



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

## **FIBRAS**

Las fibras son los componentes resistentes en un material reforzado con ellas y definen la mayor parte de las características mecánicas del material, como la resistencia y la rigidez.

Las fibras se fabrican a partir de varios materiales. Pueden citarse metales, boro o materiales cerámicos, como el carburo de silicio (SiC), de muy elevada resistencia térmica. Tanto el boro como el carburo de silicio dan fibras muy costosas y se emplean sólo en casos muy especiales. Para los plásticos reforzados se utilizan sólo fibras inorgánicas, como las de carbono o de vidrio, o bien sintéticas como las de aramida o de un polietileno de alta resistencia y rigidez.

### **1.- FIBRAS INORGÁNICAS**

#### **Fibras de vidrio**

La elevada resistencia de las fibras de vidrio se debe a los enlaces covalentes entre el silicio y los radicales oxígeno. Los átomos integran una red tridimensional con estructura amorfa. Por esta razón, las fibras de vidrio poseen características isotrópicas.

Las fibras de vidrio son las primeras fibras que han hallado una amplia aplicación como fibras de refuerzo. Están constituidas en su mayor parte por óxidos de silicio. El espectro de sus características puede modificarse mediante la mezcla con otros óxidos, como por ejemplo, los de aluminio o magnesio.

Las fibras de vidrio se producen por medio de un proceso de hilado bajo fusión. El conjunto de los filamentos obtenidos se reúne formando una fibra.

La más difundida y utilizada en la mayoría de sus aplicaciones, es la fibra de vidrio E. La mayúscula E proviene de eléctrico, puesto que esta fibra fue desarrollada inicialmente para aplicaciones eléctricas. También se utiliza en muchas otras aplicaciones, con la importante ventaja de su reducido costo.

Mayor resistencia ofrecen los tipos de vidrio R y S. Estas iniciales corresponden a Resistance (francés) y Strength (inglés) respectivamente. Un tipo adicional de vidrio es el C, desarrollado para una buena resistencia química, de donde proviene la inicial C (Chemical).



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

Las fibras de vidrio son sin lugar a duda el refuerzo más utilizado en la industria de los plásticos reforzados, de ahí viene el nombre de Plásticos Reforzados en Fibra de Vidrio (FRP). Las principales características que provocan estas preferencias son:

1. Alta resistencia a la tensión
2. Incombustible
3. Biológicamente inerte
4. Excelente resistencia a la intemperie y a gran cantidad de agentes químicos
5. Excelente estabilidad dimensional
6. Baja conductividad térmica

Existen diversos tipos de fibra de vidrio y de acuerdo a sus formulaciones podemos mencionar:

**VIDRIO A ó ALCALINO:** La fórmula de éstos es la misma que ocupan los envases y vidrios de las ventanas. No tiene gran aceptación en el campo de los FRP. Poseen una buena resistencia eléctrica. Estos tipos de vidrio junto a resinas fenólicas son ampliamente usados como impermeabilizantes.

**VIDRIO E:** Empleado en la fabricación de PR, y su aglutinante (apresto) mejora las propiedades fisicoquímicas de unión con el polímero, de tal forma que el compuesto satisface los requerimientos físicos, es decir, son usados donde se requiere una alta resistividad eléctrica, junto con una buena resistencia mecánica

**VIDRIO C:** Vidrio de alta resistencia química, se emplea principalmente en velos sintéticos cuando se requiere fabricar PR que se mantienen en contacto con reactivos químicos muy agresivos.

**ZENTRON:** Fibra de vidrio que contiene un alto contenido de sílice y una alta resistencia, se usa con resinas epóxicas, éster vinílicas o fenólicas.

El siguiente cuadro muestra las propiedades a la tensión (al tirarla), el % de alargamiento antes de romperse y la gravedad específica de algunos refuerzos, en esta tabla se puede ver que el vidrio más resistente es el Zentrón. También se pueden ver las diferencias entre los refuerzos sintéticos y los orgánicos con respecto a su resistencia.



