

TEMA 4: MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ ORGÁNICA: PROCESOS DE FABRICACIÓN

- a) En función del molde se dividen en procesos de **molde abierto** y de **molde cerrado**.
- b) Dependiendo del material de partida se dividen en:
- **Método o vía húmeda:** el transformador impregna el refuerzo seco con la resina catalizada.
 - **Método o vía seca:** se utiliza un semielaborado.

También se pueden clasificar en **función del tipo de pieza** que se puede obtener: **figuras de revolución, perfiles, etc...**

PROCESOS DE MOLDE ABIERTO

A- MOLDEO SIN PRENSA

4.1- Moldeo por contacto manual

En esta técnica el molde se recubre inicialmente con un agente de desmoldeo, después se aplica una capa fina de resina de superficie (generalmente coloreada) y con cargas denominada “gel coat”. El gel-coat tiene como funciones proporcionar un buen aspecto superficial al producto, e impedir que la fibra aflore a la superficie. Después se coloca el refuerzo (**mat o tejido**) en el molde.

A continuación se llevan a cabo las siguientes etapas del procedimiento:

- a) **Impregnación** del refuerzo por la resina y eliminación de burbujas.
- b) **Adaptación** del material compuesto a las formas y dimensiones deseadas con la ayuda de un molde.
- c) **Endurecimiento** del material y **desmoldeo** de la pieza final

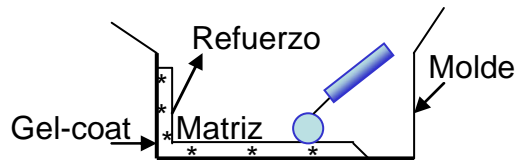


Figura 1

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- **equipamiento mínimo**
- permite la realización de piezas en series pequeñas y medianas, sin restricción de formas y dimensiones. Es el método más adecuado para la realización de **prototipos**.

Sus principales desventajas son:

- la concentración de **volátiles** en el medio de trabajo es muy alta
- se necesita mucha mano de obra
- la calidad de la pieza moldeada depende de la habilidad del operario
- las piezas tienen una sola cara lisa que reproduce la superficie del molde
- la proporción de **fibras** que se puede incorporar es **limitada**

Tipos de **piezas** que se pueden obtener por esta técnica: **piezas grandes**, como embarcaciones o grandes depósitos, prototipos y **piezas de geometría muy compleja**.

4.2- Moldeo por proyección simultánea

En esta técnica se proyectan simultáneamente sobre el molde fibras cortada y resina catalizada. El equipamiento para la proyección consta de una máquina para cortar el roving y de una pistola de aire comprimido para proyectar la resina y las fibras cortadas.

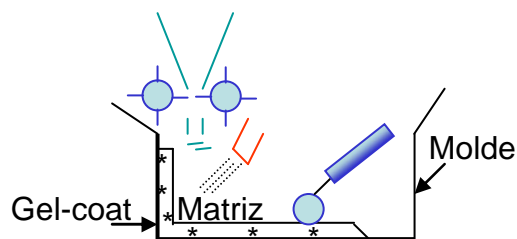


Figura 2

La mezcla de dos componentes se puede llevar a cabo de dos maneras:

- a) con dos boquillas, una que proyecte resina con catalizador y otra con acelerador
- b) con una única boquilla que proyecte la resina acelerada

Posteriormente, se llevan a cabo las etapas de impregnación de refuerzo por la resina, adaptación del material compuesto al molde, curado de la resina y desmoldeo de la pieza final.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- El precio del equipo es relativamente barato
- Se utiliza **roving** que es más barato que el mat
- Las **tasas de producción son más elevadas** que con la técnica manual

Sus principales desventajas son:

- la calidad de la pieza moldeada depende de la habilidad del operario
- las piezas tienen una sola cara lisa que reproduce la superficie del molde
- las piezas tienen **propiedades mecánicas limitadas** debido al uso de fibra corta.

