

# **GENERALIDADES SOBRE LAS FIBRAS ARTIFICIALES**

**Módulo de lectura para la asignatura Análisis de  
Estructuras**

**Luis Octavio González Salcedo  
Profesor Asociado**

**Universidad Nacional de  
Colombia  
Sede Palmira  
2010**

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
Presentación	3
1. Introducción	4
2. La fibra de vidrio	9
3. La fibra de carbono	10
4. La fibra de polipropileno	11
5. La fibra metálica	13
Referencias	16
Anexo 1: Características de diversas fibras de polipropileno	24
Anexo 2: Características de diversas fibras de acero	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
1. Fibra de fique	4
2. Fibra de plátano	5
3. Fibra de lechuguilla	5
4. Fibra de la estopa de coco	5
5. Características del pelo humano	6
6. Moldeo de placas en asbesto cemento	6
7. Fibras de carbono y aramida	7
8. Orientación de la fibra que define comportamiento isotrópico, anisotrópico y ortotrópico, en los materiales compuestos reforzados con fibras	8
9. Productos finales de la fibra de vidrio, obtenidos en el proceso de bobinado	10
10. Formatos finales de la transformación de la fibra de vidrio	10
11. Aspecto de la fibra de polipropileno virgen	12
12. Aspecto de fibra de polipropileno fibrilado y empaquetado de 19 mm de longitud	12
13. Morfología de la fibra de polipropileno en SEM	12
14. Propiedades físicas de seis fibras de acero seleccionadas	13
15. Fibra Helix	14
16. La forma de torcido helicoidal optimiza la adherencia entre la fibra y la matriz del concreto	14
17. Relación de aspecto de fibras de acero	15

## ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
1. Principales propiedades mecánicas de la fibra de vidrio, elaborada a partir de los vidrios E, D, R y AR	9
2. Propiedades de sistemas de refuerzo elaborados con fibra de carbono	11
A1. Características de diversas fibras de polipropileno	24
A2. Características de diversas fibras de acero	25

# **GENERALIDADES SOBRE LAS FIBRAS ARTIFICIALES**

## **PRESENTACIÓN**

Las fibras han sido utilizadas como materia prima en la elaboración de otros productos, como telas, papel, artesanías, entre otros, y como material de refuerzo en diversas matrices cerámicas y metálicas, con el fin mejorar o ganar propiedades, en materiales compuestos denominados composites. Las fibras pueden ser clasificadas de acuerdo con su origen, en fibras naturales y fibras artificiales. Una amplia exploración sobre el uso de fibras vegetales ha sido realizada, sin embargo su uso como material de refuerzo en los compuestos se ha visto opacada por la degradación de la misma dentro de las matrices, sin embargo, esto ha propiciado también el desarrollo de métodos para aumentar la durabilidad de la fibra, permitiendo el uso de ellas. Aplicaciones propicias también han sido desarrolladas en las fibras animales y minerales.

Las fibras artificiales de mayor conocimiento son las de carbono, de vidrio, de polipropileno y de acero. En las últimas décadas, el uso de las de polipropileno (además de otras fibras plásticas como las de polietileno) y de las de acero, el han permitido al concreto, un material frágil, aumentar su capacidad de trabajar en la condición agrietada, aumentado a su vez su tenacidad, con lo cual se ha verificado un cambio en la tipología del material al convertirlo en un material cuasi-frágil, con mayor resistencias a esfuerzos de corte, flexión y tracción.

En la presente lectura, se hace un acercamiento a las fibras artificiales, mediante el conocimiento de las generalidades en las fibras de vidrio, carbono, polipropileno y acero. De igual manera, se hace una revisión breve y general sobre las fibras de origen natural. Este documento se ha realizado como lectura de apoyo en el curso de Análisis de Estructuras.

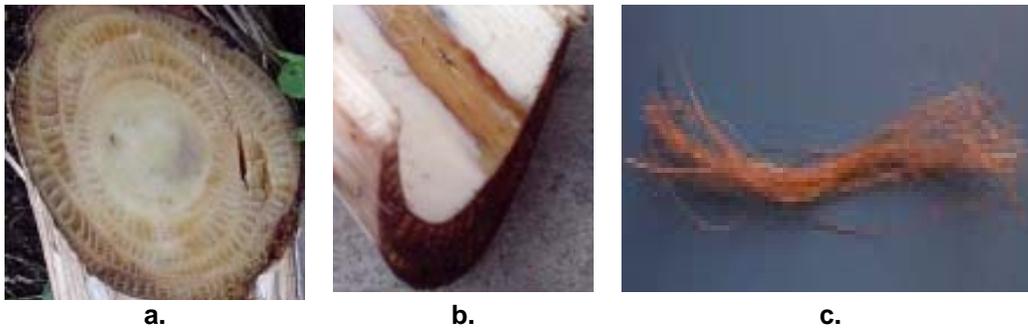
# GENERALIDADES SOBRE LAS FIBRAS ARTIFICIALES

## 1. INTRODUCCIÓN

Las fibras se han clasificado en dos grandes grupos (Duff & Sinclair 1998; Simbaña 2000): naturales (de origen vegetal, animal y mineral) y artificiales (fibras de vidrio, metálicas y sintéticas). Las fibras vegetales a su vez se pueden clasificar como (Duff & Sinclair 1998; Simbaña 2000; Golbabaie 2006; Tapia et al. 2006): blandas, que son básicamente de la corteza o fruto de las plantas (Youngquist et al. 1994; Mattoso et al. 1996; Rowel et al. 1998; Angelini et al. 2000; Torres & Olivera 2000; Gañán et al. 2003; González & Quintero 2004; Quintero & González 2006), y duras, que tienen su origen en las hojas (Cegarra et al. 1981; Youngquist et al. 1994; Mattoso et al. 1996; Rowel et al. 1998; Torres & Olivera 2000; Euronatur 2002; Juárez et al. 2003; Mayorga et al. 2003; Delvasto et al. 2004; Juárez, Rodríguez et al. 2004; Juárez, Valdez et al. 2004; Delvasto 2006; Juárez et al. 2007); sin embargo, otras clasificaciones son más extensas (Young et al. 1997), clasificándolas en fibras de hierbas y cañas, de hojas (Mattoso et al. 1996; Rowel et al. 1998; Delvasto et al. 2004; Delvasto 2006; Juárez et al. 2003; Juárez, Rodríguez et al. 2004; Juárez et al. 2007), de tallos (Rowel et al. 1998; Juárez, Valdez et al. 2004; Vallejos 2006), de semillas e hiladuras de frutos (Euronatur 2002), y de fibras maderables (Youngquist et al. 1994; Amada & Untao 2001; Moreno et al. 2006; Rao & Rao 2007). En las figuras 1-4, se muestran aspectos sobre las fibras de fique [Alzate & Cardona 2005], plátano [Jiménez & Agudelo 2005], lechuguilla [Juárez et al. 2003], y estopa de coco [González & Quintero 2004].



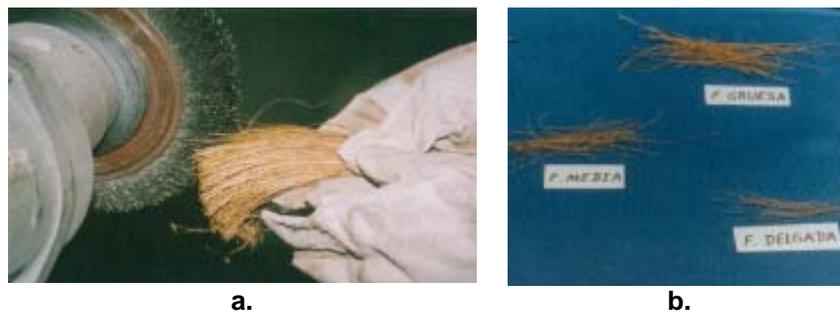
**a.** **b.** **c.**  
Figura 1. Fibra de Fique [Alzate & Cardona 2005]: a. Planta; b. Secado de la fibra; c. Manejo de fibras.



**Figura 2. Fibra de Plátano [Jiménez & Agudelo 2005]: a. Corte transversal del pseudotallo y lugar de extracción de las fibras según el grosor de pared; b. Corte transversal de la calceta; c. Fotografía de las fibras.**



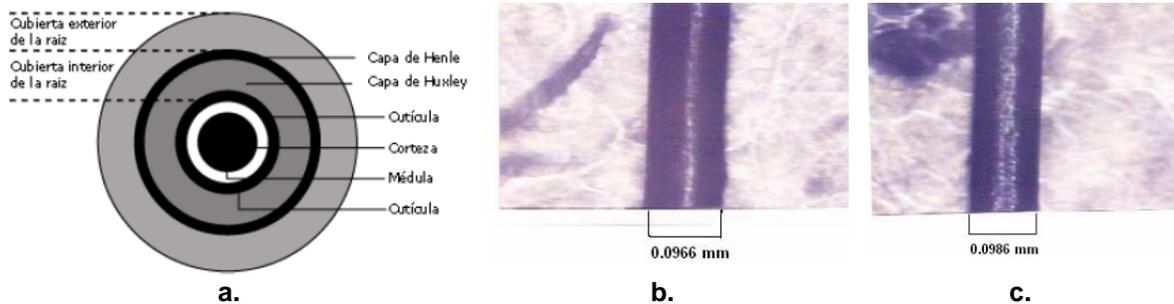
**Figura 3. Fibra de Lechuguilla [Juárez et al. 2003]: a. Planta; b. Sección transversal de la fibra.**



