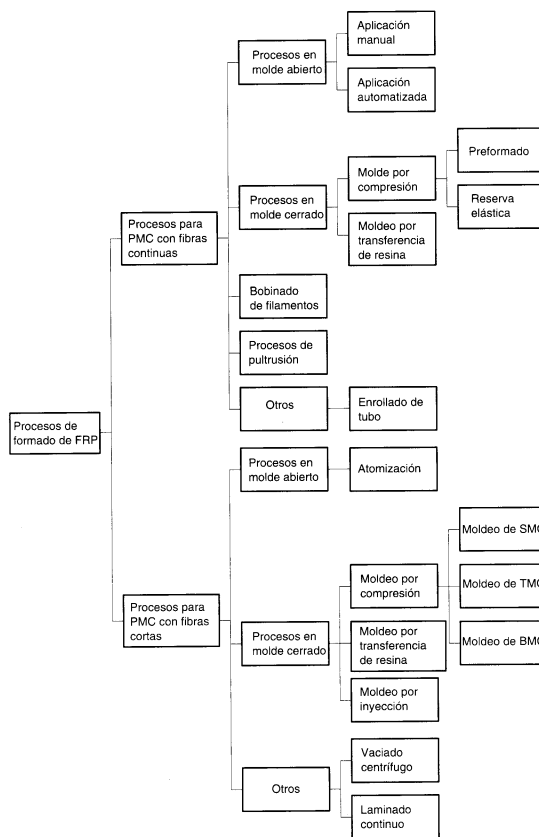


CONFORMADO DE MATERIALES COMPUESTOS

Introducción.

Los procesos de manufactura para formar productos y componentes útiles a partir de compuestos con matriz polimerica PMC, es un material compuesto que consiste en un polímero incorporado a una fase de refuerzo con fibras o polvos. La importancia tecnológica y comercial de los procesos que se van a describir, se derivan del uso creciente de esta clase de materiales especialmente los polímeros reforzados con fibra FRP. Los PMC se asocian generalmente a los polímeros reforzados con fibra. Los compuestos FRP pueden diseñarse con unas relaciones muy altas entre la resistencia que se puede obtener, con relación al peso, por ello los hacen muy atractivos en la fabricación de piezas en: aviones, automóviles, camiones, barcos, equipo deporte etc.. Las técnicas para obtener materiales compuestos son menos eficientes generalmente que los procesos de manufactura para otros materiales, y existen dos razones: 1- Los materiales compuestos son más complejos que otros materiales, porque constan de dos o más fases, y en el caso de plásticos reforzados con fibra, hay necesidad de orientar la fase de refuerzo. 2- Las tecnologías de procesamiento para los materiales compuestos no han sido mejoradas, como ocurre para el procesamiento de otros materiales.

La variedad de métodos para obtener los FRP podemos observar en la figura.



Clasificación de los procesos de manufactura para compuestos de polímeros reforzados con fibras.

Materias Primas para Materiales Compuestos con Matriz Polimerica PMC.

En un PMC las materias primas son un polímero y una fase de refuerzo, se producen separadamente antes de convertirse en fases del compuesto. A continuación vamos a estudiar como se producen estos materiales antes de convinarse para formar la parte compuesta.

Matriz polimerica.

En los PMC se usan como matrices los tres tipos de polímeros básicos: termoplásticos, termofijos y elastómeros. Los elastómeros son capaces de sufrir grandes deformaciones elásticas cuando se les somete a esfuerzos relativamente bajos. Algunos pueden soportar extensiones de hasta el 500% o más.

Termoplásticos: Las cadenas lineales son desplazables una con respecto a otra por estar unidas entre sí a través de fuerzas intermoleculares pero no mediante enlaces químicos. Cuando se aumenta la temperatura, la movilidad de las cadenas crece, siendo tales plásticos moldeables en caliente y se endurecen de nuevo al enfriarse son termoplásticos.

Termofijos: Si el entrelazado se hace más frecuente se tiene como resultado un apuntalamiento del sistema a modo de armadura, en el que ya no es posible ningún tipo de desplazamiento. Estos plásticos entrecruzados en el espacio no pueden ya, por tanto reblandecerse por el calor y dejan de ser termoplásticos, puesto que están endurecidos, se les denomina termofijos.

Los polímeros termofijos TS son las matrices más comunes, y los principales polímeros TS son: los fenólicos, los poliésteres, los epoxicos y los poliuretanos. Los fenólicos se asocian con el uso de fases de refuerzo, y los poliésteres y los epoxicos se asocian más estrechamente con los FRP.

Agentes reforzadores.

