

**MÉTODOS DE  
TRANSFORMACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LAS RESINAS TERMOESTABLES**

# Los termoestables y su procesado

*Impulsados por el desarrollo de sectores como el aeronáutico y el de la construcción, los materiales termoestables tienen un futuro prometedor. Así, su desarrollo contribuirá a la mejora de los métodos de transformación, clasificados en técnicas de molde abierto y de molde cerrado, y que tienen en la automatización de los procesos uno de sus aspectos tecnológicos clave.*

as técnicas que se emplean actualmente en la industria para la transformación de materiales termoestables se pueden agrupar en dos grandes grupos:

a) Técnicas de molde abierto:

- Laminado a mano o Hand Lay-Up
- Proyección Simultanea
- Filament Winding
- Colada

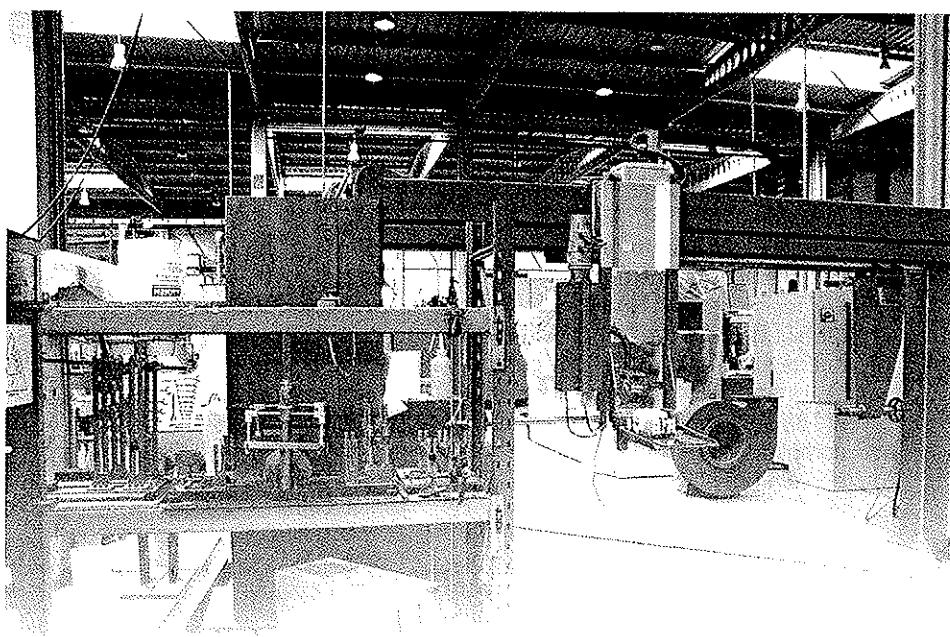
b) Técnicas de molde cerrado:

- Compresión (preimpregnados SMC)
- Pultrusión
- RTM (*Resin Transfer Molding*)
- Autoclave ( preimpregnados epoxi y fenólicos)
- Inyección (Preimpregnados BMC)

Dentro de los procesos de molde abierto, en el **laminado manual** se coloca la fibra a mano sobre un molde y se impregna de resina con la ayuda de un rodillo o brocha.

Este método, aunque sencillo, es ampliamente aplicado en diversos sectores de las industrias como el náutico, transporte, sanitario, muebles, etc. para una amplia gama de productos como tanques, carcasas, bañeras, carrocerías de trenes, etc. La evolución natural de la automatización del laminado manual es el **Spray-up**. Esta técnica se diferencia de la anterior en que tanto la resina como la fibra se aplican de forma mecánica (generalmente con pistola). En estos casos la pistola a utilizar lleva adosada a la boquilla un cortador de fibra, de modo que se coloca un hilo de fibra continua y el cortador determina la longitud de fibra, que es proyectada junto con la resina, de tal forma que llega al molde totalmente mojada.

El Centro Tecnológico Gaiker, que



Filament Winding

comenzó su actividad en el campo de la transformación de las resinas termoestables en la década de los años 80, ha colaborado con las empresas usuarias de esta tecnología en el desarrollado de:

- 1) Formulaciones de poliéster con una buena reacción al fuego (M1) y baja toxicidad de humos (F1/F2) destinados al sector de la construcción.
- 2) Estructuras tipo sándwich ignífugas y de bajo peso con la utilización de espumas y piel de base fenólico para la carrocería de trenes.
- 3) Estructuras de gran rigidez y bajo peso con la utilización de con piel de poliéster y núcleo de nido

de abeja (aluminio) para máquina herramienta.

