

## **11- MÉTODOS DE PRODUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN**

- 11.1- Modelos, moldes y prototipos
- 11.2- Técnicas de moldeo por contacto
- 11.3- Proyección simultanea
- 11.4- Técnicas de moldeo asistido por vacío
- 11.5- Técnicas de moldeo por infusión
- 11.6 – Control de calidad
  - 11.6.1-Ensayos de control de calidad para materias primas
  - 11.6.2-Ensayos de control de calidad para piezas terminadas
- 11.7- Higiene, seguridad y medio ambiente

## **11- MÉTODOS DE PRODUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN**

### **11.1- Modelos, moldes y prototipos**

#### **Modelo**

Según las definiciones académicas el término modelo significa: lo que ha de servir de objeto de imitación. Sin embargo, dicha definición se nos antoja escasa para su utilización en la construcción naval. Un modelo además de servir de objeto de imitación, nos proporciona una demostración práctica de diferentes pruebas de material, permite apreciar el funcionamiento de la pieza en su real dimensión, nos permiten visualizar volúmenes, sirven para hacer visibles los elementos conceptuales como las medidas, color, y textura. En resumen, los modelos son los medios para hacer perceptible visualmente las soluciones a un problema. Dentro del lenguaje cotidiano del sector a veces se los denomina como molde patrón.

#### **Molde**

Se define como objeto hueco que da forma a la materia fundida que en él se vacía; instrumento que sirve para estampar o dar forma o cuerpo a una cosa. Es un utensilio que permite reproducir muchas formas todas iguales a sí mismo. En el caso de la construcción



naval con materiales compuestos, una definición más acorde sería: utensilio o herramienta con forma de macho o hembra (o ambas) que permite realizar piezas todas iguales a sí mismo.

La acción de reproducir piezas se le denomina moldeo. Dentro del lenguaje cotidiano del sector se lo denomina molde de producción.

### **Prototipo**

Proceso de creación de una pieza para someterla a pruebas, que no ha sido diseñada para ser lanzada comercialmente, pero que establece los parámetros de diseño, composición y fabricación de un nuevo producto. Puede requerir múltiples ensayos antes de llegar al diseño final y comercial de la pieza. Original ejemplar o primer molde en que se fabrica una cosa.

### **Construcción de modelos**

Cuando se desea construir piezas de forma seriada con materiales compuestos, es indispensable en la mayoría de los casos, la presencia de un molde que asegure la repetición y fidelidad de las piezas que extraemos de él. Sin embargo, para obtener dicho molde, lo más probable es que haya existido antes un modelo a escala natural, que haya servido de patrón de referencia y de base para construir nuestro molde.

### **Materiales**

Los modelos generalmente no resisten esfuerzos mas allá del peso propio del molde que se construye sobre él, por lo que a menudo se realizan en materiales económicos, fáciles de procesar y de bajo peso, como madera, yeso, espumas rígidas, metales ligeros, inclusive los mismos composites.

En la construcción de modelos de embarcaciones, el material más utilizado sin duda es la madera. La elección de dicho material se produce principalmente por cuestiones económicas y de facilidad de proceso, ya que los modelos de embarcaciones son piezas de considerables dimensiones que limitan el uso de otros materiales.



Dicha madera deberá ser cuidadosamente seleccionada a efectos de evitar posibles irregularidades como nudos, y deberá poseer un contenido de humedad bajo para evitar posteriores alteraciones de las formas por efecto de la misma.

En el caso de moldes que requieran un postcurado previo al desmoldeo o de la entrada en producción, los materiales del modelo deberán soportar las temperaturas a las cuales será sometido todo el conjunto. En estos casos, la elección del tipo de madera recae sobre el contrachapado marino, debido a que en su proceso de fabricación se elimina casi toda la humedad y poseen una estabilidad dimensional que no posee la madera en su constitución natural.

Otro material que se utiliza en la construcción de modelos es la espuma de poliuretano. La razón de su elección es su facilidad de modelado y mecanizado, su bajo peso y su fácil manipulación. La corrección de defectos se realiza con suma facilidad y grandes piezas pueden ser construidas con rapidez. Deben considerarse dos factores importantes en la elección como material de modelo: baja resistencia a la abrasión y elevada resistencia a la compresión.

Los materiales más porosos como el yeso o el cemento se suelen utilizar para modelos que no posean grandes compromisos superficiales o cuando no se requiera excesiva exactitud de dimensiones.

Como consecuencia de la naturaleza de los materiales compuestos, es decir, con sólo una cara de acabado superficial bueno, podemos tener tanto moldes con formas positivas (machos) y moldes con formas negativas (hembras); de aquí que debemos estudiar en detalle el tipo de modelo necesario para construir dichos moldes.

Desde el punto de vista constructivo, una forma positiva siempre es más fácil de reproducir que una forma negativa, ya que las condiciones de trabajo son más favorables: Iluminación, refinamiento de formas, mecanizados, lijados, pulidos, inclusive procesos de pintado se realizan de manera más ágil y eficaz.

Es por esta razón que se hace necesario un estudio previo de la pieza a reproducir, ya que, como en el caso de las embarcaciones, se realiza primero un modelo macho para luego obtener un molde hembra definitivo. Normalmente los costes de la fabricación



intermedia (modelo) se ven compensados en ganancias de tiempo en la fase de preparación del modelo.

Dependiendo de la pieza que deseamos reproducir, existirán una serie de aspectos de suma importancia que debemos considerar previamente a la construcción del modelo:

- Nivel de acabado superficial.
- Necesidad de rigidización del modelo.
- Tolerancias respecto a deformaciones o “trabajo” del modelo.
- Necesidad de postcurados.
- Mecanizados posteriores.
- Pulido del modelo.
- Lustrado del modelo.
- Limpieza previa a la construcción del molde.

El acabado superficial dependerá de los requisitos de la pieza acabada. Así, desde superficies clase A hasta piezas estructurales con posteriores procesos de pintado o acabado basto, existen un buen número de grados de refinamiento de las superficies de los modelos. Considerando que el material utilizado para la construcción de modelos suelen ser porosos, se hace necesaria entonces la aplicación de algún tipo de recubrimiento que nos permita realizar operaciones posteriores de mecanizado, lijado y pulido sin por ello divisar defectos sobre la superficie. Dichos recubrimientos suelen ser constituidos en base de resinas termoestables, con buena resistencia a altas temperaturas (exotermia del laminado), baja contracción y baja porosidad. La forma de aplicación de los mismos es mediante procesos de proyección o bien manualmente mediante brochas o rodillos.

Si el modelo posee grandes superficies planas quizás sea necesario dotarlo de refuerzos interiores que le aseguren una cierta rigidez. Un modelo sin elementos rigidizadores puede resultar con fallos o distorsiones superficiales producto del tránsito o del peso del mismo molde.

Dependiendo del tamaño del modelo y del material en el que se encuentra construido, el modelo puede sufrir contracciones por acción de evaporación del agua en la madera o en caso contrario, aumento de la humedad por realizarse en zonas húmedas como puertos o varaderos. Otra motivo importante para sufrir deformaciones puede ser el



ocasionado por el calor exotérmico del proceso de curado del laminado cuando no se realizan consideraciones previas como espesores de laminado o adecuados porcentajes de catalización.

Como mencionamos antes, cuando el modelo y/o molde posterior requieran de curado o postcurado, será necesario seleccionar cuidadosamente cada uno de los materiales que constituyen el modelo para evitar problemas con las altas temperaturas a las que será sometido.

En el proceso constructivo del molde, se han de realizar sucesivos lijados hasta conseguir una superficie suficientemente lisa. Para ello, el recubrimiento superficial que se le aplique al modelo deberá tener un espesor adecuado y uniforme, que garantice todo el proceso de lijado sin realizar fallos o descascarados.

El pulido del molde se realiza con la finalidad de alisar la superficie y destacar el brillo. El material abrasivo o agente de pulido está constituido de aceites y granos abrasivos que desaparecen durante el trabajo de fricción, evitando de esta manera provocar ralladuras sobre la superficie. Dicho proceso puede ser realizado manualmente o mediante una pulidora, aunque se debe prestar atención a no quemar el recubrimiento por excesiva velocidad de la máquina pulidora.

El proceso de lustrado se realiza para obtener una superficie lo suficientemente brillante. Este tratamiento no se considera abrasivo y si el proceso se realiza mediante maquinaria, deben guardarse las mismas recomendaciones que en pulido, realizando el trabajo a muy bajas revoluciones para evitar aumentos de temperatura sobre la superficie por fricción y para evitar la acumulación de corriente estática.

Finalmente, se recomienda realizar una limpieza profunda con agua y jabón sobre toda la superficie del modelo antes de proceder a la construcción del molde para eliminar cualquier resto de material que pudiese haber quedado sobre el mismo.

El número de moldes que se desean obtener del mismo modelo es otro factor a tener en consideración; La selección del material de realización de dicho modelo está ligada al número de moldes a producir. Materiales porosos como la escayola o cemento normalmente no permiten la obtención de más de un molde sin reparaciones posteriores al



desmoldeo; en cambio, un patrón de materiales compuestos facilitará la labor de desmoldeo y evitará retoques posteriores.

### **Construcción de modelos por control numérico**

Hoy en día la mayoría de diseñadores navales han adoptado métodos de modelado de superficies en 3D para la generación de las formas del casco. Si consideramos que esta tarea resulta la más laboriosa, resulta razonable aprovecharnos de estas formas para construir los modelos o moldes por medio de control numérico computarizado (CNC).

Las ventajas que ofrece esta tecnología son numerosas y atractivas, a pesar de tener un coste inicial elevado. Realizando un pormenorizado análisis podemos determinar si el grado de precisión, menor coste y plazos de fabricación más cortos justifican ese elevado valor inicial.

Dentro del amplio abanico de posibilidades que nos ofrece esta tecnología, dos son los procedimientos más utilizados:

- Mecanizado del modelo mediante CNC
- Corte de secciones constructivas mediante CNC

#### Mecanizado del modelo mediante CNC

El proceso de manufactura de un modelo CNC es laborioso y requiere de una cuidada selección de los materiales que intervienen durante todo el proceso.

El primer paso que realizamos es generar las formas de la pieza mediante un programa de generación de superficies como Multisurf, Maxsurf, etc; Luego se envía el archivo al taller de mecanizado donde se convierte mediante programas específicos de CNC, como Surfcam.

El siguiente paso es construir un armazón que sirva de base o soporte del material mecanizable con el que se construirá el modelo. Dicho armazón puede ser construido con metales, maderas o materiales compuestos.

Construido un armazón, se aplica una capa generosa espuma rígida sobre una base de madera para luego mecanizarla. Esta espuma se puede aplicar mediante pistola o bien a través de bloques pegados a la estructura. La aplicación mediante proyección, si bien es más rápida, puede ocasionar variaciones de la densidad y del tamaño de la celda de la



misma. Para evitar este problema, se pueden adherir bloques prefabricados y curados. A la estructura base.

La espuma mecanizable con la que se construye el modelo base debe poseer unas características especiales:

- Bajo peso
- Facilidad de mecanizado
- Resistencia química a la resina
- Resistencia a la humedad
- Resistente a altas temperaturas
- Compatibilidad con los acabados de superficie
- Capacidad de soportar el tránsito de los operarios

Normalmente se utilizan espumas de uretano de celda cerrada, monocomponente o bicomponente. Si el tamaño de la fresadora de CNC no es lo suficientemente grande como para realizar todo el modelo, se realizan por partes (cuadrantes) aunque aumentan las posibilidades de desalineación final del modelo.

Se realiza entonces un primer mecanizado de todo el modelo, previendo los descuentos necesarios para los materiales de recubrimiento. La superficie del modelo presenta en esta etapa un aspecto áspero o rugoso.

Una vez obtenidas estas formas preliminares, se procede a la aplicación sobre toda la superficie del modelo de una capa de fibra de vidrio en formato de fieltro (mat), mediante el método de proyección simultánea. Con esta operación, el modelo adquirirá rigidez suficiente como para manipularlo con unas garantías mínimas.

Una vez curado el laminado, se proyecta una capa de resina con cargas sobre todo el estratificado previo, creando la base definitiva sobre la cual se realizará el mecanizado final. Esta resina debe poseer características flexibles que permitan absorber pequeños movimientos sin cuartearse y una exotermia muy baja, que permita aplicaciones del orden de 10 mm sin provocar daños en los materiales subyacentes. Deberá poseer también una buena compatibilidad y adhesión con el laminado de fibra de vidrio realizado previamente.



Concluido los procesos de recubrimientos del modelo, se realiza en fresado o mecanizado definitivo. Esta operación requiere de más tiempo que el mecanizado previo puesto que la dureza de los recubrimientos superficiales es mayor, reduciendo las velocidades de la herramienta de tallado.

Finalmente, una capa de topcoat proyectada sirve como acabado definitivo del modelo, antes de comenzar con los procesos de lijado, pulido y lustrado. Si el modelo debe ser transportado o expuesto a los rayos del sol, conviene que la pintura sea realizada con colores claros, (poseen alta reflectancia) para prevenir excesivas expansiones térmicas.

Mientras que los coeficientes de expansión térmica del armazón y la espuma son diferentes, la espuma realiza el efecto aislante y minimiza el movimiento diferencial entre materiales. Como conclusión final del método de construcción de modelos mediante CNC podemos decir que la verdadera ventaja del mismo consiste fundamentalmente en la reducción de tiempos de proceso más allá del ahorro económico.