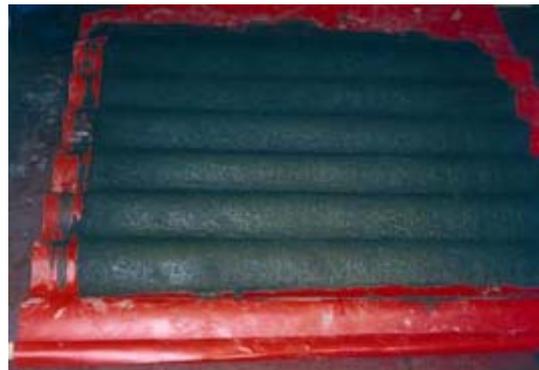
**Figura 4. Fibra de la estopa de coco [González & Quintero 2004]: a. Extracción de la fibra; b. Fibra.**

Las fibras de origen animal provienen del pelo de los animales como el caballo, cerdo, o conejo, incluso del hombre (como se muestra en la figura 5), y se utilizan en peletería, además de la seda y lana de oveja, llama, alpaca y otras (Ocampo & Ospina 2005; Corral et al. 2007; <http://www.produccion-animal.com.ar>; <http://www.wool.com.au/education>). Las fibras de origen mineral, corresponden a aquellas fabricadas con materiales procedentes de minerales, y se puede mencionar a la fibra de asbesto como una de ellas (Espinoza & Gruzmacher 2002), fibra que revolucionó el mundo por su resistencia y aplicabilidad en los

productos de fibrocemento (Verri 2006), figura 6, sin embargo, sus efectos cancerígenos han hecho que se prohíba en muchos lugares (Balzamo 2002); otras fibras de origen mineral son las fibras cerámicas que son utilizadas como refuerzos de matrices metálicas y cerámicas en aplicaciones de altas temperaturas, y combinan la alta resistencia y rigidez con la resistencia térmica y a los ataques químicos (Brennan & McCarthy 1993; Casas et al. 2001; Lazarraga et al. 2004; Verri 2006;). Un sustituto de la fibra de asbesto, también de origen mineral, es la lana mineral (Monfore 2004).



**Figura 5. Características del pelo humano [Ocampo & Ospina 2005]: a. Estructura; b. Fotografía fibra de pelo, sexo masculino, edad 16-45 años; c. Fotografía fibra de pelo, sexo femenino, edad 0-15 años.**



**Figura 6. Moldeo de placas en asbesto cemento [Balzamo 2002].**

Desde hace algunas décadas, existe interés en investigar sobre la ingeniería de materiales reforzados con fibras, denominados composites. Estos materiales, como los reforzados con fibras de vidrio, carbono y aramida (figura 7), son usados en las industrias aeroespacial, automotriz, de construcción y deportiva (Wambua et al. 2003). Los composites de reforzados con fibras cortas son muy atractivos debido a su facilidad de fabricación, economía, y propiedades mecánicas superiores (Fu et al. 1999). Varias fibras artificiales han sido desarrolladas específicamente para sustituir las fibras naturales, debido a que son más previsibles en su comportamiento y son generalmente más uniformes en tamaño, y algunas desempeñan un papel como fibra de refuerzo (Daviaud & Filliatre 1983; Chrétien 1986), siendo las más utilizadas:

- Fibras de vidrio: obtenidas principalmente en estado vítreo de la sílica ( $\text{SiO}_2$ ) y los silicatos, del óxido bórico ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) y los boratos, del pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y los fosfatos (De & White 1966; Larena et al. 1992; Matthews & Rawling 1994; Cruz et al. 2000; Bravo 2003; Comino 2003; Szabó & Czigány 2003; Wambua et al. 2003; Verri 2006).
- Fibras de aramida: son fibras de poliamidas aromáticas con un mínimo del 85% de funciones amidas unidas directamente a dos anillos aromáticos, como el kevlar y FA arenka (Jain & Vijayan 2002; Verri 2006; IMCYC 2007).
- Fibras de boro: son fabricadas por la disposición en fase de vapor del boro sobre un filamento de tungsteno a una temperatura de 1500 K y sus compuestos a pesar de costar más que las fibras de carbono, presentan propiedades mecánicas superiores (Verri 2006).
- Fibras de carbono: son fibras de elevada resistencia a tracción, pero es un material quebradizo con baja deformación (May & Tanka 1973; Ijima 1991; Miravete & Ciminelli 2002; González et al. 2006; Verri 2006; IMCYC 2007).
- Grafitos: son fibras de alto módulo obtenido a partir de la grafitización de la fibra de carbono a una temperatura superior a 1800 °C, donde se obtiene una estructura cíclica casi perfecta que se aproxima a la célula grafitica (porcentaje de carbono superior al 99%, dependiendo de la temperatura de tratamiento) (Verri 2006).
- Fibras de acero: son fibras con longitudes entre 19 y 76 mm, y diámetros entre 0.3 y 1 mm, que pueden ser configuradas con formas geométricas onduladas, acampanadas en los extremos, con ganchos en los extremos, encoladas (de 25 a 50 unidades), entre otras. Pueden ser fabricadas al carbono o inoxidable (IETS 2007).
- Otras fibras utilizadas son las de poliacrilonitrilo que ofrecen resistencias mecánicas y químicas altas; las de poliéster, polipropileno y polivinilo, que ofrecen resistencias mecánicas intermedias y químicas altas; y las de teflón TFE que ofrecen resistencias mecánicas nulas y químicas altas (Verri 2006; IETS 2007; IMCYC 2007).

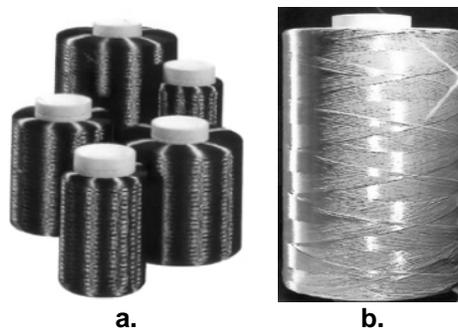
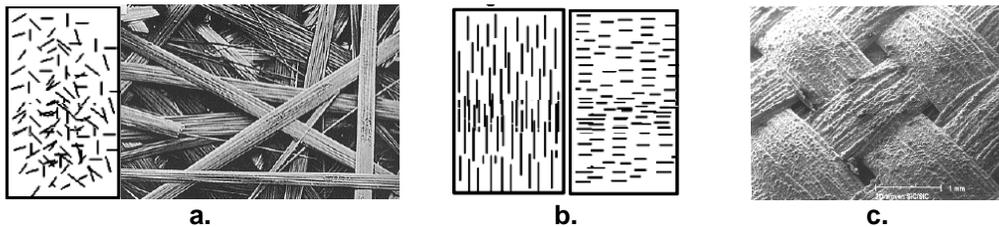


Figura 7. Fibras de carbono y aramida: a. Bobinas de fibra de carbono; b. Bobina de fibra de aramida [IETS 2007].

Algunos materiales compuestos para construcción o estructurales, son materiales conformados por matrices cementicias que incorporan fibras de refuerzo direccionadas o sin direccionar; las fibras sirven como refuerzo y proveen resistencia a la tensión y rigidez, mientras que la matriz mantiene unida a las fibras transmitiendo fuerzas cortantes y también funciona como cubierta de las fibras (Karihaloo & Lange-Kornbak 2005). El comportamiento de los materiales de matrices es usualmente caracterizado por una relación funcional de tiempo y temperatura, una considerable baja resistencia a la tensión, y una elongación considerablemente alta; sin embargo, las propiedades mecánicas de las fibras, determina la rigidez y el esfuerzo a la tensión del compuesto (Riedel & Nickel 2007).

Dependiendo de la orientación de la fibra, figura 8, el comportamiento de los materiales compuestos puede ser: casi – isotrópico (con todas las fibras cortas orientadas al azar, y sin dirección privilegiada de comportamiento mecánico), anisotrópico (con todas las fibras orientadas en una misma dirección con las correspondientes propiedades mecánicas), u ortotrópicas (con todas la fibras orientadas principalmente en dos direcciones) (Riedel & Nickel 2007). La selección de las fibras adecuadas está determinada por los valores requeridos de resistencia a la tensión y rigidez del compuesto; criterios adicionales son (Riedel & Nickel 2007):

- Elongación en la falla.
- Estabilidad térmica.
- Adhesión de la fibra en la matriz.
- Comportamiento dinámico.
- Precio y costos de procesamiento.



**Figura 8. Orientación de la fibra que define comportamiento isotrópico, anisotrópico, y ortotrópico, en los materiales compuestos reforzados con fibras [Riedel & Níkel 2007]: a. Orientación aleatoria; b. Orientación en una dirección; c. Orientación en dos direcciones.**

Un parámetro característico de las fibras es el que define su esbeltez o aspecto (longitud dividida por diámetro equivalente), que para longitudes de fibras entre 6 y 75 mm tiene valores entre 30 y 150; otra magnitud que influye en el

comportamiento es el espaciado, que es función del porcentaje de fibra y de su diámetro o volumen (Ramírez 1999).

## 2. LA FIBRA DE VIDRIO

Es un material compuesto conformado por fibras continuas o discontinuas de vidrio unidas a partir de una matriz plástica, que se ha usado como material de refuerzo por las siguientes razones: su presentación en hilos de alta resistencia; disponible y económico para producción con diferentes técnicas de plástico reforzado; produce compuestos de alta resistencia en matrices plásticas; produce compuestos plásticos durables ante ambientes corrosivos [Calister 1997; Bravo 2003].

