



# Los Moldes

———— Por A. Besednjak ————

Cuando trabajamos con materiales compuestos, la etapa del diseño del molde adquiere una relevancia especial debido a que de la eficiencia de la producción dependen los costes de fabricación. Por lo tanto, de un acertado diseño del molde dependerá en gran medida el éxito o fracaso del producto.

Para ello, existen una multitud de factores a considerar, que influyen de forma directa en la viabilidad técnica y económica del proyecto.

La experiencia del diseñador de la pieza en el campo constructivo es sin duda, la más importante, ya que condiciona la realización del producto, al destinar su diseño, a un proceso determinado de fabricación.

Es indispensable entonces, reunir en esta primera etapa del proyecto a las diferentes partes implicadas y discutir las ventajas e inconvenientes del diseño de la pieza.

Incorporar modificaciones y cambios en la pieza en esta primera fase del proyecto tiene un coste porcentualmente mucho menor que si estos cambios se efectúan cuando el proyecto está muy avanzado.

En los apartados posteriores, intentaremos dar luz a los factores que se consideran determinantes en el diseño y construcción de moldes para la fabricación de piezas en materiales compuestos.

## 1 - Aspectos fundamentales previos

Los aspectos fundamentales previos a considerar en el diseño de un molde son normalmente requerimientos estéticos, económicos y de formas del producto que intentamos fabricar en serie. Normalmente se desprenden de una descripción o especificación técnica del mismo, proporcionada por el proyectista u oficina técnica.

Así, podemos distinguir:

- Método de producción seleccionado.
- Tamaño y complejidad del diseño la pieza.
- Coste del producto (Cantidad de unidades a producir)
- Requerimientos de acabado superficial de la pieza.

### 1.1 Método de producción seleccionado

El método de producción de una pieza en materiales compuestos va a ser un factor determinante en el diseño del molde, ya que factores como la resistencia del molde, las altas temperaturas a los que será expuesto dicho molde así como los materiales de construcción que se emplearán variarán de un método a otro, razón por la cual debe considerarse en las primeras etapas del desarrollo.

### 1.2 Tamaño y complejidad del diseño

El tamaño de la pieza es otro aspecto a tener en cuenta en la selección del molde, ya que un tamaño excesivamente grande puede condicionar la fabricación del producto por razones de espacio, proceso constructivo, coste de los materiales, herramientas adecuadas, etc.

En contrapartida, un tamaño relativamente pequeño puede generar pérdidas económicas por incomodidad del trabajo, falta de precisión en acabados, limitaciones en los métodos de producción, etc.

La complejidad del diseño es otro de los aspectos a considerar, ya que de ella depende fundamentalmente el planteamiento de particiones del molde. Una pieza excesivamente compleja necesita de múltiples particiones del molde que permitan su desmoldeo, lo que derivará en procesos posteriores como mecanizado, retoques, montaje, acabado, etc

### 1.3 Coste del producto

Sin duda, el número de unidades a producir condicionará sustancialmente el coste del producto, razón de peso entonces a la hora de determinar el tipo de molde más apropiado.

Así como en la industria en general, cientos de miles de piezas de reducidas dimensiones pueden ser consideradas series pequeñas, en la náutica una serie pequeña se considera a la producción, (dependiendo del tamaño de la embarcación), a un número que puede variar entre 2 y 10 unidades anuales. En el mismo sector, una gran producción se puede considerar a una producción anual de 15 o más unidades.

#### 1.4 Requerimientos de acabado superficial

Como hemos visto en capítulos anteriores, una de las particularidades de los materiales compuestos es que poseen sólo una cara con acabado superficial bueno, la que se encuentra en contacto con el molde.

Así, dependiendo del aspecto que debe presentar la pieza una vez acabada, es decir cuál cara debe presentar acabado superficial, podemos diseñar diferentes tipos de moldes.

Es necesario entonces conocer de antemano cuales son los requerimientos superficiales de la pieza, es decir conocer cuales serán los requerimientos de brillo (acabados espejo-brillante-mate) resistencia al agua o agentes químicos, resistencia al fuego, etc.