Sus principales desventajas son:

- poco económico para pequeñas producciones

Tipos de **piezas** que se pueden obtener por esta técnica: bañeras, depósitos, cascos de barcos y piscinas.

4.3- Moldeo a vacío o a presión de aire

Esta técnica es una variante del moldeo manual y consiste en aplicar el vacío o la presión atmosférica. Se aplica el gel-coat, se coloca el refuerzo sobre un molde rígido y a continuación se aplica la matriz.

- a) En el moldeo a **vacío** se coloca el contramolde recubierto de una membrana estanca. Con una bomba se produce el vacío de vacío y el contramolde poroso adapta la resina al molde y favorece la eliminación de las burbujas.

- b) En el moldeo a **presión** de aire el contramolde deformable se hincha con aire y presiona el molde principal, forzando la impregnación del refuerzo con la resina.

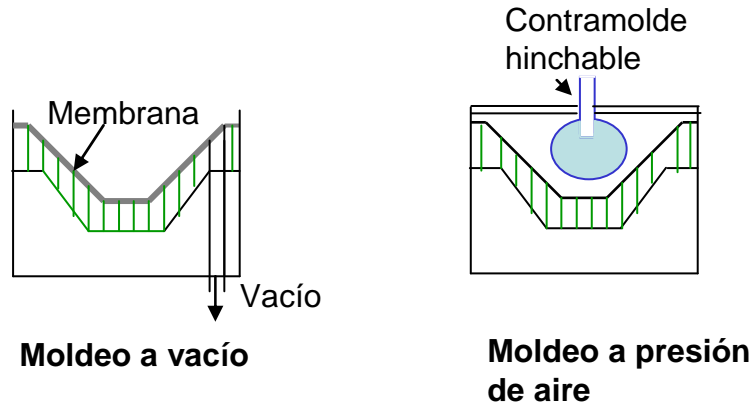


Figura 3

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- la distribución uniforme de resina y la disminución de las inclusiones de aire dan lugar a **buenas propiedades mecánicas**.
- se puede conseguir **buen aspecto superficial de ambas caras** con la utilización de un contramolde rígido.

Entre las desventajas de esta técnica destacan:

- la calidad de la pieza moldeada depende de la habilidad del operario
- Los **moldes** deben ser **estancos y resistentes**
- las cadencias de **producción** son **lentas**.

Tipos de **piezas** que se pueden obtener por esta técnica: paneles sandwich (camiones isoterms), formas semiesféricas (cúpulas), armarios eléctricos.

4.4- Moldeo con autoclave

En esta técnica se utiliza un autoclave, que es un **recipiente** que permite el **calentamiento** y la aplicación de **presión y vacío**. Sobre un molde se colocan capas de **semielaborado** y se recubre con una membrana ligera y estanca. El conjunto se introduce en un autoclave, se aplica vacío para eliminar el disolvente y se eleva la

temperatura para que tenga lugar la polimerización.

El autoclave consta de los siguientes elementos:

- Una **cámara** presurizada
- Dispositivos de **calentamiento**. Para obtener uniformidad de temperatura se utiliza un ventilador.
- Sistema de **presurización** del gas y de aplicación de **vacío**
- Sistema de control de los parámetros del curado

Durante el proceso de transformación del material se deben controlar las siguientes condiciones:

- la correcta consolidación de los laminados
- la porosidad del material
- la exotermicidad de la reacción de curado logrando que la resina cure completamente en todas las partes de las láminas
- el tiempo total del proceso mediante la automatización del mismo.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- se consigue un **producto uniforme** en espesor, apariencia y propiedades
- permite la fabricación de piezas con formas complejas
- el material obtenido tiene **buenas propiedades mecánicas**

Sus principales desventajas son:

- **alto precio** del equipamiento y de los semielaborados
- limitaciones en el tamaño de la pieza
- ciclos muy largos (colocación de semielaborados+autoclavado)

Tipos de **piezas** que se pueden obtener por esta técnica: elementos de la estructura de aviones, helicópteros: rotores, puertas, etc... Es el sistema habitualmente empleado por las **industrias aeronáuticas y espaciales** porque se permite obtener piezas de la más alta calidad.

B- REALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE REVOLUCIÓN

4.5- Moldeo por enrollamiento filamentario

.En esta técnica se dispone de un mandril que rota alrededor de su eje de giro. El refuerzo en forma de **roving** se introduce en el baño de resina para su impregnación y se va **enrollando alrededor del mandril**.

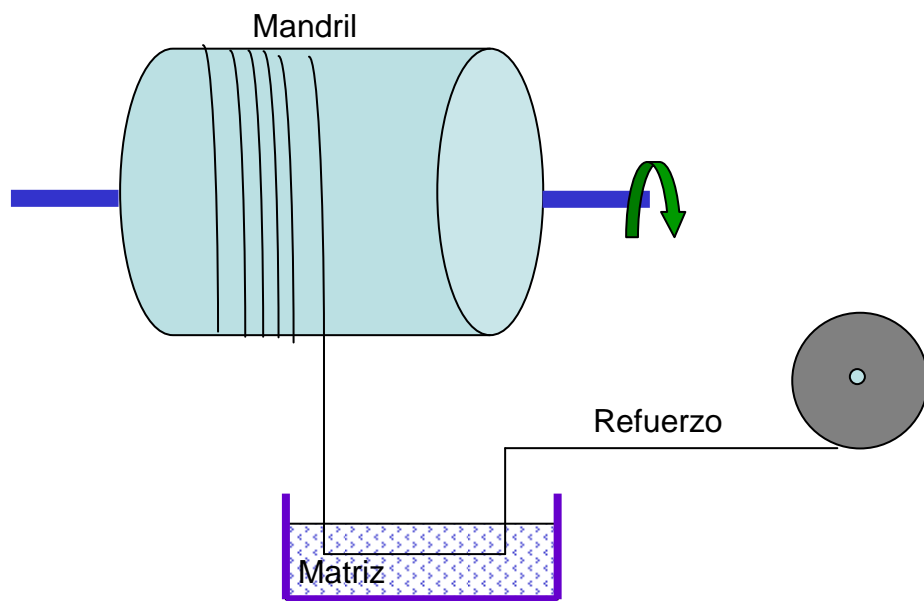


Figura 4

Durante el proceso se deben controlar las siguientes variables:

- **Viscosidad** del polímero. No debe ser muy baja para evitar problemas de uniformidad de contenido de resina en la pieza terminada. La viscosidad tampoco debe ser muy elevada porque se puede producir deshilachado de la fibra y retención de burbujas.

- Porcentaje de volumen de fibra
- Número de capas
- Angulo de enrollado en torno al eje del mandril
- Tensión de enrollado del refuerzo

Existen distintos tipos de enrollamiento dependiendo de los movimientos relativos de mandril y sistema de aplicación de refuerzo.

a) Enrollamiento **circunferencial**

El refuerzo forma un ángulo de 90° respecto del eje del mandril. Ese tipo de enrollamiento proporciona buenas propiedades radiales pero deficientes propiedades axiales.

b) Enrollamiento **helicoidal**

El refuerzo forma un ángulo variable respecto del eje del mandril. Este ángulo puede variar en función del nivel de propiedades deseadas en las direcciones longitudinales y radiales. Es el tipo de enrollado más habitual

c) Enrollamiento **polar**

El mandril puede rotar simultáneamente en tres direcciones. Permite fabricar piezas con extremidades esféricas sin discontinuidades en el enrollamiento.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- se puede **automatizar** el proceso
- las piezas tienen **muy buenas propiedades mecánicas** ya que es posible obtener una elevada proporción de refuerzo orientado
- Se pueden fabricar piezas muy grandes

Sus principales desventajas son:

- en la selección del mandril hay que tener en cuenta que se debe extraer la pieza que contrae durante el curado

equipamiento caro

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: mástiles de embarcaciones, palas de aerogeneradores eólicos, recipientes de alta presión, etc....