El vidrio se puede clasificar como [Bravo 2003]: Vidrio E, con cualidades dieléctricas, y su fibra es la más comúnmente usada; Vidrio R, de alto desempeño mecánico, para desempeño en el comportamiento a fatiga, temperatura y humedad; Vidrio D, con características dieléctricas, permeable a ondas electromagnéticas; Vidrio AR, resistente al álcali, con alto contenido de óxido de zirconio, desarrollado especialmente para reforzar concreto, y; Vidrio C, desarrollado particularmente para ofrecer resistencia a la corrosión, y es usado en la fabricación de fieltros para el recubrimiento de tubería. En la tabla 1, son mostradas las principales propiedades mecánicas de las fibras elaboradas con los diferentes tipos de vidrio [Bravo 2003].

**Tabla 1. Principales propiedades mecánicas de la fibra de vidrio, elaborada a partir de los vidrios E, D, R y AR [Bravo 2003].**

Propiedad / Vidrio	E	D	R	AR
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2,60	2,14	2,53	2,68
Resistencia a la tensión [MPa]	3400	2500	4400	3000
Módulo elástico [MPa]	72	55	86	72
Resistencia a la ruptura [%]	4,5	4,5	5,2	4,3

La fibra de vidrio, en su proceso final de elaboración, es conformada por hilos obtenidos de la unión de los filamentos mediante un proceso de bobinado, dando lugar a dos productos de presentación disponible, como se muestra en la figura 9 [Bravo 2003], el roving y el ovillo; a partir de éstos, se hace la transformación del formato final de la fibra, como se muestra en la figura 10 [Bravo 2003; Wong 2004]: fieltros de hilos continuos, fieltros de hilos cortados, hilos cortados, fibra molida, tejido roving, y tejido de hilo textil.

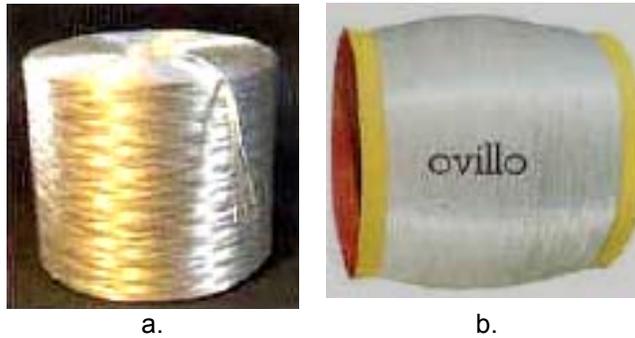


Figura 9. Productos finales de la fibra de vidrio, obtenidos en el proceso de bobinado [Bravo 2003]: a. Roving; b. Ovillo.

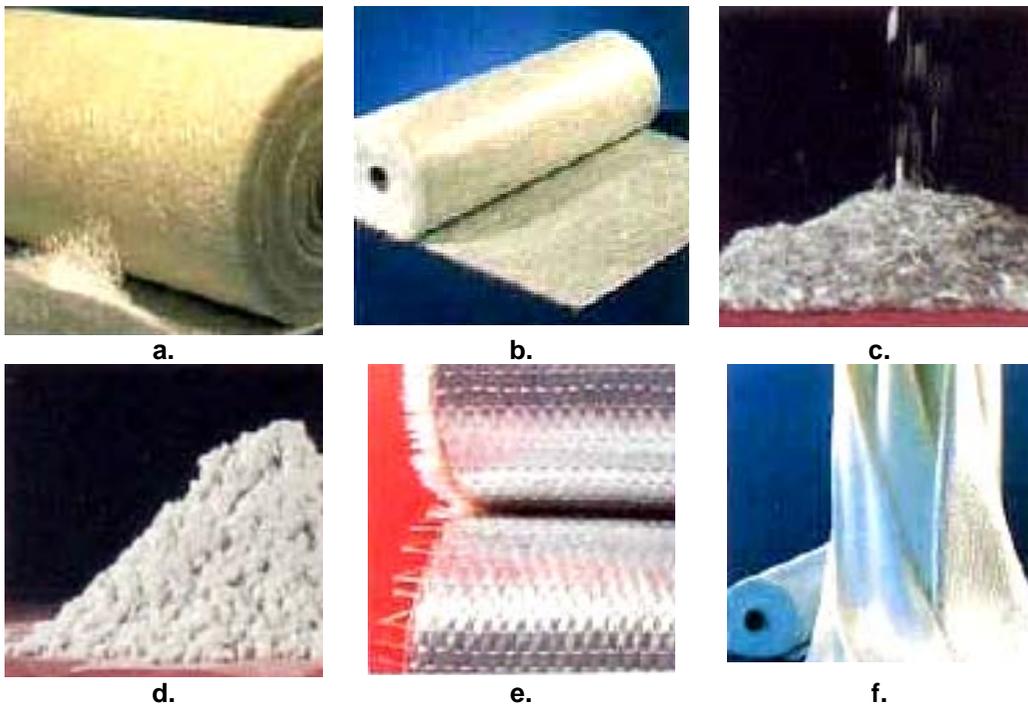


Figura 10. Formatos finales de transformación de la fibra de vidrio [Bravo 2003; Wong 2004]: a. fieltro de hilo continuo; b. fieltro de hilo cortado; c. Hilo cortado; d. Fibra molida; e. Tejido roving, y; f. Tejido de hilo textil.

### 3. LA FIBRA DE CARBONO

A mediados de los años ochenta, las fibras de carbón tuvieron un uso limitado en algunas aplicaciones, como en el reforzamiento del concreto, debido a su alto costo, sin embargo, en los últimos años han sido manufacturadas fibras de bajo costo usando petróleo y pitch de carbón; existen dos procesos para la fabricación de las fibras, los cuales envuelven tratamientos con calor y varios grados de carbón en su química [Wong 2004]. Las fibras de carbón tienen aplicaciones

especializadas en la obtención de altas resistencias a tensión y flexión; y típicamente, ellas tienen un módulo elástico alto como el del acero, siendo mucho más livianas; las fibras de carbón proporcionan a los materiales compuestos un gran incremento en su resistencia, estabilidad química y rigidez [Wong 2004].

Las fibras de carbono se emplean para elaborar sistemas de refuerzo, los cuales se basan fundamentalmente en su adhesión externa, mediante el empleo de resinas especiales de matriz epóxica, siendo conocidos los sistemas conformados por hojas de fibra y por laminado de fibra, y las fibras de carbono utilizadas pueden ser de bajo módulo o de alto módulo de elasticidad [Martínez et al, sf]. Las hojas de fibra de carbono son láminas flexibles y adaptables a cualquier superficie, conformadas por filamentos de fibras orientadas en una sola dirección, y presentan una alta relación resistencia/peso y rigidez/peso; los laminados de fibra de carbono con compuestos de matriz polimérica de resina epóxica reforzada con las fibras; las principales propiedades de ambos sistemas son mostradas en la tabla 2 [Martínez et al. sf].

**Tabla 2. Propiedades de sistemas de refuerzo elaborados con fibra de carbono [Martínez et al. sf].**

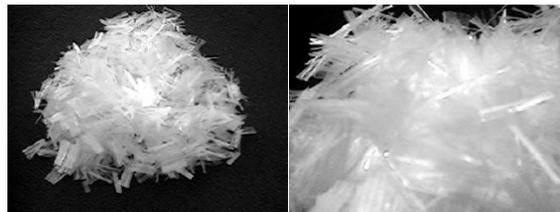
Propiedad	Hoja de fibra de bajo módulo	Hoja de fibra de alto módulo	Laminado
Módulo de elasticidad [MPa]	230000	440000	165000
Resistencia a tracción [MPa]	3400	2400	2800
Deformación de rotura [%]	15	5.5	17
Contenido volumétrico en fibra [%]	-	-	> 68
Espesor [mm]	0.11 – 0.16	0.16	1.2
Masa [g/m <sup>2</sup> ]	200 – 300	300	-

#### 4. LA FIBRA DE POLIPROPILENO

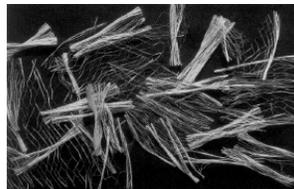
El polipropileno es un polímero de hidrocarburo sintético cuya fibra está hecha usando procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel; son hidrófobas, y por lo tanto tienen como desventaja el tener pobres características de adherencia con la matriz del cemento, un bajo punto de fusión, alta combustibilidad y un módulo de elasticidad relativamente bajo (IMCYC 2007). Las fibras largas de polipropileno pueden resultar difíciles de mezclar debido a su flexibilidad y a la tendencia a enrollarse alrededor de las orillas extremas de las hojas de las mezcladoras; las fibras de polipropileno son tenaces, pero tienen baja resistencia a la tensión y bajo módulo de elasticidad (IMCYC 2007).

Las fibras de polipropileno son hidrofóbicas, por lo cual no absorben agua y no son corrosivas; tienen una excelente resistencia al ataque de los álcalis, químico y clorhídrico, y tienen una baja conductividad térmica. Por estas características, no tienen un efecto significativo, por ejemplo, en la demanda de agua dentro del concreto fresco, no intervienen en la hidratación del cemento y no influyen desfavorablemente los efectos de todos los constituyentes en la mezcla de concreto (Aulia 2008).

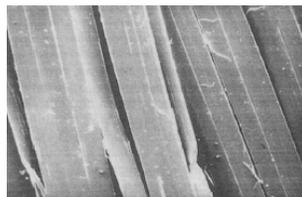
Las fibras de polipropileno se caracterizan por ser incoloras, y pueden obtenerse de entretejido miniatura de malla de una película de polipropileno virgen, como se muestra en la figura 11 (Barreda et al. 2000). La figura 12, muestra fibras de polipropileno fibrilado y empaquetado de 19 mm de longitud (Aulia 2008). La figura 13, muestra la morfología de una fibra de polipropileno en SEM (Aulia 2008).



