientos, agrietamientos y descascaramientos. Las fibras (micro y macro) en estos casos resultan muy útiles debido a que el agrietamiento de los elementos se reduce y si tiene lugar, le permiten a la unidad continuar funcionando sin desecharla. En el caso particular de elementos aligerados de bajas densidades, las microfibras se han usado históricamente para disminuir su fisuración en estado fresco pero también para mejorar el monolitismo del material y hacerlo menos “frágil”, es decir para aumentar su capacidad de deformación, hacerlo más “dúctil” antes de que se produzca la falla. Las aplicaciones de fibras en tuberías, vigas, prelosas, micro como macro son un hecho cotidiano puesto que le permiten a dichos elementos eliminar o convivir con la fisuración. Las fibras de asbesto empleadas en la fabricación de elementos tan esbeltos como tejas o láminas, se usaron durante muchos años hasta que surgieron inquietudes acerca de consideraciones de salud por la presencia de este material. Hoy en día las fibras de polipropileno, nylon, polietileno, metal etc,

que son inocuas frente a la salud humana, se emplean con fines similares en la producción de prefabricados. Tanto en la prefabricación pesada (pilotes, postes, dovelas, vigas) como en la prefabricación liviana (ladrillos, láminas, etc). Elementos de prefabricación pesada como dovelas para túneles hechos con TBM, han incorporado macrofibras para reemplazar parte del acero secundario, aumentando los volúmenes de producción.

Tabla 2.

*Tipos de concreto*

TIPO DE CONCRETO	CONCRETO CON FIBRA	UNIDAD
Resistencias de especificación	100, 140, 175, 210, 245, 280, 315, 350, 420,500	Kg/cm <sup>2</sup>
Edades de verificación de resistencia f'c	28	Dias
Tamaño máximo de agregado	Huso 57 ASTM = 1 Huso 67 ASTM = ¾ Huso 89 ASTM = ½	Pulgadas
Tiempo de manejabilidad desde la llegada a la obra	2.5	Horas
Asentamiento de diseño	De 4" a 8"	Pulgadas
Tiempos de fraguado inicial desde la salida de la planta	De 7 a 9	Horas
Peso Unitario	De 2,300 a 2,400	Kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Aire	De 1 a 3	%

Nota. Tipos de concreto. Fuente. Autores del proyecto

### Permeabilidad

En tanque, el agua se puede escapar por las grietas, pero si no existen grietas todavía puede escapar a través de los poros diminuto que existen en el concreto. Si las paredes del tanque son permeables, sus caras externas se verán humedecidas y no es que solo nos preocupé que el tanque se desocupe, lo grave es que el hierro dentro de las paredes se terminara oxidándose.

Concreto impermeable.

El concreto es un material permeable, es decir permite el paso del agua a través de poros o grietas.

Cubiertas, muros y cimentaciones de concreto que no han sido adecuadamente impermeabilizadas, provocan deterioros de acabados interiores.

### **Fibras en hormigones**

Las fundamentales propiedades mecánicas de los hormigones reforzados con Fibermesh están dadas por programas de ensayos basados en parámetros comparativos que producen una información útil para su aplicación. Son fibras químicamente inertes, no producen corrosión interna y tienen una gran resistencia a los ácidos minerales, básicos y sales orgánicas, son estables y no absorben agua.

Fibermesh se recomienda para:

- Controlar el agrietamiento resultante de tensiones internas provocadas por contracción y asentamiento plástico.
- Como sustituto de la malla electrosoldada y del acero por temperatura en hormigones.
- Disminuir la permeabilidad.
- Obtener mayor resistencia al desplazamiento de las piezas.
- Aumentar la resistencia al impacto.
- Para dar soporte y cohesión al hormigón en planos inclinados.
- Obtener mayor resistencia a la fatiga.
- Aumentar la durabilidad de las estructuras y reducir los problemas de corrosión del acero en medios agresivos.

- En lugares donde no debe haber materiales metálicos.
- Áreas en donde se requiere de materiales antialcalinos y resistentes a los productos químicos.

El mezclado de Fibermesh en el hormigón puede ser en planta o en la propia obra, fundamentalmente después de agregar los áridos, el cemento y el agua. La dosificación más usada es la de 900 gr/m<sup>3</sup> de hormigón. La terminación es la misma que para un hormigón normal y en general la presencia de fibras en la superficie del hormigón es aceptada pero de no quererse, mediante métodos mecánicos, puede eliminarse o también pueden usarse procesos de flameado. Dentro de las obras fundamentales que se han realizado con Fibermesh están la construcción de pisos en naves industriales, lagos artificiales en zonas recreativas como el realizado en Monterrey donde se ejecutaron 3 500 m<sup>2</sup> en piso y paredes combinado con malla metálica, viviendas, sustitución de aceros en pavimentos de vías, centros comerciales, en postes eléctricos para reducir los problemas de corrosión del acero y aumentar la durabilidad, tubos, pisos de diferentes edificaciones y usos marinos.

Las fibras se elaboran con polipropileno virgen; material impermeable, hidrófugo que no es mojado por el cemento, mortero o revoque. La perfecta distribución de las fibras entre las partículas de la masa se obtiene por efecto mecánico. No es necesario un largo contacto entre las fibras y el cemento, basta con introducirlas durante la preparación de la mezcla. Las fibras se presentan en longitudes de media, una y dos pulgadas. Sus efectos son iguales, dependiendo la elección de las preferencias del usuario y también de las dimensiones de la aplicación. La proporción indicativa de uso es de un kilogramo por metro cúbico de hormigón, pero está

vinculada con las solicitaciones que debe atender, pudiendo, según el caso, satisfacerse con proporciones hasta 25 % menores. Esto debe determinarse por ensayo de probetas.

El hormigón adicionado con fibras obtiene las siguientes propiedades: lo refuerza tridimensionalmente, evita la formación de hundimientos y fisuras en edades tempranas, impide y controla la formación de grietas en edades superiores, incrementa la resistencia a la tracción, flexión y compresión, aumenta la resistencia a los impactos, las cargas repetitivas y vibratorias, evita el desgranamiento, el deslizamiento del hormigón en planos inclinados, en el gunitado evita el deslizamiento vertical, reduce la permeabilidad y aumenta la resistencia a los factores abrasivos y corrosivos. Resumimos las múltiples aplicaciones del hormigón reforzado con fibras que lo hacen especialmente indicado para pavimento, banquetas, dársenas, cordones cuneta, bacheos, pistas de aviación, playas y playones, pisos industriales, estaciones de servicio, caños, columnas de alumbrado, telefónicas, postes, diques, canales, tanques y piletas, obras en lugares de alta salinidad, losas, baldosones y mosaicos, hormigón en general.

A continuación las fibras de polipropileno más usadas

FIBRAS DE POLIPROPILENO Sikafiber® AD DE SIKA Sikafiber AD es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que disminuye el agrietamiento de concretos y morteros. Sikafiber AD está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados, polímeros sintéticos que anulan la tendencia a reducir la trabajabilidad y el asentamiento del concreto, propia de otro tipo de fibras convencionales. Durante la mezcla, Sikafiber AD se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy

uniforme. La adición de Sikafiber AD aporta las siguientes ventajas: Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación. No modifica la trabajabilidad ni el asentamiento de la mezcla de concreto. Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad. La acción del Sikafiber AD es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento. Aumenta la resistencia al fuego en concretos lanzados y convencionales.