4.6- Moldeo por centrifugación

En esta técnica se tiene un **molde de revolución** que gira y en el que se **introducen** en

continuo y simultáneamente el refuerzo (en forma de **fibras cortadas**) y la resina catalizada y acelerada.

En esta técnica la resina debe tener baja viscosidad.

La polimerización se realiza a temperatura ambiente o puede ser acelerada en una estufa.

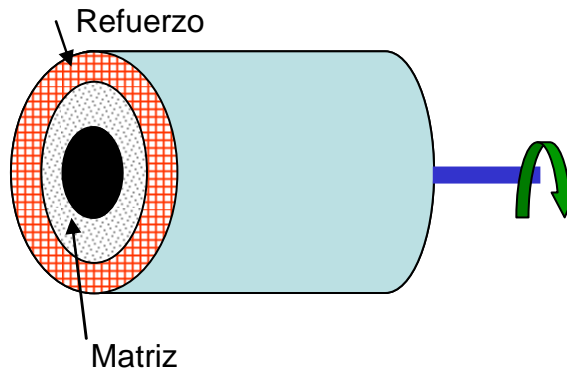


Figura 5

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- las piezas obtenidas tienen un diámetro y espesor bien definidos.
- el **desmoldeo sencillo** por la contracción de la resina

Sus principales desventajas son:

- debido a la imposibilidad de orientar el refuerzo las **características mecánicas** son **inferiores** a las del enrollamiento filamentario
- equipamiento caro

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: tuberías, silos, fosas sépticas, etc...

C- REALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS PERFILADAS

4.7- Estratificación continua entre films

En esta técnica los refuerzos (en forma de fibras, mat o tejidos) se impregnan con la resina catalizada y se hacen pasar a través de unos **rodillos de calandrado** que dan forma a la pieza

Cuando se fabrican placas planas, la forma de la pieza se consigue haciendo pasa el

material por dos rodillos de calandrado.

En el caso de paneles ondulados, la forma se consigue durante la polimerización por medio de rodillos móviles.

A continuación se lleva a cabo la polimerización en estufa (de 60 a 150°C) en forma de túnel, cuya longitud depende de la temperatura y de la resina (de 15 a 50 metros de longitud). Posteriormente, el material se corta con la longitud deseada.

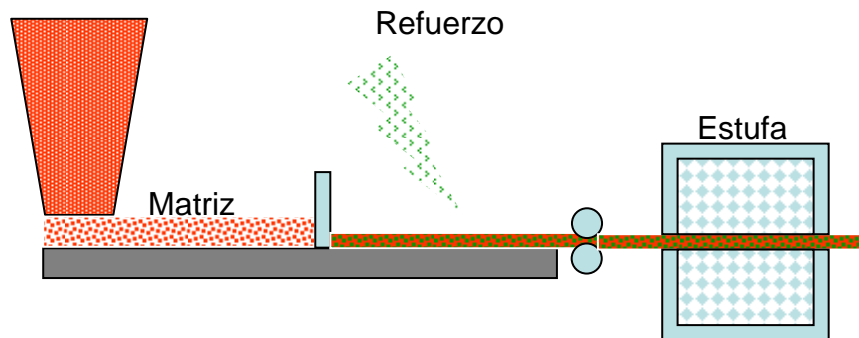


Figura 6

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- posibilidad de **automatización**
- trabajo en continuo

Sus principales desventajas son:

- **propiedades mecánicas reducidas**
- equipamiento caro

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: paneles sandwich, **paneles ondulados** para tejados, etc...

PROCESOS DE MOLDEO CERRADO

A- MOLDEO CON PRENSA

4.8- Compresión en frío

En esta técnica se utilizan resinas de alta reactividad y **exotermia elevada**. El moldeo se lleva a cabo en una **prensa sin calentamiento**, utilizando la exotermicidad de la polimerización de la resina.