**Figura 11. Aspecto de la fibra de polipropileno virgen (Barreda et al. 2000).**



**Figura 12. Aspecto de fibra de polipropileno fibrilado y empaquetado de 19 mm de longitud (Aulia 2002).**



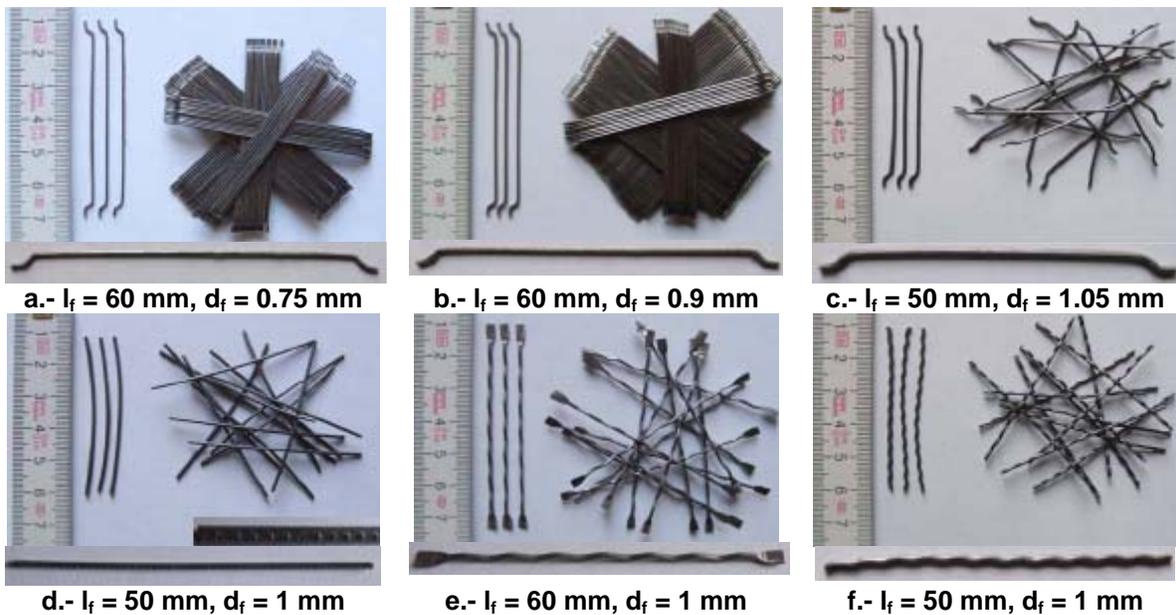
**Figura 13. Morfología de la fibra de polipropileno en SEM (Aulia 2002).**

Las fibras se fabrican por procedimientos de alambre estirado con sección transversal circular o por extrusión de películas plásticas con sección transversal rectangular, y aparecen como bultos de fibrilados o como monofilamentos; las fibras fibriladas son formadas por la expansión de una película plástica que está separado en tiras, por eso los bultos de fibra en malla se forman, con sección transversal rectangular, los cuales son cortados en las longitudes especificadas y

fibrilados, estando disponibles comercialmente en longitudes de 6.5 a 63.5 mm (Aulia 2002). El anexo 1, muestra las principales características de las fibras de polipropileno, de acuerdo con diferentes referencias y fuentes.

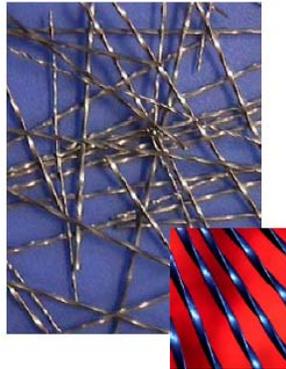
## 5. LA FIBRA METÁLICA

Las fibras de acero, que han sido usadas principalmente en el concreto desde los primeros años del siglo XX, al principio eran redondas y lisas, y el alambre era cortado en pedazos a longitudes requeridas; el uso de fibras rectas y lisas ha ido desapareciendo, y han sido reemplazadas por fibras con superficies ásperas, con extremos en gancho, rizadas u onduladas a través de su longitud (Womg 2004; Euco 2005; Katzer 2006; Van Chanh 2006; Corcino 2007; IMCYC 2007). Típicamente las fibras tienen diámetros equivalentes de 0.15 a 2 mm y longitudes de 7 a 75 mm, las relaciones de aspecto generalmente varían de 20 a 100 (Euco 2005; Van Chanh 2006; IMCYC 2007); algunas fibras son juntadas para formar manojos usando goma soluble al agua para facilitar el manejo y el mezclado (ABD 2007). En la figura 14 [Holschemacher & Müller 2006], se muestran las propiedades físicas de seis tipos de fibras de acero, de 18 disponibles comercialmente.

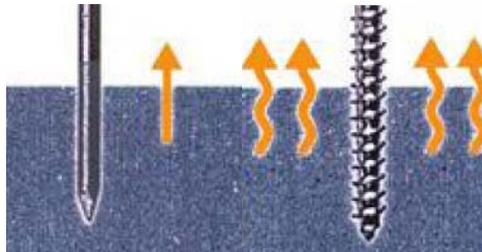


**a.-**  $l_f = 60 \text{ mm}$ ,  $d_f = 0.75 \text{ mm}$       **b.-**  $l_f = 60 \text{ mm}$ ,  $d_f = 0.9 \text{ mm}$       **c.-**  $l_f = 50 \text{ mm}$ ,  $d_f = 1.05 \text{ mm}$   
**d.-**  $l_f = 50 \text{ mm}$ ,  $d_f = 1 \text{ mm}$       **e.-**  $l_f = 60 \text{ mm}$ ,  $d_f = 1 \text{ mm}$       **f.-**  $l_f = 50 \text{ mm}$ ,  $d_f = 1 \text{ mm}$   
**Figura 14.** Propiedades físicas de seis fibras de acero seleccionadas [Holschemacher & Müller 2006]: a.-, b.-, c.- fibras rectas, de superficie plana, con ganchos en los extremos, las fibras tipos a.-, b.- están pegadas, mientras las fibras tipo c.- están separadas; d.- fibras rectas, de superficie deformada, sin ganchos y separadas; e.-, f.- fibras corrugadas, de superficie plana y separadas, las fibras tipo e.- presentan palas en los extremos, las fibras tipo f.- presentan ganchos en los extremos.

La Universidad de Michigan desarrolló en 1998 (Naaman 1998, 1999) una fibra metálica buscando conseguir propiedades óptimas, adaptando su forma, su tamaño, sus propiedades mecánicas, y su compatibilidad con la matriz cementicia del concreto, la cual se denominó inicialmente como Helix (figura 15), fabricada en acero de alta calidad, y con forma y tamaño optimizados, logrando una gran adherencia entre ella y el hormigón; la fibra Helix demostró que el torcido helicoidal maximiza la adherencia con el hormigón que lo rodea (figura 16), de acuerdo con Polytorx 2005.

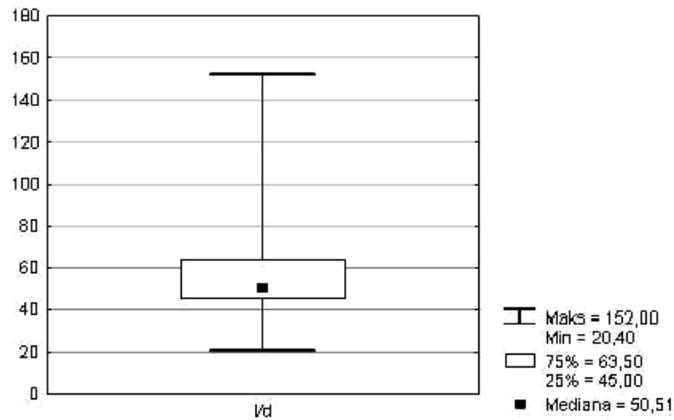


**Figura 15. Fibra Helix (Polytorx 2005).**



**Figura 16. La forma de torcido helicoidal optimiza la adherencia entre la fibra y la matriz del concreto (Polytorx 2005).**

En el anexo 2, se presentan las características de las fibras de acero disponibles en el mercado. Las fibras de acero tienen alta resistencia a tensión (0.5 – 2 GPa) y alto módulo de elasticidad (200 GPa), una característica dúctil y plástica en esfuerzo – tensión y una baja fluencia (Euco 2005; Van Chanh 2006; IMCYC 2007). La relación de aspecto de las fibras disponible en el mundo presenta un rango entre 20.4 y 152, como es mostrado en la figura 17, la cual indica una distancia entre el cuartil más bajo y el más alto muy estrecho y abarca una relación de aspecto de 45 a 63.5; en otras palabras, la fibra con el margen de relación de aspecto descrito, constituye el 50% de la población de todos los tipos de fibras ofrecidas por los productores (Katzner 2006).



**Figura 17. Relación de aspecto de fibras de acero (Katzner 2006).**

La corrosión en la fibra de acero puede ser la principal preocupación del concreto reforzado con esta fibra; pautas normativas manifiestan que la corrosión en el refuerzo de acero convencional puede ser evitada si recubrimientos adecuados han sido proporcionadas, sin embargo, estas sugerencias solo son aplicables a una posición particular para este tipo de refuerzo (Wong 2004). En el concreto, las fibras de acero se distribuyen aleatoriamente a través de la matriz, y algo de corrosión puede suceder en la superficie del concreto, donde esto es muy difícil para cada fibra cubierta con cemento; sin embargo, se puede especificar que para fibras cubiertas con cemento en espesores mayores de 1 mm, estarán seguras de la corrosión, así la corrosión de la fibra de acero es considerado como un problema menor (Wong 2004).