La fase de refuerzo puede tener varias formas (fibras, partículas y hojuelas) y diversos materiales (cerámicos, metales, otros polímeros o elementos como carbono o boro).

Fibras.

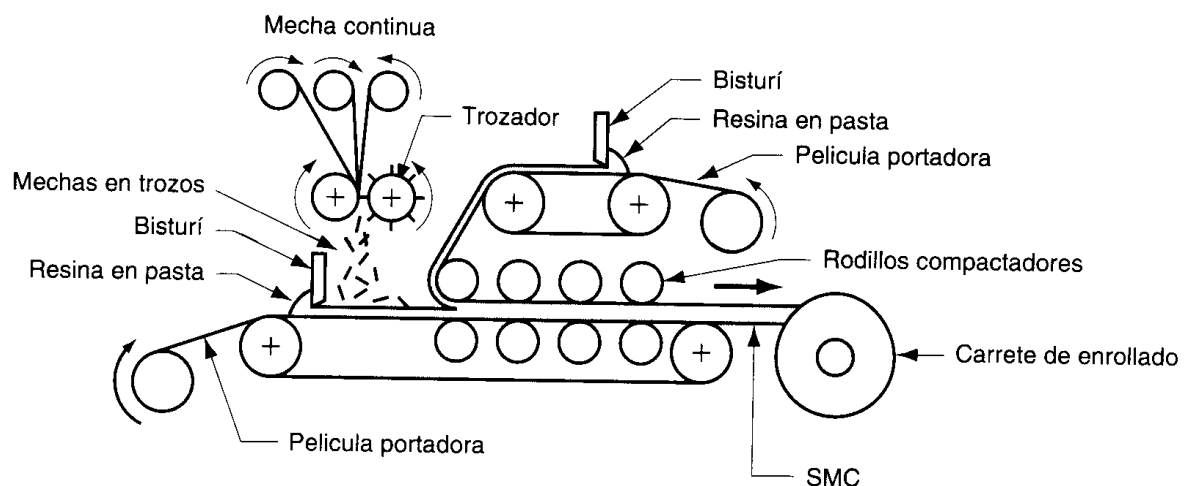
En los filamentos continuos las fibras se convinan con la matriz polimera dependiendo de las propiedades que se desean en el material y de los métodos y procesos utilizados para formar el compuesto. Dependiendo del proceso los filamentos se utilizan continuos o se trocean en fibras cortas. Los filamentos se disponen en mechas, y una mecha es una serie de filamentos no torcidos de fibras continuas y que contienen de 12 a 120 fibras individuales.

Partículas y hojuelas

Las partículas y las hojuelas forman una sola clase, las hojuelas son partículas cuyo ancho y largo son mayores que su espesor.

Combinación de la matriz y el refuerzo.

La incorporación de los agentes de refuerzo a la MP ocurre durante el proceso de conformado o antes, en el primer caso los materiales iniciales llegan de forma separada y se



combinan dentro del compuesto durante la fabricación. En el 2º caso los dos materiales componentes se convinan convenientemente en el proceso de formado, ejemplo: bobinado de filamentos y la pultrusion. Casi todos los termoplásticos y termofijos que se usan en los procesos de conformado de plásticos, son polímeros con rellenos, que son fibras cortas o partículas incluyendo las hojuelas.

Los compuestos de moldeo son similares a los que se usan en el moldeo de plásticos y se diseñan para obtenerlos por moldeo, de manera que puedan ser líquidos a una cierta temperatura, la mayoría de los compuestos son polímeros termofijos, que no han sido curados y el curado se realiza durante o después del proceso final.

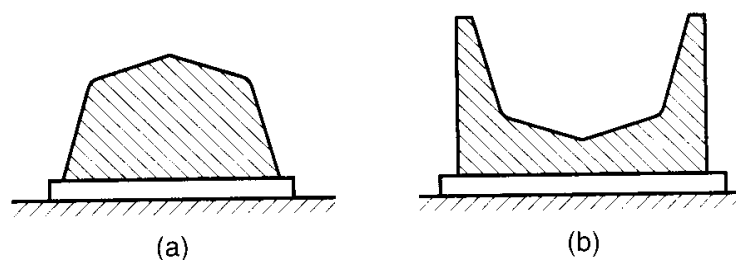
Los compuestos para el moldeo en laminas SMC son combinación de resina de polímero termofijo, rellenos con aditivos y fibras de vidrio cortadas que se laminan a un espesor de 6,5 mm, la resina mas común es el poliéster. Los rellenos son generalmente polvos minerales como talco, sílice o piedra caliza.

Prepregs.