### 2- Etapa de diseño del molde

El diseño de moldes es una tarea sumamente especializada y que corresponde llevarse a cabo por expertos. Dichos expertos suelen ser los modelistas y los constructores. Para su realización suelen utilizar una terminología y metodología específica de trabajo. Sólo con el aporte de su experiencia y conocimiento podremos llevar a cabo un buen trabajo.

Esto supone acciones muy variadas a realizar durante esta etapa y que podríamos resumir en:

- Selección del material del molde
- Espesores de molde recomendados
- Consideraciones sobre pliegues y cantos del molde
- Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos
- Gradiente de desmoldeo
- Consideraciones sobre grandes superficies planas
- Rigidización del molde
- Posibilidad de retoques
- Color de los moldes
- Particiones de moldes

- Mecanismos de desmoldeo

#### 2.1 Selección del material del molde

Los materiales con los que se pueden construir los moldes son múltiples y diversos. Desde la madera y sus diversos derivados (aglomerados, aglomerados contrachapados, maderas contrachapadas, maderas prensadas, etc.) hasta los mismos materiales compuestos como la fibra de vidrio, carbono y kevlar.

Los aspectos que definen la selección del material de construcción del molde son el número de unidades a producir, la geometría de la pieza y el coste de los materiales.

Si existe la necesidad de producir series en una cantidad elevada de unidades, normalmente los moldes se realizan en los mismos materiales compuestos que se utilizarán en la construcción de las piezas. Las ventajas son muchas, ya que no le afectan la temperatura ni la humedad en un amplio rango de temperaturas de trabajo, son más estables dimensionalmente y el degradado por su propio uso es menor que cuando se construyen en otros materiales. En contrapartida, suelen ser moldes más caros debido al coste de dichos materiales.

Si, en cambio, queremos hacer series de producciones bajas o inclusive construir sólo una unidad, los moldes se pueden construir en madera. Este material es más ventajoso económicamente y nos permite contratar mano de obra menos específica. El problema fundamental de la construcción de moldes con madera es su propia naturaleza, es decir, son más susceptibles de ser atacados por agentes atmosféricos, por lo que su duración es limitada. También presentan limitaciones para desarrollar moldes de formas complejas.

Mención especial merecen los moldes metálicos que ocupan un lugar importante en producción de piezas pequeñas pero que resultan extremadamente costosos, por lo que debe hacerse un análisis previo de la conveniencia de su uso.

#### 2.2 Espesores de molde recomendados

Los espesores de pared de los moldes deben ser los más reducidos posibles, ya que repercuten en la cantidad de material a utilizar y en el tiempo de fabricación, es decir, en los costes.

No obstante, deben asegurar una cierta rigidez del molde que evite deformaciones del mismo, trasladando dichas deformaciones a las piezas.

Excesivos espesores en los moldes de materiales compuestos pueden provocar un enfriamiento irregular de la pieza, debido a la

baja conductividad térmica de los mismos, dando lugar a las temidas distorsiones y alabeos.

También debemos considerar la uniformidad de los espesores del molde, ya que los espesores no uniformes pueden generar marcas de contracción en las piezas o generar tensiones internas debido a la diferencia en los tiempos de enfriamiento en diferentes sectores del molde.

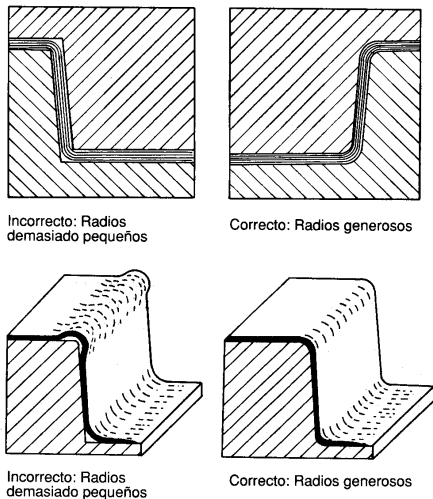
Sólo a título orientativo, podríamos decir que un espesor recomendable de molde (para moldes simples, relativamente planos y suficientemente rigidizados) sería entre una vez y una vez y media el espesor de la pieza, dependiendo del material del molde.