#### Corte de secciones constructivas mediante CNC

Con las líneas de la pieza (casco, cubierta, etc) desarrolladas en 3-D se pueden obtener las secciones de corte transversales de la pieza utilizando técnicas de CAD. El anidado o “nesting” consiste en distribuir las piezas (secciones) sobre planchas, por lo general de contrachapado marino, para un mejor aprovechamiento del material y la reducción del porcentaje de recorte. En esta etapa se le pueden añadir a las plantillas todos los elementos que faciliten la identificación y el montaje posterior del modelo (líneas auxiliares, marcas de control, número de orden, número de componente, etc.).

El corte de estas secciones se produce generalmente por chorro de agua ya que los cortes térmicos no son los más indicados para la madera. La herramienta de corte en este proceso consiste en un chorro muy concentrado de agua, que puede incluir polvos de material abrasivo, y se lanza desde una tobera a una velocidad de dos veces y media la velocidad del sonido y una presión de varios miles de bares.

Para el montaje del modelo es necesario realizar también secciones longitudinales que se montan entrelazadas con las secciones transversales y definen las formas de la superficie del modelo.





Los métodos para recubrir esta superficie son variados, pero a título informativo podemos mencionar:

- Forrado con listones de madera.
- Forrado con tablas diagonales.
- Forrado con núcleos de espuma fijado sobre la estructura.
- Forrado con mallados metálicos y recubiertos por material proyectable.

Una vez forrado el modelo, se debe proceder a su mecanizado, lijado, pulido y lustrado como se explicó anteriormente. Este método se suele utilizar también para la producción de moldes hembras, sin necesidad de construir modelo previo, con el único inconveniente que la superficie exterior de la pieza obtenida no presenta el mismo nivel de calidad superficial y de formas que una pieza obtenida desde un molde hembra construido con un modelo previo.

Por último, reseñar que este método es más accesible económicamente que el explicado anteriormente y con el cual se obtiene una importante reducción de tiempos de construcción de modelos comparados con los métodos artesanales habituales.

### **Introducción al diseño y construcción de molde**

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.

### **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.

#### 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.

#### 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.

### 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.

### 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.

### Etapas 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



### 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.



### 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.

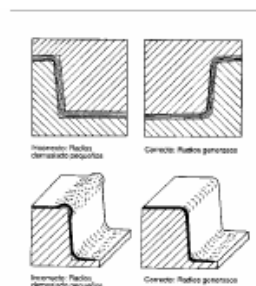
Excesivos espesores en los moldes de materiales compuestos pueden provocar un enfriamiento irregular de la pieza, debido a la baja conductividad térmica de los mismos, dando lugar a las temidas distorsiones y alabeos. También debemos considerar la uniformidad de los espesores del molde, ya que los espesores 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.

### 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.

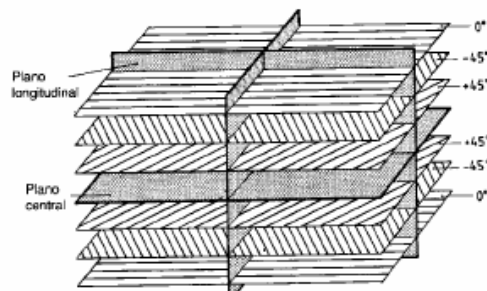
Otro aspecto interesante de destacar es que en los pliegues y cantos vivos, la distribución del laminado suele ser desigual entre fibra y matriz, debido a que la rigidez de la fibra no le permite adaptarse a zonas de curvatura tan brusca.





### 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:



### 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.

### Consideraciones sobre grandes superficies planas

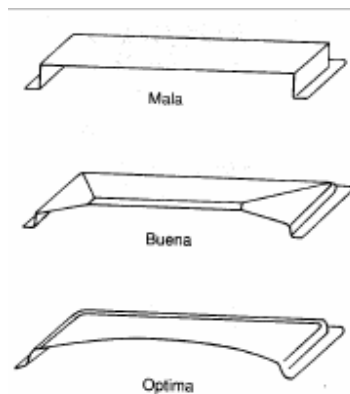
Las grandes superficies planas presentan muchos problemas a la hora de su ejecución. Debido a las características del laminado, suelen abombarse o curvarse y distorsionarse. Esto afecta a la estética de la pieza, provocando aguas, ráfagas y cambios de brillo.

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.



### 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.

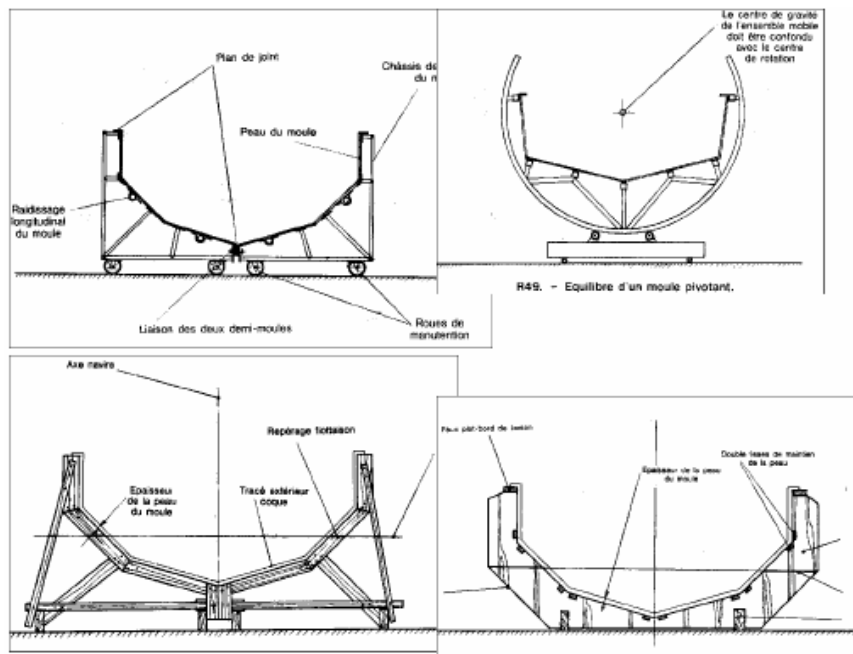
También existen estructuras rigidizadoras de materiales compuestos. Consisten en preformas (generalmente medios tubos U o omegas que pueden ser de cartón, plástico ó espuma de poliuretano) laminadas con refuerzos de fibras, otorgando máxima rigidez al molde con menor peso que las estructuras metálicas.





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.



### 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.



### 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.

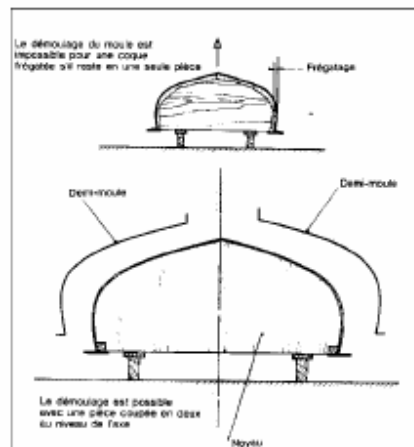
Mención especial merecen los gelcoats para moldes que tienen como característica fundamental la flexibilidad, el alto brillo y la baja contracción durante su curado, proporcionando así al molde características tendientes a mejorar el proceso de producción y la calidad de las piezas obtenidas.

### 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 generará 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.



### 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.

### **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

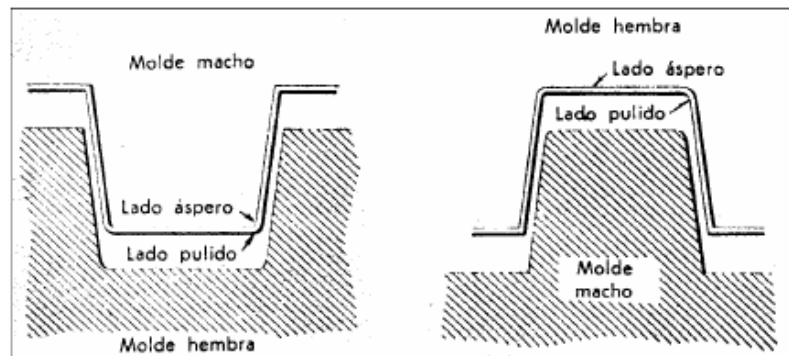


- Moldes Hembras

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 de del diseño del molde, y en los materiales utilizados en su construcción.

### **Etapas 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

### 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.

### 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.

### 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 pospolimerización 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.



### 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.

### 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.



## **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.

## **Prototipos**

En la náutica deportiva se consideran como prototipos todas aquellas embarcaciones construidas unitariamente, generalmente sin moldes, y aquellas unidades previas a la producción de series que durante un período de pruebas sufren modificaciones y mejoras.

En el caso de las embarcaciones de serie, generalmente son construidas en materiales compuestos sobre un molde, y se le realizan pequeñas modificaciones durante un período de pruebas generalmente destinadas a mejorar su comportamiento, aunque dichos cambios se ven limitados por las formas de los moldes ya construidos. Es el caso más





habitual en los astilleros, ya que los parámetros más importantes de la embarcación no se ven modificados.

En el caso de embarcaciones construidas sin moldes existen un sinnúmero de técnicas constructivas y se emplean los más diversos materiales, como acero, madera, PRFV e inclusive el ferrocemento.

La técnica más utilizada para construir prototipos unitarios (one-off) de materiales compuestos o madera es la de disponer sobre una cama o bancada las secciones transversales del casco o cubierta y realizar el forro con diferentes materiales, que formarán luego parte del material de núcleo de la estructura. Una vez realizado esto, se procede al estratificado por ambas caras, interior y exterior, constituyendo así la estructura sándwich.

La construcción sándwich presenta como ventaja fundamental, comparada con otros tipos de estructuras, de que se puede construir sin necesidad de un molde.

Entre las técnicas más destacadas podemos distinguir:

- Madera enlistonada
- Madera moldeada
- Strong Plank System
- Núcleo de PVC
- Contrachapado
- C-Flex

*Madera enlistonada:* La técnica consiste en crear las formas del casco a base de forrar las secciones con listones de madera previamente fresados.

*Madera moldeada:* consiste en forrar el casco con tablas de madera de reducido espesor, colocadas generalmente oblicuas a la cruz.

*Strong Plank System :* La técnica de forrado es similar a la madera enlistonada pero la madera es substituida por listones de espuma de PVC laminados por sus cuatro caras. La ventaja de este método respecto del anterior radica que el material es más ligero y, al poseer un laminado alrededor del núcleo de PVC, precisa de menor cantidad de refuerzo sobre las caras interior y exterior.



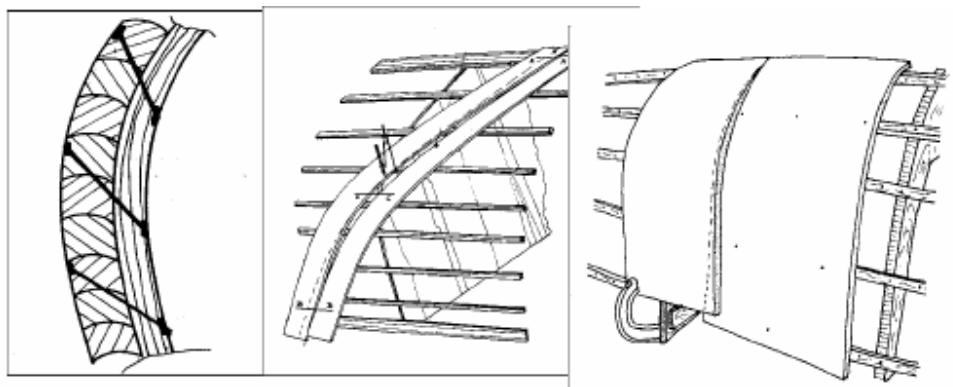
*PVC Foam:* La técnica consiste en forrar las secciones en base de listones o planchas de PVC debidamente mecanizados y ajustados, para luego realizar el laminado rigidizador del conjunto por ambas caras.

*Contrachapado:* La construcción en madera contrachapada es una técnica amateur que nos permite construir embarcaciones a precios muy razonables. Limita las formas del casco y cubierta a superficies desarrollables.

*C-Flex:* El forrado de las secciones se realiza con tiras de fibra de vidrio construidas previamente, emulando el método utilizado en la construcción con doble forro de madera.

Existen otras técnicas más antiguas como CVC, WLP, etc pero casi no se utilizan en la actualidad. Las técnicas descritas se utilizan tanto para construcción amateur como profesional, ya sea para prototipos como para series de construcción pequeñas.

Como vemos, la construcción de prototipos es un tema que por lo amplio, requiere de un estudio especial.



Madera enlistonada

Madera moldeada

PVC Foam



## 11.2- Técnicas de moldeo por contacto

### Introducción

Las técnicas de moldeo por contacto son aquellas técnicas en las cuales la mano del hombre juega el papel más importante en la constitución del material compuesto. Las características físicas y mecánicas del laminado dependerán pura y exclusivamente de lo cuidadoso que sea el operario durante su elaboración. Dentro de este grupo, entonces, tenemos las técnicas de laminado manual, proyección simultánea y moldeo con impregnadores.

### Laminado manual

La técnica del laminado manual, encuadrada en el grupo de técnicas de moldeo por contacto, es sin duda la más antigua de todas las técnicas conocidas en la fabricación de piezas con materiales compuestos.

Todas las técnicas de laminado por contacto (tanto laminado manual o proyección simultánea) aprovechan las ventajas de los sistemas de matrices poliéster y viniléster en su procedimiento de curado: que no necesitan la aportación de calor externo para su polimerización al completo ni de la alta presión de moldeo para su estratificación.