Casa Matriz  
Ñuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES EMPLEADOS COMO REFUERZO EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO REFORZADO

Material	Resistencia a la Tensión lbs/pulg <sup>2</sup> · 1000	Ultimo Alargamiento%	Gravedad específica
Fibra de Vidrio E	220	3.5	2.54
Zentrón	575	---	2.45
Dracon (Poliéster)	88	25	1.38
UHMWPE	90	25	0.95
LDPE	35	80	0.92
Polipropileno	90	25	0.91
Algodón	109	7	1.54
Lana	29	36	1.32
Kevlar	84	---	1.44

#### Fabricación de fibra de vidrio

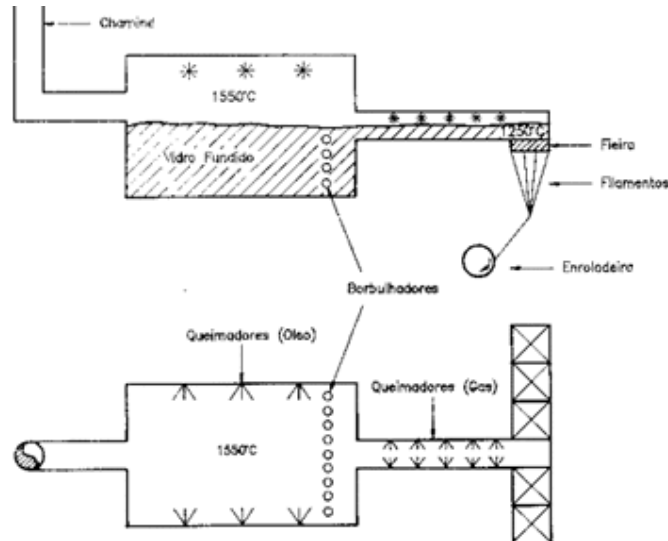
El proceso utilizado hoy en día en la fabricación de fibra de vidrio es conocido como método directo. En él las materias primas se funden directamente en un crisol de Platino y Rodio el cual es sometido a temperatura por resistencias eléctricas.



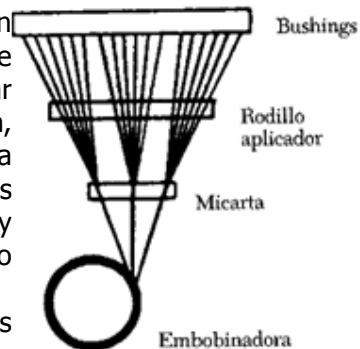
Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

www.pq.cl

Estos crisoles tienen en el fondo unas boquillas por las que fluye el vidrio en hilos sumamente delgados, formando monofilamentos que son estirados mecánicamente al ser enrollados en un cilindro que gira a gran velocidad, con lo que el mono filamento se reduce a 0.0045mm (45 micrones). (fig. 1)



Entre el crisol y el tambor de enrollado (fig. 2) existe un dispositivo que pinta los filamentos con un aglutinante (Binder) que tiene varias funciones, por ejemplo: evitar que los monofilamentos se destruyan por la fricción, unir los monofilamentos y formar una hebra, evitar la fusión de hebras contiguas, ayudar a las subsecuentes operaciones de la hebra, no permitir la decoloración y ayudar a la adhesión de la resina con la fibra de vidrio

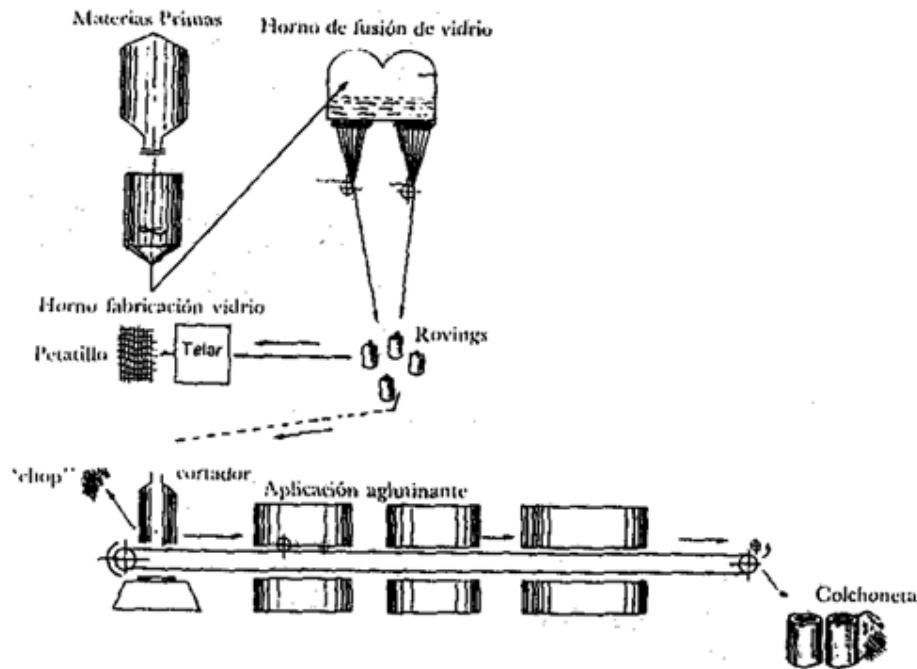


Estos carretes de fibra de vidrio pueden ser trenzados para la formación de Woven Roving o bien, cortados para producir fibra picada o MAT. Dependiendo de la densidad del roving se pueden fabricar los roving para filament winding o spray up, enrollando dichos filamentos en un nuevo filamento.