Son fibras impregnadas con resinas termofijas parcialmente curadas para facilitar el proceso de formado. El curado completo debe realizarse durante o después del formado. Se disponen en forma de cintas, laminas aplicadas transversalmente, la ventaja de los prepregs es que se fabrican con filamentos continuos para aumentar resistencia. Las cintas y laminas se asocian con compuestos reforzados con boro, carbono, grafito y kevlar, así como fibra de vidrio.

Procesos en Molde Abierto.

La característica que distingue el proceso de formado de FRP en molde abierto es el uso de una sola superficie de molde positivo o negativo para producir estructuras laminadas de FRP. Este proceso también se conoce como laminación por contacto y moldeo por contacto, los materiales: resinas, fibras, esteras y mechas tejidas, se aplican al molde en capas hasta obtener el espesor deseado. Las resinas empleadas en estos procesos son poliésteres insaturados y epoxicos usando la fibra de vidrio como refuerzo.



Las piezas que se obtienen por este proceso son grandes, ejemplo: cascos para embarcaciones. La utilización de moldes abiertos tiene la ventaja de que el costo del molde es mucho menor que si se utilizaran dos moldes, el inconveniente es que la superficie en contacto con el molde la superficie queda con un buen acabado superficial, el otro lado queda rugoso.

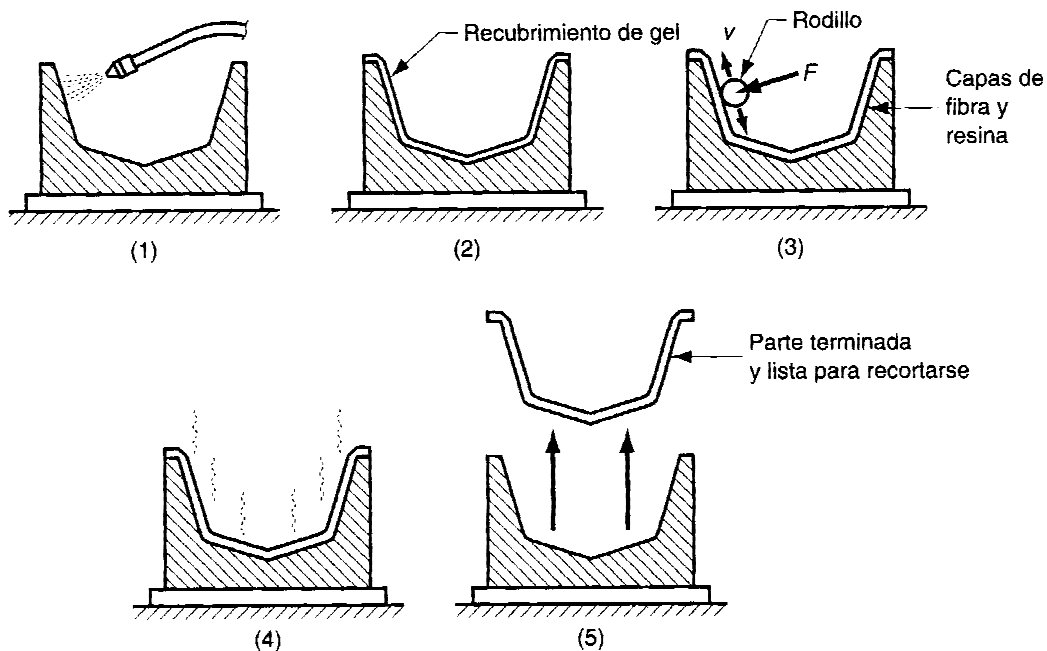
Para dar forma a los plásticos reforzados con fibra en el molde abierto podemos hacer la siguiente clasificación: Aplicación manual, Aspersión, Maquinas automáticas y Moldeo con bolsa.

Trataremos el método de Aplicación manual como proceso básico y los otros como modificaciones y mejoras del manual.

Aplicación manual.

Es un método relativamente mas antiguo para laminados de FRP, se remonta a los años 40, y se usaron para fabricar cascos de barcos, con este método la mano de obra es muy elevada y con su nombre indica las capas de resina y refuerzo se aplican de forma manual. El proceso consta de cinco partes:

Procedimiento de aplicación manual: (1) se limpia el molde y se trata con un agente antiadherente; (2) se aplica un recubrimiento delgado de gel (resina, posiblemente pigmentada) que se convertirá en la superficie externa de la pieza; (3) después que el recubrimiento de gel ha cuajado parcialmente, se aplican capas sucesivas de fibra y resina en la fibra en forma de estera o tela; a cada capa se le pasa un rodillo para impregnar completamente la fibra con la resina y remover las burbujas de aire; (4) se cura la pieza, y (5) se retira del molde la parte completamente endurecida.