FIBRAS DE POLIPROPILENO Toc FIBRA 500 DE TOXEMENT. TOC FIBRA 500 es un refuerzo secundario de polipropileno fibrilado, para concreto o mortero. Se utiliza como refuerzo secundario, en placas de concreto o morteros de recubrimiento, otorgando resistencia al movimiento por contracción térmica y de secado; al mezclarse al concreto o mortero en estado fresco, reduce la formación de grietas por retracción plástica. En caso de ocasionarse grietas en estado endurecido por fallas de estructura menores, minimiza el ancho de longitud de las mismas. La adición de TOC Fibra500 aporta las siguientes ventajas: El refuerzo se realiza de forma multidireccional, mejora las resistencias mecánicas, reduce grietas en estado plástico y endurecido, reduce la permeabilidad y aumenta la durabilidad.

**5.2 Segundo objetivo específico. Determinar cuáles son las propiedades de estos polipropilenos y como son sus características para el concreto de acuerdo con las Investigaciones existentes.**

¿EN DÓNDE ACTÚAN LAS FIBRAS?

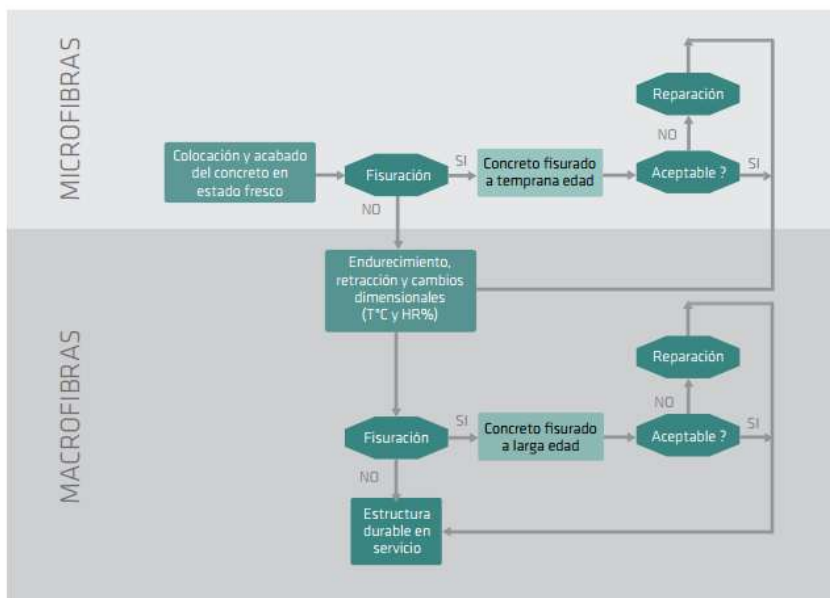


Figura 1. Donde actúan las fibras. Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polipropileno	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$
Poliestireno	PS	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$
Poli(cloruro de vinilo)	PVC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$
Poliacrilonitrilo	PAN	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}}-$
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$
Polibutadieno (1,4-cis)	PB	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$

Figura 2. Clases de polímeros. Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

Tabla 3.

*Propiedades mecánicas*

	<b>PP homopolímero</b>	<b>PP copolímero</b>	<b>Comentarios</b>
<b>Módulo elástico en tracción (GPa)</b>	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600	450 a 900	Junto al polietileno, una de las más altas de todos los termoplásticos
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42	28 a 38	
<b>Módulo de flexión (GPa)</b>	1,19 a 1,75	0,42 a 1,40	
<b>Resistencia al impacto Charpy (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	4 a 20	9 a 40	El PP copolímero posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos
<b>Dureza Shore D</b>	72 a 74	67 a 73	Más duro que el polietileno pero menos que el <b>poliestireno</b> o el <b>PET</b>

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

Tabla 4.

*Propiedades térmicas*

	<b>PP homopolímero</b>	<b>PP copolímero</b>	<b>Comentarios</b>
<b>Temperatura de fusión (°C)</b>	160 a 170	130 a 168	Superior a la del polietileno
Temperatura máxima de uso continuo (°C)	100	100	Superior al poliestireno, al LDPE y al PVC pero inferior al HDPE, al PET y a los "plásticos de ingeniería"
<b>Temperatura de transición vítrea (°C)</b>	-10	-20	

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras



A baja temperatura el PP homopolímero se vuelve frágil (típicamente en torno a los 0 °C); no tanto el PP copolímero, que conserva su ductilidad hasta los -40 °C.

El PP es una **poliolefina termoplástica** parcialmente cristalina

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos (**PE, PS, PVC, PET**). En 2005 la producción y el consumo de PP en la Unión Europea fueron de 9 y 8 millones de toneladas respectivamente, un volumen sólo inferior al del PE.

El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles

Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible

Termoformado de, por ejemplo, contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).

**Producción de** fibras, tanto tejidas como no tejidas.

Extrusión de perfiles, láminas y tubos.

**Producción de película**, en particular:

*Película de polipropileno biorientado (BOPP)*, la más extendida, representando más del 20% del mercado del embalaje flexible en Europa Occidental

*Película moldeada ("cast film")*

*Película soplada* ("blown film"), un mercado pequeño actualmente (2007) pero en rápido crecimiento

El PP es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes.

Tiene gran resistencia contra diversos **solventes** químicos, así como contra álcalis y ácidos.

Una gran parte de los grados de PP son aptos para contacto con alimentos y una minoría puede ser usada en aplicaciones médicas o farmacéuticas.

Polipropileno de Alto Impacto El Polipropileno de Alto Impacto (HIPP) es una poliolefina comercial importante. Normalmente es producido en un proceso de polimerización de múltiples etapas:

- Primera etapa: Se realiza la polimerización de partículas de polipropileno isotáctico. El polipropileno isotáctico (IPP) tiene excelentes propiedades tales como rigidez y resistencia química, pero posee una escasa resistencia al impacto, especialmente a bajas temperaturas, y esto limita sus aplicaciones.

- Segunda etapa: Se necesita la presencia de esta segunda etapa, ya que una forma de superar las limitaciones que presenta el IPP es añadir un elastómero o copolímero de etileno, es decir, se lleva a cabo una copolimerización formándose una fase de etileno-propileno de caucho dentro de la matriz de polipropileno isotáctico preformada. Al realizar esto tanto las propiedades como el coste de producción mejoran.

- Tercera etapa: En esta etapa lo que se ha añadido es un aditivo de refuerzo con el propósito de dotar al material de una mayor rigidez. En este trabajo el aditivo añadido al Polipropileno de Alto Impacto reforzado ha sido de un 12% en talco.

- Cuarta etapa: Una última etapa donde se adicionan una serie de aditivos y colorantes cuya naturaleza se desconoce y su función es darle una mayor estabilidad al polímero. A continuación se va a desarrollar cada una de estas etapas de síntesis del Polipropileno de Alto Impacto.

Primera etapa: Polimerización del Polipropileno Isotáctico La polimerización del polipropileno isotáctico se lleva a cabo a partir del monómero propileno que es el mostrado a continuación:

Al presentar un doble enlace su polimerización se puede llevar a cabo mediante adición. Existen varios tipos de polimerización dependiendo del iniciador que se utilice: por radicales libres, catiónica, aniónica y de coordinación. El polipropileno obtenido en esta etapa puede presentar diferentes tacticidades dependiendo del tipo de polimerización empleada. La tacticidad es la disposición espacial de los sustituyentes respecto del carbono asimétrico. A continuación se va a proceder a explicar los diferentes tipos de tacticidad que existen: Polímero sindiotáctico: Disposición en la que los sustituyentes se encuentran a un lado y al otro de la cadena alternadamente.

