



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)

## PROCESOS DE PRODUCCIÓN

### 1. **PULTRUSIÓN**

Este término se define como un procedimiento para obtener perfiles de plástico reforzado, de forma continua, sometiendo las materias primas a un arrastre y pasando por operaciones de impregnado, conformado, curado y corte.

El término pultrusión se usa con frecuencia no sólo para describir el proceso, sino también para designar los productos resultantes.

En la actualidad, dado el avance tecnológico en materiales y equipos, es uno de los procesos de mayor futuro en el campo de los materiales compuestos con refuerzos de fibra.

Los materiales más utilizados son: las fibras de vidrio como refuerzo de resinas líquidas termoestables (poliésteres o epóxi). Sin embargo, también se pueden utilizar otros tipos de fibras ingenieriles (carbono, grafito, boro, etc.) y resinas termoplásticas emulsionadas (PVC, PS, acrílicas, etc.)

El refuerzo por excelencia es la fibra de vidrio en varias de sus formas, si bien las actuales fibras de carbono pueden constituir un interesante material para conseguir propiedades especiales.

La mecha de vidrio es sin duda el material que mejor se puede procesar por pultrusión, orientada paralelamente, pudiendo además trenzarse, enrollarse en espiral o anillo, etc., para refuerzo en perfiles redondos, ovalados o rectangulares. La mecha retorcida se suele emplear para dar una medida de la resistencia transversal.

El fieltro de fibra de vidrio se utiliza para producir formas en que se requiere resistencia lateral y longitudinal. En este caso el fieltro necesita tener la suficiente resistencia mecánica para poder ser manejado mecánicamente con el aglomerante. Existen tres tipos aconsejables: fieltro con superficie tramada, fieltro con mecha tramada y una combinación de mecha sobrehilada en el fieltro cortado.

Para conseguir resistencia transversal se emplean tejidos de vidrio en forma de cinta.

Las características del producto acabado será las que nos indique la elección del tejido y el porcentaje de uso del mismo.



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)

En cuanto a las resinas, las de poliéster copan el 80 o 90 por ciento de la producción por pultrusión, dada su economía y características de procesado. En general puede utilizarse cualquier tipo de resina isoftálica u ortoftálica, siempre que cumplan determinadas condiciones: alta reactividad y curado rápido, no muy exotérmica y baja viscosidad (800-200 cps) para conseguir una impregnación rápida del refuerzo y una fácil eliminación del aire.

Para el curado de la resina, el sistema catalítico debe ser equilibrado, a fin de obtener un "pot-life" largo (unas 8 horas) y un gel lo suficientemente fuerte para mantener el recubrimiento durante el arrastre.

Para evitar que el gel se adhiera a los conformadores es necesario añadir a la resina desmoldantes internos (Ej. Ésteres del ácido fosfórico).

Con el fin de conseguir las propiedades deseadas en el producto acabado (y no para reducir costos) se pueden añadir cargas, pigmentos, agentes ignífugos, etc., y en general cualquier aditivo de los que normalmente se utilizan en los plásticos reforzados. El porcentaje de carga no debe ser superior al 20% respecto a la resina. El tamaño de partícula y la distribución de la misma es fundamental para que no se produzcan fenómenos de arrastre o de separación a lo largo del proceso.

En la actualidad, existe la tendencia a utilizar resinas de poca contracción, parecidas a las empleadas en los procesos de BMC y SMC, con el fin de conseguir un mejor acabado superficial y tolerancias dimensionales más estrechas.

El proceso básico de la pultrusión puede resumirse en las siguientes operaciones:

- a. Desenrollado y distribución de los refuerzos de vidrio u otros materiales.
- b. Impregnación de la resina y control de la relación resina/vidrio.
- c. Preformado gradual, hasta alcanzar el perfil final.
- d. Conformado y curado en la matriz
- e. Postcurado
- f. Equipo de arrastre
- g. Equipo de cortado
- h. Operaciones complementarias de recubrimiento, desbarbado, etc., si fuera necesario.



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)

Las bobinas de vidrio se colocan en una filetas equipadas con guías de trenzado y para obtener una mejor direccionalidad y alineación, se utilizan placas perforadas o tubos de plástico.

En el caso de filtros y tejidos, el desenrollado se verifica directamente de su embalaje y la alineación se realiza mediante placas.

En general y trabajando a velocidades lentas, no es necesario tensar o frenar el tejido, siendo suficiente la tensión producida durante la impregnación del mismo.