El refuerzo puede estar en forma de mats o preformas (una preforma es un refuerzo que ha sido conformado adoptando una forma semejante a la del producto final que se quiere obtener).

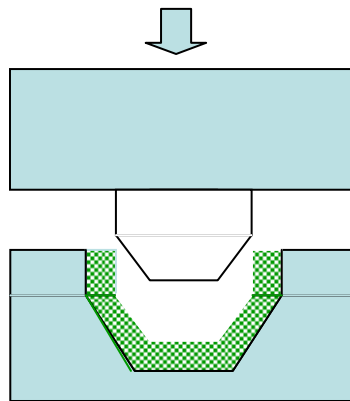


Figura 7

El refuerzo y la matriz se colocan sobre el molde, se cierra el contramolde y se aplica presión con la prensa. Las piezas pueden ser tan grandes como lo permita el tamaño de la prensa de bajo tonelaje. Para pequeñas producciones se utilizan moldes de composite polimérico, mientras que para grandes producciones se utilizan de metal. Dispone de un circuito interno de refrigeración para controlar la temperatura y tiempo de ciclo.

La prensa consta de un plato inferior fijo y otro superior móvil y es accionada por un pistón hidráulico, guiado por cuatro columnas. La prensa tiene **dos velocidades**, una rápida para reducir los tiempos de ciclo y una lenta para asegurar una buena distribución de los refuerzos.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- las **dos caras** de la pieza tienen **buen aspecto**
- **espesor constante**
- inversiones relativamente bajas debido a las bajas presiones de trabajo

Sus principales desventajas son:

- los moldes son más caros que en el moldeo por contacto
- se pierde mucho material en las rebabas
- sólo se puede fabricar **formas simples**

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: señales de tráfico, carrocerías de vehículos, raquetas de tenis, cascos de moto, etc...

Es una alternativa de bajo coste del proceso SMC (Sheet Moulding Compound)

4.9- Compresión en caliente

En esta técnica el molde se **calienta** por medio de un fluido térmico o con resistencias.

El tiempo en que se aplica la presión depende del tiempo de polimerización de la resina (que depende de la reactividad de la resina) y del espesor de la pieza. Esta técnica se denomina también **compresión por vía húmeda**.

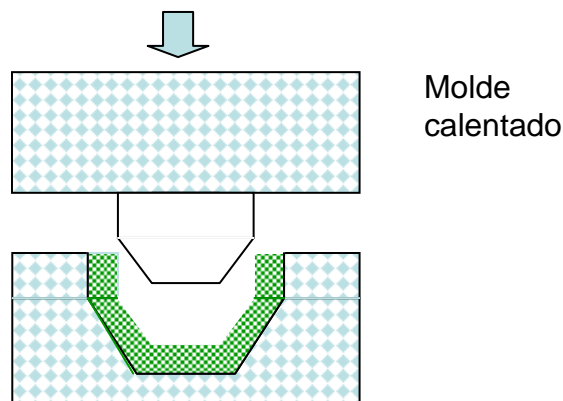


Figura 8

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- la **productividad superior** a la prensa en frío

- se pueden conseguir piezas de **buenas propiedades mecánicas** ya que la técnica admite proporciones elevadas de refuerzo

Sus principales desventajas son:

- **mayor inversión** que en el proceso en frío
- sólo se pueden obtener **formas simples**

Las piezas que se obtienen por esta técnica son: placas para circuitos integrados, ...

4.10- Moldeo por compresión de SMC (Sheet Moulding Compound)

Un semielaborado de tipo SMC se prensa bajo una presión hidráulica. En este caso el semielaborado consiste en **hojas** de pequeño espesor formadas por **resina termoestable** y **refuerzo**.

El proceso de moldeo consta de las siguientes etapas:

- 1- Corte y pesada del material
- 2- Carga del material en la prensa: las láminas de SMC se apilan en el molde
- 3- Cierre de la prensa
- 4- Moldeo por compresión
- 5- Apertura y desmoldeo

Los factores a controlar durante el proceso, para conseguir un curado uniforme y una pieza sin defectos, son:

a) El **tiempo de curado**. Depende de factores como: el espesor de la pieza, la temperatura del molde, la reactividad de la resina y las características térmicas del material.