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

www.pq.cl



Los **rovings para enrollamiento (Filament Winding)** son fabricados en bobinas, con los filamentos rigurosamente paralelos y agrupados en una única mecha, para asegurar el máximo aprovechamiento de sus características de refuerzo. Son tratados superficialmente para una rápida impregnación y buena compatibilidad con resinas epóxicas, poliéster y viniléster. Los rovings para enrollamiento son fabricados en varias densidades lineales, expresadas en g/km (tex). Los tex más comunes son 740 g/km, 1100 g/km y 2200 g/km. Estos rovings son utilizados para laminación por enrollamiento o para fabricación de tejidos. Las estructuras laminadas manualmente con tejidos o por enrollamiento, son anisotrópicas, lo cual significa que sus propiedades dependen de la dirección en que ellas son medidas.

Los **rovings para Laminación por pistola (Spray-up)** son fabricados con filamentos agrupados en varias mechas distintas. Su principal característica es la facilidad de corte y esparcimiento. Como los rovings para enrollamiento, los de laminación a pistola también son tratados superficialmente para compatibilidad con resinas poliéster, epóxicas y viniléster. Los laminados construidos con este roving son isotrópicos, lo que implica que sus propiedades no dependen de la dirección en que son medidas.

Durante la fabricación de las **mantas o MAT**, las bobinas son desenrolladas y sus mechas cortadas en longitudes de 5 cm. Las fibras cortadas son esparcidas aleatoriamente sobre una faja transportadora, donde reciben la aplicación de un ligante y entran en un horno. Generalmente el ligante de estas mantas está constituido por resina poliéster bisfenólica molida.



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

Esta resina no contiene estireno y por eso es sólida a temperatura ambiente. El horno funde las partículas de este ligante, para que de esta forma sirva de aglutinante de las fibras picadas y así mismo conferir maleabilidad a las mantas. Al salir de la estufa, la manta es compactada, cortada en el largo deseado y enseguida, enrollada sobre tubos de cartón.

Las mantas son fabricadas con gramajes de 225 g/m<sup>2</sup>, 450 g/m<sup>2</sup> o 600 g/m<sup>2</sup>. El gramaje es determinado por la velocidad de la faja transportadora.

Las mantas son usadas para reforzar resinas poliéster, viniléster o epóxicas por laminación manual. Estos fieltros (mats), en los que no se genera ninguna dirección preferencial de las fibras, son isotrópicos.

Por otro lado, las **telas**, son formadas tejiendo los rovings usados para enrollamiento, asegurando el absoluto paralelismo de los filamentos para un máximo aprovechamiento de sus propiedades de refuerzo. Las telas están disponibles en 290g/m<sup>2</sup>, 600 g/m<sup>2</sup> o 880 g/m<sup>2</sup>. Estos productos son tratados superficialmente para compatibilizar con las resinas poliéster, epóxicas y viniléster. Estos tejidos aumentan considerablemente la resistencia al impacto y otras propiedades mecánicas de los laminados. Los laminados construídos con tejidos de 600 g/m<sup>2</sup> son anisotrópicos. Los construídos con tejidos de 880 g/m<sup>2</sup> son isotrópicos.

Finalmente, los **Velos de superficie** sirven para asegurar uniformidad de espesor al laminado interno de los equipos que mantienen contacto permanente con un ambiente agresivo. Su uso es absolutamente esencial en equipos para ambientes corrosivos. Son usados velos de polipropileno o poliéster, sin ligante, con 35 g/m<sup>2</sup>, o velos de fibras de vidrio.

Cabe mencionar las **Fibras de Vidrio molidas**.

Esta fibra es molida en molinos de bolas o de mortero y tienen apariencia de polvo blanco. Son fácilmente incorporadas a las resinas para hacer masas plásticas usadas en el llenado de grietas o cavidades.

Corresponde citar también las escamas de vidrio.