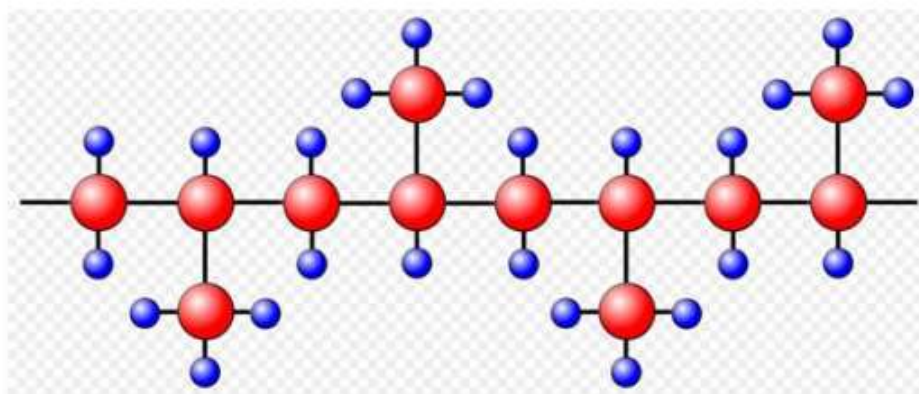


Figura 3. Polipropileno sindiotáctico. Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

La tacticidad de un polímero tiene un efecto determinante en las propiedades del mismo, por esta razón, el polipropileno que obtendremos en esta etapa para posteriormente sintetizar el Polipropileno de Alto Impacto será el isotáctico, ya que, como hemos mencionado anteriormente presenta unas excelentes propiedades tales como rigidez y resistencia química. Para la obtención del Polipropileno isotáctico, la polimerización que se lleva a cabo es adición por coordinación, la razón de utilizar este tipo de polimerización y no cualquiera de las nombradas anteriormente es porque con adición por coordinación, se obtiene el polipropileno isotáctico, es decir, el de interés. Polimerización por coordinación: Solo pueden polimerizar por coordinación aquellos monómeros que sean apolares. En este caso en concreto el propileno es un monómero apolar por lo que al añadir como iniciador algún óxido de metal de transición o el iniciador de Ziegler-Natta ( $TiCl_4$ ) tiene lugar la inserción del monómero con la formación de un complejo en un estado de transición. A continuación se produce la reestructuración del centro activo, y de esta forma se produce el polímero hasta la terminación. Cabe mencionar que el polipropileno isotáctico es un polímero semicristalino con capacidad de cristalización en tres polimorfos cristalinos diferentes, conocidos como ó monoclinico, ó trigonal y ó triclinico. Mientras que en condiciones normales

de cristalización, el polimorfo cristalino que se desarrolla habitualmente es el monoclinico, la fase cristalina aparece de forma esporádica a muy altos subenfriamientos, por cristalización en gradiente o bajo cizalla y por la acción de determinados agentes nucleantes. Así mismo, bajo ciertas condiciones de cristalización, la fase cristalina aparece en ocasiones junto con la fase monoclinica. Al finalizar esta primera etapa se habrá obtenido el polipropileno isotáctico que será llevado a una segunda etapa en la que será tratado.

Segunda etapa: Obtención del Copolímero de Impacto Antes de comenzar a explicar en que consiste esta segunda etapa en la cual se lleva a cabo la copolimerización, se van realizar una serie de definiciones previas:

- HPP: Homopolímero de PP, y se usa el isotáctico (IPP) que ha sido obtenido en la primera etapa.
- RCP: Polipropileno que contiene etileno como un comonomero en las cadenas de PP y se denomina copolímero aleatorio.
- ICP: HPP que contiene una fase RCP que tiene un contenido de etileno de 45-65 % y se trata de un Copolímero de Impacto. Los Copolímeros de Impacto son mezclas físicas de HPP y RCP, y en la mezcla global tienen un contenido de etileno del orden de (6-15 %) en peso. La parte de la mezcla de RCP está diseñada para tener contenidos de etileno del orden de 45-65 % de etileno y se denomina la fase de caucho.7.1 10 El Copolímero de Impacto (ICP) puede ser obtenido por dos vías diferentes:
  - En la primera vía la fase de caucho es mezclada mecánicamente con el HPP en una extrusora.

- En la segunda vía el ICP es polimerizado in situ en un sistema de dos reactores: o El HPP se realiza en el primer reactor con un catalizador activo (como se ha explicado en la primera etapa) que permanece en él y es transportado a un segundo reactor. o En el segundo reactor una mezcla de etileno y monómero de propileno se polimeriza en los huecos e intersticios de la partícula de polvo de polímero de HPP. La cantidad de fase de caucho que se mezcla en la HPP por métodos mecánicos o reactor se establece en función del nivel de resistencia al impacto necesaria. La resistencia al impacto del producto ICP se determina no sólo por su contenido de caucho, sino también por el tamaño, la forma y distribución de las partículas de caucho en todo el producto ICP. Los productos de ICP obtenidos en el reactor generalmente dan una mejor resistencia al impacto, a una cantidad de caucho dada, que los productos obtenidos por la extrusora, por este motivo se utiliza más el método de los dos reactores. A medida que aumenta el contenido de caucho en el producto ICP, aumenta la resistencia al impacto, pero esto es a expensas de la rigidez (módulo de flexión) del producto.

Corresponden a una nueva tecnología que ofrece ventajas.

Pueden ser aplicadas en concretos lanzados como refuerzo en estabilizaciones de taludes, soporte para túneles y minas, aseguramiento de tierra y roca artificial. Sin embargo, hasta el momento sólo se suelen utilizar fibras metálicas para estas aplicaciones, desconociendo las virtudes y ventajas que presenta el uso de fibras de polipropileno.

Para otorgarle mayores cualidades al concreto lanzado, las fibras de polipropileno de alta resistencia constituyen una innovadora alternativa al ser más livianas, no sufrir oxidaciones y permitir considerables ahorros de tiempo y de cantidad de concreto lanzado.

Asimismo, es un producto que al ser bombeado origina un desgaste pequeño en tuberías y mangueras, a diferencia del desgaste que producen las fibras metálicas. Además no afecta las cualidades del concreto. Según reportes, las fibras de polipropileno reducen la contracción no restringida, plástica y por secado del concreto para contenidos de fibra de 0.1 a 0.3 % por volumen. Las propiedades físicas de las fibras utilizadas son: Material: 100 % de polipropileno virgen Capacidad de tensión: 0.67 kN / mm<sup>2</sup> Módulo (Young): 4.0 kN / mm<sup>2</sup> Punto de fusión: 165° C Punto de fundición: 590° C Resistencia química: excelente Resistencia a la oxidación: excelente Absorción: nula Longitud de la fibra: 19 mm Aplicación: Las fibras inhiben la fisuración intrínseca en todo tipo de concreto, siendo particularmente adecuadas en la industria del concreto premezclado. Aplicaciones frecuentes incluyen pavimentos, carreteras, elementos prefabricados. Este tipo de fibras se aplica, principalmente, en la construcción de túneles y taludes como refuerzo secundario permitiendo eliminar el uso de mallas, ya que el concreto lanzado con fibras puede seguir la curvatura irregular de una excavación sin que queden espacios vacíos o sombras, como sí ocurre al utilizar mallas produciendo oxidaciones en ellas y como consecuencia grietas en el concreto lanzado.