A pesar de ser una técnica sencilla y artesanal, con mucha dependencia de la habilidad del operario, continúa siendo, a lo largo de los años, la más difundida, por su bajo coste como por su adecuación a piezas de diferentes tamaños y formas sin excesivos problemas.

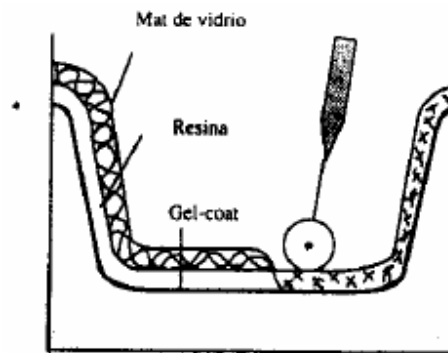
Analizaremos pues, los conceptos fundamentales de la técnica e intentaremos establecer las ventajas de la misma así como conocer sus limitaciones.

### El concepto fundamental

El proceso de laminado manual consiste en la aplicación de sucesivas capas de material (fieltros, tejidos y ensamblados) impregnadas con una resina, y consolidadas mediante la acción de un rodillo o brocha.



La acción de pasar el rodillo sobre la superficie tiene dos razones fundamentales: la primera es ayudar a la impregnación del refuerzo, y la segunda, intentar evitar que queden burbujas de aire atrapadas entre las sucesivas capas del estratificado. La presión de compactación no será otra, entonces, que la que ejerce la mano sobre el rodillo.



### Las herramientas necesarias

Las herramientas necesarias para desarrollar correctamente esta técnica se dividen en dos grupos:

- Herramientas de laminado
- Herramientas de corte

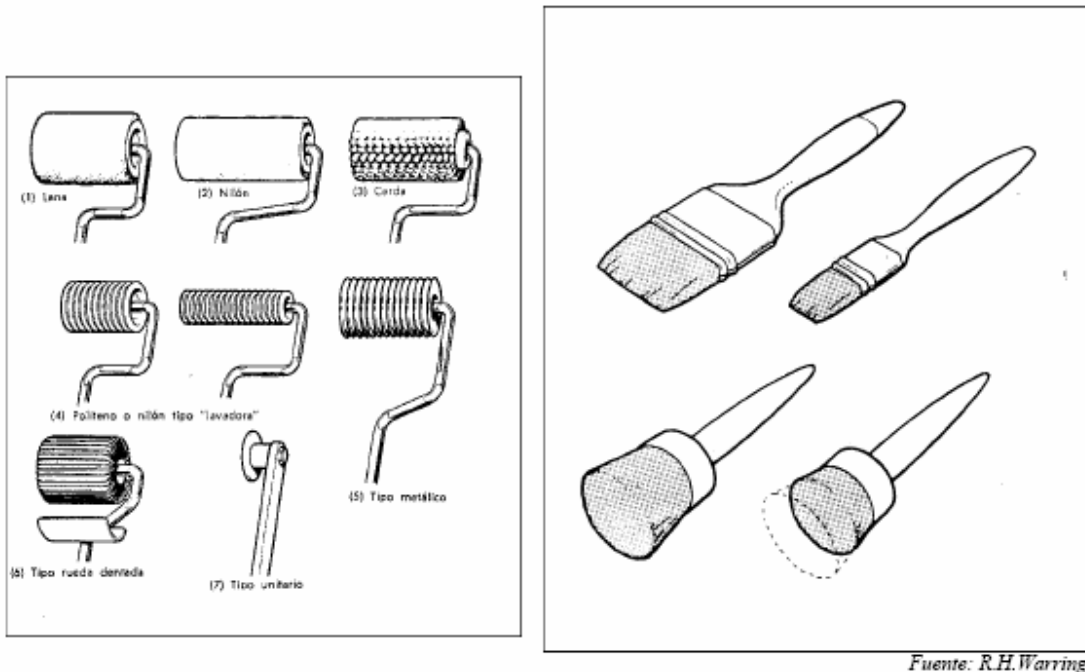
Las herramientas que consideramos para el laminado son aquellas que nos permiten impregnar el material de refuerzo con la matriz, así como las que nos permiten extraer las burbujas de aire que quedan atrapadas dentro del laminado.

En este grupo podemos mencionar entonces, los rodillos, las espátulas y las brochas. Los rodillos de laminación son las herramientas ideales para extender la matriz polimérica en grandes superficies con mayor agilidad, permitiendo una distribución más uniforme de la misma. Para dicha tarea el rodillo más acorde es del denominado de lana, ya que no se ve afectado por el ataque químico de la resina, evitando la degradación del mismo (lo que daría lugar a laminados de baja calidad). Existen también rodillos de cerdas y de nylon, aunque son menos utilizados ya que al ser considerados “blandos” no ejercen una buena presión de consolidación sobre el estratificado.



Dentro de este grupo también tenemos los rodillos metálicos de consolidación, cuya función principal es ayudar a la extracción del aire atrapado entre capas de tejidos y ensamblados. Consisten en un buen número de ruedas dentadas de diferentes diámetros que al actuar sobre el laminado “pinchan” el mismo ayudando a que el aire atrapado salga hacia el exterior. De todos los tipos de rodillos mencionados existen de diferentes tamaños, de acuerdo al tipo de trabajo y dimensiones de la pieza.

La limpieza de los rodillos tanto de laminación como de consolidación suele realizarse con disolventes como la acetona o estireno.



Las bochas para laminados deben cumplir dos premisas básicas:

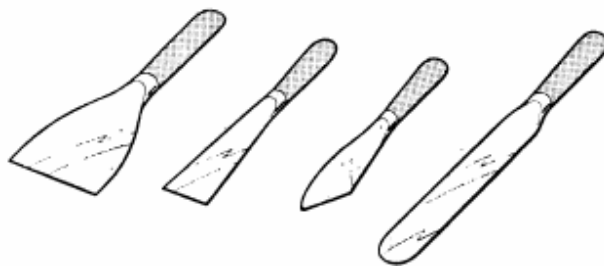
-Que el adhesivo que aglutina el pelo de la misma sea compatible con el sistema polimérico (es decir que no pierda pelo) ya que de otra manera, el desprendimiento de elementos de la misma incide directamente en la calidad del laminado.

-Su coste debe ser bajo, ya que su duración es breve fruto del desgaste y de la imposibilidad de limpiarlas adecuadamente cada vez que se utilizan.



Existen diferentes tipos de brochas, pero las dos más utilizados son las brochas redondas para trabajar lugares estrechos y reducidos, y las brochas planas o paletinas, que se utiliza para laminados de superficies planas.

El uso de las espátulas es ideal cuando la viscosidad del material dificulte la impregnación del refuerzo (ejemplo resinas epoxi), siendo las más utilizadas las plásticas debido a su mayor flexibilidad. Las rasquetas son ideales para realizar mezclas de productos de elevada viscosidad (masillas, pinturas, etc.)



Cuando nos referimos a las herramientas de corte nos dirigimos a aquellas que son necesarias para el corte y preparado previo del material de refuerzo. Dentro de este grupo podemos mencionar las clásicas tijeras y los cuters. Las tijeras suelen tener el problema de su constante desafilado debido a la abrasión de los materiales como la fibra de vidrio aunque son mejores que los cuters para corte de tejidos de mayor espesor o gramaje. La principal ventaja de los cuters respecto de las tijeras es su hoja intercambiable, aunque suelen presentar problemas al cortar tejidos porque pueden producir deshilachado del mismo.

### **Los materiales**

La totalidad de los tejidos, ensamblados y fieltros pueden ser aplicados mediante la técnica del laminado manual. También se pueden procesar sin dificultad las resinas poliéster, viniléster y epoxi. Estas razones hacen que el método de laminado manual sea el más difundido.

No obstante, existen una serie de recomendaciones acerca de las secuencias de laminado a seguir, para mejorar la calidad de la pieza. Siempre que sea posible, la primera capa o piel de contacto con el gelcoat o el molde deberá ser un velo de superficie o en su



defecto un fieltro de bajo gramaje, que permitirá mejorar el aspecto superficial de la pieza, evitando problemas de marcado de la pieza.

Cuando los espesores de la pieza sean grandes, es recomendable realizar el estratificado por partes, para evitar calentamientos en la misma, producto de la reacción exotérmica de la matriz. Cuando esto suceda, la buena adhesión entre las sucesivas secuencias de laminado debe ser garantizada por medio de una superficie lo más lisa posible, (conseguida mediante fieltros), ya que mejorará la adherencia interlaminar entre dichas superficies. Conviene, antes de iniciar la siguiente secuencia de laminación, comprobar que la superficie esté exenta de polvo e imperfecciones.

Por último, la piel de acabado deberá presentar un aspecto uniforme y agradable, objetivo que se consigue disponiendo de fieltros o tejidos de hilos de diámetro pequeño sobre las capas previas de laminado, consiguiéndose así un buen acabado superficial.

Si debido al tamaño de la pieza los tejidos no pueden ser colocados enteros, se procederá a realizar juntas debidamente solapadas. El ancho de solape mínimo recomendable es de 20 mm, existiendo algunas recomendaciones para el sector naval como la del American Bureau of Shipping (ABS) de 50 mm. Deberán guardarse ciertas normas de distancia entre costuras de una misma capa y entre las costuras de capas diferentes.

### **El ambiente de trabajo**

El lugar donde realizaremos la labor de laminado debe cumplir un mínimo de condiciones para obtener unos resultados satisfactorios. El primero será la temperatura del local. Como hemos visto en clases anteriores, la temperatura ambiente incide directamente en el grado de curado de la pieza y en la procesabilidad de la matriz. Por esto, no es recomendable trabajar a menos de 10 °C, siendo lo ideal entre 17°C y 22°C. Si bien existen aditivos para trabajar a bajas temperaturas, la polimerización de las mezclas no se produce al completo, por lo que es desaconsejable su uso.

La limpieza del sector de trabajo es fundamental ya que cualquier partícula de polvo que esté presente en el ambiente propiciará un laminado de baja calidad, con impurezas en su constitución.



Otro aspecto importante es la humedad relativa ambiente, que no deberá exceder el 75%. La humedad afecta principalmente a los materiales de refuerzo, que al ser utilizados en estratificados disminuirán las propiedades mecánicas de los mismos. Si estas condiciones no se cumplen, lo mejor será postergar el proceso hasta que se garanticen las condiciones mínimas de trabajo.

### **Ventajas del sistema**

Las principales ventajas que hacen del método de laminado manual el más difundido podrían resumirse en:

Método de enorme simplicidad, que no conlleva mano de obra cualificada.

No existen límites respecto del tamaño de pieza a producir.

El coste de los moldes es inferior al de otros métodos de producción.

Los equipos necesarios son de extrema simplicidad y su coste es relativamente bajo.

Debido al bajo coste del método es el ideal para producciones cortas, ya que no requiere elevada inversión económica.

### **Desventajas del sistema**

Dependiendo del tamaño de la pieza, la mano de obra puede resultar ser numerosa. La productividad es baja debido a lo artesanal del proceso.

La calidad del estratificado dependerá de la habilidad y motivación del operario, condicionando el producto final. (Uniformidad del espesor del laminado) A igualdad de pieza, menores propiedades mecánicas que las obtenidas por otros métodos.

### **Los resultados**

En condiciones normales de trabajo, los estratificados manuales nos permiten obtener relaciones de refuerzo / matriz aproximados de entre 30/70% hasta un 45/55%.

En cuanto a la industria naval, organismos reguladores y sociedades de clasificación estiman porcentajes idóneos para la construcción de embarcaciones. Así, por ejemplo, el American Bureau of Shipping (ABS) establece una relación de refuerzo / matriz que no





debe ser inferior al 30/70. Dichos valores se obtienen de una probeta extraída de la embarcación mediante un ensayo de calcinación.

Para las diferentes estructuras textiles independientemente estudiadas, se estiman las relaciones de vidrio / resina. Así, por ejemplo, para los fieltros dicha relación es de 30/70, y para tejidos las relaciones son del orden de 50/50. Estas cantidades son estimadas, pero pueden obtenerse tasas de resina inferiores para dichos materiales.



### 11.3- Proyección simultánea

El método de proyección simultánea fue desarrollado en Estados Unidos en la década de los cincuenta, como consecuencia del auge vivido por la industria del plástico reforzado con fibras de vidrio.

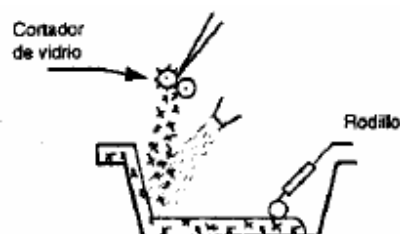
Si bien posee todavía una fuerte componente artesanal, se podría decir que es una primera evolución del método de laminado manual. Esa evolución del método permite cadencias de producción más elevadas que su método predecesor.

Su uso se encuentra muy difundido en el sector náutico pesquero debido a la disminución de los tiempos de procesado especialmente en piezas de grandes dimensiones. Podríamos decir que es un método que se ajusta perfectamente a series de producción pequeñas y medianas.

#### Concepto fundamental

El método consiste en proyectar fibra cortada (generalmente hilos de roving) entre chorros de resina mediante un equipo especial de proyección, de manera que la matriz y el refuerzo se depositan simultáneamente sobre el molde. Una vez el material se encuentra depositado sobre el molde, se hace necesario el uso de rodillos o espátulas para mejorar la impregnación de los refuerzos y eliminar el aire que queda atrapado en el interior del estratificado.