1° Una vez obtenido el molde con forma y medidas correspondientes se limpia y se trata con un antiadherente.

2° Se aplica un recubrimiento delgado de gel (resina pigmentada) que se convertirá en la parte externa de la pieza.

3° Después que el recubrimiento gel seque parcialmente se aplican sucesivas capas de fibra y resina en forma de estera o tela, a cada capa se le pasa un rodillo para impregnar por parejo la fibra con la resina y evitar la aparición de burbujas de aire y quede perfectamente extendido, a esta operación se la conoce como aplicación húmeda.

4° Se cura la pieza, generalmente a t^a ambiente.

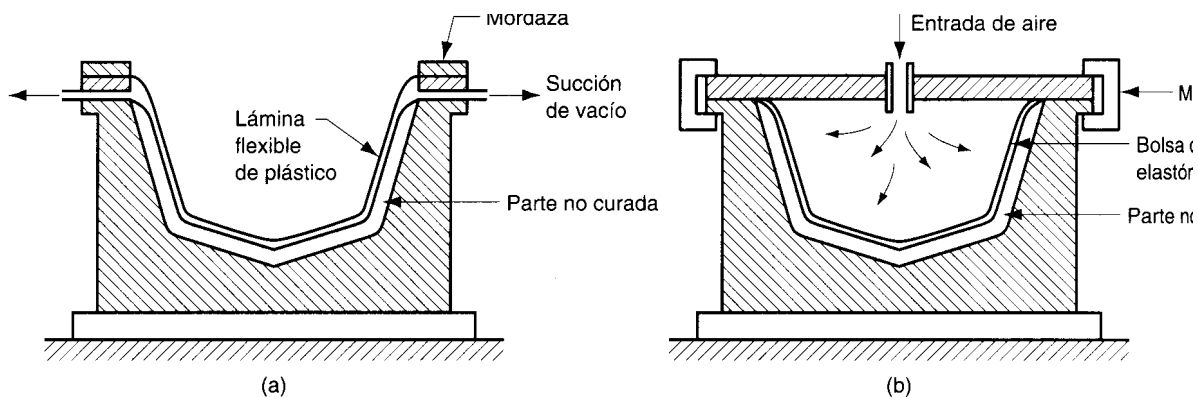
5° Se retira el molde de la pieza completamente endurecida.

Como procedimiento alternativo a la Aplicación manual, es el uso de prepregs, donde: preparan las capas impregnadas de refuerzo y fibra y después se coloca en la superficie del molde.

Las ventajas de los prepregs son control mas estrecho sobre la mezcla de fibra y resina y métodos mas eficientes para agregar las 10 capas que generalmente forman el espesor del casco. Los modelos para laminar por contacto en molde abierto pueden ser de yeso, metal plástico reforzados con fibra de vidrio. Para producciones pequeñas se fabrican prototipos de yeso y se reproduce solamente una parte. Las producciones medianas se emplean moldes de plástico reforzados con fibra de vidrio y para grandes producciones se utilizan moldes metálicos de aluminio, acero, níquel etc., con la superficie de cara al molde endurecida para resistir el desgaste. La aplicación manual para piezas grandes y pocas unidades, también se suele utilizar para fabricar piscinas, tanques de almacenamiento de agua, maquinas etc.

Aplicación por automatización(aspersión).

La aspersión representa un intento de mecanizar la aplicación de capas de resina así como reducir el tiempo de aplicación, es una alternativa del paso tercero de la aplicación manual. En



Procedimientos de moldeo con bolsa: (a) moldeo con bolsa al vacío y (b) moldeo con bolsa a presión. Para mayor claridad, los diagramas ilustran el inicio de los ciclos de presión antes de que la bolsa presione contra la parte.

el método por automatización la resina líquida y las fibras cortadas se rocían sobre el molde abierto para ir depositando las distintas capas de FRP

Moldeo con bolsa.

El proceso de moldeo con bolsa incluye dos procedimientos alternativos por medio de los cuales se presionan las resinas no curadas contra el molde a fin de compactar la laminación y expulsar las sustancias volátiles, los métodos son: moldeo con bolsa al vacío y moldeo con bolsa a presión. .

Cualquiera de los métodos puede usarse como un suplemento para curado en los procesos de aplicación manual o aspersión..

Moldeo con bolsa al vacío.



Se usa una lamina de plástico flexible para cubrir la parte que se ha aplicado manualmente o por automatización, se sellan los bordes y se realiza el vacío para presionar la bolsa contra el molde mientras se cura. Limitación de presión a 1 atm..