**5.3 Tercer objetivo específico. Establecer las características que se debe tener en cuenta para realizar una mezcla con las fibras de polipropileno como un método de elaboración del concreto**

#### **Descripción de los materiales componentes del concreto con fibras**

##### **Cemento**

Para el estudio se empleó cemento CPO 30R (Cemento Portland Ordinario), que cumple con las características establecidas en la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE.

##### **Agregados**

En la fabricación de los concreto se empleó agregado grueso (grava) de origen calizo en dos tamaños máximos, 19.0 y 9.5 mm (3/4" y 3/8"). Por su parte, como agregado fino (arena) se empleó agregado de origen andesítico, el cual es usual que tenga exceso de finos que pasan la malla 200 (75 /m). Para subsanar esta deficiencia se lavó parte de la arena empleada para dejarla en condiciones aceptables. No obstante que el agregado de origen andesítico es potencialmente reactivo con los álcalis del cemento, no hay evidencia de que esta reacción se haya presentado en toda la historia del uso de este agregado en los concretos de la ciudad de México. Las propiedades de estos agregados pétreos se indican en la Tabla 5.



Tabla 5.

*Propiedades de los agregados pétreos*

Propiedad	Arena		Grava	
	natural	lavada	9.5 mm	19.0 mm
Peso específico (seco)	2.11	2.28	2.46	2.46
Peso específico saturado superficialmente (seco)	2.31	2.40	2.51	2.51
Absorción, %	9.05	5.63	1.73	1.73
Peso volumétrico seco suelto, kg/m <sup>3</sup>	1562	1539	1439	1450
Peso volumétrico seco compactado, kg/m <sup>3</sup>	1662	1644	1583	1613
Módulo de finura	2.84	3.10	----	----

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

**Fibra de polipropileno**

La fibra copolimérica es de tipo monofilamento, no fibrilada, totalmente orientada, con un perfil que permite anclarla a la matriz cementicia. En la **Tabla 2** se presentan las propiedades de la fibra sintética empleada.

Tabla 6.

*Propiedades del polipropileno*

Fibra	Monofilamento de copolimero virgen
Color	Gris
Longitud, mm	38
Resistencia a tensión, kg/cm <sup>2</sup>	6328-7031
Módulo elástico, kg/cm <sup>2</sup>	43000
Peso específico	0.93
Punto de ignición, °C	177

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

### **Aditivo**

Cuando fue necesario, se usó, un superfluidificante de nueva generación (ASTM C494, Tipo F) en las mezclas de baja trabajabilidad con el fin de mantener el revenimiento de las mezclas en el límite establecido de  $100 \pm 25$  mm. El aditivo empleado es un compuesto a base de cadenas de éteres policarboxílicos modificados, propio para concretos empleados en climas cálidos.

### **Agua**

Se empleó agua proveniente de la red de agua potable de la ciudad de México; el agua debe satisfacer la norma NMX-C122-ONNCCE, Agua para concreto.

## **Mezclas de concreto con fibras**

### **Diseño**

El diseño de las mezclas se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones de ACI 211.1 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete"<sup>6</sup> por el método de volúmenes absolutos. El objetivo principal fue alcanzar mezclas de consistencia media (revenimiento de  $100 \pm 25$  mm) para facilitar la manipulación, colocación y compactación y una resistencia a compresión de  $300 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días de edad.

Por cada tamaño máximo de agregado grueso (19.0 y 9.5 mm) se realizaron cuatro mezclas, una de referencia (M1 y M5, sin fibras) y las otras tres con consumo de fibras de 1, 3 y  $5 \text{ kg/m}^3$  de concreto (M2 a M4, y M6 a M8, respectivamente), que corresponden a porcentajes volumétricos de 0.11, 0.32 y 0.54%, respectivamente. Para las mezclas con fibras de polipropileno, los consumos de los materiales componentes del concreto fueron los mismos, simplemente se le agregaron las fibras en la cantidad prevista al final del mezclado. La mezcla

M4 con un consumo de fibra de 5 kg/m<sup>3</sup> de concreto requirió agregarle aditivo superfluidificante (1373 ml/m<sup>3</sup>) para restaurar el revenimiento requerido de 100 ± 25 mm. Los consumos de los materiales componentes de las mezclas se indican en la **Tabla 3**.

### **Mezclado**

Las fibras sintéticas que se diseñan y producen específicamente para concreto pueden resistir a largo plazo el medio altamente alcalino del concreto. Las fibras se añaden al concreto durante la operación de mezclado. Usualmente se empacan de manera suelta en bolsas degradables que se agregan a la mezcla en la planta de dosificación y mezclado, o se vierten al camión mezclador en el lugar de la obra. Se prefiere la primera opción porque se puede tener mejor control en su consumo y permitir un mezclado eficiente que garantice la uniformidad de su distribución en la masa de concreto.

El mezclado del concreto utilizado en el estudio se realizó en una revolvedora de 90 litros de capacidad. Primero se incorporaron la arena, la grava y el agua de absorción, dejándolos mezclar por un minuto; enseguida se añadieron el cemento y el agua restante y se continuó el mezclado por otros tres minutos, seguido de un reposo de tres minutos y de dos minutos adicionales de mezclado, para romper el fraguado falso en caso de que este se presentara. Las fibras se añadieron al final del tiempo de mezclado descrito anteriormente, mezclando los materiales incluidos durante otros dos minutos. En caso de requerir añadir el aditivo para restaurar el revenimiento, este se incorporó al final de ese tiempo y se dejó mezclar por dos minutos adicionales.

### **Colocación, compactación y curado**

El concreto reforzado con fibras sintéticas se puede colocar empleando equipo convencional de colocación tal como canaletas de camión, cubos con descarga inferior, bandas transportadoras y bombas. El equipo debe estar limpio y en buenas condiciones para asegurar que el concreto fluya fácilmente. Cabe decir que la compactación se debe lograr mediante vibrado externo para garantizar una distribución uniforme de las fibras, misma que se altera con un vibrado por inmersión.

El moldeado de cilindros y vigas fue en dos capas, y los anillos en una sola. Todas las muestras fueron compactadas en una mesa de vibrado durante 25 segundos. A los especímenes empleados en el estudio se le aplicó un curado húmedo (23°C, 100% HR) por 28 días o hasta la edad de ensaye.

### **Acabado**

**Operación de enrase:** Para la operación de enrase se puede emplear regla vibratoria sobre el molde, enrasadora eléctrica portátil o enrasadora guiada por láser. La vibración externa hace que la pasta salga a la superficie y cubra las fibras localizadas en la superficie de la losa, encapsulándolas en el concreto y minimizando su exposición en la superficie.

**Periodo de espera:** Las fibras sintéticas pueden bloquear o retardar la aparición del agua de sangrado en la superficie del concreto. Por lo tanto, es importante verificar que toda el agua de sangrado se haya evaporado antes de comenzar con el acabado del concreto. Puesto que el concreto con fibras no parece nada diferente del concreto convencional únicamente se requiere

esperar un poco más de tiempo que el usual. Si se empieza la operación de acabado demasiado pronto, se incrementa la posibilidad de que las fibras queden expuestas.