Este método precisa de controles de trabajo más rigurosos para la obtención de buenos resultados.





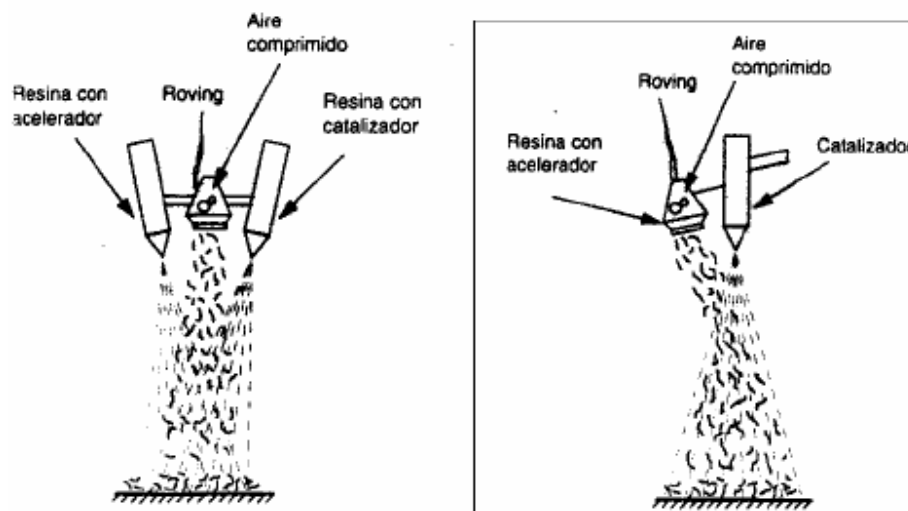
### Herramientas necesarias

El equipo básico consiste en una pistola de proyección que es alimentada con resina previamente catalizada y un cabezal cortador neumático que efectúa el corte del hilo de roving en pequeñas longitudes, que pueden variar entre 20 mm y 50 mm.

Dependiendo de donde se realiza la mezcla, existen equipos de proyección de mezcla interna como de mezcla externa.

En los equipos de mezcla interna existen dos líneas de inyección, que son transportadoras por una lado de resina con acelerador y por otro de resina con catalizador (en ninguna de las dos líneas el proceso de catalización es completo), mezclándose en la cabeza de la pistola de proyección.

En los equipos de mezcla externa, una línea de alimentación suministra la resina acelerada, mientras que la otra, alimenta el catalizador por separado, mezclándose ambas corrientes exteriormente y antes de alcanzar la superficie del molde.



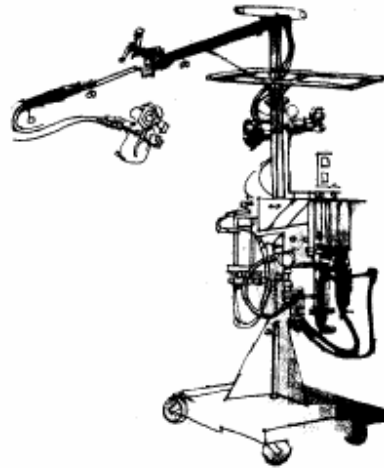
Tanto los equipos de mezcla interna como los de mezcla externa necesitan de frecuentes interrupciones para la limpieza de los conductos internos con disolvente.

Los equipos generalmente permiten proyectar la resina y el refuerzo conjuntamente o de manera independiente, (saturadora o cortadora) selección realizada mediante un selector en el cabezal. Mediante la regulación de la presión del aire se obtienen diferentes proporciones de fibra – resina. Las presiones de trabajo típicas oscilan entre 2 y 3 bares



para la resina y entre 6 y 8 bares para el motor cortador. Los caudales de los equipos actuales oscilan entre 2,5 kg a 12 kg por minuto.

El cabezal de proyección de la resina y el cortador de fibra están normalmente montados en un brazo de suspensión para facilitar la labor del operario.



Debido a las nuevas reglamentaciones medioambientales, los fabricantes de equipos de proyección simultánea han desarrollado diferentes variantes de los equipos, como los equipos de proyección airless, los saturadores por riego y los equipos de impregnación con rodillo, con el objetivo de disminuir las emisiones de compuestos volátiles al ambiente.



### **Materiales**

Estos equipos de proyección pueden utilizar tanto resinas de tipo poliéster (ortoftálicas e isoftálicas) resinas viniléster, y resinas epoxi (con limitaciones), siempre y cuando posean una viscosidad adecuada que permita su aplicación e impregnación del refuerzo.

El método no permite trabajar estructuras textiles de forma directa, por lo que deben ser colocadas sobre la superficie de la pieza e impregnadas con la pistola de proyección, aunque dicha labor debe ser asistida por laminadores manuales que mediante rodillos produzcan el desaireado.

### **Ambiente de trabajo**



Las condiciones del ambiente de trabajo deben ser similares a las del laminado manual, es decir, considerando reunir unas condiciones ambientales mínimas para asegurar el éxito del proceso.

La temperatura debe estar comprendida entre 17°C y 22°C, y nunca realizar la proyección por debajo de 10°C. Tampoco es aconsejable el uso de aditivos para bajas temperaturas ya que pueden acarrear serios problemas en el laminado por catalización incompleta. La humedad relativa ambiente no deberá exceder del 75% y el local deberá estar limpio, ordenado y libre de polvo.

Debido a la naturaleza del proceso, es fundamental tener un sistema de recirculación de aire que permita un renovación constante del aire en el local de trabajo, ya que la proyección simultánea produce altas tasas de emisiones de estireno al ambiente (en la fase dinámica cuadriplica al laminado manual). Es de destacar en este sentido los esfuerzos que los fabricantes de equipos realizan constantemente para minimizar este grave problema.

### **Ventajas del sistema**

Entre las principales ventajas del método de proyección simultánea podemos mencionar:

Cadencia de producción más elevada que el laminado manual, alcanzando reducciones de tiempo de hasta un 30%.

Menor coste de refuerzo, constituido generalmente por roving.

Ideal para producción de piezas de gran tamaño debido a la alta velocidad de depositación del material de refuerzo.

Los desperdicios son minimizados, lo que se traduce en reducción de material necesario.

El equipo es fácilmente transportable.

### **Desventajas del sistema**

- Coste elevado del equipo de proyección simultánea.
- Dependencia de la calidad de la pieza acabada de la cualificación y habilidad del operario (propiedades mecánicas y regularidad de la misma).



- Dificultad para obtener espesores de laminado uniformes.
- Condiciones de trabajo poco satisfactorias debido a la alta tasa de compuestos orgánicos volátiles (VOC).
- Necesita de numerosa mano de obra debido a la necesidad de post-estratificado.
- Número elevado de moldes para obtener una alta productividad.
- Durante el uso de las máquinas de proyección se suele producir niebla de catalizador, cargando el ambiente de trabajo.

### **Resultados**

Las relaciones de refuerzo / matriz que se obtiene con estos equipos pueden ser variables, de acuerdo a la regulación previa del equipo. Así, podemos obtener porcentajes que varían desde un 20% hasta un 50 % en cantidad de refuerzo (la regulación de porcentajes sólo afecta al refuerzo proyectado, no siendo considerados en estas cifras los refuerzos dispuestos en forma manual sobre el laminado).

### **Problemas comunes**

Uno de los problemas más comunes que se presentan en dicho método es la variación de la viscosidad por cambios de temperatura. Cuando la temperatura disminuye, la viscosidad de la resina aumenta, lo que dificulta su proyección. Existen dos soluciones posibles: una es atemperar la resina, para que baje su viscosidad (acción que se consigue por medio de calentadores incorporados en la línea de proyección) y la otra es aumentar la presión de la proyección. Esta última solución no es del todo aconsejable ya que disminuye la tasa de transferencia del material (se volatiliza más), aumenta la velocidad del material, generando turbulencias en la aplicación, provocando posibles fallos en el laminado por aire ocluido.

Las bajas presiones de proyección serán entonces más efectivas ya que producirán una mayor tasa de transferencia, ahorrando material, y generarán un abanico de proyección más suave, que mejorará el ambiente de trabajo.

Otro problema bastante habitual es el que se produce si la bomba no tiene una alarma de catalizador. Al terminarse dicho producto, la pistola sigue proyectando sólo



resina, produciéndose un laminado que jamás polimerizará, con las consecuentes pérdidas económicas que ello acarreará. Si no se sigue un programa de mantenimiento adecuado, un problema que se puede presentar es la gelificación de la resina en zonas internas del equipo.

Esto se traduce en falta de productividad ya que el proceso se ve alterado por paradas inesperadas, cambio de piezas obturadas, etc.

Para controlar la uniformidad de la proyección, se recomienda utilizar un hilo de referencia coloreado en el roving, permitiéndonos observar por simple cambio de colores las zonas del laminado que ya han sido procesadas.

#### **11.4- Técnicas de moldeo asistido por vacío**

##### **Introducción**

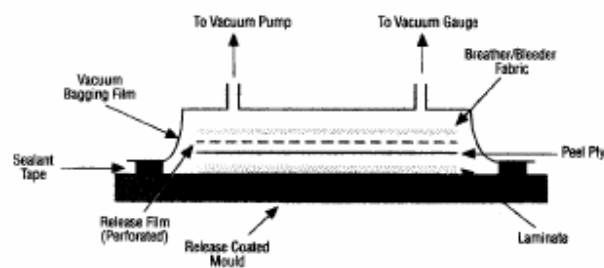
Las técnicas de vacío nos permiten obtener materiales compuestos con mejores propiedades físicas y mecánicas que los métodos tradicionales de moldeo por contacto. Se sirven de presión externa para prensar el laminado y reducir fundamentalmente el contenido de matriz en el material compuesto, mejorando la adhesión interlaminar entre capas y obteniendo un laminado con una densidad mayor. Dentro de esta técnica podemos distinguir el laminado manual asistido por vacío, laminado con preimpregnados asistido por vacío y la infusión de film de resina preimpreganda asistido por vacío.

La técnica del moldeo asistido por vacío consiste en crear presión sobre un laminado durante su ciclo de curado. La presurización del laminado cumple varias funciones; Primera, remueve el aire atrapado entre capas. Segunda, compacta las capas de refuerzo por transmisión de fuerzas, proporcionando laminados más uniformes. Tercera, evita que la orientación del laminado se modifique durante el curado. Cuarta, reduce la humedad. Quinta, y quizás la función más importante, la técnica de vacío optimiza las relaciones refuerzo-matriz en las piezas de materiales compuestos. Todas estas ventajas han sido utilizadas durante años para maximizar las propiedades físicas de los materiales compuestos, tanto en campos como la aviación así como en industrias de componentes para competición.



## Concepto fundamental

Este método es básicamente una extensión del método de moldeo por contacto – laminado manual, donde la presión es aplicada al laminado una vez éste se ha realizado al completo pero encontrándose todavía en un estado previo al gel (Fase A), para su consolidación. Se consigue mediante una bolsa plástica colocada sobre el laminado; El aire del interior de la bolsa es extraído mediante un sistema de vacío, consiguiendo así presiones de hasta casi una atmósfera para la consolidación del laminado.



El moldeo por contacto asistido por vacío surgió entonces como una evolución del método de laminado manual, buscando solucionar los problemas de bajos contenidos de refuerzos en su composición.

Esta antigua y sencilla técnica es hoy en día la preferida para los constructores navales que buscan estructuras sumamente livianas y con requerimientos estructurales elevados.

## Vacío

Se denomina vacío a los estados de presión de aire que se encuentran por debajo de la presión atmosférica. Aunque de una forma estricta, la denominación de vacío total corresponde a la ausencia total de presión, es evidente que se trata de estados relativos en los cuales la presión atmosférica normal es la que se toma como presión de referencia.

En la técnica de vacío se emplean depresiones de hasta  $-0,98$  bar, medidas desde la presión atmosférica, que en este caso sería la presión de referencia. En otras palabras, en los casos más extremos, se trabaja cerca de la presión absoluta de valor cero o del vacío total mencionado.





Los medios empleados para producir vacío son diversos: extractores clásicos para depresiones muy pequeñas, bombas de vacío accionadas por motores eléctricos, y los más modernos, generadores de vacío de aire comprimido.

#### Formas de obtención del vacío

Existen numerosas máquinas que nos permiten obtener vacío, siendo las más conocidas las bombas. El trabajo de la bomba consiste en bombear gases o vapores, aspirándolos de un recipiente cerrado y expulsándolos al exterior. Cada tipo de bomba se distingue de las demás por la presión mínima que puede alcanzar (cerca del cero absoluto), presión que queda limitada por las características constructivas de la misma.

En los sistemas de obtención de vacío más comunes utilizados para moldeo por vacío mencionaremos tres tipos:

- A) Bombas de paletas flexibles (surpresores)
- B) Bombas de anillo líquido
- C) Generadores de vacío

Las bombas de vacío de paletas flexibles generan vacío mediante la utilización de un motor eléctrico convencional. Se emplean cuando son necesarios elevados caudales de aspiración.