El equipo de impregnación, en la mayor parte las líneas de pultrusión, consiste en un depósito estrecho y con longitud de 60 a 200 cm. La impregnación se ayuda mediante barras rompientes transversales, placas perforadas o rodillos de prensado.

Otras líneas utilizan cámaras en las que simultáneamente a la descompresión del refuerzo, se verifica la impregnación del mismo por inyección a presión de la resina.

El control de la proporción resina/vidrio es el factor más importante para conseguir productos acabados con las propiedades requeridas.

El ajuste de la viscosidad de la resina y simples placas con orificios (de forma adecuada) son suficiente para servir de calibradores.

Durante esta fase hay que controlar la velocidad con precisión, ya que la eliminación del exceso de resina produce una presión hidráulica con capacidad de romper algunos de los refuerzos. El material reforzante deberá llegar a la matriz con un ligero exceso de resina, para compactar la fibra y eliminar el aire.

La operación de preformado debe ejecutarse siempre para dar a los perfiles una forma aproximada a la deseada, antes de ser moldeados. El preformado debe hacerse en forma gradual, teniendo especial cuidado en la adecuada colocación del refuerzo o de la conjunción de refuerzos.

Los dispositivos mecánicos para esta operación son muy variados, desde unos simples orificios anulares (si se van a fabricar varillas) hasta guías de pata de araña, rasquetas, anillos, tubos-guía, mandriles tubulares, etc. Por ejemplo, para obtener una viga de doble T, se orienta la fibra sobre un mandril tubular y esta forma se colapsa posteriormente al perfil indicado. El conformado y curado se realiza dentro de matrices de tipos y características muy variadas.



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)

En general, se construyen de acero cromado, para obtener una mayor duración, menor fricción y mejor separación de la resina. Las matrices de curado continuo por calentamiento del metal, exigen el acoplamiento de secciones frías, separadas de la matriz, para evitar el endurecimiento prematuro de la resina.

Se diseñan mediante sistemas de encamisado y se refrigeran con agua. Los aceros al cromo-duro con durezas Rockwell, entre 65 y 70, permiten producciones entre 15.000 y 30.000m lineales, pudiendo ser cromadas nuevamente cuando se ha deteriorado su superficie.

La investigación en materiales para la construcción de boquillas ha demostrado la posibilidad de emplear cuarzo, aluminio, cerámica, etc. para reemplazar al acero. En los procesos de curado por medio de metal líquido, este metal actúa como matriz y como fuente calorífica.

El curado de la resina exige un cuidadoso control del calentamiento. En el caso de curado continuo en matrices metálicas, el punto máximo de desprendimiento de calor debe tener lugar dentro de la propia matriz y los intervalos de temperatura serán controlados entre 1 y 2º C según el tipo de resina.

Para secciones gruesas (2.5 cm.) es preferible el curado por radiofrecuencia (70Mhz), a fin de que no se produzcan agrietamientos o delaminaciones. Las resinas epóxi curan con microondas (2.450 Mhz).

Cuando el perfil tiene, antes de curar, suficiente resistencia para no perder la forma, es preferible el curado en horno, obteniendo mayor producción a menor costo.

El equipo de arrastre y cortado varía según la fuerza que se necesite, (cintas transportadoras, "orugas", calibradores con igual forma que el perfil producido, mordazas hidráulicas, etc.).

El cortado se realiza mediante sierras rápidas y discos abrasivos o de diamante.

La pultrusión ofrece ventajas muy señaladas:

- ❖ Gran versatilidad de formas en la obtención de tubos y perfiles.
- ❖ Alta rigidez específica y resistencia de los productos acabados.
- ❖ Bajos costos de producción.
- ❖ Velocidades de producción relativamente altas
- ❖ Producción continua.
- ❖ Buen acabado superficial.
- ❖ Posibilidad de obtener grandes longitudes sin limitación.
- ❖ Equipamiento comparativamente más económico que en otros procesos.
- ❖ Posibilidad de obtener las máximas resistencias en tracción conocidas en los composites.
- ❖ Selección direccional de propiedades.



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

En general, los valores para productos con fibra orientada paralelamente son cuatro veces superiores a los construídos con fibra de orientación transversal.