**Operaciones finales de acabado:** Los concretos con fibras sintéticas son compatibles con casi todos los tratamientos y acabados de la superficie de concreto, incluyendo estampado de patrones, agregado expuesto, escobillado y acabado con llana manual o mecánica. Si se requiere una superficie texturizada, se puede utilizar escoba con cerdas duras o un rastrillo texturizador, a condición de que se pase en una sola dirección. Si el rastrillo o la escoba se impulsan hacia atrás y hacia adelante, se pueden desacomodar las fibras.

**Fibras expuestas:** Si hay fibras expuestas en la superficie de la losa de concreto, las fibras sintéticas, relativamente suaves, por lo regular desaparecen rápidamente bajo la acción de un tránsito ligero.

A los especímenes utilizados en el estudio se les dio un acabado con llana metálica.

### **Concreto en estado fresco**

Al concreto en estado fresco se le hicieron las siguientes determinaciones: revenimiento, contenido de aire, masa unitaria y agrietamiento por contracción plástica<sup>7</sup>. Los ensayos de revenimiento, contenido de aire y masa unitaria se realizaron de conformidad con los métodos de ensaye NMX-C156-ONNCCE, NMX-C157-ONNCCE y NMX-C-112-ONNCCE, respectivamente.

El ensaye de agrietamiento por contracción plástica consiste en fabricar anillos de concreto de 80 mm de altura y diámetros interior y exterior de 280 y 580 mm, respectivamente, y someterlos a un flujo de viento de 4 m/s que se hace pasar por un túnel de viento en un ambiente

controlado a una temperatura de 20°C y una humedad relativa de 40%, **Fig. 1<sup>8</sup>**. Los resultados se presentan en las Tabla 7 y 8.



Figura 4. Anillo y equipo de la prueba de contracción plástica. Fuente. Fibras sintéticas, Cemex, Colombia

Tabla 7.

*Propiedades del concreto en estado fresco de mezclas con y sin fibras*

<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>			
<b>Mezcla</b>	<b>Revenimiento cm</b>	<b>Masa unitaria kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Aire atrapado %</b>
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	12.0	2281	2.0
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	9.9	2271	2.4
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	8.7	2280	2.2
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	9.8*	2266	2.2
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>			
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	10.0	2238	3.4
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	10.7	2249	2.8
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	9.2	2257	2.5
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	7.1	2234	2.8

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

Tabla 8.

*Índice de grieta por contracción plástica*

Mezcla	Número de grietas		Índice de grieta mm
	Anillo 1	Anillo 2	
<b>Grava 19.0 mm</b>			
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	9	9	0.23
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	4	3	0.18
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	1	0.08
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	0	0	----
<b>Grava 9.5 mm</b>			
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	5	3	0.11
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	2	1	0.07
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	1	0.04
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	0	0	----

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

Como es de esperar y como se observa en la **tabla 4** el revenimiento de las mezclas se reduce a medida que el contenido de fibras se incrementa. En las mezclas con 5 kg de fibras por m<sup>3</sup> de concreto (M4 y M8) el revenimiento se salió del rango establecido como aceptable ( $100 \pm 25$  mm); para restablecer la consistencia a la mezcla M4 se le agregó aditivo superfluidificante, en tanto que a la mezcla M8 no se le corrigió el revenimiento dado que se podía compactar fácilmente.

La masa unitaria no presenta cambios significativos alcanzando valores promedio de 2274 y 2244 para las mezclas M1 a M4 y M5 a M8, respectivamente, con coeficientes de variación menores a 0.5%.

El contenido de aire tampoco varió significativamente con el consumo de fibra, alcanzando valores promedio de 2.2% para las mezclas con agregado grueso de 19.0 mm de tamaño máximo, y de 2.9% para las mezclas de 9.5 mm de tamaño máximo de agregado. Esta diferencia se debe a que en estas últimas mezclas hechas con arena lavada se eliminan muchos de los finos, ya que al

emplear agregados gruesos de tamaños más pequeños, se incrementan también los vacíos. En cuanto al índice de grieta por contracción plástica, éste se establece como el ancho promedio de grieta en las secciones 1 y 2 mostrado en el esquema de agrietamiento de la **Fig 2**. En la **Tabla 6** se puede observar que el número de grietas y el ancho de las mismas disminuyen, tanto por el efecto del consumo de fibra como por el empleo de arena con menor cantidad de finos. En cuanto al consumo de fibras se observa que a partir de  $3 \text{ kg/m}^3$  de concreto se tienen anchos de grietas del orden de las centésimas de milímetro y para consumos de fibra de  $5 \text{ kg/m}^3$  de concreto ya no se presentan grietas.

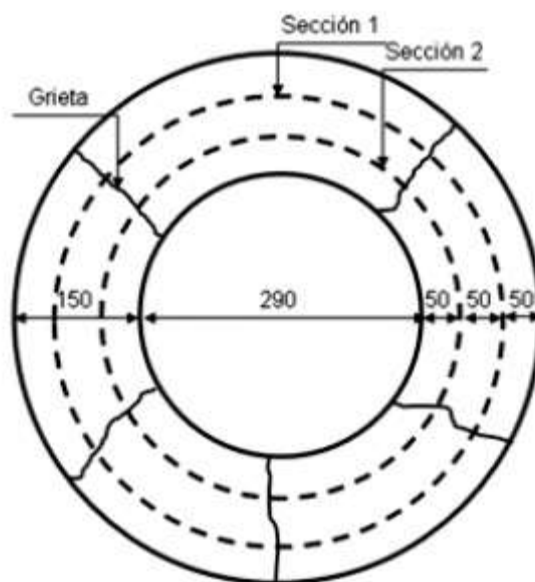


Figura 5. Esquema de desarrollo de grietas. Fuente. Fibras sintéticas, Cemex, Colombia



Tabla 9.

*Resistencia a compresión de los concretos con y sin fibras*

<b>Tabla 6. Resistencia a compresión de los concretos con y sin fibras.</b>			
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>			
	<b>Resistencia a compresión, <math>f_c</math>, kg/cm<sup>2</sup></b>		<b><math>f_c</math> 7 días/<math>f_c</math> 28 días</b>
	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>	
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	238	366	0.65
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	241	346	0.70
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	230	334	0.69
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	252	365	0.69
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>			
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	251	350	0.72
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	264	352	0.75
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	243	336	0.72
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	247	334	0.73

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

## Concreto en estado endurecido

### Ensayes realizados

Al concreto endurecido se le hicieron las siguientes determinaciones: resistencia a compresión; módulo elástico y relación de Poisson; resistencia a tensión por compresión diametral; resistencia a flexión y tenacidad; resistencia al impacto, y contracción por secado<sup>7, 9</sup>.

Los ensayes de resistencia a compresión, módulo elástico y relación de Poisson, resistencia a tensión por compresión diametral y resistencia a tensión por flexión se realizaron de conformidad con los métodos de ensaye NMX-C-083-ONNCCE, NMX-C-128-ONNCCE, NMX-C-163-ONNCCE y NMX-C-191-ONNCCE, respectivamente. El ensaye de contracción por secado se realizó de acuerdo con el método ASTM C-157.

En la Figura 6. Se presenta la instrumentación para el ensaye de tenacidad y en la 4 un esquema del dispositivo para el ensaye de impacto.