Moldeo con bolsa a presión.

Se utiliza aire a presión para inflar una bolsa de elastómero contra la parte laminada mientras se encuentre flexible y el curado se esta produciendo, así se pueden aplicar varias atmósferas, parece mas adecuado para hacer huecos complejos. Se puede utilizar calor para acelerar el proceso

Curado.

Se refiere al curado que hay que realizar en el paso cuarto de aplicación manual, se utiliza para todas las resinas termofijas que se usan en los compuestos laminados de FRP. En el curado tiene lugar el encadenamiento transversal del polímero que pasa de una condición liquida o altamente plástica a un producto endurecido. Hay tres parámetros principales en el proceso: tiempo, temperatura y presión.

El curado en autoclave es el método mas preciso pues controla la temperatura, presión y el tiempo, es el equipo mas empleado para el moldeo en bolsa.

Proceso en molde cerrado.

Las operaciones en molde cerrado se realiza con dos cajas que se abren y se cierran durante cada ciclo de moldeo, tiene un costo muy elevado pero las ventajas al utilizar este proceso son:

- 1° Buen acabado en todas las superficies de las cajas.
- 2° Mayor velocidad de producción.
- 3° Mayor control sobre tolerancias.
- 4° Son posibles formas mas complejas.

Dentro del proceso en molde cerrado, tenemos moldeo por inyección para PMC y moldeo por inyección con reacción forzada.

Moldeo por inyección para PMC.

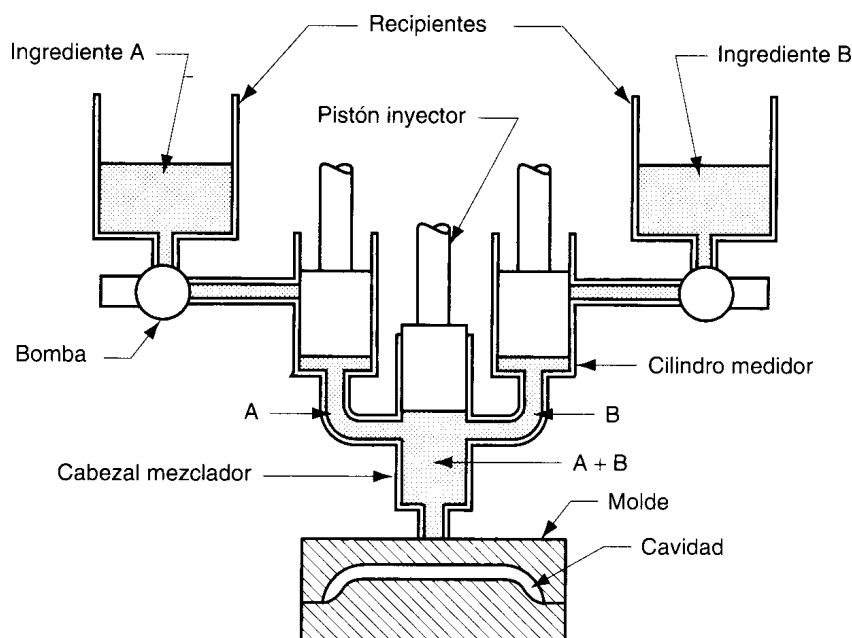
Tiene un bajo costo de producción para piezas de partes de plástico en cantidades grandes, aunque se acerca mas a los termoplásticos, puede adaptarse el proceso a los termofijos. En moldeo por inyección convencional, se puede utilizar para los termoplásticos y termofijos. Casi todos los polímeros termoplásticos pueden reforzarse con fibras, pero deben ser cortadas si se utilizan fibras continuas. Durante la inyección las fibras tienden a quedar alineadas al pasar por la boquilla. Los polímeros TS deben inyectarse en caliente para curarse.

Moldeo por inyección con reacción forzada.

Consiste en una mezcla de dos líquidos altamente reactivos y se infectan inmediatamente

en la cavidad de un molde, se curan y rápidamente solidifican los componentes, se incluyen fibras de refuerzo generalmente de vidrio, se utiliza en fabricación de cabinas de camiones.