Junto con la selección de materiales, el diseño de la pieza es un factor crítico para obtener las propiedades mecánicas deseadas. La versatilidad en diseño es, sin embargo menor que la del material. Se debe fundamentalmente a limitaciones impuestas por las características de las materias, relativas a su curado y a la necesidad reproducción según una sección constante. También al tamaño del equipo y a determinadas propiedades, como el módulo de flexión.

En general, las formas que se pueden obtener por pultrusión son similares a las que se obtienen por extrusión de aluminio o materiales termoplásticos.

## 2. INYECCIÓN

Técnica utilizada para la fabricación de parrillas o grating. Esta técnica requiere de hasta 11 pasos para un ciclo de producción:

- a) Preparación de los moldes.
- b) Arreglo de la fibra de vidrio en el molde.
- c) Sistemas de curado.
- d) Preparación de la resina.
- e) Inyección de la resina en el molde.
- f) Primer acabado y extracción de la parrilla.
- g) Almacenado de rejillas semipolimerizadas.
- h) Calibrado y acabado final de las rejillas.
- i) Pintado y aplicación del antideslizante.
- j) Corte y despacho.

## 3. MOLDEO

Existen dos tipos de moldeo: Moldeo Manual y Moldeo por Aspersión

**Moldeo Manual:** es uno de los procesos más antiguos y sencillos utilizado por la industria del plástico reforzado. La resina líquida, generalmente poliéster insaturado, se combina con la fibra de vidrio en el molde. Una reacción química iniciada en la resina por agentes especiales de curado (catalizadores y acelerantes) provoca su endurecimiento y da origen a una parte moldeada ligera y resistente, en la cual la resina desempeña la función de sustrato y la fibra de vidrio sirve como refuerzo. El proceso es equivalente a la combinación de concreto con varillas de acero como refuerzo.



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

Si se desea un buen acabado para la pieza, la superficie del molde debe ser cubierta con gel coat pigmentado aplicado con pistola o con brocha. La fibra de refuerzo, en conjunto con la resina, son aplicados posteriormente sobre el gel coat. El rolado de la fibra así como la eliminación de burbujas de aire se hace con una brocha o con rodillos. Se aplican varias capas de refuerzo y resina hasta lograr el espesor final del laminado. La resina debe ser adecuadamente acelerada y catalizada para el curado a la temperatura ambiente. Las estructuras moldeadas por el proceso de moldeo manual son colocadas, en algunos casos, en estufas para reducir el ciclo de curado.

Algunas veces puede ser necesario o conveniente el uso de materiales de núcleo, para aumentar la rigidez, reducir el peso o proporcionar volumen a la parte moldeada.

Las etapas del proceso son:

- Se prepara el molde cuidadosamente y se aplica el gel coat sobre éste.
- Se coloca la fibra de vidrio sobre el molde con gel coat.
- La fibra de vidrio es impregnada con la resina poliéster.

La incorporación de materiales de núcleo debe hacerse cuidadosamente. Los materiales de núcleo más usados son las espumas plásticas. El uso de esos materiales puede causar dificultades de aplicación para quienes no tienen mucha experiencia en el moldeo de estructuras de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Solamente una de las superficies de la pieza, la que es moldeada en contacto con el molde, presenta un buen acabado; lizo, brillante o mate, según lo deseado. La superficie que no está en contacto con el molde, se muestra áspera y con un mal acabado. Si se desea, esta superficie puede tener un mejor acabado con la aplicación de una película de celofán o una capa de tejido de fibra de vidrio de malla cerrada, antes del curado de la resina. Luego el celofán debe ser removido del laminado después de la operación de aplanado de la superficie, cuando la resina esté suficientemente curada, el tejido de fibra de vidrio se vuelve parte integrante del laminado.

**Moldeo por Aspersión:** Por este proceso, la fibra de vidrio, la resina y en algunos casos, cargas minerales son lanzadas simultáneamente contra la superficie del molde por medio de un equipo apropiado. Una vez más se trata de un proceso de molde abierto adecuado a escalas de producción bajas y medianas. El rolado de la fibra de vidrio en los contornos del molde se hace con rodillos y brochas. Se necesitan varias aplicaciones con la pistola de aspersión para lograr el espesor deseado en la pieza. Generalmente este proceso utiliza solamente resinas poliéster curadas a la temperatura ambiente. Si se desea, pueden usarse estufas para acelerar el curado.