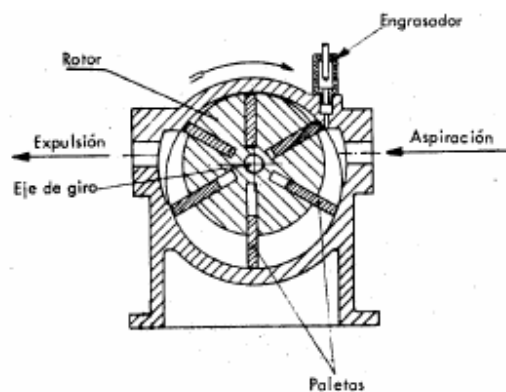


Fig. 2-4. — Bomba de paletas para vacío medio

La bomba consiste en un rotor, que gira excéntrico en el interior de un estator, provisto de 6 u 8 paletas dispuestas en forma radial. Por efecto de la fuerza centrífuga, las paletas son proyectadas hacia el exterior adaptándose a la superficie interior del estator. Las lumbreras de aspiración y expulsión van dispuestas lateralmente y cada vez que una paleta

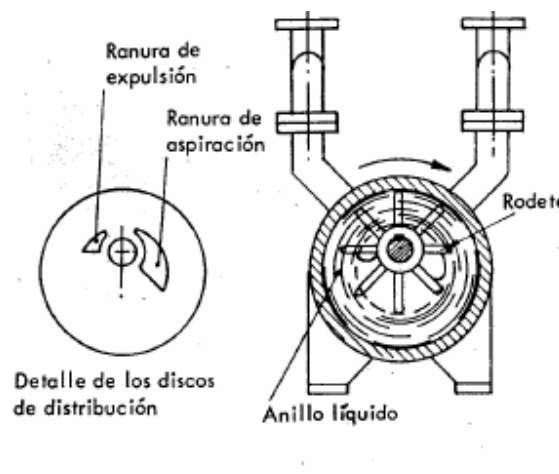


pasa por delante de la lumbrera de aspiración, aspira cierta cantidad de gas y lo traslada a la zona de expulsión, donde al ser comprimido, el gas se escapará por la lumbrera correspondiente.

Como existen varias paletas, no hay oscilaciones de flujo, siendo por lo tanto continuo. El engrase de este tipo de bombas se efectúa por goteo, mediante un engrasador tipo regulable instalado precisamente en la cámara de aspiración, ya que es la misma aspiración la que produce la depresión necesaria para que el aceite caiga.

Las bombas que producen vacío denominadas de anillo líquido consisten en un rodete compuesto de varias palas que gira excéntrico en el interior de un estator, y queda limitado lateralmente por dos discos de distribución que son los que regulan la aspiración y la expulsión, a través de unas ranuras.

En el interior de la bomba hay una cierta cantidad de agua que, al girar el rodete y por efecto de la fuerza centrífuga, adopta la forma de un anillo líquido concéntrico con el estator. Entre este anillo, las palas y el núcleo del rodete o rotor, se forma un espacio libre o cámara, en el que tiene lugar la aspiración y posterior expulsión de gas. El proceso es continuo, ya que hay siempre palas que aspiran mientras que otras expulsan.

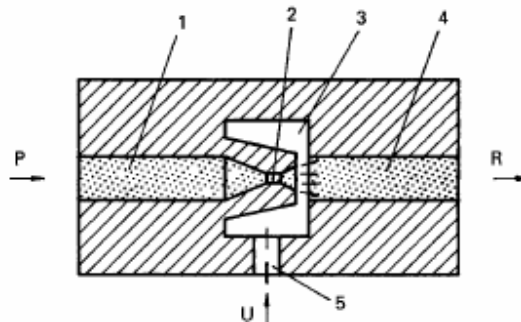


La principal ventaja de esta bomba estriba en que, por no existir roce entre el rotor y el estator, ya que el anillo de agua es el que roza con ambos, no hay prácticamente desgaste entre las piezas. El mismo anillo hace de lubricante y refrigerante. Como inconveniente presenta el calentamiento y evaporación del líquido, por lo que cada bomba consume una cierta cantidad de agua.



Tanto las bombas de paletas como las de anillo líquido utilizan motores eléctricos, por lo que resultan más costosas que otros sistemas generadores de vacío. Los rangos de capacidades de succión para estas bombas pueden oscilar entre 6 m<sup>3</sup> hora hasta 1600 m<sup>3</sup> hora.

Si los volúmenes de aire a evacuar no son excesivamente grandes ni los niveles de vacío a alcanzar demasiado elevados, se puede recurrir al uso de los generadores de vacío.



Los generadores de vacío o también conocidos como eyectores, son elementos que producen vacío o depresión de aire, y a diferencia de las bombas, no utilizan motores eléctricos, aprovechándose del denominado efecto físico conocido como efecto Venturi.

El aire a presión entra en el eyector procedente de la red (1)(dependiendo del grado de vacío, dicha presión puede oscilar entre 1,5 bares hasta 8 bares). Al llegar al punto (2), el aire se estrangula, aumentando considerablemente la velocidad. Ese aumento de velocidad crea una depresión en la cámara central (3) y en el conducto de vacío (5), que se aprovecha para realizar la extracción. Por último, el aire extraído sale por (4) junto con el aire a presión generador del vacío.

Los generadores de vacío son elementos de pequeñas dimensiones, no requieren de partes móviles (facilita el mantenimiento) y su instalación no presenta dificultad alguna. El único requisito necesario es conectarlo a una línea de aire comprimido.

### Accesorios para el vacío

En el laminado asistido por vacío, los elementos conectores de vacío (normalmente ventosas) son los encargados de extraer el aire encerrado en la bolsa, y conectan el sistema de extracción exterior (bombas o generadores de vacío) con el interior de la bolsa. Son



elementos que deben ser seleccionados con sumo cuidado, ya que una ventosa inadecuada o con defectos de estanqueidad puede estropear nuestro trabajo.

Normalmente constan de una placa base, una arandela de estanqueidad (de elastómero), y una placa de cierre. La placa de base presenta anillos concéntricos en relieve, que permiten una mayor estanqueidad con la junta.

La ubicación de las ventosas en el molde es otro aspecto a tener en cuenta, y deberán, en la medida de lo posible, colocarse en zonas donde posibles fallos queden ocultos.

Las mangueras que conectan las ventosas con el equipo de vacío deben poseer un diámetro acorde al volumen de aire que deseamos extraer, así como criterios de resistencia a altas temperaturas deben ser considerados si la pieza requiere de curado o postcurado. Las más utilizadas son aquellas construidas con mallas helicoidales de acero inoxidable o kevlar trenzado, recubiertas de silicona, y con conectores rápidos en sus extremos.

Los vacuómetros se utilizan para controlar el nivel de vacío en el interior de la bolsa; Las escalas utilizadas son bares o milímetros de mercurio. Existen modelos con glicerina en su interior para proteger la aguja de variaciones bruscas de movimiento. Tanto los vacuómetros secos como los que poseen glicerina en su interior no son aptos para trabajar a temperaturas superiores a 60°C, ya que sus componentes internos sufren dilataciones que pueden inducir a medidas erróneas del nivel de vacío. Si deseamos obtener lectura de los niveles de vacío por encima de dichas temperatura la solución pasa por utilizar sondas de lectura a distancia o un sistema de capilares.

Por último, las trampas de resina o filtros decantadores son mecanismos que evitan que los excesos de resina que fluyen por las mangueras lleguen al sistema de vacío, previniendo su inutilización. Normalmente se suelen construir en acero, y luego de cada laminado se limpian por si hubiesen quedado restos de resina en su interior.

### **Desarrollo del método.**

Una vez finalizado el laminado manual por contacto, y con suficiente tiempo antes de que comience el proceso de gelificación de la matriz polimérica (fase A), se disponen sobre el laminado los materiales que nos permitirán realizar el compactado, extraerán los

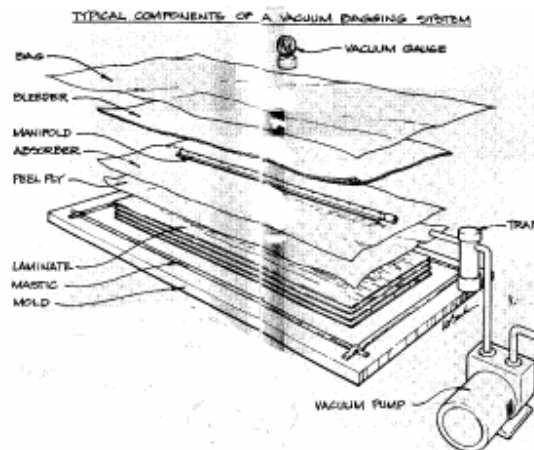


excesos de resina, evitarán que dichos materiales se queden adheridos a la pieza, facilitarán el desmoldeo y disminuirán las emisiones de elementos volátiles orgánicos al ambiente.

Estos materiales conjuntamente con su correcta utilización constituyen el secreto de la técnica. Estos son:

- Tejidos pelables (Peel-plies)
- Films separadores y films sangrados desmoldeantes
- Tejidos absorción / aireación (manta)
- Film de Nylon para bolsa vacío
- Masillas de cierre (Tacky-tape)

En la gráfica que sigue se puede observar su distribución sobre el laminado:



### Tejidos pelables

Los tejidos pelables son generalmente aplicados como último material en la secuencia del laminado. Están diseñados para ser extraídos de la superficie del laminado con suma facilidad, facilitando los procesos posteriores de adhesión secundaria, masillado o pintado, sin necesidad de abrasión mecánica previa.

Los tejidos pelables o peel plies, son tejidos que después de su proceso textil, son tratados para ofrecerlos libres de impurezas, permitiéndonos utilizarlos en contacto directo con el laminado, sin problemas de contaminación posterior.

Constituidos normalmente de poliamidas (nylon) o fibras de poliéster, suelen dejar una superficie ligeramente rugosa ideal para piezas que necesitan de un procesado posterior. Dichos tejidos actúan como protectores superficiales del laminado, y se recomienda retirarlos solamente cuando sea necesario.



Suelen presentarse en formatos comerciales de entre 60 y 80 g/m<sup>2</sup>, y deben seleccionarse de acuerdo al criterio de temperatura del proceso productivo. Existen en forma de rollos y cintas de diferentes anchos, y normalmente poseen un hilo de color que permite su identificación sobre la pieza una vez curada.

La mayoría de los tejidos pelables de poliamidas (nylon) tienen problemas con sistemas de matrices fenólicas, debido a la emisión de agua que producen las mismas, por lo que se recomienda el uso de los tejidos de poliéster.

#### Films separadores y sangradores desmoldeantes

Los films separadores son utilizados para separar el laminado del resto de materiales del proceso de vacío (desmoldeante).

Los films sangradores son los mismos films separadores pero perforados, siguiendo un patrón establecido, que permiten salir al exceso de resina que haya en el laminado. Los patrones de perforado se establecen de acuerdo al método productivo seleccionado. El diámetro de perforado va en función del flujo de resina excedente y dependerá de: la temperatura de curado, el sistema de matriz, la viscosidad de la resina, el tiempo de trabajo, la presión de compactación.

Todas estas consideraciones permitirán seleccionar el film sangrador adecuado que permita “salir“ el exceso de resina y al aire que hubiese quedado atrapado entre capas de laminado. Si su elección no se hace correctamente, podemos obtener malos resultados como laminados con alta tasa de porosidad (poca evacuación de aire, film sangrador con pocos agujeros) o bien laminados demasiado “secos” (film sangrador con demasiados agujeros o excesivamente grandes).

También hay films sangradores perforados que permiten salir solamente el flujo de gases pero restringen el paso de la resina, aunque esta fuese de baja viscosidad.

Entre otras características importantes acerca de estos films podemos mencionar su resistencia a altas temperaturas (de acuerdo al proceso de curado o postcurado), no aportan ningún tipo de contaminación al laminado, no dejan marcas, poseen alta elongación (acorde a la elongación del film de bolsa de vacío) y su coste es reducido.



### Tejidos de absorción /aireación

Los tejidos de absorción y aireación son tejidos sintéticos no entramados, normalmente constituidos de fibras de poliéster recicladas, razón por la cual presentan imperfecciones en su superficie.

Cumple básicamente dos funciones principales: la de permitir circular el aire atrapado por todo el interior de la bolsa, y la actuar como absorbente del exceso de resina que emana por acción de la presión de consolidación.

Atendiendo a criterios de presión y temperatura de trabajo, existe una extensa gama, que permite obtener tejidos desde presiones de trabajo de 1 bar hasta 14 bares, y temperaturas de hasta 430°C.

De bajo peso (alrededor de 140 gr/m<sup>2</sup>) y gran adaptabilidad, permiten adaptarse a formas complejas. No tiene propiedades desmoldeantes, por lo que deben ser separados del laminado mediante un tejido sangrador o película separadora perforada.

### Films de nylon para bolsa de vacío

Los films de bolsa de vacío son los encargados de sellar todo el laminado de materiales compuestos, incluidos el resto de fungibles de vacío anteriormente mencionados. Una vez sellado, se aplica vacío al laminado para que actúe externamente la presión atmosférica. Entre las características principales de dichos films podemos mencionar:

- Alta elongación (350%, 400%, hasta 750%), que ayuda a mejorar la calidad del laminado (mejor distribución de la presión).
- Resistencia a altas temperaturas.
- Compatibilidad con amplia gama matrices.
- Resistencia a los ataques por gases químicos durante el ciclo de curado.

Los films de vacío de nylon son higroscópicos, y el contenido de humedad actúa sobre ellos como un plastificante, teniendo influencia sobre sus propiedades mecánicas. Cuando su contenido de humedad es bajo, el film se vuelve rígido y quebradizo, y sus propiedades de alargamiento se deterioran. El film debe almacenarse en una sala donde la humedad relativa sea mayor del 55%; a valores inferiores de humedad, el film tiende a



perder “su” humedad, y con un 40% de humedad ambiente, el film perderá toda su humedad en menos de 24 horas.