Las **Escamas de vidrio** son placas o discos de vidrio, ligeramente curvas, con diámetro nominal de 1/64" o 1/8" y espesor de 2 micrones. Se les usa en laminados internos de equipos y también en revestimientos de sustratos de acero o concreto. Las escamas son aplicadas pre-mezcladas a la resina, para reducir la permeabilidad de los laminados.



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

## **Fibras de Carbono**

Para muchas aplicaciones en las que la fibra de vidrio presenta una rigidez insuficiente, es necesario sustituirla por fibras de carbono.

El carbono puro puede presentarse en dos estados alotrópicos: "grafito" y "diamante".

Características	Unidades	Grafito	Diamante
Resistencia a la tracción	GPa	150	90
Módulo E	GPa	1020	20
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2.26	3.51
Resistencia específica	GPa*cm <sup>3</sup> /g	66	25
Módulo específico	GPa*cm <sup>3</sup> /g	451	177

El grafito posee mayor resistencia y rigidez que el diamante, así como por añadidura, una densidad más baja. El grafito ofrece aquí los mejores valores de todos los materiales conocidos. Sin embargo entre los enlaces moleculares existen uniones débiles, cuya posición en el carbono fibrado disminuye su resistencia a cizalladura.

La materia prima más común para la fabricación de fibra de carbono es la fibra de poliacrilonitrilo (PAN). En las varias etapas de transformación se eliminan mediante pirólisis los átomos de nitrógeno e hidrógeno. Durante la fabricación, el contenido de carbono se lleva del 92 al 100%, según las propiedades a obtener.

Otra materia prima de interés es la brea, que puede obtenerse del petróleo o de la hulla. Con esta materia prima se obtiene un costo de fabricación de fibra más favorable, puesto que puede esperarse un rendimiento más elevado de carbono y el precio de la brea es claramente más ventajoso que el del PAN.

Según sea el proceso de fabricación se obtienen propiedades muy diversas, por lo que la variedad existente de fibras de carbono, se clasifican en distintos grupos.

Las primeras fibras de carbono en aparecer en el mercado fueron las fibras HT (high tenacity / alta resistencia). Sus cualidades mecánicas superan a las de los demás materiales aunque quedan por debajo de las de otras fibras de carbono. Como ventaja destaca su precio más económico, por lo que son adecuadas en un amplio campo de aplicaciones.



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

A partir de las fibras HT se han desarrollado otros tipos de fibra que tienden a ostentar mejores características. Las demandas de elevada rigidez de las técnicas aeronáuticas y espaciales llevaron, entre otros, al desarrollo de las fibras HM (High Modulus) que poseen el más alto módulo de elasticidad. Los inconvenientes de estas fibras son su alto precio y su bajo alargamiento a rotura.

La fragilidad es un inconveniente adicional del bajo alargamiento, que hace a las fibras muy sensibles a las cargas de impacto. La tolerancia al impacto requiere materiales mejorados que posean una alta capacidad de trabajo admisible, lo cual significa tener el máximo alargamiento posible con una alta tenacidad. Estos requisitos los cumple la fibra HST (High Strain and Tencity), que posee entre las fibras de carbono existentes, un alargamiento superior al 2%.

Entre todas las fibras de carbono existentes, se puede obtener solución a los problemas que demanden alta resistencia y rigidez. Su eficacia como material de aplicación en los campos aeronáutico y espacial las ha hecho aplicables en la construcción deportiva y de vehículos. Campo donde se han introducido con óptimos resultados. También se ha iniciado su extensión al sector construcción de maquinaria.

Las fibras de carbono poseen una característica muy interesante, y esa es su coeficiente de dilatación negativo en la dirección de la fibra. No se debe olvidar que teniendo los materiales de matriz un coeficiente positivo, es posible obtener, mediante una combinación adecuada de materiales y estructura de las fibras, un composite que no tenga deformación en un amplio campo de temperaturas.

Para algunas aplicaciones es interesante su buena conductividad eléctrica, su resistencia a altas temperaturas y su elevada resistencia química ante ácidos, álcalis y disolventes.

## **2.- FIBRAS SINTÉTICAS**

### **Fibras de Aramida**

Se utilizan también como refuerzo fibras sintéticas de polímeros, aunque no las fibras textiles que, como las de poliéster, poseen un elevado alargamiento y baja rigidez. Son más interesantes los materiales con alta tenacidad y módulo, como la aramida.

La aramida está constituida por grupos amida (CONH) y anillos aromáticos, que confieren a la fibra una elevada estabilidad térmica.