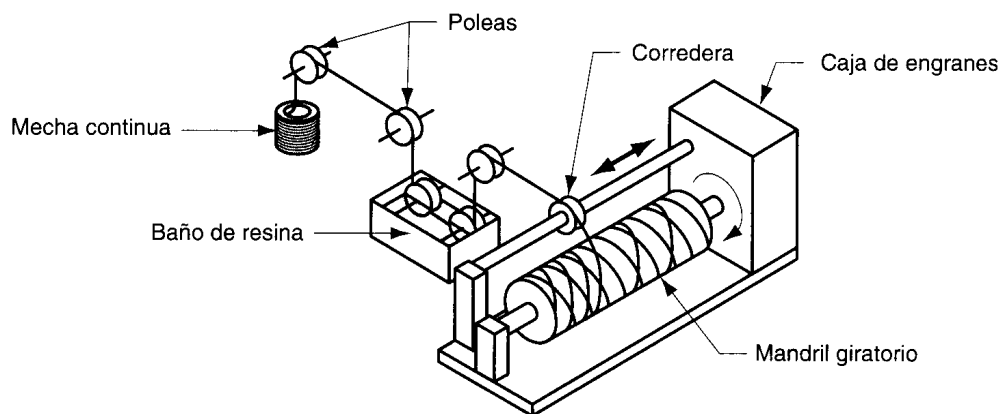
Sistema de moldeo por inyección con reacción (RIM) en el momento en que se han bombeado los ingredientes a la cabeza mezcladora y antes de inyectarlos en la cavidad del molde (se omiten algunos detalles del equipo de procesamiento).



Bobinado de Filamentos

Es un proceso en el cual se enrollan fibras continuas impregnadas con resinas alrededor de un mandril giratorio que tiene la forma que lo que se quiere reproducir. Cuando ha curado la resina el mandril se retira. Se obtienen formas de simetría axial, así como formas irregulares.

Bobinado de filamentos.

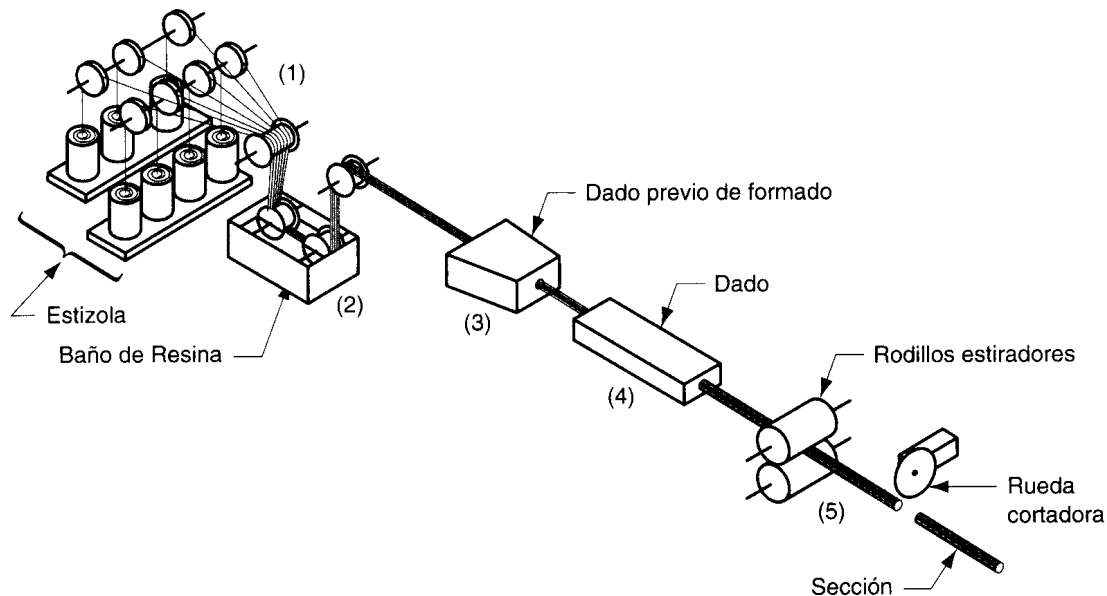


Existen varios métodos para impregnar la fibra con resina:

- 1° Bobinado húmedo. El filamento pasa a través de la resina líquida antes del bobinado.
- 2° Bobinado prepregs también llamado bobinado seco. Los filamentos impregnados con resina parcialmente curada se enrollan alrededor de un mandril caliente.
- 3° los filamentos se enrollan en el mandril y luego se impregnan con resina por medio de brocha u otra técnica. Se suelen utilizar dos tipos de bobinado de filamento: helicoidal y polar

Procesos de Pultracion.

El proceso es similar a la extrusión pero implica el estirado de la pieza, produce secciones continuas, rectas y de sección constante. Se puede usar un proceso llamado pulformado para hacer partes curvas que pueden tener variaciones de sección a lo largo de la pieza. Se utilizo para fabricación de cañas para pesca.