Para recuperar y acondicionar de nuevo un film que ha perdido sus niveles óptimos de humedad, el rollo debe ser colocado en un ambiente húmedo durante 48 horas. Además, para un correcto almacenaje, la temperatura ambiente debe ser de 25°C como máximo, deben almacenarse lejos de fuentes de calor, y proteger siempre que sea posible el rollo envolviéndolo bajo un plástico que evite la pérdida de su contenido húmedo.

### Masillas de cierre

Las masillas de cierre se utilizan para proveer una junta entre el molde y la bolsa de vacío, que asegure estanqueidad.

Constituidas de una mezcla de caucho sintético combinado con cargas inertes, pastificantes y aditivos que les proporcionan adhesividad, deben ser formuladas para que su extracción del molde sea fácil y no deje impurezas ni residuos en el mismo después del ciclo de curado.

La selección de dichas masillas se realiza en función de la temperatura de curado y la presión de trabajo.

### **Ambiente de trabajo**

Los beneficios que se obtienen del método son numerosos. Las emisiones de estireno y elementos volátiles orgánicos se reducen considerablemente debido a que el laminado se encuentra confinado en una bolsa cerrada. Sólo se producen emisiones en la fase dinámica de impregnación, aunque debido a la metodología del proceso, dicha exposición es mínima comparada con los métodos tradicionales de laminado manual por secuencias y proyección simultánea.

No dejar de mencionar, sin embargo, que el ambiente de trabajo deberá cumplir con los requisitos mínimos establecidos por los fabricantes de los materiales respecto de temperatura y humedad ambiente, así como renovaciones de aire, iluminación e higiene del lugar de trabajo.



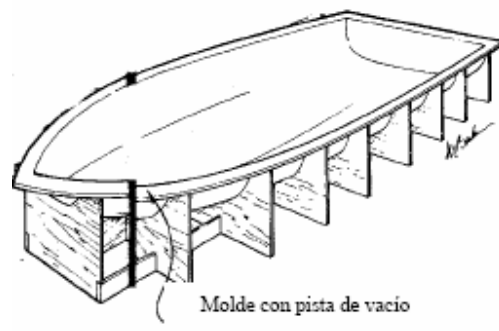


## Moldes

Existen infinidad de moldes que son aptos para la técnica de laminado por vacío. Los moldes pueden ser simples, planos, tableros rigidizados, o formas complejas con curvas compuestas. La mayoría de los moldes diseñados para otros métodos productivos son aptos para este método.

Las únicas consideraciones a tener en cuenta, ya sea para moldes nuevos o moldes recuperados, es que deben ser estancos (sin fugas) y deben poseer espacio suficiente (brida o pista de vacío) para poder cerrar la bolsa de vacío a una distancia que no comprometa el laminado.

Respecto de la presión atmosférica, decir que actúa equilibradamente en ambas caras del molde, por lo que no necesita refuerzos especiales, simplemente nos bastará con que el molde sea lo suficientemente rígido para soportar el peso del laminado.



## Ventajas del sistema

Entre las ventajas más importantes que proporciona el método podemos citar:

- Obtención de altos porcentajes de refuerzo comparado con los métodos tradicionales.
- Mayor densidad del laminado.
- Baja tasa de porosidad (contenido de burbujas).
- Mejor impregnación de las fibras debido a la presión y al flujo de resina a través de las fibras, con excesos retenidos en los materiales fungibles.
- Reducción de las emisiones de elementos volátiles emitidos durante el curado.
- Inversión relativamente baja en equipos.
- Adaptación de la mayoría de los moldes concebidos para otros procesos de fabricación.



- Las superficies interiores del laminado presentan mejor acabado superficial, con el consecuente ahorro de tiempo de preparación para operaciones posteriores.

### **Desventajas del sistema**

Sin embargo, el método también tiene una serie de inconvenientes:

- El coste de los materiales fungibles y de la mano de obra extra.
- Un alto nivel de habilidades es requerido por parte de los operarios.
- Mezclas y controles de contenido resina son aún determinados por la habilidad del operario.
- Dependiendo del tamaño de la pieza y del sistema de matriz utilizado, pueden presentarse problemas de tiempos de proceso (que no exista suficiente tiempo para impregnar toda la pieza sin que antes aparezcan zonas gelificadas).
- Si existe curado, para sistemas de matrices poliéster y viniléster se pueden presentarse problemas por niveles de vacío mayores de  $-0,33$  bares ( $-254$  mm Hg), debido a que el punto de inflación del estireno (diluyente principal) baja considerablemente bajo los efectos del vacío.
- Un exceso de evacuación de estireno modificará las propiedades físicas del laminado, por lo que debe prestarse atención especial al ciclo de vacío.

Por las razones expuestas anteriormente, es fundamental planificar previamente el trabajo con minuciosidad y realizar pruebas previas para obtener resultados satisfactorios.

### **Resultados**

La técnica del moldeo por vacío permite obtener materiales compuestos con mejores propiedades físicas y mayor calidad de estratificado que sus métodos predecesores. Así, los porcentajes de refuerzo-matriz obtenidos son más elevados que los obtenidos mediante métodos como laminado manual y la proyección simultánea. Las tasas de porosidad (contenido de burbujas en el interior del laminado) también se ven notablemente reducidas. Por lo tanto, dependiendo del grado de vacío conseguido, podremos alcanzar porcentajes de refuerzo del orden del 55% en la composición del laminado. No obstante, la técnica



requiere un conocimiento profundo de la misma, ya que un vacío excesivamente elevado sin controles adecuados podría dar lugar a fallos de falta de impregnación o zonas “secas” del laminado.

Por último, decir que la técnica del moldeo por vacío se utiliza en la actualidad en la construcción de grandes barcos de crucero y competición, así como en la adhesión de núcleos de estructuras sándwich para embarcaciones de producción.

### **11.5- Técnicas de moldeo por infusión**

#### Introducción

El problema de las emisiones de estireno es una cuestión actual para todos los transformadores de materiales compuestos. La vigente normativa europea obliga a reducir drásticamente los niveles de emisiones al ambiente, por lo que los empresarios buscan soluciones constantemente a esta problemática.

Las líneas de trabajo pasan por dos soluciones: una consiste en modificar los valores de estireno en las resinas (disminuirlo o sustituirlo por otros monómeros); la otra solución es modificar los procesos constructivos, pasándose fundamentalmente de los métodos de molde abierto a los métodos de molde cerrado.

La industria naval, dada las características de los productos que fabrica, restringe las alternativas de métodos de molde cerrado idóneos. La infusión es una alternativa perfectamente válida a los métodos tradicionales de molde abierto, que permite construir piezas de grandes dimensiones, con bajo coste y en la cual se pueden aprovechar la mayoría de los moldes ya existentes, con una reducción sustancial de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles al ambiente.

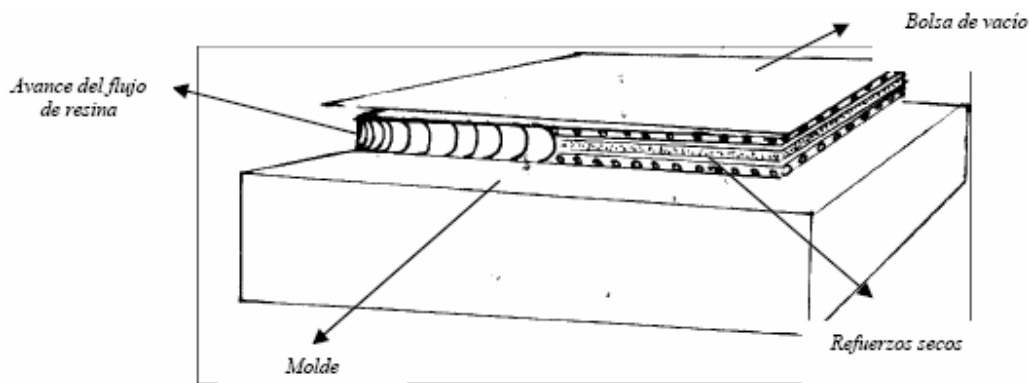
#### Concepto

El proceso consiste básicamente en disponer de las fibras de refuerzo secas sobre el molde. Si la pieza lo requiere, se puede pintar con gelcoat previamente. A continuación todo el conjunto es sometido a presión de vacío por medio de una bolsa, para extraer el aire atrapado entre capas de laminado.



Una vez compactado el laminado seco, se permite el paso de resina catalizada a través de mangueras estratégicamente distribuidas sobre todo el molde. La distribución de la resina sobre el laminado es ayudada por medio de las estructuras textiles que actúan como una membrana porosa.

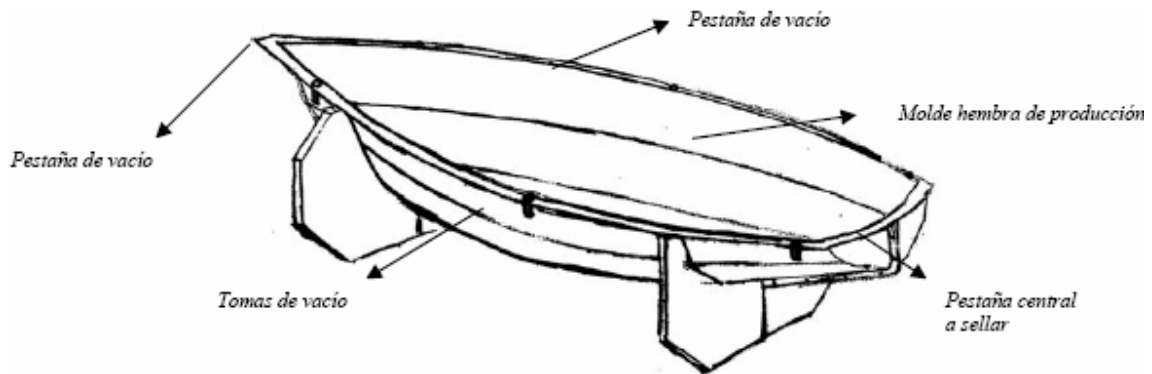
Una vez lleno de resina todo el conjunto, se mantiene bajo depresión hasta que se efectúe la polimerización de la resina. Dicha polimerización se realiza a temperatura ambiente, pero pueden reducirse los tiempos de curado mediante la aportación calor externo.



### Moldes

La ventaja del método de infusión es que permite reconvertir la mayoría de moldes de laminado por contacto en aptos para la infusión. Deben, no obstante, reunir unas características para asegurar el éxito del proceso:

- Que el molde sea estanco. Si el molde está constituido por partes, se colocarán juntas entre las diferentes particiones para permitir que funcione como un conjunto estanco.
- Que disponga de suficiente espacio para el reborde del sistema de sellado. La mayoría de los moldes convencionales disponen de pestañas o bridas, que sirven para este cometido. La anchura mínima recomendable es de 100 mm.
- Que sea suficientemente rígido para que no sufra deformaciones por efecto del vacío.
- Verificar que la resina utilizada no requiere de postcurado. De ser así, realizar pruebas de resistencia térmica del material del molde.

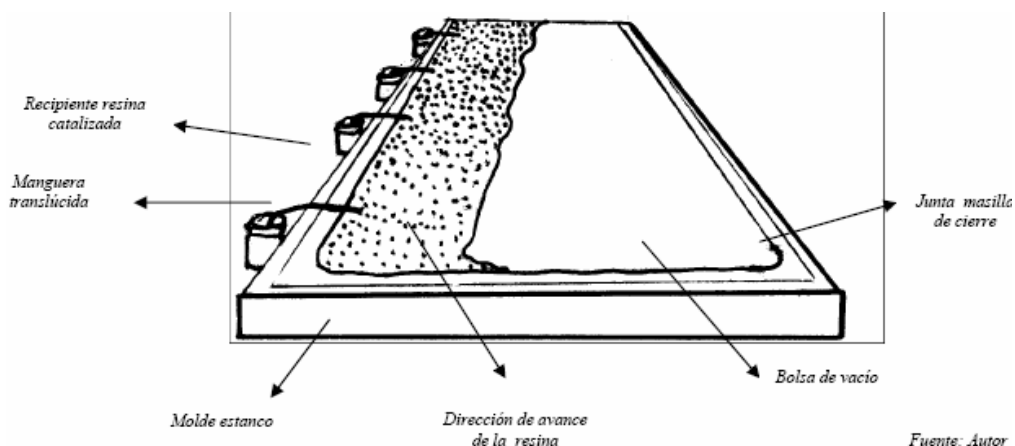


### Sistema de vacío y distribución de resina

El vacío necesario para el proceso puede obtenerse de bombas de vacío, ya sea estas de paletas flexibles o de anillo líquido, así como mediante generadores de vacío (eyectores). Debido a que los niveles de vacío necesarios no son elevados (entre  $-0.5$  y  $-0.8$  bar) el uso de eyectores se presenta como la solución más económica.

Es importante disponer de una trampa de resina por delante del sistema generador de vacío. La resina se distribuye en exceso sobre el laminado, para asegurarse que impregna todas las fibras, por lo que es normal que parte del exceso tienda a introducirse en el sistema de vacío.

La distribución de la resina sobre el laminado se realiza mediante mangueras traslúcidas de pequeño diámetro, colocadas en un extremo en un recipiente con resina catalizada y del otro extremo dispuestas sobre el laminado dentro de la bolsa de vacío. Dichas mangueras deben ser de material resistente a los agentes químicos que contenga la resina y ser capaces de resistir el nivel de vacío a aplicar (no se pueden estrangular).