Se puede reducir el tiempo de curado precalentando la carga fuera del molde e introduciéndola rápidamente en el mismo ya que así la distribución de temperatura es más uniforme.

2- Los **efectos térmicos**: se debe tener en cuenta que las capas en contacto con el molde son las primeras en curar. El calor generado en el curado de estas capas inicia el

curado de la capa siguiente.

3- **Comportamiento de flujo:** es el factor que determina la calidad de la pieza moldeada ya que determina el llenado de la cavidad, la orientación de la fibra y su distribución, la porosidad y los defectos en la pieza moldeada.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- permite grandes series de producción y **automatización**
- se pueden moldear **piezas complicadas**

Sus principales desventajas son:

- equipamiento **caro**
- el material de SMC no se puede almacenar indefinidamente

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: se utiliza sobre todo en la industria del automóvil, puertas, capós y cabinas de camiones. También se realizan carcasas de ordenadores.

4.11- Estampación de termoplásticos reforzados (TRE, thermoplastiques renforcés estampables, o GMT, glass mat thermoplastics).

Un semielaborado de tipo GMT se prensa bajo una presión hidráulica. En este caso el semielaborado consiste en **placas** de pequeño espesor formadas por **resina termoplástica y refuerzo**.

Este método consta de varias etapas:

- a) Corte y pesada de las placas.
- b) Pre calentamiento de las placas se utiliza un horno de aire o túnel de infrarrojos. La temperatura de conformación se encuentra habitualmente por debajo de la Tg en el caso de los termoplásticos amorfos y entre Tg y Tm para los cristalinos.
- c) Transporte de las láminas reblandecidas hasta el molde.
- d) Cierre de la prensa y estampación. Posteriormente, la pieza puede ser enfriada dentro o fuera de la prensa.

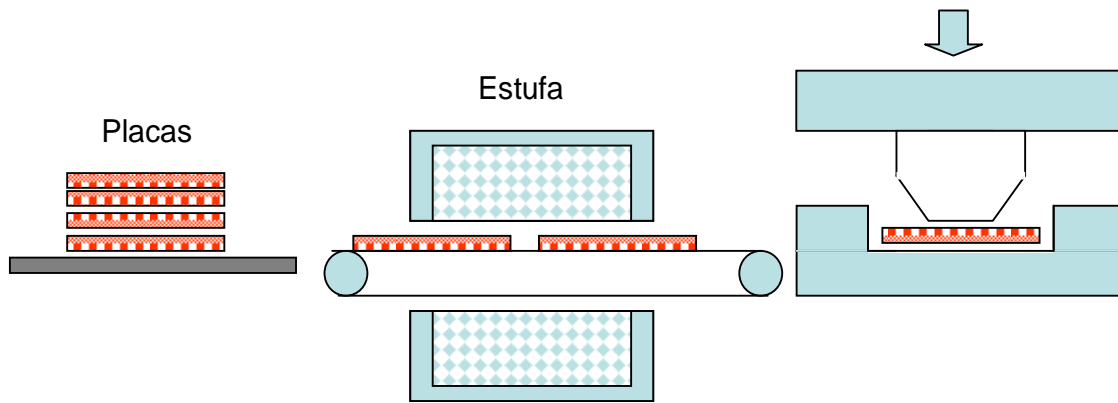


Figura 9

Existen dos tipos de estampación:

- Estampación en **estado sólido**: en este caso la dimensión de la lámina es igual o superior a la de la pieza a realizar y la temperatura de moldeo es inferior a la de fusión de la matriz.
- Estampación en **caliente**: la dimensión de las láminas es inferior a la de la pieza a producir y la temperatura de moldeo superior a la de fusión de la matriz. Es el método más utilizado y tiene la ventaja de que permite obtener piezas complicadas.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- se pueden obtener **grandes volúmenes de producción** ya que los ciclos de moldeo son cortos
- **buenas propiedades** mecánicas son buenas

Sus principales desventajas son:

- la tendencia a la fluencia de los materiales termoplásticos
- **difícil impregnación** de las fibras debido a su alta viscosidad de la resina termoplástica

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: parachoques, salpicaderos. Permite la obtención de estructuras sandwich para la industria del molde.