### 2.3 Consideraciones sobre pliegues y cantos

Los pliegues y cantos presentes en las piezas deberían ser transformados en radios lo más amplios posibles, siempre y cuando no modifiquen la geometría de la pieza.

Esto es debido a que en dichas zonas se producen concentraciones de tensiones y pueden provocar la rotura de la pieza.

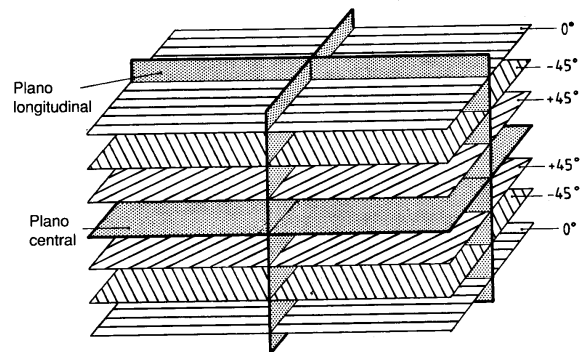
Otro aspecto interesante de destacar es que en los pliegues y cantos vivos, la distribución del laminado suele ser desigual entre fibra y matriz, debido a que la rigidez de la fibra no le permite adaptarse a zonas de curvatura tan brusca.



### 2.4 Simetría del laminado en moldes de Materiales compuestos

La distribución del laminado, en el caso de los moldes de materiales compuestos, debe hacerse de manera simétrica, ya que así obtendremos una buena estabilidad dimensional

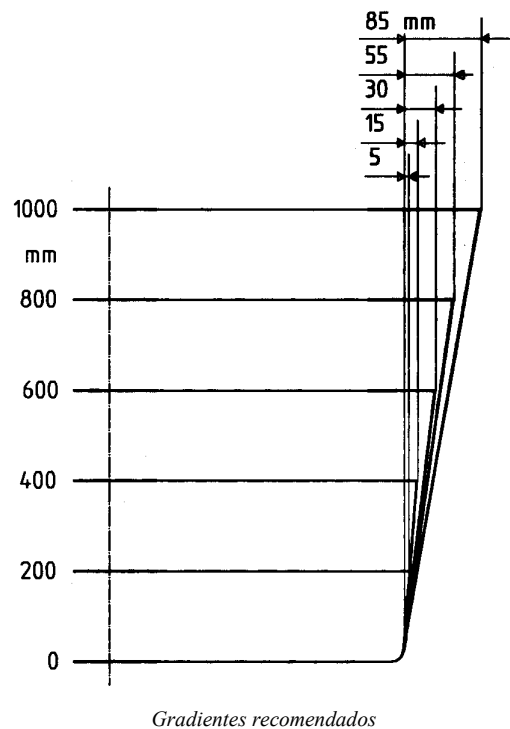
del mismo y evitaremos deformaciones que se pueden transmitir a la pieza de forma definitiva. Esta simetría debe intentar respetarse en los tres planos del estratificado que se detallan a continuación:



### 2.5 Gradientes de desmoldeo

Las contracciones que se producen en las piezas dentro de los moldes suelen ser diferentes de las que sufre el molde. Para evitar que las piezas queden aprisionadas dentro de los moldes, éstos deben dotarse con pendientes y conicidades que permitan un desmoldeo simple, sin excesiva fuerza. Dichas conicidades dependerán de la longitud de la pendiente.

También se pueden dotar los moldes de contra moldes o reservas.