## REFERENCIAS

- ADI®; Adifibra, fibras sintéticas para el refuerzo del concreto o mortero. Aditivos de El Salvador S.A., Catálogo, 2p.
- AHMED, S.F.U; MIHASHI, H.; (2007). A review on durability properties of strain hardening fibre reinforced cementitious composites (SHFRCC). Cement & Concrete Composites. Article in press, 12p.
- AMADA, S.; UNTAO, S.; (2001). Fracture properties of bamboo. Composites: Part B, 32, 451-459.
- AGUILAR C., J.T.; (2007). Reforzamiento de elementos de concreto con materiales compuestos. Ingeniería, 6-1, pp7-11.
- ALZATE G., C.; CARDONA L., C.; (2005). Caracterización físico – química de la fibra de fique, *Furcraea macrophyta*. Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 129p.
- AMZIANE, S.; LOUKILI, A.; (1999). A Étude expérimentale du comportement des betons a hautes performances renforces de fibres d'acier sous chargements statique et cyclique. Materials and Structures, 32, No. 219, 348-353.
- ANGELINI, L.G.; LAZZERI, A.; LEVITA, G.; FONTANELLI, D.; BOZZI, C.; (2000). Ramie (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud.) and Spanish Broom (*Spartium junceum* L.) fibres for composite materials: agronomical aspects, morphology and mechanical properties. Industrial Crops and Products, 11, 145-161.
- ARMENTA B., J.; OLAGUE C., C.; CASTAÑEDA A.; J.; (2004). Influencia de la geometría y concentración de fibras de acero en la tenacidad de un concreto masivo. Sendero / Centro T<sup>2</sup> Chihuahua, Enero, pp3-16.
- AULIA, T.B.; (2002). Effects of Polypropilene Fibers on the Properties of High-Strength Concretes. LACER, No. 7, pp43-59.
- AV INGENIERÍA; Promess Fibers, fibra de polipropileno para reforzar el concreto y minimizar la retracción plástica. Spec Data® The Construction Specifications Institute, Catálogo, 2p.
- BALAGURU, P.N.; SHAH S.P.; (1992). Fiber-Reinforced Cement Composites. McGraw – Hill Inc., New York.
- BALZAMO, H.; (2002). Alternativa para el reemplazo de la fibra de asbesto en cubiertas laminares de techo. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, San Martín, 4<sup>a</sup> Jornadas de Desarrollo e Innovación, Noviembre, 2p.
- BARRAGÁN, B.E.; (2002). Failure and Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete under Tension and Shear. Doctoral Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- BARREDA, M.; IAIANI, C.; SOTA, J.D.; (2000). Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón. Jornadas SAM 2000, IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Agosto, pp1145-1150.
- BAXIM®; (2008). Hook-Fiber®, fibras de acero para refuerzo de hormigones y morteros. Catálogo, 2p. Disponible en Internet: <http://www.baxim.com> [Consultada Marzo 2008]
- BAYASI, Z.; ZENG, J.; (1993). Properties of polypropylene fiber reinforced concrete. ACI Materials Journal, Vol. 90(6), pp605-610.
- BENNIE, S.D.; (2004). Development of a Performance Based, Integrated Design /Selection Mixture Methodology for Fiber Reinforced Concrete Airfield Pavements. Dissertation (Doctor of Philosophy). University of Maryland, College Park.
- BENTUR, A.; MINDESS, S.; (1990). Fibre Reinforced Cementitious Composites. Elsevier Science Publishing Ltd., New York.
- BENTUR, A.; MINDESS, S.; (1990). Fibre Reinforced Cementitious Composites. Elsevier Applied Science, London.

BERKE, N.S.; DALLAIRE, M.P.; (1994). The Effect of Low Addition Rates of Polypropylene Fibers on Plastic Shrinkage Cracking and Mechanical Properties of Concrete. SP-142, American Concrete Institute, Daniel, J.I. and Shah, S.P. (Editors), pp19- 42.

BONALDO, E.; BARROS, J.A.O.; LOURENÇO, P.B.; (2005). Bond characterization between concrete substrate and repairing SFRC using pull-off test. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 25, no. 6, December, 463-474.

BRAVO C., J.P.; (2003). Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: influencia del porcentaje de fibra adicionado. Trabajo de Grado (Ingeniero de Materiales). Universidad de Chile. Santiago, 90p.

BRENNAN, J.J.; MCCARTHY, G.; (1993). Interfacial studies of refractory glass – ceramic – matrix / advanced – SiC – fiber – reinforced composites. *Materials Science and Engineering*, A162, 53-72.

CAMILO, N.; RODRÍGUEZ, J.; (2006). Determinación de la tenacidad por flexión de concreto reforzado con fibras metálicas. Universidad Iberoamericana – UNIBE. Santo Domingo, Enero, 24p.

CASAS, L.; ELIZALDE, M.R.; SÁNCHEZ, J.M.; PUENTE, I.; MARTÍNEZ E., J.M.; MARTÍN M., A.; FUENTES, M.; (2001). Comportamiento a fluencia de un material compuesto tejido SIC / SIC. *Anales de Mecánica de la Fractura*, Vol. 18, pp316-320.

CALISTER, W.D.; (1997). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Editorial Reverté. Barcelona.

CEGARRA, J.; PUENTE, P.; VALLDEPERAS, J.; (1981). *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materiales textiles*. Universidad Politécnica de Barcelona.

CHRÉTIEN, G.; (1986). *Matériaux Composites À Matrice Organique – Polymères et Renforts, Type, Caractéristiques, Technologies de Mise en Forme, Applications*. Lavoisier, Paris, 508p.

COMINO A., P; (2003). *El GRC, Material Compuesto de Matriz de Cemento Reforzado con Fibras de Vidrio AR*. 1ª Edición, Saint-Gobain Vetrotex, Alcalá de Henares.

CORCINO A., V.; (2007). Estudio comparativo de concreto simple y reforzado con fibra de acero Dramix y Wirand, empleando Cemento Andino Tipo V. Tesis (Ingeniera Civil). Universidad Ricardo Palma, Lima.

CORRAL G., E.; HERRER M., A.; RUIZ-MOYANO, F.L.; *Ciclo biológico del gusano de seda (Bombyx mori). Propiedades de la seda frente a las fibras sintéticas*. IES Anselmo Lorenzo. San Martín de la Vega, pp174-175.

CRUZ B., N.; GOICOECHEA A., A.M.; HERMOSILLA B., L.; RUIZ A., N.; (2000). *Fibras Naturales y Artificiales*. Trabajo de Curso (Química Industrial). Especialización de Control de Procesos Químicos. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Universidad del País Vasco. San Sebastián – Donosita, 26p. Disponible en Internet: <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11a.PDF> [Consultada Marzo 2008]

DAVIAUD, R.; FILLIATRE, C.; (1983). *Introduction Aux Matériaux Composites, Matrices Organiques*, 2 ed., Bombannes.

DE, S.K.; WHITE, J.R.; (1966). *Short Fibre – Polymer Composites*. Woodhead, Publishing Limited England.

DEGUSSA; XOREX fibra metálica. Catálogo. Degussa Construction Chemicals Venezuela S.A., 2p.

DELVASTO A., S.; (2006). Report about experiences with cement based corrugated sheets vacuum processing. 10<sup>th</sup> International Inorganic – Bonded Fiber Composite Conference – IIBCC, Sao Paulo, 15-17 November.

DELVASTO, S.; BOTACHE, C.A.; ALBÁN, F.; DE GUTIÉRREZ, R.; PERDOMO, F.; SEGOVIA, F.; AMIGÓ, V.; (2004). Effect of fique fiber surface chemical treatments on the physical and mechanical properties of the fiber subjected to aggressive mediums. Brazilian Conference on Non Conventional Materials and Technologies: Affordable Housing and Infrastructure Brasil – NOCMAT 2004. Pirassununga, October 29<sup>th</sup> – November 3<sup>rd</sup>.

DEYOUNG, K.L.; (2007). Flexure Shear Response in Fatigue of Fiber Reinforced Concrete Beams with FRP Tensile Reinforcement. Thesis (MSc.). University of Missouri – Columbia, December, 200p.

DIFICONSA; Fibercon Microfibra. Ficha Técnica 600, Dificonsa S.A., Catálogo, 2p.

DIFICONSA; Strong Fiber, Sistema de refuerzo de macrofibras sintéticas. Catálogo. DIFICONSA S.A., 7p.

DUFF, D.G.; SINCLAIR, R.; (1998). Giles's Laboratory Course in Dyeing. 4<sup>th</sup> edition. Paisley College of Technology, Paisley Scotland.

DUZGUN, O.A.; GUL, R.; AYDIN, C.; (2005). Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural light weight aggregate concrete. *Materials Letters*. Vol. 59, no. 27, November, 3357-3363

EGINGTON, J.; HANNANT, D.J.; WILLIAMS, R.T.; (1975). Steel fibre reinforced concrete. *Precast Concrete*, July-August.

EL DEBS, M.K.; NAAMAN, A.E.; (1995). Bending Behavior of Mortar Reinforced with Steel Meshes and Polymeric Fibers. *Cement and Concrete Composites*, 17, 327-338.

El Ganado Lanar en la Argentina. Capítulo II: Lanas. El Sitio de la Producción Animal. Disponible en Internet: <http://www.produccion-animal.com.ar> [Consultada Mayo 2007].

ERCOLI, N.L.; PERALTA, M.H.; ORTEGA, N.F.; LA MALFA, S.; DE MARCO, L.; (2007). Evaluación del comportamiento de vigas de hormigón armado reforzado con fibras utilizando técnicas dinámicas no destructivas. IV Conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos. Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales. Buenos Aires, Octubre, 12p.

ESPINOZA M., F.; GRÜZMACHER G., M.L.; (2002). Manual de conservación preventiva de textiles. Proyecto Catastro del Patrimonio Textil Chileno. Santiago de Chile, 2002, 75p.