- 4) Formulaciones ignífugas específicas aplicables al sector de la construcción decorativa.

Finalmente la gran ventaja de los métodos de laminado manual y spray-up es que no requieren grandes inversiones, debido principalmente a que las exigencias para los moldes son bajas, pero como contrapartida, se requiere mucha mano de obra y en el proceso de transformación se producen importantes emisiones tanto de volátiles orgánicos (fundamentalmente estireno) como de residuos sólidos provenientes de rebabas y piezas defectuosas. Es importante señalar que en este cam-



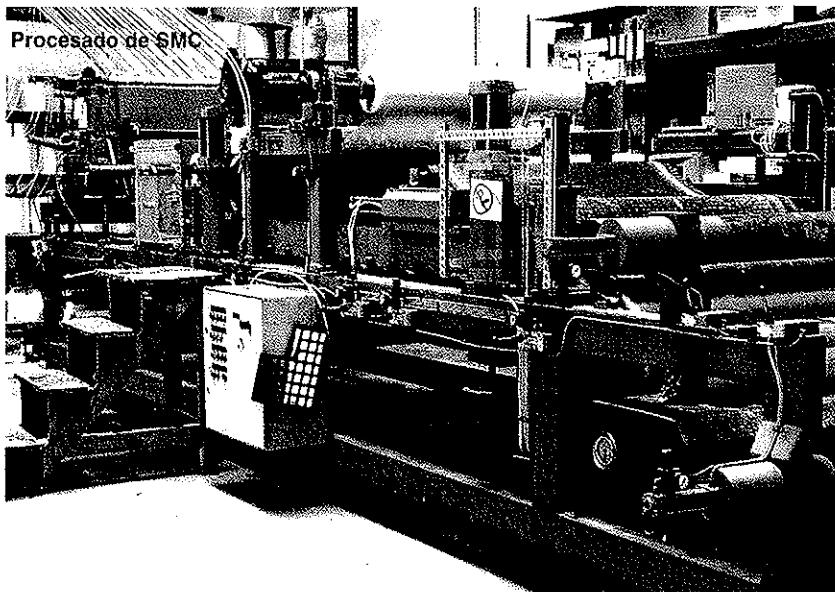
po la normativa medioambiental se está haciendo cada vez más estricta y obligará próximamente a las empresas que utilizan estos procesos a adecuar sus instalaciones. Para la búsqueda de soluciones a este problema en Gaiker se está investigando en tres líneas: 1) Empleo de resinas de menor contenido en volátiles o modificadas. 2) Adecuar sobre zona de trabajo: Adecuada ventilación, depuración de gases, etc. 3) Reutilización de los residuos sólidos en el propio proceso de transformación.

**El arrollamiento filamentario o Filament Winding** (FW) es una técnica de molde abierto (y sin embargo, automatizada) en la cual la fibra se pasa por un baño de resina de forma que queda perfectamente impregnada de ella, y seguidamente a través de un carrete se arrolla en torno a un eje con un alto control sobre la dirección de la fibra. En función de la forma de arrollamiento (dirección de la fibra), obtendremos una mayor o menor resistencia en una dirección determinada. Una vez obtenida la forma de la pieza deseada, se cura.

Una variación de esta técnica, es el llamado hoop chop, en el cual se combina el arrollamiento filamentario con el Spray-Up. Mediante la técnica de Filament winding en Gaiker se han desarrollado diferentes productos como pueden ser tubos para ósmosis inversa o depósitos de alta presión, etc.

### Técnicas de molde cerrado

Dentro de las técnicas de molde cerrado destaca el método de moldeado por transferencia de resina, mas conocido por sus siglas en inglés **RTM** que se ha convertido en un procesado muy popular. El método consiste básicamente en inyectar



### TENDENCIAS EN LA TRANSFORMACIÓN DE TERMOESTABLES

## El futuro tiene la palabra

En los próximos años, en los sectores aeronáutico y, sobre todo, de construcción se prevé que tengan un crecimiento importante. El crecimiento del sector aeronáutico va a estar impulsado por el desarrollo y fabricación del avión Airbus A380 que incrementará fuertemente el uso de los composites de carbono. Para la fabricación de algunas de estas piezas se va a implantar la tecnología de RTM, y en otros, se sustituirá la tecnología de autoclave o la compresión.