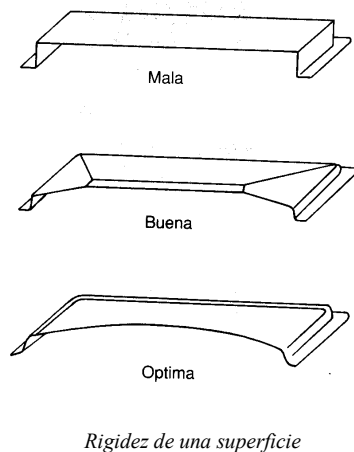


## 2.6 Consideraciones sobre grandes superficies planas

Las grandes superficies planas presentan muchos problemas a la hora de su ejecución. Debido a las características del laminado, suelen abombarse o curvarse y distorsionarse. Esto afecta a la estética de la pieza, provocando aguas, ráfagas y cambios de brillo.

Una solución práctica es introducir líneas de corte, cambios de planos, resaltes, agujeros y ranuras o hacer dichas superficies ligeramente curvadas, aunque esto eleva el coste de fabricación. Otra solución es introducir nervios o refuerzos, aumentando así también la resistencia a la torsión y la rigidez de la pieza en cuestión. También, la utilización de grabados puede resultar beneficiosa para evitar estos defectos tan comunes en las grandes superficies planas.

Todas estas soluciones podrán ser aplicadas siempre y cuando no nos encontremos con las limitaciones que impone la estética de la pieza.



## 2.7 Rigidización del molde

Para evitar deformaciones de los moldes, éstos deben ser suficientemente reforzados y estructurados. Un molde que permita excesivas deflexiones producirá una pieza con defectos importantes como alabeos, cambios de brillos, y defectos superficiales como grietas en el gelcoat.

Los sistemas que permiten rigidizar un molde son varios, y de diferentes materiales, siendo uno de los más aceptados el sistema tubular metálico.

Dependiendo del tamaño de la pieza, se pueden disponer de estructuras de moldes fijas, móviles (con ruedas), y que permitan girarse para realizar una mejor labor de laminación.

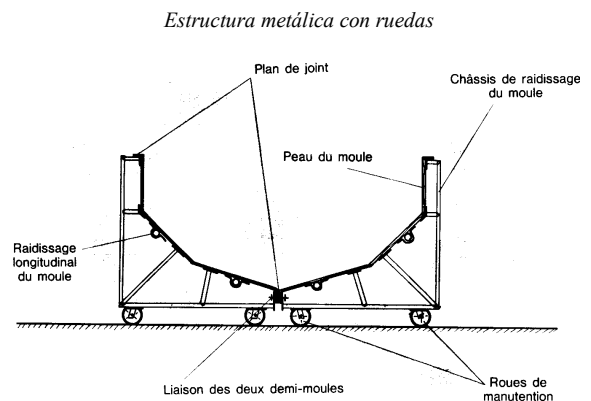
La estructura metálica suele ser soldada entre sí y unida mediante un laminado al molde, dando así a todo el conjunto una elevada rigidez.

El espaciado entre refuerzos varía en función del tamaño y complejidad de la pieza, pero para grandes superficies y zonas con cierta planitud, una medida recomendable puede ser colocar refuerzos cada 500 mm.

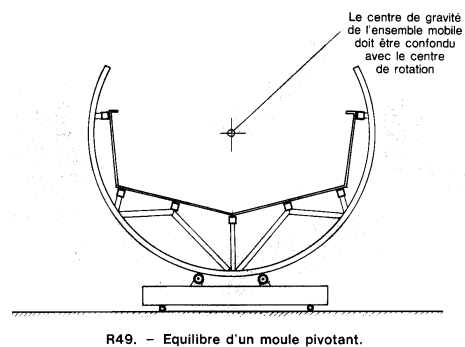
También existen estructuras rigidizadoras de materiales compuestos. Consisten en preformas (generalmente medios tubos U omegas que pueden ser de cartón, plástico ó espuma de poliuretano) laminadas con refuerzos de fibras, otorgando máxima rigidez al molde con menor peso que las estructuras metálicas.

La madera suele utilizarse también como elemento rigidizador, aunque si no es debidamente protegida (mediante laminados) sufre los embates del clima y el paso del tiempo, dando lugar a roturas.