4.12- Inyección de termoestables o termoplásticos

El material formado por matriz termoplástica o termoestable y refuerzo se alimenta por una tolva. Después es transportado hasta el molde por medio de un tornillo sin fin. El sistema se calienta mediante un fluido térmico o resistencias. A continuación, se inyecta el material en el molde. Si la matriz es **termoestable** el **molde se calienta** mediante resistencias. Si la matriz es **termoplástica** el **molde se enfría** con agua. Cuando la pieza está rígida se abre el molde.

Los parámetros que se deben controlar para conseguir una buena distribución y orientación del refuerzo son: **temperatura** del molde, **velocidad** y **presión** de inyección.

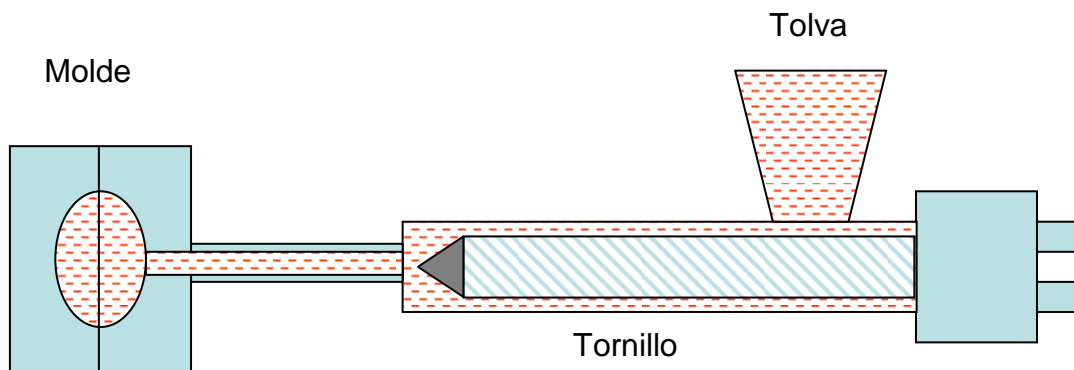


Figura 10

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- Velocidades de producción superiores a SMC y con posibilidad de obtener **formas complejas**
- Posibilidad de **automatización**

Sus principales desventajas son:

- Propiedades **mecánica inferiores** SMC (porque se utilizan fibras cortas para que el material fluya fácilmente)

Las piezas que se obtienen por esta técnica son: faros de coches, armarios eléctricos, paneles de construcción

4.13- RTM

En este proceso el refuerzo se coloca en el molde y se inyecta la matriz termoestable produciéndose la reticulación mediante aporte de calor.

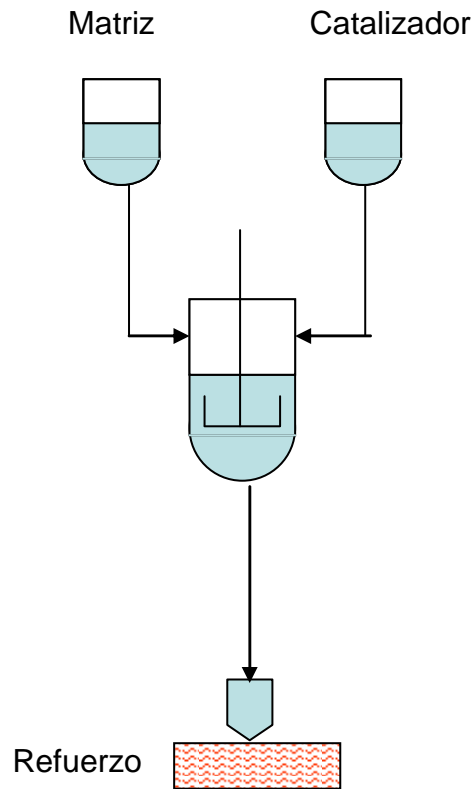


Figura 11

Factores a tener en cuenta en el proceso:

- colocación del refuerzo:** se debe evitar el desplazamiento durante la inyección de la resina.
- viscosidad** de la resina: no debe ser muy elevada para evitar que la fibra se mueva.
- pot-life** de la resina: tiempo que la resina puede estar dentro del sistema de inyección.
- tiempo de gel** de la resina: tiempo en el que la resina sufre un cambio brusco de viscosidad debido a que comienza a reticular. Para conseguir un llenado completo del molde y una buena impregnación de la preforma, el tiempo de llenado debe ser mucho menor que el tiempo de gel del sistema de resina.

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- **Ciclos** de moldeo **cortos**
- **Moldes** más **ligeros y baratos** que los de moldeo por compresión convencional (presiones de inyección bajas)

Sus principales desventajas son:

- **Inversiones altas** en equipamiento
- Velocidades de **producción medias**

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: silenciadores de tubo de escape, techos de furgonetas, cabinas de tren, bañeras, etc....

B- REALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS PERFILADAS

4.14- Moldeo por pultrusión

En esta técnica el refuerzo (en forma de roving, mat, etc...) pasan por los órganos de conformado que aseguran la correcta entrada de los refuerzos en la hilera. En la hilera caliente tienen lugar simultáneamente la obtención de la forma del perfil y la reticulación de la resina. La impregnación de los refuerzos puede tener lugar por impregnación (los refuerzos pasan por un baño que contiene la pasta de impregnación) o por inyección (los refuerzos entran en la primera parte del molde, en la que se inyecta a presión la pasta de impregnación).

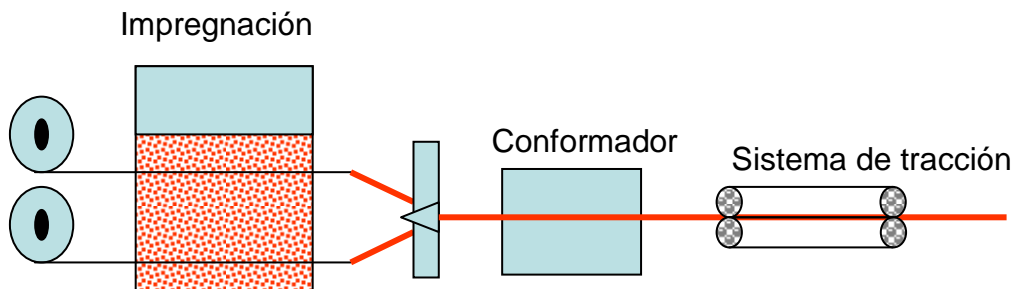


Figura 12

Se han desarrollado variantes del proceso:

- a) En el caso de **termoplásticos** la hilera de moldeo tiene dos zonas:
- calentamiento por aire caliente o IR para fluidificar el polímero
 - refrigeración por agua caliente para solidificar el polímero
- b) Pultrusión **curva**: se utiliza una hilera fría y moldes calientes que se desplazan y la resina polimeriza adaptándose a la forma del molde (permiten obtener perfiles de sección variable) (por ejemplo, parachoques).
- c) Pultrusión **filamentaria**

La hilera permite el enrollamiento del refuerzo

Entre las ventajas de esta técnica destacan:

- Producción en continuo de **series elevada**

Gran variedad de propiedades mecánicas en función de la naturaleza y porcentaje de refuerzo utilizado

Sus principales desventajas son:

- Elevadas inversiones
- Mano de obra cualificada

Las **piezas** que se obtienen por esta técnica son: pértigas, flechas, cañas de pescar-