Casa Matriz  
Ruble 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)

Como ya sabemos, en cualquier proceso de molde abierto, sólo una de las superficies presenta un buen acabado. En general, esa superficie es moldeada sobre el gel coat. El gel coat debe ser aplicado en el molde y la fibra de vidrio y resina se depositan sobre él. La fibra de vidrio tejida puede ser usada para reforzar áreas específicas del laminado. También pueden ser usados los materiales de núcleo.

El moldeo por aspersión así como el proceso manual, requieren de una baja inversión en moldes y equipos, además de ser extremadamente sencillos, también son adecuados para el moldeo de partes complejas. Por ser mecanizado, el proceso de moldeo por aspersión proporciona una mayor productividad que el manual.

Las cargas minerales (calcita, alúmina hidratada, etc.) pueden ser agregadas a la resina con el objeto de reducir costos o conferir propiedades especiales a las piezas.

El proceso de aspersión, en definitiva consiste en:

- 1) La aplicación simultánea de fibra de vidrio y resina sobre el molde.
- 2) Es ventajosa para el moldeo de piezas grandes y complejas en donde la conformación de los mat y telas puede presentar dificultades.
- 3) Costos de laminación son más bajos que por moldeo manual, porque es más rápido y eficiente y utiliza materiales más baratos.
- 4) Este proceso utiliza fibra de vidrio continuo (roving), cuyas principales características son, facilidad de corte, buena distribución en el molde y una rápida absorción de la resina de laminación.
- 5) Es importante el uso de resinas pre-aceleradas. La dosificación del catalizador es controlado por el operador, según las necesidades.
- 6) Después de cada aplicación de la pistola, el laminado debe ser cuidadosamente rolado y acomodado a los detalles del molde. Las partes muy gruesas deberán ser moldeadas por etapas para que el calor generado por la reacción del curado no afecte al molde, ni al laminado.
- 7) Regla general: La laminación debe ser suspendida periódicamente después de la aplicación de cada 6 mm de espesor. Después de que se enfríen esos 6 mm, la operación debe ser retomada, aplicando otros 6 mm, esperando en enfriamiento y así sucesivamente, hasta llegar al espesor deseado.
- 8) En realidad: El espesor máximo a laminar cada vez, depende de la reactividad de la resina, cantidad y tipo de catalizador utilizado, relación fibra de vidrio-resina, condiciones ambientales, etc.

El equipo de aspersión debe ser calibrado para aplicar la cantidad adecuada de Fibra de vidrio y resina. Esta calibración se hace con el simple ajuste de las válvulas reguladoras.



Casa Matriz  
Ruble 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)

Para calibrar la pistola se procede de la siguiente manera:

1. La fibra de vidrio y resina aplicadas por la pistola, se recolectan durante 15 segundos en recipientes separados previamente pesados.
2. Se pesa por separado la fibra de vidrio y la resina.
3. El contenido de fibra de vidrio se determina dividiendo el peso de la fibra, entre el peso total (vidrio + resina), y multiplicando el resultado por 100.
4. El flujo de la pistola (kg/min), se obtiene, multiplicando el peso total (vidrio + resina) por 4.

Recomendaciones para el moldeo por aspersión:

**1** Deje correr libremente el roving sin ningún impedimento, a lo largo del brazo del equipo. Los ojetillos guía deben ser de cerámica, estar siempre limpios (para evitar fricción y reducir la pelusa) y en cantidad suficiente (no más de seis) para que el roving se tense adecuadamente sin formar nudos. Use un ojetillo por cada roving. Nunca pase dos rovings por un mismo ojetillo.

**2** Centre un ojetillo guía cromado con 7 u 8 cm. de diámetro justo arriba de la bobina del roving. Evitará la separación de las hebras que componen el roving como resultado de su chicoteamiento, impidiendo su enredamiento.

**3** Evite la contaminación del roving con la resina proveniente de la pistola para evitar enredamiento.

**4** Reduzca la velocidad del roving para reducir enredamiento. Esto se consigue trabajando con 2 bobinas de TEX 2400.

**5** Reduzca la pelusa usando además de todo lo anterior, rodillos en buenas condiciones. El rodillo de goma será de 55-60 shore A. La goma muy dura reduce la tensión de estiramiento y dificulta el arranque del cortador. El rodillo porta cuchillas debe ser bien instalado. Sin apretarlo pero al mismo tiempo sin dejar holgura. Examine con frecuencia las cuchillas y sustitúyalas de inmediato cuando estén desgastadas. En ambientes con humedad relativa del aire por debajo del 40%, siempre presentará acumulación de electricidad estática con cualquier roving. En este caso haga tierra con la pistola, de preferencia conectándola a una tubería metálica. Además use rodillos de goma blanca para efectuar el corte. Rodillos negros contienen "negro de humo" que facilita el desarrollo de electricidad estática.