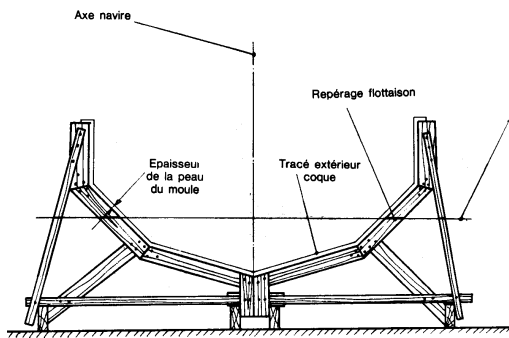
El método ideal es realizar una combinación de todos los anteriores, destacando las particularidades de cada sistema, obteniendo estructuras indeformables, livianas y capaces de soportar las situaciones más diversas a lo largo de la vida útil del molde en el taller.



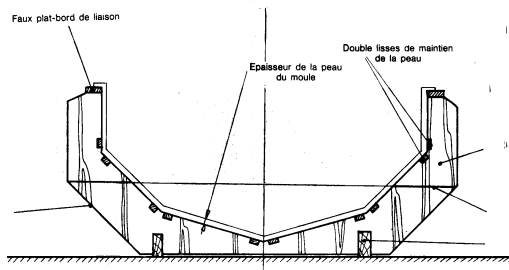
### Estructura metálica pivotante



Estructura de madera clásica



Estructura combinada facetada



## 2.8 Posibilidad de retoques

Dependiendo del método de producción seleccionado y de la geometría de la pieza, debe tenderse a eliminar al máximo las operaciones de mecanizado y retoques de la pieza, ya que constituyen un factor clave en el coste de la misma. En algunos métodos de moldeo como el prensado es casi imposible evitar dichos retoques.

Por todo esto, debe preverse con antelación en el diseño de la pieza y en el diseño del molde estos factores disponiendo las aristas y los cantos de la pieza de manera de realizar sólo simples retoques o posicionando tales defectos de la pieza en zonas que sean ocultas una vez montada la pieza.

## 2.9 Color de los moldes

Uno de los fallos más habituales de las piezas de composite es el agrietamiento superficial del gelcoat debido a su excesivo espesor durante la aplicación del mismo. Este fallo se produce porque el operario quiere garantizarse que la película del gelcoat "cubra bien" toda la superficie, cargando en sobremanera el molde

de gelcoat. Esta acción puede ser evitada por dos medios: primero, utilizando un sistema de pintura que le permita realizar una capa uniforme de gelcoat sobre la superficie (por ejemplo a pistola), con sus correspondientes mediciones de espesores de film mediante galgas de medición de espesores en húmedo; Y segundo, teniendo un buen contraste sobre la superficie que se está proyectando el gelcoat.

Por esta segunda razón la mayoría de los moldes son tonalizados con colores oscuros como negro, azul, o bien colores que provocan mayor contraste, como naranja o amarillo.

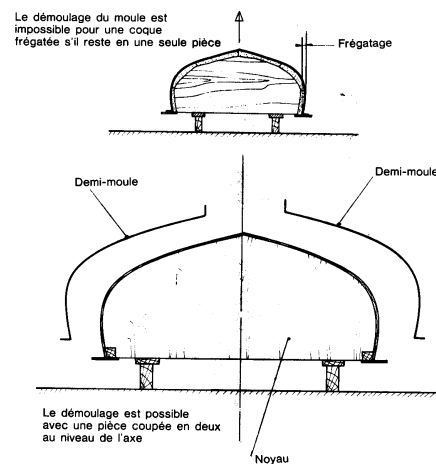
Mención especial merecen los gelcoats para moldes que tienen como característica fundamental la flexibilidad, el alto brillo y la baja contracción durante su curado, proporcionando así al molde características tendientes a mejorar el proceso de producción y la calidad de las piezas obtenidas.