EUCO; (2005). Avances en la tecnología de adiciones para concreto, fibras sintéticas estructurales Tuf Stand SF® de The Euclid Chemical Company. *Construcción y Tecnología*, Agosto, pp28-29.

EUCO; (2007a). Fiberstrand 100, fibras de refuerzo de polipropileno. The Euclid Chemical Company, Catálogo, 2p.

EUCO; (2007b). Tuf-Strand SF, fibras sintéticas estructurales. The Euclid Chemical Company, Catálogo, 3p.

EURONATUR; (2002). Utilization of Abaca Fiber as Industrial Raw Material. Workshop Sustainable Development, natural fibers for modern Technology, Subsistence and Biodiversity Improvement Projects in the Philippines. March 11-17.

FIBREMESH; (1989). Fibremesh Micro-Reinforcement System. Synthetic Industries, Fibremesh Division.

FU, S.Y.; LAUKE, B.; MADER, E.; HU, X.; YUE, C.Y.; (1999). Fracture resistance of short – glass – fiber – reinforced and short – carbon – fiber – reinforced polypropylene under charpy impact load and its dependence on processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 90, pp501-507.

GAÑÁN, P.; ZULUAGA, R.; RESTREPO, A.; LABIDI, J.; MONDRAGÓN, I.; (2007). Plantain fibre bundles isolated from Colombian agro-industrial residues. *Bioresource Technology*. Article in Press.

GARCÍA, T.; AGULLÓ, L.; AGUADO, A.; CANALS, G.; (2004). Evaluación de la tenacidad en el hormigón proyectado reforzado con fibras poliméricas de alto módulo. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, Vol. 43, 2, 552-554.

GHD; Fibradur, fibra de propileno para refuerzo secundario del hormigón. Feyma 25, Catálogo, 2p.

GHUGAL, Y.M.; DAHAKE, A.G.; (2006). Modeling of Steel Fibre Reinforced Concrete with High Fibre Volume Fraction. 6p. Documento PDF.

GHUGAL, Y.M.; DAHAKE, A.G.; (2007). Modeling of steel fibre reinforced concrete with high fibre volume fraction. Government Engineering College, Station Road, Aurangabad, 6p.

GJORV, O.E.; MONTERIO, P.J.M.; METHA, P.K.; (1990). Effect of condensed silica fume on the steel-concrete bond. *ACI Materials Journal*, 87(6), 573-580.

GOLBABAIE, M.; (2006). Applications of Biocomposites in Building Industry. University of Guelph. December, 26p.

GONÇALEZ, V.; BARCIA, F.L.; SOARES, B.G.; (2006). Composite Materials Based on Modified Epoxy Resin and Carbon Fiber. *Journal Brazilian Chemical Society*, Vol.17, No. 6, pp1117-1123.

GONZÁLEZ S., L.O.; QUINTERO G., S.L.; (2004). Evaluación del uso de la fibra de la estopa de coco, para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira, Diciembre, 52p. Convocatoria Premio Internacional José Calavera 2004, ANIFER, Madrid, 2004.

GROTH, P.; (2000). Fibre Reinforced Concrete: Fracture Mechanics Methods Applied on Self – Compacting Concrete and Energetically Modified Binders. Doctoral Thesis. Lulea University of Technology, Lulea.

GROUTEX®; (2006). Fibratex PP®, fibra de polipropileno para concreto. Groutex Productos C.A., Catálogo, 1p.

GUSTAFSSON, J.; NOGHABAI, K.; Steel Fibers Reinforcement in High Strength Concrete Beams. 18p.

HASABA, S.; KAWAMURA, M.; KOIZUMI, T.; TAKEMOTO, K.; (1984). Resistibility against Impact Load and Deformation Characteristics under Bending Load in Polymer and Hybrid (Polymer and Steel) Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete, G.C. Hoff (Editor), ACI SP-81, American Concrete Institute, Detroit, MI, pp187-196.

HUGHES, B.P.; FATTUHI, N.I.; (1976). Improving the Toughness of High Strength Cement Paste with Fibre Reinforcement. Composites, Vol. 7, pp185-188.

HWANG, S.; SONG, P-S.; SHEU, B-C.; (2003). Impact Resistance of Polypropylene Fiber – Reinforced Concrete. Journal of C.C.I.T., Vol. 32, No. 1, November.

IETS; Hormigones reforzados con fibras. IETS de Arquitectura de Sevilla. Presentación. 44p.

IJIMA, S.; (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. Nature, Vol. 354, No. 56, pp56-58.

IMCYC; (2007). Concreto reforzado con fibras. Construcción y Tecnología, febrero, pp67-71

IMMERC; Imerfibra 5, fibra de refuerzo secundario para concreto o mortero tridimensional. Immerc C.A., Catálogo, 3p.

JAIN, A.; VIJAYAN, K.; (2002). Thermally induced structural changes in Nomex fibres. Bulletin Materials Science. Vol. 25, no. 4, August, pp341-346.

JAMES, J.B.; (1990). Handbook of Fiber-Reinforced Concrete: Principles, Properties, Development and Applications. Noyes Publications, New Jersey.

JIMÉNEZ C., A.M.; AGUDELO R., N.; (2005). Caracterización físico – química de la fibra de plátano (musa paradisiaca). Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 95p.

JOHNSTON, C.D.; (1974). Steel fiber reinforced mortar and concrete, A review of mechanical properties. fiber reinforced concrete ACI – SP 44, Detroit.

JOHNSTON, C.D.; (1982). Definition and measurement of flexural toughness parameters for fiber reinforced concrete. Cement and Concrete. August.

JUÁREZ, C.; DURÁN, A.; VALDEZ, P.; FAJARDO, G.; (2007). Performance of “Agave lechuguilla” natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions. Building and Environment, 42, pp.1151-1157.

JUÁREZ A., C.A.; RODRÍGUEZ L., P.; RIVERA V., R.; RECHY D.V.R., M.D.L.A.; (2003). Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. Ciencia UANL, Vol. VI, No. 4, Octubre – Diciembre, pp.465-476.

JUÁREZ A., C.A.; RODRÍGUEZ L., P.; RIVERA V., R.; RECHY D.V.R., M.D.L.A.; (2004). Uso de fibras de naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. Ingenierías, Enero – Marzo, Vol. VII, No. 22, pp7-19.

JUÁREZ, C.; VALDEZ, P.; DURÁN, A.; (2004). Fibras Naturales de Lechuguilla como Refuerzo en Materiales de Construcción. Revista Ingeniería de la Construcción, Vol. 19, No. 2, Agosto.

KATZER, J.; (2006). Steel Fibers and Steel Fiber Reinforced Concrete in Civil Engineering. Pacific Journal of Science and Technology, 7(1):53-58.

KUDER, K.G.; OZYURT, N.; MU, E.B.; SHAH, S.P.; (2007). Rheology of fiber – reinforced cementitious materials. Cement and Concrete Research, 37, 191-199.

LARENA, A.; DE LA ORDEM, M.U.; URREAGE, J.M.; (1992). Effect of E-glass short fibre on the degradation of polypropylene. Elsevier Science.

LAYSSI, H.; MAHOUTIAN, M.; SHEKARCHI, M.; (2008). Durability Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete. Paper accepted in 11 DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul – Turkey, May 11-14<sup>th</sup>, 6p.

LAZARRAGA, M.G.; IBAÑEZ J.; TABELLOUT M.; ROJO, J.M.; (2004). On the aggregation process of ceramic  $\text{LiSn}_2\text{P}_3\text{O}_{12}$  particles embedded in Teflon matrix. Composites Science and Technology, 64, 759-765.

LI, V.C.; (2007). Micromecánica de materiales: tecnología nunca antes imaginada. Noticreto, no. 85, Noviembre – Diciembre, pp42-49.

MACCAFERRI; (2006). Trabajabilidad del concreto reforzado con fibras metálicas Wirand®. Macafferri América Latina. Recomendaciones Técnicas. 7 de julio, 1p.

MAJZADEH, F.; SOLEIMANI, S.M.; BANTHIA, NEMKUMAR; (2006). Shear strength of reinforced concrete beams with a fiber concrete matrix. Can. J. Civil Eng., Vol. 33, pp726-734.

MARTÍNEZ M., D.; (2006). Analysis of Fibre – reinforced Concrete Elements: Bending with  $\sigma$ - $\epsilon$  and  $\sigma$ -w approach. Master's Thesis (International Master's Program Structural Engineering). Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environment Engineering, Göteborg, Sweden.

MARTÍNEZ R., M.D.; (2006). Efecto de adicionar fibras de acero a una matriz de concreto con una resistencia a la compresión de 7000 psi y que es utilizada en la fabricación de travesías para ferrocarril. Trabajo de Grado (Ingeniero de Materiales). Universidad del Valle, Santiago de Cali.

MARTÍNEZ M., R.; HERRERO, J.E.; REVUELTA, D.; ZAPATA L., E.; (sf). Refuerzo de estructuras mediante fibras de carbono. Sección Técnica Monográfica No. 1. Asociación de Consultores Independientes de Estructuras de Edificación – ACIES, 52p.

MATTHEWS, F.L. ; RAWLINGS, R.D. ; (1994). Composites Materials: Engineering and Science. Chapman and Hall.

MATTOSO, L.; FERREIRA, F.C.; ANTONIO, A.; CURVELLO, S.; (1996). Sisal Fiber: Morphology and Applications in Polymer Composites. Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Instrumentacao Agropecuária. Disponible en Internet: [http://www.energycities.org/db/campeni\\_569\\_es.pdf](http://www.energycities.org/db/campeni_569_es.pdf) [Consultada Mayo 2007]

MAYORGA H., E.; RUSSEL K., D.; ORTIZ L., H.; (2003). Análisis Comparativo en la Calidad de Fibra de Agave Lechuguilla, Procesada Manual y Mecánicamente. Revista Agrociencia, No. 38, marzo.