Figura 6. Dispositivo para la prueba de flexión y tenacidad. Fuente. Fibras sintéticas, Cemex, Colombia

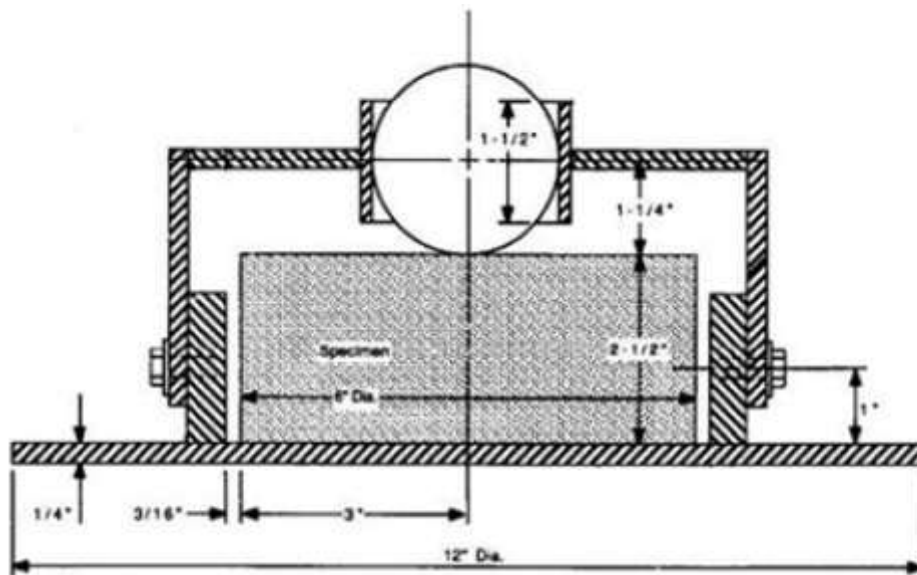


Figura 7. Esquema del dispositivo para la prueba de impacto. Fuente. Fibras sintéticas, Cemex, Colombia

## Resultados de los ensayos

### Resistencia a compresión

En la **Tabla 6** se presenta las resistencia a compresión de los concretos ensayados a edades de 7 y 28 días, para las mezclas hechas con agregados gruesos de 9.5 y 19.0 mm de tamaño máximo y arena andesítica lavada y sin lavar, respectivamente. Como se puede observar prácticamente no existe modificación en la resistencia por la incorporación de las fibras; aunque hay una tendencia a la disminución de la resistencia con el consumo de fibra, esta reducción se debe principalmente a que se reduce la consistencia y, por tanto, la compactación que se puede lograr. Al modificar la consistencia por la incorporación de un aditivo superfluidificante (mezcla M4) se incrementa la consistencia, igualando la resistencia a la alcanzada en los concretos sin fibra. A la mezcla M8 no se le incorporó el aditivo superfluidificante para restaurar el revenimiento y, por tanto, no mejoró la compactación ni la resistencia a compresión.

### Módulo de elasticidad y relación de Poisson

En la **Tabla 7** se presentan la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la deformación unitaria máxima y la relación  $E/\sqrt{f_c}$ , obtenidas del ensaye de las diferentes mezclas. Cabe señalar que cada resultado representa el promedio de tres especímenes ensayados. De acuerdo con los resultados de los ensayos no se observan cambios en la rigidez del concreto por la incorporación de la fibra, conservando valores similares los

concretos con o sin fibras sintéticas de polipropileno. La deformación unitaria máxima resultó prácticamente la misma para ambos concretos.

Tabla 10.

*Propiedades elásticas de los concretos con fibras*

Identificación	Resistencia a compresión, $f_c$ , kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad, E, kg/cm <sup>2</sup>	Relación de Poisson, $\mu$	Deformación unitaria máxima, $\epsilon_c$	$E_c/\sqrt{f_c}$
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>					
M1	366	241 986	0.26	0.0026	12 649
M2	346	233 255	0.22	0.0027	12 540
M3	334	248 975	0.21	0.0023	13 623
M4	365	247 108	0.24	0.0027	12 934
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>					
M5	350	235 347	0.20	0.0029	12 435
M6	352	227 437	0.21	0.0030	11 918
M7	336	236 212	0.26	0.0025	12 615
M8	334	218 428	0.23	0.0033	11 827

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

El tamaño del agregado grueso origina un ligero cambio en la rigidez del concreto. Las mezclas de concretos con gravas más pequeñas requieren mayor cantidad de mortero y, por tanto, son más deformables.

### **Resistencia a tensión por flexión**

En la Tabla 11 se presentan los resultados del ensaye a flexión de vigas de concreto reforzado con diferentes porcentajes de fibras, tanto para los concretos con gravas de 19.0 mm de tamaño máximo y arena sin lavar, como para los concretos con gravas de 9.5 mm de tamaño máximo y arena lavada. Como se puede observar de los resultados de ensayos, para los concretos

con gravas de 19.0 mm hubo un incremento promedio de 12% en la resistencia a tensión por flexión en los concretos que tenían fibras, no así en los concretos con gravas de 9.5 mm de tamaño máximo donde se presentó una reducción promedio de 21% de la resistencia a tensión por flexión. No obstante lo anterior, en general, los concretos con y sin fibras con agregados de 9.5 mm de tamaño máximo tuvieron resistencias a tensión por flexión superiores a la de los concretos con agregados de 19.0 mm de tamaño máximo, pero como la resistencia del concreto sin fibra con agregado de 9.5 mm (mezcla M5) alcanzó una resistencia a tensión más elevada ( $2.56\sqrt{f_c}$ ) de lo que era de esperarse ( $1.80\sqrt{f_c}$  a  $2.20\sqrt{f_c}$ ) las resistencias a tensión de los demás concretos con fibras (M6 a M8) resultaron inferiores a la del concreto sin fibras. Por lo antes comentado, no se puede generalizar el efecto de la incorporación de las fibras en la resistencia a tensión, ya que en algunas mezclas las fibras incrementan la resistencia y en otras la reduce. Las relaciones entre las resistencias a tensión y compresión encontradas en el estudio son las usuales para los concretos sin fibras.

Tabla 11.

*Resistencia a tensión por flexión*

Identificación	Resistencia a compresión, $f_c$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a flexión, $f_f$ , kg/cm <sup>2</sup>	$f_f/f_c$ , %	$f_f/\sqrt{f_c}$
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>				
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	366	35	9.6	1.83
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	346	39	11.3	2.10
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	334	39	11.7	2.13
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	365	40	11.0	2.10
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>				
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	350	48	13.7	2.56
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	352	35	9.9	1.89
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	336	41	12.2	2.22
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	334	43	12.9	2.34

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

## Resistencia a tensión por compresión diametral

Los resultados de los ensayos se presentan en la **Tabla 9** y en la **Fig. 5** se observa el tipo de falla que se presenta en los especímenes ensayados, siendo clara la influencia de las fibras en la ductilidad del concreto a la falla. Al igual que en el caso de la resistencia a tensión por flexión en este ensayo se encontraron ligeros incrementos y reducciones, inferiores a 9%, en la resistencia a tensión de los concretos que incluyen fibras en los porcentajes aquí estudiados, en relación con la de los concretos sin fibras.

Tabla 12.