## 2.10 Particiones de moldes

Cuando la geometría de la pieza que intentamos reproducir impide realizar el molde en una sola entidad, se recurre a realizar un molde en varias partes, que una vez acabado el proceso de laminado, se desmonta para permitir la extracción de la pieza.

El diseño de los puntos de partición del molde es una etapa delicada del proceso de diseño del molde, pero conviene dedicar mayor tiempo de análisis en este período que realizar múltiples modificaciones posteriores en el molde.

La presencia de particiones en los moldes generarán en la pieza zonas de rebabas o zonas a mecanizar posteriormente, por lo que deben ser reducidos dichas particiones al máximo. También pueden generar desalineaciones o desajustes entre las partes, por lo que se deben situar dichas particiones en zonas de menor importancia o visibilidad, beneficiando la calidad final de la pieza.



## 2.11 Mecanismos de desmoldeo

Otro aspecto a tener en cuenta en el diseño del molde es conocer como se efectuará el mecanismo de desmoldeo de la misma una vez acabada su construcción.

Si bien en la construcción de embarcaciones las piezas suelen ser extraídas por apertura de los moldes, existen otros métodos más apropiados para piezas de pequeñas dimensiones como mecanismos de expulsión mecánicos, hidráulicos y neumáticos.

Dichos métodos producen una alta velocidad de expulsión lo que permite aumentar el ritmo de producción.

Las operaciones de desmoldeo suelen generar marcas y hasta defectos, sobre todo si el molde no se encuentra bien planteado. Es bueno indicar en los planos de la pieza las zonas donde esos fallos sean menos comprometedores así poder tenerlos en cuenta a la hora de diseñar los moldes.

### 3 - Clases de moldes

Para la obtención de piezas de plástico reforzado se necesita disponer de un molde. Un molde que dependiendo de lo complejo de la pieza puede ser simple o sofisticado, constituido por varios pequeños moldes.

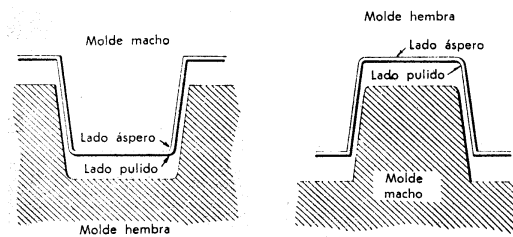
Atendiendo a una clasificación acerca de cual superficie debe ser la de acabado superficial, los moldes para materiales compuestos se dividen en dos grandes grupos, independientes del número de unidades a producir.

- Moldes Machos
- Moldes Hembras

La elección del tipo de molde dependerá de que zona de la pieza sea la que debe recibir buen acabado. Recordemos del capítulo anterior que una de las características fundamentales de los laminados de fibra de vidrio es que sólo una de sus caras tiene acabado superficialmente liso. En definitiva, esta parte lisa o pulida será la que se obtenga de haber permanecido en contacto con el molde durante el proceso de fabricación.

Así, los moldes machos se distinguen por reproducir superficies lisas en su cara interior, en tanto los moldes hembras, producen superficies pulidas en la cara exterior.

Desde el punto de vista económico, los moldes machos resultan más económicos ya que el modelo natural se utiliza como molde.



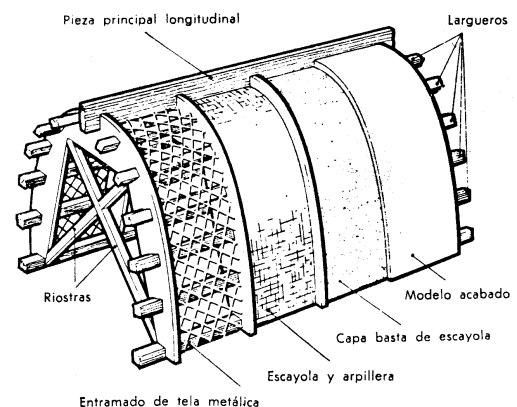
Atendiendo a una clasificación acerca de números de unidades a producir, podemos clasificar a los moldes en :

- Moldes para una sola unidad (One-Off)
- Moldes para bajas y medias producciones
- Moldes para altas producciones

Entre todos ellos, la diferencia fundamentalmente se encuentra en la calidad del diseño del molde, y en los materiales utilizados en su construcción.