MINDESS, S.; VONDRAN, G.; (1988). Properties of Concrete Reinforced with Fibrillated Polypropylene Fibres under Impact Loading. Cement Concrete Research, vol. 8, pp109-115.

MINDESS, S.; CHEN, L.; MORGAN, D.R.; (1994). Determination of the First – Crack Strength and Flexural Toughness of Steel Fiber – Reinforced Concrete. Advanced Cement Based Materials, 1: 201-208.

MINDESS, S.; YOUNG, J.F.; DARWIN, D.; (2003). Concrete, Second Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.

MIRAVETE, A.; CHIMINELLI, A.; (2002). Modelización del comportamiento mecánico de materiales compuestos con nanotubos de carbono continuos. VIII Congreso de Propiedades Mecánicas de Sólidos, pp253-269, Gandia 2002.

MONFORE, G.E.; (2004). Fibras, resistencia para el concreto: reseña sobre fibras de refuerzo para pasta de cemento Portland, mortero y concreto. El Mundo del Cemento, Cuadernos Didácticos, Año 1, No. 2: Cátedra del Cemento Cemex 2004, pp18-25.

MORENO M., L.E.; OSORIO S., L.R.; TRUJILLO D.L.R., E.E.; (2006). Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia. Ingeniería y Desarrollo, No. 20, Julio – Diciembre, pp125-136.

MULLICK, A.K.; (2005). Steel and polypropylene fiber reinforced concrete with vacuum dewatering system. Civil Engineering and Construction Review, Vol. 18(12), pp36-41.

MULLICK, A.K.; (2005). Use of polypropylene and steel fiber reinforced concrete in water resources sector. Civil Engineering and Construction Review, Vol. 18(6), pp66-71.

MULLICK, A.K.; WALIA, P.; SHARMA, S.M.; (2006). Applications of Polypropylene Fiberreinforced Concrete (PFRC) with Vacuum Processing. Advances in Bridge Engineering, March 24-25, pp401-412.

NAAMAN, A.E.; (1998). New Fiber Technology: Cement, Ceramic and Polymeric Composites. Concrete International, Vol. 20, No. 11, July.

NAAMAN, A.E.; (1999). Fibers with Slip-Hardening Bond. In: High Performance Fiber Reinforced Cement Composites - HPFRCC 3, H.W. Reinhardt and A.E. Naaman, Editors, RILEM Pro 6, RILEM Publications S.A.R.L., Cachan, France, May, pp.371-385.

NEVES, R.D.; FERNANDES DE ALMEIDA, J.C.O.; (2005). Compressive Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete. *Structural Concrete*, 6, No. 1, pp1-8.

OCAMPO A., M.; OSPINA O., L.V.; (2005). Caracterización físico – química del pelo humano. Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales.

OHTSU, M.; UDDIN, F.A.K.M.; TONG, W.; MURAKAMI, K.; (2007). Dynamics of spall failure in fiber reinforced concrete due to blasting. *Construction and Building Materials*, 21, 511-518.

ORGASS, M.; KLUG, Y.; (2004). Steel Fibre Reinforced Ultra-High Strength Concretes. *LACER* No. 9, 12p.

PASA®; (2006a). Pasafiber, microfibras de polipropileno para concreto. Pasa Imper, Catálogo, 2p.

PASA®; (2006b). Pasafiber ST, fibra copolimérica virgen para pisos, pavimentos y concreto lanzado. Pasa Imper, Catálogo, 2p.

POLYTORX; (2005). Helix™: Eliminate cracks, add strength and save Money with Helix – the strongest reinforcement available for concrete. Ann Arbor, November, 12p. Disponible en Internet: <http://www.helixfiber.com> [Consultada en Enero 2008]

QUINTERO G., S.L.; GONZÁLEZ S., L.O.; (2006). Uso de la fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. *Ingeniería & Desarrollo*, no. 20, Julio – Diciembre, pp134-150.

RAO, K.M.M.; RAO, K.M.; (2007). Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. *Composite Structures*, 77, pp288-295.

RESENDE, F.M.; (2003). Influencia das fibras de aço, polipropileno e sisal no amortecimento de concretos de resistencia normal e de alto desempenho. Tese (Mestre em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 109p.

RIEDEL, U.; NICKEL, J.; Applications of Natural Fiber Composites for Constructive Parts in Aerospace, Automobiles, and Other Áreas. Institut für Strukturmechanik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig, Germany, 27p.

RILEM; (1984). Testing Method for Fibre Reinforced Cement – Based Composites. RILEM Technical Committee 49 TFR. *Materiaux et Constructions*, No. 102, pp441-456.

RODRÍGUEZ L., F.; PRADO P-S., D.; (1984). Hormigón con la incorporación de fibras. *Revista de Obras Públicas*, Octubre, pp779-796.

ROESLER, J.R.; ALTOUBAT, S.A.; LANGE, D.A.; RIEDER, K.A.; ULREICH, G.R.; (2004). Effect of Synthetic Fibers on Structural Behavior of Concrete Slabs on Ground. *ACI Materials Journal*.

ROESLER, J.R.; GAEDICKE, M.C.; (2004). Fiber Reinforced Concrete for Airfield Rigid Pavements. Tech Note No. 3, Center of Excellence for Airport Technology, 11p.

ROMUALDI. J.P.; MANDEL. J.A.; (1964). Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement. *ACI J. Proc.* 61(6)

ROWEL, R.M.; SANADI, A.R.; CAULFIELD, D.F.; JACOBSON, R.E.; (1998). Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities. Forest Products Laboratory.

SALAS M., A.; (2006). Efecto de la ceniza de cascarilla de arroz obtenida mediante tratamientos térmico y químico en concretos de altas prestaciones. Tesis (Doctor en Ingeniería de Materiales). Universidad del Valle, Santiago de Cali.

SALOMÃO, R.; CARDOSO, F.A.; INNOCENTINI, M.D.M.; PANDOLFELLI, V.C.; BITTENCOURT, L.R.M.; (2003). Effect of Polymeric Fibers on Refractory Castable Permeability. *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 82, No. 4, April, pp51-56.

SALUDES R., S.; (2006). Ensayo de doble punzonamiento aplicado al hormigón reforzado con fibras (Ensayo de Barcelona). Tesina (Ingeniero de Materiales). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Marzo.

SÁNCHEZ R., J.A.; (1978). Los hormigones reforzados con fibras. *Revista de Obras Públicas*, febrero, pp149-155.

SEÑAS, L.; MAIZA, P.; KAIN, M.; BALLESI, C.; (1993). Hormigones con fibras de polipropileno. *Memorias XI Reunión Técnica de Tecnología del Hormigón*. Tomo I, 101-110, Córdoba.

SIKA®; (2005). Fibras, la solución efectiva para refuerzo de concreto. *Construcción y Tecnología*, Septiembre, pp34-35.

SIKA®; (2007a). SikaFiber®, fibra modificada de polipropileno para el refuerzo de hormigón y mortero. Hoja Técnica, Edición No. 3, Versión – 01, Catálogo, 2p.

SIKA®; (2007b). SikaFiber® AD, fibra modificada de polipropileno para el refuerzo de hormigón y mortero. Hoja Técnica, Edición No. 3, Identificación 1440, Versión – 01, Catálogo, 2p.

SIMBAÑA V., A.; (2000). Fibras Naturales. Alternativa para el Desarrollo Nacional. 6p. Disponible en Internet: [http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/fibras\\_naturales\\_alternativa.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/fibras_naturales_alternativa.pdf) [Consultada marzo 2007]

SIVAKUMAR, A.; SANTHANAM, M.; (2007). Mechanical Properties of High Strength Concrete Reinforced with Metallic and Non Metallic Fibres. Cement & Concrete Composites. Accepted Manuscript.

SONG, P.S.; HWANG, S.; (2004). Mechanical properties of high – strength steel fiber reinforced concrete. Construction and Building Materials, Vol. 18, no. 9, 669-673.

SONG, P.S.; WU, J.C.; HWANG, S.; SHEU, B.C.; (2005). Assessment of statistical variations in impact resistance of bi-strength concrete and high strength steel fiber reinforced concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 35, no. 2, February, 393-399.

SORIA G-R, F.J.; (1985). Adecuación de los hormigones a las necesidades de los distintos tipos de obras (dosificaciones, tipos de cemento, reología, etc.). Revista de Obras Públicas, agosto, pp619-642.

SOTA, J.D.; TRAVERSA, L.P.; (1993). Las fibras de polipropileno y la reacción álcali sílice. Memorias XI Reunión Técnica de Tecnología del Hormigón. Tomo I, 93-100, Córdoba.

SOTEXFIL; (2006). FIBTEX® Fibra Polipropileno – Polypropylene Fiber Reinforcement Concrete. SOTEXFIL, Sociedade Têxtil de Fibras e Filamentos, LDA, Lousã – Portugal, 2p.

SUBCOMITÉ DE FIBRAS INCONTEC; (2007). Explorando el concreto reforzado con fibras – CRF. Noticreto, no. 84, Agosto – Septiembre, pp42-50.

SUHAENDI, S.L.; Properties of Fiber Reinforced High Strength Concrete under High Temperature Condition. Report, 6p.

SWAMY, R.N.; STAVIDES, D.; (1976). Influence of the method of fabrication on strength properties of steel fibre concrete. Materials and Structures, Vol. 9, no. 4, July, 243-253.