Casa Matriz  
Ñuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

La fibra se obtiene partiendo de una solución de amida aromática en un disolvente (ácido sulfúrico), hilándola y estirándola. Por ello las cadenas moleculares se orientan en la dirección de la fibra y constituyen estructuras cristalinas a las que debe la fibra sus buenas características mecánicas.

Las características singulares de esta fibra orgánica son su buena resistencia al impacto y su alta capacidad de absorción de energía, que la hacen singularmente interesante para blindajes, como los chalecos de protección balística y para la fabricación de piezas que deben soportar impactos.

En contraste con las fibras de vidrio y de carbono, la fibra de aramida es sensitiva a los esfuerzos de compresión y, con algunos límites, también a la humedad. Su temperatura de descomposición es superior a 420°C. La fibra de aramida es resistente a la llama, autoextinguible y resistente a muchos agentes químicos. Posee un coeficiente de dilatación negativo mayor que el de la fibra de carbono en relación a su masa.

La fibra de aramida es especialmente adecuada, por su resistencia al golpe unida a su ligereza, para elementos constructivos que deban ser muy ligeros y soportar impactos, ya que la reducción de masa atenúa las fuerzas de desaceleración y su dureza le permite soportar las aceleraciones extremas causadas por el impacto.

### **Fibras de Polietileno**

Otra fibra sintética a la que corresponde referirnos, es la de PE (polietileno) de alta tenacidad. El bajo peso de estas fibras se debe a su sencilla estructura química. Por esta razón posee un bajo punto de fusión, cercano a 150°C. Existe por ello una tendencia a la fluencia que restringe sus posibilidades de sustitución frente a otras fibras. Sin embargo, su capacidad de trabajo admisible es incluso superior a la aramida y le ofrece la posibilidad de aplicaciones como los blindajes, en hibridación con otras fibras. Al poseer una densidad menor que la del agua y una buena resistencia química es también un material adecuado para aplicaciones marítimas.

### **3.- MATERIALES HIBRIDOS DE REFUERZO**

Los plásticos reforzados con fibra (PRF) que contienen dos o más fibras como material de refuerzo, así como la construcción sándwich, constituyen los composites híbridos. Los composites híbridos son adecuados siempre que...



Casa Matriz  
Nuble 324  
Santiago  
Bodegas Generales  
Los Libertadores  
Lote 125 Colina  
Mesa Central  
4 9 5 2 4 0 0

[www.pq.cl](http://www.pq.cl)

- se pueda obtenerse un espectro más amplio de propiedades físicas y mecánicas con la mezcla de varias fibras que con una sola.
- se puedan reemplazarse en parte fibras caras, como las de carbono o de boro, por fibras más económicas como las sintéticas o las de vidrio
- se desee obtener relaciones variables de elasticidad, resistencia y alargamiento, o también un aumento de resistencia al impacto (p.ej. combinando con fibras de polietileno o aramida) y una mejora de las características de amortiguación de vibraciones.

La mejora de características que puede obtenerse mediante la combinación de distintas fibras es como sigue:

Composite híbrido	Respecto de refuerzo de vidrio solo	Respecto de refuerzo de carbono solo	Respecto de refuerzo de fibra sintética sola
PRFS/PRFV	Módulo E más elevado. Densidad menor		Mayor resistencia a la compresión
PRFC/PRFV	Módulo E más elevado	Mayor resistencia al impacto	
PRFS/PRFC		Mayor resistencia al impacto	Modulo E más elevado. Mayor resistencia a la compresión.

La hibridación constituye una tecnología aún experimental, pero que ofrece perspectivas de máximo interés para las aplicaciones estructurales de los composites. Ya no se trata sólo de situar las fibras en direcciones preferenciales, sino, además, de emplazar cada tipo de fibra o mezcla de ellas en donde se obtenga su mejor rendimiento dentro del estratificado. La importancia de las implicaciones económicas en las aplicaciones estructurales del material son obvias. Es precisamente en las cualidades estructurales de los composites donde radica su mayor diferencia con los plásticos y los metales y donde existe el mayor potencial de nuevas áreas de aplicación.

Sin embargo es necesario profundizar en el conocimiento de los factores que influyen en la hibridación para obtener rendimientos adecuados. Pueden obtenerse sinergias positivas, superando los valores teóricos obtenidos según la ley de mezclas, pero también pueden ser negativas.

Dado lo extenso de esta tecnología, es conveniente acudir a los textos de ampliación cuando se desee profundizar en todos los aspectos de la hibridación, puesto que plantean problemas específicos para respetar las fronteras de diseño de las fibras, en función de su emplazamiento en el laminado.