### *Resistencia a tensión por compresión diametral*

Identificación	Resistencia a compresión, $f_c$ , kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a tensión, $f_t$ , kg/cm <sup>2</sup>	$f_t/f_c$ %	$f_t/\sqrt{f_c}$
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>				
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	366	29	7.9	1.52
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	346	30	8.7	1.61
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	334	29	8.7	1.59
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	365	32	8.8	1.67
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>				
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	350	34	9.6	1.80
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	352	31	8.7	1.63
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	336	30	9.1	1.66
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	334	33	9.9	1.80

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

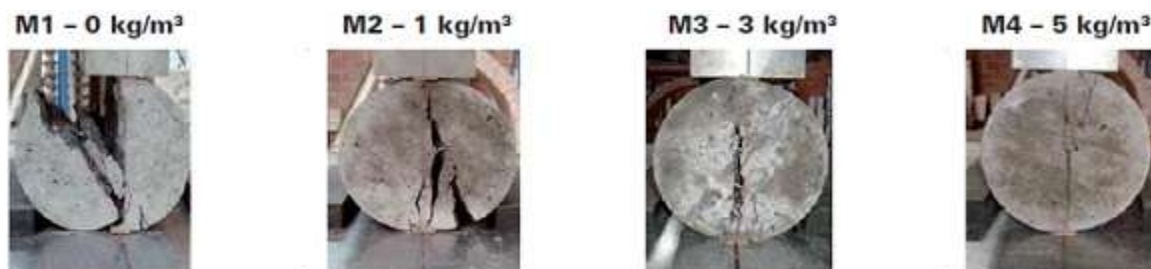


Figura. 8. Modo de falla de las muestras de resistencia a compresión diametral. Fuente. Fibras sintéticas, Cemex, Colombia

Las relaciones entre las resistencias a tensión y compresión son las usuales para estos ensayos y como se observa no hay diferencia significativa entre los valores determinados para los concretos sin fibras y los que sí las incluyen.

### **Resistencia al impacto**

En la tabla 12 se presentan los resultados de este ensaye en términos del número de impactos requeridos para producir el agrietamiento inicial y total de las muestras de concreto con y sin fibras. De acuerdo con los resultados es posible ver que la incorporación de las fibras de polipropileno tuvo un efecto benéfico en el desempeño de los concretos, sobre todo, cuando los consumos de fibras fueron iguales o mayores a  $3 \text{ kg/m}^3$  de concreto. Por otra parte, se observa que la capacidad de los concretos para resistir los impactos fue superior cuando se fabricaron con agregados de 9.5 mm de tamaño máximo y arena lavada.



Tabla 13.

*Resistencia al impacto de los concretos con y sin fibras*

Identificación	Resistencia al impacto. Número de impactos	
	Primera grieta (C. con fibra/C. sin fibra)	Grieta última (C. con fibra/C. sin fibra)
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>		
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	347 (1.00)	350 (1.00)
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	225 (0.65)	255 (0.73)
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	446 (1.28)	490 (1.40)
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	693 (2.00)	764 (2.18)
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>		
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	553 (1.00)	555 (1.00)
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	639 (1.15)	667 (1.20)
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	706 (1.28)	776 (1.40)
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	815 (1.47)	969 (1.75)

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

### Tenacidad

La tenacidad de los concretos se mide como el área bajo la curva esfuerzo-deformación obtenida del ensaye en flexión de vigas realizado con cargas aplicadas a los tercios del claro y con control de la velocidad de desplazamiento al centro del claro. Se determinan tres índices de tenacidad ( $I_5$ ,  $I_{10}$  e  $I_{20}$ ) que corresponden a las relaciones de las tenacidades que se alcanzan a desplazamiento de 3.0, 5.5 y 10.5 veces el desplazamiento alcanzado para la tenacidad a la aparición de la primera grieta (resiliencia elástica), respectivamente, divididas entre la resiliencia elástica. En la tabla 14 se presentan los resultados de estos ensayes y en la **Fig. 8** las gráficas carga-desplazamiento correspondientes. Así, como se puede observar la tenacidad de los concretos con fibras se incrementa con el consumo de fibra y resultó mayor para los concretos con grava de 9.5 mm de tamaño máximo y arena lavada.



Tabla 14.

*Tenacidad de las mezclas de concreto con fibras*

<b>Tabla 11. Tenacidad de las mezclas de concreto con fibras.</b>							
Identificación	Tenacidad (Joules)				Índices de tenacidad		
	T <sub>δ</sub>	T <sub>3δ</sub>	T <sub>5,5δ</sub>	T <sub>10,5δ</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>							
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	35.65	62.46	69.82	82.64	1.75	1.96	2.32
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	27.95	50.08	70.93	99.64	1.79	2.54	3.57
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	32.08	71.94	119.16	197.11	2.24	3.72	6.16
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>							
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	19.20	39.15	52.69	65.43	2.00	2.62	3.25
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	5.24	16.20	23.76	36.29	3.10	4.54	6.93
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	4.87	17.73	29.04	48.19	3.70	6.08	10.14

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

**Contracción por secado**

Entre las acciones que originan el agrietamiento del concreto se encuentra la contracción del concreto por pérdida de humedad, cuando los elementos estructurales están restringidos para contraerse libremente. La rapidez con que se presenta la pérdida de humedad está asociada a la temperatura y humedad relativa ambiente, la velocidad del viento, el área expuesta del elemento y otros factores intrínsecos del concreto, como la capacidad de sus materiales componentes para retener humedad en su interior<sup>10</sup>.

La magnitud de la contracción está influenciada en forma importante por los consumos de agua y cemento en la mezcla, por la cantidad y rigidez del agregado grueso empleado y por la cantidad de finos menores a 75  $\mu\text{m}$  que contenga la arena. En la **Tabla 12** se presentan los resultados de las pruebas efectuadas a los concretos con y sin fibras, para los dos tamaños máximos del agregado grueso y para la arena con exceso de finos (arena sin lavar) y arena con cantidad reducida de finos (arena lavada). Estos resultados hacen ver la influencia que tiene el

consumo de fibra en la contracción alcanzada; al aumentar la cantidad de fibra incluida se reduce la contracción última esperada a largo plazo. Por otra parte también se puede observar la influencia que tienen los finos de la arena en la magnitud de la contracción al comparar la contracción de los concretos sin fibra y con arena sin lavar ( $558 \times 10^{-6}$ ) y la del concreto sin fibra y arena lavada ( $466 \times 10^{-6}$ ). Asimismo, se observa la eficacia de la inclusión de fibras en los concretos con arena sin lavar y lavada, al comparar la reducción de la contracción última para consumo de fibra de 0 y  $5 \text{ kg/m}^3$  en los concretos con arena sin lavar (14%) y la alcanzada para los mismos consumos de fibra (0 y  $5 \text{ kg/m}^3$ ) en los concretos con arena lavada (54%)

Tabla 15.

*Contracción por secado de los concretos con y sin fibras*

<b>Tabla 12. Contracción por secado de los concretos con y sin fibras.</b>			
Identificación	$\epsilon_t = \frac{t^a}{b + t^a} (\epsilon_c) u$		
	<i>a</i>	<i>b</i>	$(\epsilon_c) u \times 10^{-6}$
<b>Mezclas con gravas de 19.0 mm y arena sin lavar</b>			
M1 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	7.31	558
M2 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	11.3	535
M3 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	16.5	492
M4 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	10.9	483
<b>Mezclas con gravas de 9.5 mm y arena lavada</b>			
M5 (0 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	13.0	466
M6 (1 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	9.15	394
M7 (3 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	5.05	308
M8 (5 kg de fibra/m <sup>3</sup> )	1	1.74	217

Fuente. Manual de cemento, mezcla con fibras

En la Tabla 15 se presenta la contracción alcanzada a través del tiempo por los concretos con y sin fibras, con agregado grueso de 19.0 mm y arena sin lavar y por los concretos con agregado grueso de 9.5 mm de tamaño máximo y arena lavada.