Por otra parte, el crecimiento del sector de la construcción impulsará los procesos como la pultrusión y el filament winding.

En el sector eólico ya se ha experimentado un crecimiento importante en el uso de los materiales composites para la fabricación de palas. En el futuro se realizarán también los bastidores en composites, lo cual incrementara mucho su uso y como consecuencia se producirá una aumento en la demanda de preimpregnados.

Uno de los mayores problemas de los materiales termoestables es el reciclado de éstos al final de su vida útil, debido a que los aspectos medioambientales como el reciclado, adquieren cada día mayor importancia. Hoy en día ya se apuntan ciertas experiencias de incorporación de triturado de material reciclado en procesos como RTM, laminado manual, proyección, SMC/BMC que se irán profundizando. También supone un importante problema en el campo de los termoestables la unión de distintas piezas en estructuras. Este problema es difícil de resolver, dada la propia naturaleza de estos materiales, que impide la realización de soldaduras como en los metales, y su tendencia a la delaminación. La tendencia futura será reducir al mínimo el número de piezas a unir, aumentando la complejidad y el tamaño de las piezas individuales.

Finalmente, un aspecto tecnológico clave en el futuro de los materiales termoestables es la posibilidad de poder automatizar algunos de sus procesos de transformación, que hoy aún se realizan, en gran medida, de forma manual. La automatización de procesos como el RTM en aeronáutica, por ejemplo, es hoy en día muy difícil por la complejidad y diversidad de las piezas que se fabrican.

resina a una presión determinada en un molde con la forma que queremos reproducir haciendo un ligero vacío en el molde para facilitar el llenado del mismo.

El diseño y desarrollo de la ma-

quinaria de RTM ha permitido cubrir el espacio correspondiente a series bajas y medianas de composites destinados principalmente a los sectores del transporte, automoción, aeronáutico, etc.

Actualmente los equipos están diseñados para ofrecer una relación variable de catalizador, limpieza automática con disolventes y su correspondiente señal de alarma, recirculación del catalizador y de la resina a partir del cabezal de inyección.

En Gaiker se ha trabajado ampliamente esta técnica en proyectos de desarrollo de nuevos materiales en ámbitos diversos como el transporte o el sector náutico, estructuras tipo sándwich con espumas (fenólicas, poliuretano...) o incluso con núcleos de diverso material reciclado.

El proceso de RTM ha ido evolucionando hacia lo que se denomina

el RTM ligero, esta variante difiere del proceso "tradicional" básicamente en dos características: la presión de inyección de la resina y la utilización de un contramolde semirrígido. Esto supone una serie de ventajas:

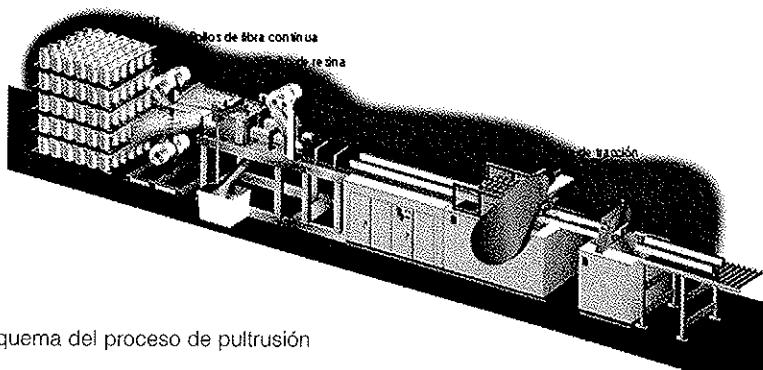
- La realización de los moldes es simple y rápida debido a las bajas presiones de inyección.
- El bajo peso del contramolde facilita su manipulación.
- Permite iniciar fácilmente la producción de piezas sin necesidad de realizar grandes inversiones.