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)

- 1** Si sus problemas de estática son muy grandes, disminuya el número de cuchillas del cortador. El problema es que fibras largas son más difíciles de dispersar y asentar en el molde.
- 2** Las pistolas de aspersion tienen tres orificios para la alimentación del roving al cortador. Uselos de manera rotativa, para asegurar el desgaste uniforme del rodillo y navajas.
- 3** Para optimizar la aspersion, las fibras cortadas deben encontrar el chorro de resina en el centro del abanico, con una abertura (ancho de franja) igual a  $2/3$  del ancho del abanico de la resina. Para mejorar resultados, cada aplicación del roving TEX 2400 debe cubrir una franja de unos 15 cm. de ancho sobre el molde.
- 4** Eventualmente una u otra bobina de roving puede presentar una mala dispersión debido a una alta adherencia entre las mechas. En estos casos puede convenir la utilización de barras paralelas para ayudar a separar las diversas mechas que componen el roving.
- 5** Agite la resina antes del moldeo para mantener su viscosidad e índice tixotrópico. No trabaje con un contenido de vidrio muy alto. Como regla general debe estar entre el 28 y el 32% para resinas sin carga.

Si llega a ocurrir escurrimiento del laminado en las paredes verticales:

- Aumente el contenido de vidrio
- Mejore la dispersión del roving
- Use una resina con mayor viscosidad y mayor índice tixotrópico
- Reduzca la cantidad de material aplicado en cada mano.
- Haga el rolado inmediatamente después de la aplicación de cada mano.

El roving para pistola (aspersion o spray-up) debe tener las siguientes características:

- Excelente impregnación, reduciendo los tiempos
- Total saturación de piezas moldeadas
- Menor consumo de resina
- Reducción de sobre-sprayado entre capas.
- Reducción de la pérdida de resina entre laminados
- Aumenta la productividad
- Acabado superficial con bajo fotografiado
- Laminación consistente y uniforme
- Facilidad de manejo en el desenrollado y corte
- Limpieza durante la fabricación por baja pelusa.



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)

#### 4. FILAMENT WINDING

Este proceso es mecanizado y es más sofisticado que los procesos manuales y a pistola. Los moldes utilizados son conocidos como mandriles y deben tener geometría adecuada para el proceso.

La laminación por enrollamiento es empleada principalmente para construir estructuras cilíndricas, como costados de tanques, tubos o ductos. En el caso de tanques de grandes dimensiones las calotas y las conexiones son moldeadas separadamente, manualmente o a pistola, para posterior montaje con el costado cilíndrico laminado por enrollamiento.

El proceso es como sigue:

- ❖ Se aplica el desmoldante sobre el mandril. Los mandriles de pequeño diámetro (tubos) generalmente son cubiertos con cera aplicada manualmente. Los mandriles de grandes dimensiones (tanques) usan filmes de poliéster (mylar, melinex o terphane) aplicados manualmente o por enrollamiento.
- ❖ Sobre el desmoldante es aplicada resina catalizada y acelerada. Si es necesario reducir la impermeabilidad del laminado interno, esa primera capa de resina puede ser formulada con 20% de escamas de vidrio.
- ❖ Se coloca el velo de superficie inmediatamente y se le distribuye resina. La resina líquida impregna el velo desde abajo hasta la cima, facilitando la remoción de aire y reduciendo así la porosidad del laminado interno. El velo de superficie puede ser aplicado a mano o por enrollamiento.
- ❖ Sobre el velo es construido el laminado intermedio con fibras picadas y resina (espesor mínimo de 2 mm). La misma resina usada para el laminado interno debe ser usada en el laminado intermedio. Una aplicación es hecha a mano o pistola, seguida de roletaje esmerado para remover las oclusiones de aire, como se hace en laminación manual o a pistola.
- ❖ En seguida es construido el laminado estructural por enrollamiento. La operación de enrollamiento con fibras de vidrio continuo (roving) son impregnadas en resina y enrolladas sobre el molde rotatorio, (mandril) describiendo con él una hélice de paso controlable. Las estructuras enrolladas generalmente tienen formato cónico o cilíndrico, mientras que los laminados por los procesos manual o a pistola no tienen limitaciones en cuanto a geometría.