## Conclusiones

En la recopilación de información sobre como son los usos de polipropilenos indicados para la protección de elementos estructurales de concreto en el país se conoció cuáles son los parámetros que rigen y están estipuladas en Colombia. Y se conoció que el polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos (**PE, PS, PVC, PET**). En 2005 la producción y el consumo de PP en la Unión Europea fueron de 9 y 8 millones de toneladas respectivamente, un volumen sólo inferior al del PE.

Se determinó cuáles son las propiedades de estos polipropilenos y como son sus características para el concreto, donde se obtuvo su forma de aplicación, las ventajas y desventajas que tiene el concreto con las fibras, su comportamiento con los demás componentes.

Se conoció las características que se debe tener en cuenta para realizar una mezcla con las fibras de polipropileno como un método de elaboración del concreto donde la fibras de polipropileno en las mezclas de concreto modifica su consistencia cuando los consumos de fibra son elevados (del orden de  $5 \text{ kg/m}^3$  o superiores). La masa unitaria y el contenido de aire atrapado se modifican ligeramente. Por su parte, los consumos de fibras de polipropileno igual o mayor a  $3 \text{ kg/m}^3$  de concreto, reducen en forma importante el agrietamiento por contracción plástica.

La resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson y la deformación unitaria a la falla por compresión no se modifican en forma significativa por la

inclusión de fibras hasta para consumos de  $5 \text{ kg/m}^3$ . La resistencia a tensión por flexión se modifica, aunque la tendencia no queda definida totalmente ya que en algunos casos la incrementa y en otros la reduce. La resistencia a tensión determinada en forma indirecta se modifica en menor cuantía, pero también sin tendencia definida.

La resistencia del concreto al impacto se incrementa en forma significativa con el consumo de fibras de polipropileno, siendo en algunos casos, mayor al doble para consumos de fibra de  $5 \text{ kg/m}^3$  de concreto.

## Recomendaciones

Hacer pruebas de absorción de la fibra a implementar y seguir todos los pasos de diseño de mezclas de concreto.

Humedecer las fibras con antelación a la mezcla, de manera que ésta no altere la cantidad de agua demandada por la mezcla original.

Evaluar la liberación del agua absorbida por la fibra.

Además de los ensayos y cuidados citados, se recomienda documentar todos los pasos realizados, dejar registro del número de lote del producto utilizado y siempre seguir las instrucciones de los fabricantes.

Por las características del tipo de resina epóxica utilizado como adhesivo, se deberá proteger el refuerzo con un material aislante en caso de que este pueda alcanzar una temperatura de 50°C y/o este expuesta a rayos ultravioletas. Si existiera riesgo de daño mecánico, químico o ignífugo se deben tomar las medidas correspondientes y realizar las protecciones adecuadas, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Si la protección necesaria fuera solo contra los rayos UV, existen pinturas con las que se puede pintar la superficie.

Es muy importante a la hora de la colocación asegurar que las fibras del tejido queden cubiertas con el epóxico impregnante adecuadamente. Esto asegura, más allá de una buena adherencia, que estas fibras queden bien protegidas de las acciones ambientales.

Específicamente para el refuerzo de columnas, se debe asegurar que las juntas verticales estén desfasadas (no sea coincidente su posición) y que se solapen por lo menos 15 cm.

Una vez preparada la superficie y antes de proceder a la adhesión de las piezas, se deben verificar la resistencia a adherencia del sustrato. Para un sustrato de hormigón se debe asegurar una tensión no menor de 15 kg/cm<sup>2</sup> . Para mampostería “el valor mínimo no debe ser menor que la resistencia a la tensión característica de la mampostería”

El uso de fibras puede causar una aparente pérdida en el asentamiento del concreto. Este efecto puede ser compensado con el uso de un aditivo reductor de agua si es necesario.

Las fibras nunca deben ser agregadas a un concreto con cero asentamiento. Asegure un mínimo de asentamiento de 3” (80 mm) previo a la adición de cualquier fibra.

En todos los casos consultar la Hoja de Seguridad del Producto antes de su uso.

## Referencias

ADAM, M. (2013). aspectos del hormigon. En M. ADAM, *aspectos del hormigon*. barcelona: tecnicos asociados.

BERNABEU, J. (2015). Precedentes históricos de colaboración entre acero y hormigón en la construcción de puentes. En J. BERNABEU, *Precedentes históricos de colaboración entre acero y hormigón en la construcción de puentes*.

DUPOUY O., G. D. (2013). Hormigones y Morteros de Alta Resistencia en Base al Uso de Silicafume. En G. D. DUPOUY O., *Hormigones y Morteros de Alta Resistencia en Base al Uso de Silicafume*. chile.

MERRITT. S, Frederick. (2015). Manual del Ingeniero Civil Tomo I. Mc Graw Hill. México.

MONTENEGRO A., M. (2013). Hormigones De Muy Alta Resistencia. En M. MONTENEGRO A., *Hormigones De Muy Alta Resistencia*.

Neville, A. (2016). Tecnología del concreto, México, Instituto Mexicano del Cemento. En A. Neville, *Tecnología del concreto, México, Instituto Mexicano del Cemento*.

SANTIAGO, A. M. (2013) Tecnología Del Concreto Vol. I. México D.F.

VÉLIZ A., S. A. (2016). Hormigones De Alta Resistencia. Tesis. Universidad. En S. A. VÉLIZ A., *Hormigones De Alta Resistencia. Tesis. Universidad*. Chile.





PRODUCTO	CÓDIGO	CANTID.	UN	UN EMP.	\$ UN	EMPAQUE	IVA 19%	TOTAL
<b>CURADORES Y DESENCOFRANTES</b>								
<b>Antisol'Blanco</b>	140002	20.0	kg	1	4,300	86,000	16,340	102,340
Curador para concreto y mortero, con base acuosa.	140040	200.0	kg	1	3,400	680,000	129,200	809,200
<b>Antisol'Blanco Pigmentado</b>	140102	20.0	kg	1	4,900	98,000	18,620	116,620
Curador para concreto y mortero base agua con pigmento reflectivo.	140140	200.0	kg	1	4,700	940,000	178,600	1,118,600
<b>Antisol'Rojo</b>	140202	16.0	kg	1	12,600	201,600	38,304	239,904
Curador para concreto y mortero, con base solvente.	140240	170.0	kg	1	9,500	1,615,000	306,850	1,921,850
<b>Antisol'Rojo Base Agua</b>	140302	20.0	kg	1	7,600	152,000	28,880	180,880
Curador para concreto y mortero, con base agua.	140340	210.0	kg	1	7,000	1,470,000	279,300	1,749,300
<b>Separol'</b>	140502	15.0	kg	1	14,600	219,000	41,610	260,610
Desformaleteante premium.	140540	170.0	kg	1	11,500	1,955,000	371,450	2,326,450
<b>Separol'N</b>	140502-10	20.0	kg	1	7,200	144,000	27,360	171,360
Desformaleteante económico para fácil desencofre de concreto.	140540-10	200.0	kg	1	7,000	1,400,000	266,000	1,666,000
<b>Separol'Ecológico</b>	140902	20.0	kg	1	6,200	124,000	23,560	147,560
Desformaleteante para fácil desencofre de concreto, amigable con el medio ambiente.	140940	200.0	kg	1	4,350	870,000	165,300	1,035,300