Las resinas de uso común en pultrusión son poliésteres insaturados, epóxicos y silicones. Todas estas resinas son polímeros termofijos. El procesamiento de los polímeros epóxicos presenta dificultades debido a su adherencia en las superficies del dado. Se han estudiado también algunas posibles aplicaciones de los termoplásticos [1]. El vidrio-E es el material de refuerzo más ampliamente usado; sus proporciones fluctúan entre 30 y 70%. El módulo de elasticidad y la resistencia a la tensión se incrementan con el contenido de refuerzo. Los productos hechos por pultrusión incluyen varillas sólidas, tubería, tiras de lámina plana, perfiles estructurales (como canales, ángulos y vigas compuestas), manuales de herramientas para trabajo con alto voltaje y cubiertas para la barra guía de trenes subterráneos.

Pultrusion.

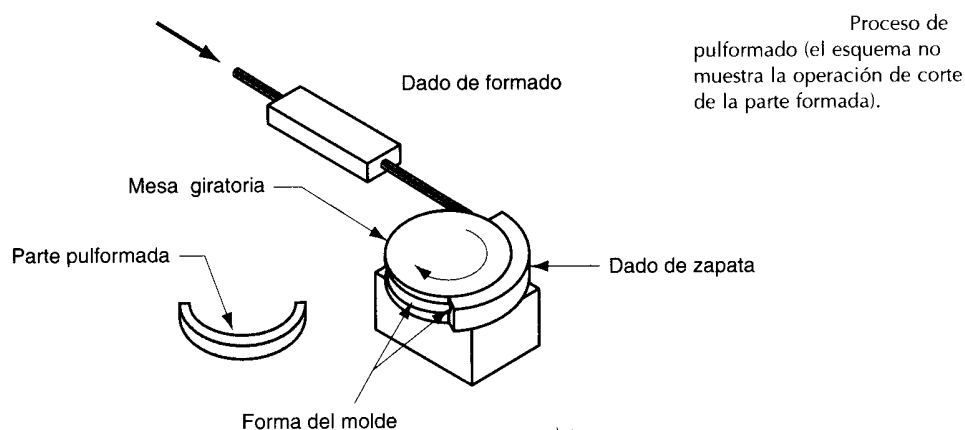
Se sumerge en un baño la resina una mecha continua de fibras y a continuación se tira de

ellas, pasa a través de un dado formador donde se cura la resina impregnada. El proceso consiste:

- 1º Alimentación de filamentos, las fibras se surten de una estizola.
- 2º Impregnación con resina, se sumergen en resina liquida no curada.
- 3º Formado por un dado previo, en el cual se le da la forma.
- 4º Formado y curado, se tira de las fibras impregnadas a través del dado caliente, el dado tiene una longitud de (1-1.5 cm), y su interior esta pulimentado.
- 5º Estirado y cortado, se utilizan rodillos tractores para extraer del dado la longitud curada y se corta con una muela de granos de SiC o diamante.

Pulformado.

Los procesos de pulformado se limitan a secciones rectas y secciones transversales constantes. En piezas largas reforzadas con fibra continua pero de forma mas bien curva cuya sección transversal puede variar a través de su longitud. Y lo podemos definir como una pultrusion con pasos intermedios para formar un contorno semicircular y alterar la sección transversal en uno o mas puntos a lo largo de la pieza.





Termoplásticos empleados en la industria.

Acetales. Es el nombre dado al polioximetileno posee alta rigidez, resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste. Tienen alto punto de fusión. Se utilizan para la fabricación de manillas de puertas, cajas para bombas y componentes de maquinaria.

Acrílicos. El más importante es el polimetilmetacrilato más conocido como el plexiglás. Su utilización en fibras textiles.

Fluoropolímeros. El polietrafluoroetileno más conocido como teflón. Posee alta resistencia al ataque químico e industrial y ambiental, no le afecta el agua, buenas propiedades eléctricas. Se utiliza como antiadherentes en utensilios de cocina, cojinetes no lubricados y componentes similares, también tiene aplicaciones en equipo químico y de procesamiento de alimentos.

Poliamidas . El más conocido es el nilón, es resistente, altamente elástico, tenaz, resistente a la abrasión y autolubricante. Absorbe agua y degrada sus propiedades, se encuentra en fibras de alfombras, muebles y cuerdas.

Poliésteres. Sus aplicaciones significativas incluyen envases moldeados por soplado para bebidas, películas fotográficas y cintas para grabadoras, posee una amplia gama de utilidades como fibra para muebles.

Cloruro de polivinilo. El cloruro de polivinilo (P/C.), sus aplicaciones incluyen tubos rígidos, canalizaciones de agua y drenaje, aislamiento de cables etc.