SZABÓ, J.S.; CZIGÁNY, T.; (2003). Static fracture and failure behaviour of aligned continuous mineral fiber reinforced polypropylene composites. Elsevier Science.

TAPIA, C.; PAREDES, C.; SIMBAÑA, A.; BERMÚDEZ, J.; (2006). Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 19, No. 1, Octubre, 113-120.

TATRO, B.S.; (1987). Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Large Aggregate. Publication Transportation Research Record, by Committee on Mechanical Properties of Concrete, pp129-137.

TORRES F., M.; OLIVERA M., W.F.; (2000). Fibras vegetales en el hormigón y su protección. Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba. Ciudad de Matanzas, 17p.

TREFILARBED ARCELOR GROUP; Fibratex®, fibras de refuerzo de polipropileno. Química Suiza S.A., Catálogo, 2p.

VALLEJOS, M.V.; (2006). Aprovechamiento integral del Cannabis Sativa como material de refuerzo / carga del polipropileno. Tesis (Doctor en Ciencia y Tecnología en las Industrias Textileras y Papeleras). Universitat de Girona, Girona, 363p.

VAN CHANH, N.; (2006). Steel Fiber Reinforced Concrete. Concrete Committee, Japan Society Civil Engineering, Newsletter, no. 5, April: Joint Seminar on Concrete Engineering in Vietnam and Workshop, pp108-116. Disponible en Internet: <http://www.jsce.org.jp/committe/concrete/e/> enlace The Newsletter, No. 5, April, 2006 [Consultada Septiembre 2007]

VERRI K., A.; (2006). Introducción a la mecánica de laminados compuestos. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.

VOO, J.Y.L.; FOSTER, S.J.; (2003). Variable Engagement Model for Fibre Reinforced Concrete in Tension. UNICIV Report No. R-420, The University of New South Wales, Sidney, June.

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I.; (2003). Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. Elsevier Science.

WONG, CH.M.; (2004). Use of Short Fibres in Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties. Dissertation (Bachelor of Engineering: Civil Engineering). University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying. 182p.

YOUNG, R.A.; LEAO, A.; CARVALHO, F.; FROLLINI, E.; (1997). Lignocellulosic – Plastic Composites, Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications.

YOUNGQUIST, J.A.; ENGLISH, B.E.; SCHARMER, R.C.; CHOW, P.; SHOOK, S.R.; (1994). Literature Review on Use of Nonwood Plant Fibers for Building Materials and Panels. United States Department of Agriculture. General Technical Report FPL-GTR-80, 148p.

ZOLLO, R.F.; HAYS, C.D.; ZELLERS, R.; (1999). A New Test Method for Fiber – Reinforced Concrete. Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 21, No. 2, December, pp111-116.

## ANEXO 1

**Tabla A1. Características de diversas fibras de polipropileno.**

Referencia comercial	Fuente	Morfología	Peso específico [g/cm <sup>3</sup> ]	Diámetro [μm]	Longitud [mm]	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo a la tensión [MPa]	Elongación en la fractura [%]	Punto de fusión [°C]
-	Aulia 2002	Fibrilado, monofilamento	0.95	20 – 200	-	5 – 10	500 – 750	≈ 20	160
Sikafiber AD, Sikafiber	Sika 2007a, 2007b	Fibra modificada	0.91	-	19	1.5	30 – 35	20 – 30	-
Adifibra	ADI sf	Fibra	0.90	-	12, 19, 51	3.5	560 – 770	-	-
Fiberstrand 100	Euco 2007a	Monofilamento	0.92	-	19	3.9	527	-	163
Fibradur	GHD sf	Monofilamento, multifilamento	-	-	25	-	-	-	-
Fibratex	Trefilarbed sf	Monofilamento	0.92	-	13, 19, 32, 51	3.9	527	-	163
Fibratex PP	Groutex 2006	Monofilamento	0.95	85	25	4.8	-	25	257
Imerfibra 5	Immerc sf	Fibrilado	0.91	-	50	4.8	482	> 8	166
Fibercon microfibra	Dificonsa sf	Multifilamento	0.9	-	19	3.9	562	-	160 – 163
Pasafiber	Pasa 2006a	Multifilamento	0.9	-	19	-	560	-	160 – 163
Pasafiber ST	Pasa 2006b	Monofilamento	0.93	-	19, 38	-	620 – 756	-	-
Promesh Fibers	AV Ingeniería sf	Fibrilado	-	-	19, 38	2.3	448 – 724	-	-
Tuf-Strand SF	Euco 2007b	Monofilamento	0.92	-	50	5.0	600 – 650	-	-
Walia Fibercon	Mullick et al. 2006	-	0.91	-	-	3.5 – 6.8	550 – 700	21	-
-	Suhaendi sf	Fibrilada	0.9	18	6	-	-	-	160 – 170
TRM Compostos	Salomao et al 2003	-	0.91	15	0.1	-	-	-	165
Wrigley Fibers	Salomao et al 2003	-	0.91	15	0.5, 1, 3	-	-	-	165
Fitesa	Salomao et al 2003	-	0.91	15	6, 12, 24	-	-	-	165
-	Ohtsu et al. 2007	-	0.91	50	30	3.5	600	-	-
-	García et al. 2004	Monofilamento	0.92	-	50	4.3	550	-	-
-	Kim 2003	Fibrilada	0.91	-	19	3.5	550 – 750	-	-
Strux 90/40	Salas 2006	-	0.92	-	-	9.5	620	-	160
L30 Concrefil	Resende 2003	-	0.91	-	30	3.5 – 3.6	320 – 400	25	160 – 170
-	Alfonso 2005	Monofilamento	0.92	-	-	9.5	620	-	160
Prefib	Copsa 2008	Multifilamento fibrilado	0.90	-	12, 25, 42	-	300 – 350	20-30	-

## ANEXO 2

**Tabla A2. Características de diversas fibras de acero.**

Referencia comercial	Fuente	Morfología	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Factor de forma	Esfuerzo a la tensión [MPa]
Fibra Novocon: Xorex	Candás Manzano 2008; Degusta s.f.	Ondulada	1	25.4, 38, 50.8, 63.5	25, 38, 50, 63	828
Hook-Fiber HC65-35N	Baxim sf	Lisa con ganchos en los extremos, encoladas	0.55	35	65	1300
Tipo I ASTM A 280	Armenta et al 2004	Lisa con ganchos en los extremos	1	60	60	1190
Tipo II ASTM A 280	Armenta et al 2004	Ondulada	1.1	25.4	25	980
Wirand FF1 Maccaferri	Ercoli et al 2007	Lisa con ganchos en los extremos	1	50	50	1100
Dramix 6/0.15	Gustafsson & Noghabai sf	Lisa	0.15	6	40	-
Dramix 30/0.6	Gustafsson & Noghabai sf	Lisa con gancho en los extremos	0.6	30	50	-
Dramix 60/0.7	Gustafsson & Noghabai sf	Lisa con gancho en los extremos	0.7	60	86	-
Dramix ZP 305	Bekaert 2005	Lisa con ganchos en los extremos, encoladas	0.55	30	55	1100
Grapax-ABD 80/60	ABD 2007	Lisa con ganchos en los extremos, encoladas	0.75	70	80	1100
Grapax-ABD 50/50	ABD 2007	Lisa con ganchos en los extremos	1	50	50	1200
Dramix RC-80/60-BN	Bekaert 2005	Lisa con gancho en los extremos, encoladas	0.75	60	80	1050
Wirand-3FSN	Sika 2006	Lisa con ganchos en los extremos	0.75	33	44	1100
XR25	Baxim 2007	Ondulada	0.85	25	30	650
XR38	Baxim 2007	Ondulada	0.85	38	45	650
XR50	Baxim 2007	Ondulada	0.85	50	60	650
Dramix RL-45/50-BN	Bekaert 2005	Lisas con ganchos en los extremos	1.05	50	48	1000

<b>Referencia comercial</b>	<b>Fuente</b>	<b>Morfología</b>	<b>Diámetro [mm]</b>	<b>Longitud [mm]</b>	<b>Factor de forma</b>	<b>Esfuerzo a la tensión [MPa]</b>
Dramix RC-65/60-CN	Bekaert 2005	Lisa con ganchos en los extremos, encoladas	0.90	60	67	1000
Dramix RC-65/35-BN	Bekaert 2005	Lisa con gancho en los extremos, encoladas	0.55	35	64	1110
Sikafiber CH65/35 NB	Sika 2006, Sika 2007	Lisa con gancho en los extremos	0.54	35	65	1200
Tecnor 05-25-Helix	Tradimet sf	Torcida helicoidal	0.5	25	50	1500
Dramix RC-80/60-BP	Bekaert 1998	Lisa con gancho en los extremos, encoladas	0.71	60	85	2000
Dramix RC-65/60-BN	Bekaert 2005	Lisa con gancho en los extremos, encoladas	0.90	60	67	1000
Baumix	Copsa 2008	Lisa con gancho en los extremos	1	25, 35, 50, 60	25, 35, 50, 60	1000
Twinplate 50-100	Pinol 2003	Lisa con gancho en los extremos	1	50	50	1100
Wiremix W30, W40, W50	Bekaert 2001	Deformada, de sección trapezoidal		30, 40, 50		800
Dramix RC-80/60-CN	Bekaert 2''5	Lisa con gancho en los extremos, encoladas	0.75	60	80	1150
Wirand FF1	Maccaferri 2005	Lisa con gancho en los extremos	1	50	50	-
Wirand FF4	Maccaferri 2005	Lisa con gancho en los extremos	0.80	60	75	-
Wirand FS3N	Maccaferri 2005	Lisa con gancho en los extremos	0.75	33	44	-
Wirand FS8	Maccaferri 2005	Lisa con gancho en los extremos	0.75	25	33	-