### Preimpregnados

Los **preimpregnados** se pueden definir como un producto intermedio, compuestas por resina, cargas, aditivos, refuerzo, etc., que normalmente se presentan en forma de lámina o masa, y están totalmente preparadas para su posterior moldeo por: 1) compresión (SMC) 2) autoclave (preimpregnados epoxi o fenólica con altas prestaciones) 3) inyección (BMC):

- Los preimpregnados tipo SMC (Sheet Molding Compound) se presentan como una lámina enroillada en forma de bobina.
- Los preimpregnados epoxi y fenólicos se presentan igualmente como láminas de compuesto moldeables, pero presentan unas prestaciones mecánicas muy superiores al SMC .
- Los preimpregnados de tipo BMC (Bulk Molding Compound) se presentan como una masa húmeda preparada para su transformación por inyección.

Como respuesta a las exigencias del mercado en Gaiker se han desarrollado diferentes proyectos: 1) desarrollo de formulaciones ignífugas en SMC a partir de resinas poliéster y fenólica, 2) desarrollo de preimpregnados epoxi y fenólicos de altas prestaciones mecánicas; ó 3) el proyecto europeo "Phenolic Prepregs Manufacture, Cut And Recycling New Systems Development Avoiding Wastes" con el que se trata de reducir el contenido en disolventes y el desarrollo de nuevas resinas fenólicas más respetuosas con el medio ambiente. Por último, para la inyección de BMC, se han desarrollado formulaciones específicas destinadas a la fabricación de las carcasas de los focos de los automóviles.



Esquema del proceso de pultrusión

En el proceso de **compresión** por la acción de la presión y temperatura se consigue en un primer paso el llenado del molde por el flujo del material y posteriormente la polimerización de la resina por la acción de la temperatura. Los tres parámetros principales en esta técnica son: la temperatura, la presión y el tiempo (aunque existen otras variables como son la velocidad de cierre y apertura. En compresión existen dos variantes principales:

- Compresión a baja presión y temperatura (80 °C y 2-5 bares de presión). Donde se coloca el refuerzo en el molde se impregna parcialmente con la resina catalizada y por la acción de la temperatura y presión se consigue el conformado.
- Compresión a alta presión y temperatura (145-160°C). Es un proceso que se utiliza para la transformación del SMC (Sheet Molding Compound) y el LPMC (Low Pressure Molding Compound).

Una variante de esta técnica es el moldeo a vacío o autoclave. En este caso, la compresión no la ejerce una maquinaria, como puede ser el caso de una prensa, sino que lo hace la presión del aire al confinar la pieza en un espacio donde se ha aplicado un vacío. De este forma se puede trabajar también a temperatura. En sectores como aeronáutica es muy común la fabricación en autoclave. Esta es una evolución de la técnica que se acaba de mencionar en la que la pieza, además de estar sometida a vacío, es introducida en una cámara a temperatura y con una atmósfera a presión, asegurándonos una presión perfectamente repartida.

El proceso de inyección consiste en la dosificación del material necesario para llenar el molde, mediante la utilización de la inyectora que

transporte el preimpregnado desde la tolva de alimentación pasando por el husillo hasta el molde.

### Pultrusión

La técnica de pultrusión es un proceso continuo muy utilizado cuando se quieren obtener piezas de una sección constante (barras para construcción, cañas de pescar, tuberías, etc.). El proceso es el siguiente: la fibra se ensambla a un sistema tractor que tirará de ella hasta el final del proceso (de ahí su nombre en inglés *pull*: tirar + extrusión). Se le hace pasar por un baño de resina y se introduce dentro del molde como si fuese el cuello de un embudo. El molde puede ser calentado por medio de resistencias eléctricas o bien por un circuito de aceite. El conjunto fibra + resina va curando mientras va pasando a lo largo del molde. El tiempo de moldeo lo controlaremos con la velocidad de tracción. Al final del proceso una cortadora dará las dimensiones finales de la pieza.

Actualmente en Gaiker, en colaboración con empresas que utilizan esta tecnología, se está trabajando en el desarrollo de formulaciones ignífugas (poliéster y fenólico) para la fabricación de perfiles para el sector del transporte y la construcción, en la mejora de aspecto superficial del perfil y en la obtención de productos de altas prestaciones mecánicas.

La última tendencia en esta técnica es el empleo de moldes de inyección directa. En estos casos, la resina se introduce directamente en el molde, prescindiendo del baño. Esto produce una mejor impregnación de la fibra y un ahorro de resina.

**Daniel Garay, Koldo Gondra**  
Fundación GAIKER