Valores orientativos para el trabajo con arranque de viruta de los termoplásticos

Tipo de trabajo herramienta	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/h)	Trabajo de la herramienta α =incidcia, γ =desprto	Refrigeración o engrase
Acero rápido Torneado Metal duro	100-1.000 según el material	0,2 - 0,5	$\alpha= 10^\circ$ $\gamma= 15-40^\circ$ punta redondeada	Aire a presión, agua, aceite, petróleo.
Acero rápido Fresado Metal duro	Hasta 1.000	0,3 - 3 según el material	$\alpha= 25-30^\circ$ $\gamma= 25^\circ$ gran numero de cortes	Aire a presión
Acero rapido Cepillado Metal duro	Máxima velocidad de la maquina.	0,2 - 0,5	$\alpha= 15^\circ$ $\gamma= 20^\circ$	
Acero rapido Taladrado Metal duro	80 - 150	0,1 - 0,5	$\alpha= 6-20^\circ$ $\gamma=15-20^\circ$	Aire a presión, aceite, disulfuro de Mo, aireado frecuente.

Sierra circular	1.500 - 4.000	A mano	Paso diente 3-9 mm $\alpha=0^\circ$	-----
Corte Sierras Sierra de cinta	1.200		Paso diente 3-4 mm $\alpha= 30-40^\circ \quad \gamma= 0-5^\circ$	Aire a presión

Polímeros Termofijos empleados en la Industria.

Fenolicos. El más importante es el fenol formaldehído, entre sus aplicaciones adhesivos para maderas contrachapadas, tarjetas para circuitos impresos etc.

Poliésteres. Pueden ser termofijos o termoplásticos. Los poliésteres termofijos se usan mucho en plásticos reforzados(compuestos) para fabricar tubos, tanques, cascos de botes, carrocerías etc.

Epoxicos. Las resinas epoxicas son las más conocidas y utilizadas del grupo de los epoxicos se utilizan en recubrimientos de superficies, pisos industriales, compuestos reforzados con fibra de vidrio etc.

Poliuretanos. Pueden ser termoplásticos, termofijos o elastómeros y su mayor aplicación son las espumas flexibles, se utilizan en la fabricación de colchones, muebles y asientos de automóviles.

Valores orientativos para el trabajo de polimeros termofijos

Tipo de trabajo herramienta	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/h)	Trabajo de la herramienta α =incidencia, γ =desprto	Refrigeración o engrase
Acero rapido	40-100	0,2 - 0,5	$\alpha= 8-20^\circ \quad \gamma=0 - 15^\circ$ punta redondeada	Aire a presión.
Torneado Metal duro	200-350	0,1 - 0,5		
Acero rapido	40-150	0,5 - 1	$\alpha= 20-30^\circ \quad \gamma= 10-30^\circ$ gran paso de dientes	Aire a presión
Fresado Metal duro	200-1000			
Acero rapido	15-20	0,2 - 0,5	$\alpha= 10^\circ \quad \gamma= 15^\circ$ ángulo inclinación 6°	-----
Cepillado Metal duro	50-100			
Acero rapido	80-150	0,1 - 0,5	$\alpha= 6-20^\circ \quad \gamma=15-20^\circ$	Aire a presión.
Taladrado Metal duro				



Sierra circular	2.400-3.000	A mano	Paso diente 2-4 mm $\alpha=30-40^\circ$	Aire a presión
Corte Sierras Sierra de cinta	1.000-2.000		Paso diente 3-7 mm $\gamma=5-8^\circ$	

Elastómeros utilizados en la industria.

Los elastómeros son capaces de sufrir grandes deformaciones elásticas cuando se les somete a esfuerzos relativamente bajos. Algunos pueden soportar extensiones de hasta el 500% o más, pero retornan a su forma original. El elastómero más popular es el hule que puede ser natural o polímeros sintéticos.

Hule natural. Es un polisopreno, un polímero de alto peso molecular del isopreno, se deriva del látex y es una sustancia lechosa producida por varias plantas, la más importante es el árbol de hule. Entre los principales productos hechos de hule podemos destacar suelas para zapatos, forros sellos y componentes para absorber impactos.

Hules sintéticos. Hule butílico se emplea en cámaras para automoción, forros de llantas sin cámara (cubiertas). Hule cloropreno, se le conoce como neopreno se utiliza en fabricación de mangueras para combustibles, transportadores por banda y empaques.

Poliuretano. Se producen comúnmente como espumas flexibles, se utilizan en la fabricación de colchones, muebles y asientos de automóviles.