### Materiales fungibles

A diferencia del laminado por vacío convencional, el método de infusión necesita de menos medios para realizar el proceso. Estos medios son:

- Tejidos pelables (Peel-plies)
- Film de Nylon transparente para bolsa vacío.
- Masillas de cierre (Tacky-tape)

El peel ply realiza las veces la función de canal distribuidor de resina y de medio de drenaje y evacuación del aire que existe atrapado en el interior del laminado. Una vez polimerizada la resina, actúa como barrera removible para extraer el exceso de resina que pueda haber quedado sobre el laminado.

La bolsa de vacío debe poseer buenas propiedades de elongación (400% - 600%) a efectos de que se adapte a la geometría de la pieza que se pretende realizar. Debe ser transparente para permitir controlar en todo momento el flujo de la resina y rectificar la distribución de la misma si se presenta algún problema. Debe ser resistente al estireno y otros agentes químicos.

La masilla de cierre cumple la función de junta estanca entre la bolsa y el molde. Debe ser resistente a los agentes químicos que contenga la resina y debe ser fácilmente extraíble una vez finalizado el proceso.

### Resinas

Las características más importantes de la resina serán su viscosidad, el tiempo de gel y la reactividad. La resina fluirá mejor cuando más baja sea su viscosidad, aunque viscosidades excesivamente bajas pueden provocar la entrada de aire en el laminado. Por el contrario, si la viscosidad es elevada, los tiempos de llenado pueden tornarse largos, con riesgos de que aparezcan zonas secas de resina por insuficiencia de impregnación. Los valores de viscosidad para resinas de infusión se encuentran en el rango de 150 cps a 300 cps; con tales valores se consigue un buen compromiso entre tiempo de llenado y calidad del laminado.



### Materiales de refuerzo

En la elección de los materiales de refuerzo se debe lograr un compromiso entre las propiedades del producto final y las características del material de refuerzo que permitan una buena fluidez de resina en el menor tiempo. Por lo tanto se debe hacer una combinación de materiales.

Generalmente se colocan los materiales con mejores propiedades de fluidez en el centro del laminado, para crear una capa de flujo (normalmente son los materiales que tiene menores propiedades mecánicas) y los materiales resistentes se colocan en los extremos del laminado.(encima y debajo)

Los materiales concebidos especialmente para infusión combinan las dos propiedades mencionadas. Suelen constar de una capa de material que facilita el flujo cosida con dos capas de material con mejores propiedades mecánicas en los extremos.

### Materiales de núcleo

La mayoría de materiales que se utilizan como núcleos en la construcción de estructuras sándwich son aptos para los procesos de infusión. No son recomendables aquellos que sean excesivamente porosos como el coremat o aquellas espumas que no sean de celda cerrada, debido a que favorecen una absorción mucho mayor de resina y por lo tanto, contribuyen a aumentar el peso de la estructura.

Los materiales de núcleo ranurados deben ser cuidadosamente seleccionados. Un rasurado excesivo provoca un aumento de peso por exceso de resina, y puede provocar también contracciones de la resina por un excesivo pico exotérmico.

Las transiciones entre las pieles interior / exterior del laminado sándwich deben ser graduales para evitar zonas abundantes de resinas. Los ángulos deben ser suaves para evitar cambios bruscos en el laminado y que conduzcan a concentraciones de tensiones. Si se utilizan materiales naturales como elementos de núcleo, ( madera balsa, contrachapado, etc) asegurarse de que sean previamente impregnados con resinas para evitar una excesiva absorción de resina.



### Distribución del la resina

Las resinas de infusión deben tener una baja viscosidad para permitir que fluyan de la mejor manera sobre el laminado. Este proceso debe estar acompañado de una correcta distribución de los puntos de alimentación de la resina. De nada sirve tener una resina con un extenso tiempo de gel si no hacemos una correcta distribución de los puntos de alimentación; inclusive podrían quedar zonas secas de resina, cuestión que se presenta como un enorme problema puesto su reparación se antoja dificultosa, y la pieza probablemente debería ser descartada por completo.

Lo que se intenta conseguir es el llenado lo más rápidamente posible del molde. Por lo tanto, la distancia a recorrer por la resina debe ser la más corta posible.

La distribución interna de la resina se puede conseguir por tres principios:

- a. Distribución a través de conexiones
- b. Flujo a través de canales precortados en el núcleo (si es estructura sandwich)
- c. Flujo de resina través de una malla.

*Distribución a través de conexiones:* para resinas poliéster y viniléster, una longitud de flujo razonable es del orden de 50 a 80 cm para 30 minutos (tiempo de gel). Si las superficies a cubrir son más amplias, no se puede impregnar toda la pieza a través solamente del refuerzo, puesto que habría zonas a las cuales la resina no arribaría por una cuestión de tiempos. Es necesario entonces realizar conexiones adicionales que permitan cubrir estas zonas alejadas de los puntos de infusión periféricos o puntuales.

*Flujo a través de canales precortados en el núcleo:* Los ranurados que presentan muchos materiales de núcleo nos pueden servir para realizar una mejor distribución de la resina. Existen materiales core preparados especialmente para infusión, y deben colocarse siempre de acuerdo con la dirección del flujo de resina.

*Flujo de resina través de una malla:* La distribución de la resina es mejorada por la adición de una red o malla sobre el peel-ply, actuando como un canal de distribución de la resina. Esta malla es removida una vez la pieza está curada. (método SCRIMP).





En lo que respecta a la alimentación externa de la resina, existen tres formas contrastadas de realizarlo:

- Inyección puntual
- Canal de flujo lateral
- Inyección periférica

*Inyección Puntual:* El punto de alimentación de la resina se encuentra en el centro de la cavidad del molde y el aire es evacuado mediante tomas de vacío por los bordes de la bolsa. Es el método más lento de llenado del molde, pero requiere menor cantidad de resina. Es el método recomendado para piezas de pequeñas dimensiones.

La resina catalizada es colocada en un recipiente alejada del molde; la alimentación de resina se realiza por el centro del molde, mediante una manguera traslúcida o transparente. El vacío se realiza por toda la periferia del molde. Es importante que no existan fugas de la bolsa puesto que este método es el más lento de los tres estudiados, y cualquier pérdida retardaría aún más el proceso, con riesgo de que queden zonas secas de resina por un nivel de vacío inadecuado.

*Canal de flujo lateral:* La alimentación de la resina se realiza por un lateral y avanza como un frente hacia el otro lado del molde, por donde se realiza la evacuación del aire ocluido. Debe elegirse cuidadosamente los materiales que actuarán como canales de flujo y debe prestarse especial atención a la orientación que se le dé a los mismos. En este método los recipientes de resina se encuentran solamente en uno de los lados del molde. La dirección del flujo es en un solo sentido, hacia la zona donde se realiza la extracción por medio del sistema de vacío.

Este método es el más apropiado para piezas esbeltas y piezas estrechas, puesto que la resina tiene que recorrer un camino más corto.

*Inyección periférica:* La resina es colocada en recipientes en los bordes de la bolsa de vacío, propagándose hacia el interior del molde. La evacuación del aire del interior del molde se realiza por el centro de la cavidad del mismo. Este método es casi 10 veces más rápido que la inyección puntual, con lo que es el más recomendable para las resinas que tengan tiempos de gel cortos, como las poliéster y viniléster. Su desventaja más



significativa es que requiere de una mayor cantidad de resina, y buena parte de este exceso luego debe ser eliminado mediante operaciones de saneamiento.

### Ventajas

- Reducción de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Buenas propiedades mecánicas. contenidos fibra-resina elevados
- Reducción de uniones secundarias (one shot)
- Mayor calidad de laminado. menor dependencia del operario
- Baja inversión en moldes, posibilidad de reconvertir los moldes de proceso abierto
- Menor tiempo de producción
- Organización de la producción por zonas
- Reducción residuos
- No existen limitaciones de tamaño de pieza
- Ambiente de trabajo más agradable, menos cargado y en general más pulcro
- Costes más bajos para piezas de mayor tamaño y sencillez

### Desventajas

- Mayor coste equipos auxiliares
- Coste extra de materiales fungibles (peel ply, bolsa, etc)
- Conexiones y mangueras para resina no reutilizables
- Coste elevado para piezas pequeñas y complicadas, mayor tiempo
- Dificultad de obtención de espesor constante, excesos de resina que deben ser removidos
- Mayor tiempo de saneo de la pieza

### Conclusión

Dentro de las tecnologías denominadas de nueva generación, la infusión es un método sencillo, rentable económicamente pero aún falta de desarrollo para el sector naval. Aprovecha muchas de las herramientas existentes de métodos tradicionales de molde abierto, y permite obtener piezas con mejores propiedades físicas y mecánicas que aquellos.



Considerando las restricciones que obliga la normativa europea respecto de protección medioambiental, podríamos decir que la infusión es la alternativa más válida a los moldes abiertos con un coste razonable.

### **11.6 – Control de calidad**

Los ensayos sobre los materiales que constituyen una pieza nos proporcionan una base de referencia para poder realizar comparaciones entre diferentes tipos de materiales. Otorgan una primera idea de las prestaciones de los mismos, pero por lo general, debido a las complejas prestaciones a las que se encuentran sometidas las piezas, sólo nos proporcionan evaluaciones parciales de sus propiedades.

Estos ensayos no sólo deben estar orientados a analizar el producto final, sino que deben contemplar también las fases de recepción y de fabricación, a efectos de minimizar los posibles fallos.

Los controles de recepción se efectúan para comprobar que las características de la materia prima recibida corresponden con las especificaciones del producto otorgadas por el fabricante. Durante el almacenaje de la materia prima se deben efectuar controles periódicos para comprobar que se cumplan todas las condiciones de almacenamiento y seguridad de cada producto.

Durante la fase de transformación deberán cumplirse los requisitos ambientales, sanitarios y de proceso para asegurar la buena calidad final del producto.

Sobre la pieza terminada se efectuará un control final que garantice que la calidad de la pieza es acorde con sus especificaciones.

Para elaborar estas inspecciones se necesitan herramientas como los métodos normalizados de ensayo. Los resultados de estas inspecciones deben registrarse en todas las fases que atraviesa el producto, puesto que servirán para confeccionar un registro con el historial del producto así como base de mejora de la calidad del mismo.

Así, debemos diferenciar los diferentes modelos de ensayo a realizar de acuerdo con las fases que atraviere la pieza:

1. Ensayos de control de calidad para materias primas
2. Ensayos de control de calidad para piezas terminadas



### 11.6.1-Ensayos de control de calidad para materias primas

#### **Ensayos para gelcoats**

Los siguientes ensayos son los más realizados, tanto por transformadores como por laboratorios, a efectos de contrastar la calidad de los productos.

*Reactividad:* Consiste en determinar el tiempo de gel, en minutos, para 100 g. de gelcoat a una temperatura de 25°C catalizado con un 1,8% de P MEC. La prueba se realiza con un gelímetro. Se deben registrar las temperaturas máximas y los tiempos en conseguirlas.

*Índice de tixotropía:* Se realizan medidas con un viscosímetro rotativo que permita trabajar a diferentes velocidades y móviles. El índice es una unidad adimensional, y consiste en el resultado de dos medidas de viscosidad a diferentes velocidades del viscosímetro. Gel cotas de proyección (móvil nº 4) : Viscosidad a 2 rpm /Viscosidad a 20 rpm Gelcoats de brocha ( móvil nº 5) : Viscosidad a 5 rpm / Viscosidad a 50 rpm

*Viscosidad:* La viscosidad es la resistencia al flujo que se presenta en el seno de un material. Mediante la utilización de un viscosímetro de torsión, se mide el par resistente en un rotor que gira a una cierta velocidad constante.

Para gelcoats de proyección, se utiliza el móvil nº 4 y la velocidad es de 4 rpm durante dos minutos. Para gelcoats de brocha, se utiliza el móvil nº 5 y la velocidad es de 5 rpm, durante dos minutos. El resultado se expresa en mPa.s o centipoises.

*Color:* Mediante un control visual y comparando con un patrón determinado, se realiza el ensayo en una cabina de comparación de color con diferentes fuentes de iluminación normalizadas.

*Poder cubriente:* El ensayo se realiza a fin de determinar el espesor mínimo aceptable de gelcoat que cubra una superficie sin traslucir el estratificado.

Se coloca un cartón con motivos de contraste y se coloca una pequeña cantidad del gelcoat seleccionado. Se dispersa el gelcoat sobre la cartulina con un aplicador de gradiente. Y luego se mide el espesor con una galga de espesores en la zona donde no deja traslucir el motivo del cartón de contraste.



*Resistencia al descuelgue:* Se mide para determinar si la tixotropía del materiales es la adecuada.

Se pega una banda adhesiva sobre un cristal vertical. Se proyecta el gelcoat sobre la cinta adhesiva con un espesor de 450  $\mu$  y se retira la cinta. Una vez curado el gelcoat se miden los milímetros que se ha escurrido el gelcoat desde la línea de la cinta adhesiva.

*Presencia de porosidad:* Este ensayo se realiza para evaluar la posible presencia de aire ocluido o poros en la superficie del gelcoat.

Si se pretende evaluar la porosidad superficial, se pinta con un rotulador la superficie del gelcoat y se remueve la tinta con un trapo humedecido con disolvente. Con una lupa se observan las zonas porosas, que se presentan como puntos de tinta sobre la superficie. Si se pretende evaluar el aire ocluido debajo de la película de gelcoat, se lija primero la superficie con papel abrasivo. Luego se pinta con rotulador y se remueve la tinta con un trapo humedecido con disolvente. Con una lupa se observan las zonas porosas.