No debemos dejar de mencionar en este apartado los modelos, indispensables para la construcción de los moldes. Los modelos a escala natural, tanto si se utilizan como modelo o molde, deben presentar superficies lisas y con todos los detalles de acabado de la pieza, reproduciendo con fidelidad la pieza que queremos obtener.

Los materiales de construcción son los más diversos, como madera, plastilina, yeso, arcilla, metal, etc. Y se seleccionan de acuerdo a un criterio económico y de rapidez de construcción.



Modelo de yeso

## 4 - Etapa de producción

Una vez diseñado y construido el molde, y antes de empezar la producción de unidades, existen una serie de consejos que deberían ser conocidos y puestos en práctica por el constructor:

- Rodaje del molde
- Encerado del molde
- Marcas y deformaciones
- Reacondicionado del molde
- Mantenimiento

### 4.1 Rodaje del molde

Para garantizar el brillo de las piezas, reducir el marcado de fibra y garantizar una vida prolongada de los moldes es necesario realizarles un rodaje previo a la fabricación de la primera pieza.

Un molde nuevo tiene mayor tendencia a adherir las piezas que uno que ya está rodado.

El procedimiento de rodaje consiste en los siguientes pasos:

- 1) Se aplicará al molde nuevo algún agente desmoldeante, como ser barreras filmógenas (APV), un sistema polímero o las ceras clásicas de desmoldeo (mínimo 6 capas de cera).
- 2) Proyectaremos sobre el molde nuevo gelcoat de producción con una pistola gravitatoria (en esta fase una bomba o equipo de inyección puede acarrear problemas de catalización).
- 3) Despegamos el gelcoat en estado de Gel firme. Si no hay adherencia, el molde está listo para utilizar. Si hay adherencia, el molde debe ser reparado y todo el proceso de rodaje debe ser repetido.
- 4) Aplicamos, una vez desmoldeado el gelcoat de producción, dos capas más de cera u otro agente desmoldeante.
- 5) Ponemos dicho molde en producción. La etapa de rodaje ha concluido.

### 4.2 Encerado del molde

Del correcto encerado del molde dependerá en buena medida de la calidad superficial de la pieza acabada. El proceso de encerado es fundamental para evitar posibles adherencias a la hora del desmoldeo.

Las ceras desmoldeantes son una composición variable de carnauba, silicona y parafina. La carnauba es el agente desmoldeante, la parafina se utiliza para

reblandecer la carnauba y la silicona hace de lubricante para que se pueda aplicar la mezcla con mayor facilidad.

La aplicación de la cera debe hacerse en suaves movimientos circulares con trapos de muselina, limpios y suaves. Se utilizarán dos trapos para pulir la cera; Uno para quitar el exceso y el otro para dar brillo. Debe evitarse aplicar demasiada cera, ya que si no se quita y pule el exceso producirá cambios de brillo en la pieza acabada. Respetar siempre las recomendaciones del fabricante de la cera acerca del plazo de espera entre sucesivas capas.

El uso de pulidoras mecánicas no es recomendable porque podrían quemar la superficie encerada del molde y dejarla desnuda.

Una vez aplicadas todas las capas de cera y transcurrido el tiempo de espera adecuado, se limpia la superficie del molde con trapos de muselina para extraer las partículas de polvo y suciedad.

### 4.3 Marcas y deformaciones

El marcado es cuando se aprecian trazos de fibra de vidrio a través de la película de gelcoat.

Las deformaciones, también llamadas ondulaciones, son distorsiones visibles sobre la superficie de un molde.

Tanto el marcado como las deformaciones son producidas por la presencia de fibras de vidrio en el molde, ya que la fibra aisladamente como la resina actuando aisladamente no marcan ni deforman.

La causa que provoca estos dos fallos es la diferencia de contracción entre gelcoat, refuerzos y matrices. La contracción de las resinas de poliéster no puede evitarse, por lo cual los moldes se retraen durante su fabricación, apareciendo el marcado y la distorsión. También puede ser provocado por un efecto de postpolimerización después del desmoldeo, que sucede cuando se rebasa la temperatura de postpolimerización anterior; Esta es la razón fundamental por la cual los moldes deben ser postcurados a temperaturas ligeramente superiores a las temperaturas previstas de utilización. Una vez postcurados, el marcado se elimina por lijado y no volverá a presentarse si no se pasa esta temperatura de curado.

### 4.4 Reacondicionado del molde

Los defectos que pueda presentar un molde deben servir para hacer una evaluación previa a efectos de tomar una decisión.

Si los defectos son en el estratificado, quizás sería conveniente plantearse construir un molde nuevo. Si los defectos son en la película de gelcoat, quizás se podría realizar un refrentado del molde. El refrentado consiste en limpiar el molde de agentes desmoldeantes, lijarlo para que adquiera mordiente superficial, repintarlo y pulirlo nuevamente. Los siguientes pasos son entonces similares a los de rodaje de un molde nuevo.

#### 4.5 Mantenimiento

Siguiendo un programa de mantenimiento preventivo de moldes conseguiremos producir numerosa piezas con una elevado rendimiento, brillos óptimos y aumentaremos la vida útil del molde.

Los programas preventivos se basan fundamentalmente en las experiencias particulares de los fabricantes, pero como lineamientos generales podríamos decir que consisten en establecer el número de piezas a ser realizadas antes de que aparezcan los defectos( falta de brillo, adherencia de pieza con el molde), y un número inmediatamente inferior a este aplicar acciones de prevención como pequeñas reparaciones y nuevos encerados.

El área de preparación y almacenamiento de moldes debe estar situada en una zona completamente cerrada y aislada de la zona de producción.

Los conocidos como “depósitos” de moldes resultan de la formación de poliestireno procedente de los gelcoats de producción. El poliestireno se queda adherido al molde y puede ser eliminado por dos medios: decapante químico o pulido mecánico.

Los gelcoats de colores normalmente tienden a empañar los moldes. El brillo se puede recuperar con una limpieza del molde o un pulido mecánico.

Por último, cuando los moldes son puestos fuera de producción una manera de protegerlos es aplicando una capa de gelcoat (de producción) sin estratificado, quitándosela antes de empezar una nueva pieza.

### 5 - Tolerancias

Trabajando con materiales compuestos, las tolerancias son siempre fuente de problemas, ya que múltiples factores interactúan y afectan a la pieza, y que podríamos resumir en:

- Dimensiones del molde
- Contracciones del moldeo
- Postcontracción
- Dilatación térmica del molde

- Variaciones por humedad
- Variaciones por temperatura
- Deformaciones por cargas

Desde la óptica del constructor quizás lo más sensato sea diferenciar si las tolerancias son puramente dimensionales o son tolerancias funcionales.

Si las tolerancias son dimensionales, será más conveniente trasladarlas a elementos o materiales menos problemáticos, en cambio si son del tipo funcional, se pueden resolver aportando diferentes soluciones en cuanto a diseño.

Lo que sí debemos tener presente es que cuanto más aumenten las exigencias dimensionales de la pieza, más caro se tornará el producto debido al aumento de los costes de proceso de fabricación.

En los plásticos es difícil mantener dimensiones exactas.

### Bibliografía

*La construction poliéster dans la plaisance, amateur/professionnelle*, Loisirs Nautiques nº10, France, 1980.

*Poliéster no saturado, Manual de aplicación*, Cray Valley, 1998.

*Tecnología de los composites, Plásticos reforzados*, Michaeli Wegener Capella, Hanser Editorial, Barcelona, 1992.

*La construcción sándwich*, Xavier Soler, Barcelona.

*El libro práctico del poliéster y la fibra de vidrio*, R.H.Warring,