### **Ensayos para las resinas**

*Viscosidad:* La viscosidad es la resistencia al flujo que se presenta en el seno de un material. Mediante la utilización de un viscosímetro de torsión, se mide el par resistente en un rotor que gira a una cierta velocidad constante. El modelo más utilizado es el viscosímetro Brookfield.

Dependiendo de la viscosidad teórica de la resina se utilizan móviles y velocidades de rotación diferentes. Los resultados se expresan generalmente en mPas o centipoises,

*Extracto seco:* El ensayo de extracto seco se utiliza fundamentalmente para determinar la cantidad de monómero que contiene una resina o un gelcoat. Se introduce el material en un recipiente en el interior de una estufa a una temperatura superior al punto de ebullición del disolvente. Una vez evaporado el mismo, se vuelve a pesar el resultado para determinar el porcentaje de disolvente evaporado.

*Tiempo de gel:* el ensayo se realiza para determinar el tiempo de trabajo de una resina. Existen dos métodos de realizar el ensayo; uno en caliente, mediante un baño termoestático de 82°C y otro en frío a 25°C. En ambos casos se utiliza un gelímetro que se



detiene cuando la viscosidad del material se torna tan elevada que no permite girar a las palas del instrumento. El tiempo de gel obtenido se expresará en minutos.

*Densidad / peso específico:* Se colocan las muestras de resina en un baño a 25°C y se determina la relación de masas.

*Índice ácido:* Este análisis se utiliza fundamentalmente para comprobar la uniformidad de los lotes de resinas y para determinar el avance de la reacción durante la cocción. Los valores del índice pueden oscilar entre 3 y 60. Es el número de mg de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los grupos ácidos en un gramo de producto.

*Dureza:* La dureza de una resina pone de manifiesto el grado de curado (reticulación) de la misma. La medida de la dureza de las resinas se realiza generalmente mediante un durómetro en la escala Barcol, y sirve también para realizar tests comparativos de dureza entre diferentes resinas curadas.

El durómetro Barcol mide la resistencia a la penetración de una punta de aguja en una escala de 0 a 100.

*Ensayos de color:* La mayoría de ensayos de color acerca de las resinas consisten en compararlos con estándares conocidos o mediante superposición de colores calibrados hasta obtener un color similar.

### **Ensayo para materiales de refuerzo**

Los métodos de ensayo para los materiales de refuerzo se basan en ensayos de tracción de las fibras, bien sean estas secas o impregnadas de resinas. Generalmente la resistencia se determina para laminados unidireccionales en los cuales se debe conocer con antelación el porcentaje de volumen de refuerzo. Así se obtienen el módulo de tracción y la deformación a la rotura.

Existen otros ensayos menos conocidos, pero no por ello menos importantes, que se le realizan a los materiales de refuerzo; Ensayos se deben realizar en laboratorios y por personal científico, y que son los siguientes:

Determinación de contenido de apresto

Determinación de materia combustible



Determinación del espesor medio, bajo carga y recuperación después de la compresión

Determinación del diámetro medio de fibras o filamentos

Determinación de la humedad

Determinación de la torsión.

En el área de manufactura se deben realizar inspecciones visuales de las estructuras textiles, observando con detenimiento la regularidad del tejido, ausencia de manchas o cuerpos extraños, discontinuidades del material, etc.

Los controles de masa superficial (gramaje) se pueden realizar por un simple pesado de una muestra del material con una superficie determinada.

#### 11.6.2-Ensayos de control de calidad para piezas terminadas

##### **Ensayos destructivos**

##### Ensayos químicos y físicos

*Densidad:* La densidad se determina obteniendo el peso en seco de una probeta de un mínimo de 1 cm<sup>3</sup> y luego sumergiéndola en agua y pesándola nuevamente.

Contenido de resina: existen dos métodos fundamentales: disolución en ácido y calcinación; la disolución del composite se realiza en un medio que no ataque excesivamente la fibra. Una vez disuelta la resina, se filtra y seca la fibra obtenida para su posterior pesado final. La calcinación se realiza en una mufla de laboratorio en el cual la probeta es sometida a una temperatura superior al punto de fusión de la resina pero inferior de la temperatura de oxidación de la fibra. Con ello logramos eliminar la resina para posteriormente realizar un nuevo pesaje, determinando el contenido de material de refuerzo de la probeta.

Resistencia a deformaciones térmicas:



I. *Termogravimetría*: Se mide la alteración del peso de una probeta de material compuesto bajo el aumento de temperatura. Cuando se llega a la temperatura límite de aplicación del material, se produce un cambio abrupto del peso de la muestra.

II. *Fallo a fatiga por torsión*: Este ensayo se utiliza para determinar la temperatura de descomposición de las matrices termoestables, para establecer la resistencia térmica del material y para determinar las características mecánicas del composite en un abanico de temperaturas.

III. *Temperatura Vicat*: Se coloca la probeta de material compuesto en un baño de glicol a temperatura uniforme; Luego se coloca una aguja de acero sobre la probeta que se encuentra cargada por el extremos superior con un peso; La temperatura a la cual la aguja de acero penetra 1 mm en el interior de la muestra determina la temperatura de aplicación que soporta un polímero sin deformarse por su propio peso. Esta temperatura es conocida como temperatura Vicat.

IV. *Temperatura de distorsión bajo carga (HDT)*: determina la temperatura a la cual la probeta sufre una deformación convencional bajo una carga determinada de flexión por tres puntos , como consecuencia de una elevación programada de la temperatura.

*Calorímetro diferencial de barrido (DSC)*: Determina las transiciones térmicas de los polímeros en un rango de temperaturas entre  $-180^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$ , aplicando velocidades de calentamiento lineales, que permite obtener controladamente una historia térmica de la muestra.

### **Ensayos mecánicos**

*Resistencia a la tracción*: El ensayo de tracción constituye el indicador más importante de la resistencia del material. De él se obtienen valores de resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad. El ensayo se realiza bajo una sollicitación monoaxial, y puede ser realizado para láminas de unidireccionales como para para tejidos y fieltros; el ensayo puede ser realizado en la dirección de las fibras como perpendicular a ellas (resistencia transversal).





*Ensayo de compresión:* La resistencia a la compresión se determina a partir de la presión necesaria para romper la muestra o para deformarla y reducir su altura hasta un determinado nivel. Se obtienen del mencionado ensayo los valores de resistencia a la compresión y la rigidez del material.

*Resistencia a la flexión de tres puntos:* La probeta del material compuesto se coloca apoyada en sus extremos y se le aplica mediante un punzón una fuerza en el centro, hasta producir su rotura. Se utiliza para determinar el módulo de flexión y la resistencia al cizallamiento interlaminar. El módulo de flexión es un elemento característico de la rigidez del material. Existen ensayos en la dirección de las fibras como ensayos perpendiculares a las mismas.

*Ensayo de flexión / impacto:* Con un martillo de péndulo se golpea una probeta por el centro, estando ésta apoyada en sus extremos. Los valores de resistencia al impacto obtenidos son útiles para comparar diferentes tipos y calidades de materiales. Estos valores se utilizan como base de cálculo cualitativo exclusivamente.

### **Ensayos no destructivos**

*Inspección Visual:* es la técnica más sencilla y económica, aunque sólo es aplicable a los materiales compuestos traslúcidos. Depende en gran medida de la capacidad y experiencia del observador, el ángulo de incidencia de la luz, la fuente de iluminación, el espesor del laminado, etc. Los defectos tales como porosidad, delaminaciones, zonas sin adecuada impregnación, inclusiones, pueden detectarse mediante una inspección visual.

En aquellos materiales que no sean traslúcidos o presenten un recubrimiento superficial, esta técnica sólo permite detectar fallos superficiales. Estos daños superficiales deben ser estudiados con mucha cautela ya que muchas veces no son indicadores válidos del verdadero estado interno de la pieza.

*Métodos mecánicos:* Los métodos mecánicos de inspección no destructiva se utilizan para verificar las características mecánicas de una pieza, generalmente mediante comparación con otra pieza libre de defectos. El método más utilizado es el ensayo a flexión. Consiste en aplicar una carga determinada a la pieza a efectos de detectar fallos como variaciones de contenidos de matriz, desalineación de fibras de refuerzo, o fallos de



manufactura que provocan una disminución de las propiedades de la pieza. Este método es utilizado frecuentemente como control intermedio durante la fabricación.

*Métodos acústicos:* En los métodos de ensayo no destructivos acústicos se emiten ondas sonoras sobre la pieza de material compuesto desde el exterior de la misma, y debido a los diferentes efectos físicos que se producen se pueden detectar los fallos sobre la pieza objeto de ensayo. A diferencia de los materiales isotrópicos, los materiales compuestos presentan problemas de dispersión de ondas debido a las diferentes orientaciones de los refuerzos.

El método más conocido es el de ultrasonidos. Consiste en un emisor que envía una señal ultrasónica (frecuencias por encima de 20 kHz) a través de la pieza, en cuyo interior la señal se dispersa, se refleja o absorbe, y regresa a un receptor. Cualquier cambio en las propiedades acústicas del material, afecta a la onda que lo atraviesa. Estos pulsos son registrados en un transductor- receptor y son representados en un sistema gráfico. Debido a que los ultrasonidos de alta frecuencia no se propagan por el aire, es necesario un medio de acoplamiento líquido, generalmente agua o glicerina.

*Métodos radiológicos:* Los métodos de ensayo por radiación consisten en la emisión de electrones desde un ánodo; el cuerpo objeto del ensayo es atravesado por los electrones y absorbe una buena parte de los mismos. Los rayos-X son absorbidos diferencialmente al pasar a través de un material de acuerdo con el número atómico de los elementos.

Dependiendo del espesor del laminado, la radiación puede ser absorbida, dispersada o reflejada. De esta manera las zonas que presentan fallos se presentan como visibles. Con esta técnica se pueden detectar porosidad, aire ocluido, presencia de cuerpos extraños, distribución de la fibra y fallos de laminación. Este método no permite determinar la fracción de en volumen de fibra.

*Métodos térmicos: Termografía:* El material compuesto es sometido a un calor uniforme. Cuando se presentan defectos en el mismo, el diagrama de flujo de calor a través de la estructura se ve alterado, presentando gradientes de temperatura. La termografía es el mapa de gradientes térmicos de las superficies, y se obtiene utilizando una cámara de infrarrojos para grabar esta distribución de temperaturas. Existen métodos pasivos, cuando



la fuente de calor es externa, o activos, en los cuales se generan reacciones exotérmicas o endotérmicas internas.

*Métodos eléctricos:* Mediante campos eléctricos o magnéticos se generan reacciones físicas en las piezas, y mediante sensores se registra la reacción de respuesta. Los métodos más conocidos son los de corrientes parásitas y de medición dieléctrica.

*Métodos ópticos: fibras ópticas:* Este método debe preverse con antelación a la fabricación de la pieza, puesto que es necesario incluir en el estratificado una malla de fibras ópticas distribuida regularmente en el interior del mismo. Dicha malla formará parte de la estructura, por lo que la selección de las fibras de la malla debe analizarse detenidamente.

Mediante emisión de señales de prueba y a través de sofisticados equipos informáticos se pueden conocer al instante el tipo de daño y su ubicación dentro del laminado. La señal luminosa de las fibras ópticas se ve modificada por cualquier microplegamiento de la misma producida por algún fallo en la estructura del estratificado. La ventaja fundamental de este método radica en que es capaz de localizar los defectos y suministra información de magnitud del fallo cuando la pieza se encuentra en servicio.

## **11.7- Higiene, seguridad y medio ambiente**

### **Introducción**

El ejercicio de toda actividad industrial incurre en algún tipo de riesgo para las personas. La salud y la seguridad son hoy en día, pilares fundamentales de las organizaciones industriales, y cada uno de los empleados que conforman la organización comparte estas responsabilidades.

Una de las facetas que rodea la relación del hombre con el medio que lo rodea es el trabajo. El trabajo es la actividad que desarrolla un ser humano encaminada a conseguir el desarrollo mental y social de sí mismo, que le permite mejorar su calidad de vida y le genera satisfacción personal.



La realización de este trabajo, también tiene implicaciones negativas: trae consigo la posibilidad de que su salud sufra daños debido a diversas condiciones en las que se desarrollan ciertas actividades laborales.

Para poder prevenir estas condiciones perjudiciales a la salud, se debe tener bien identificadas estos riesgos y actuar en consecuencia. Los procedimientos para la gestión de los riesgos laborales nos permiten identificar estos riesgos, valorarlos, redactar los métodos preventivos y extraer conclusiones de lo eficaces que son a través de la medición de resultados.

### **Definiciones**

*Salud:* Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se define como el estado completo de bienestar físico, mental y social y no como la ausencia de enfermedad. Por lo tanto, existe una estrecha vinculación entre trabajo y salud.

*Salud Laboral:* Aquella cuya finalidad es la de fomentar y mantener el más alto nivel de bienestar físico, psíquico y social de los trabajadores; Prevenir los daños y proteger contra los riesgos para su salud. También significa asignar a un trabajador una tarea que sea acorde a sus aptitudes psicológicas y fisiológicas.

*Riesgo laboral:* Se define como riesgo laboral a la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. (enfermedades, patologías u otras lesiones)

*Condiciones del trabajo:* Cualquier característica del trabajo que pueda tener influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores. Son, entonces, condiciones de trabajo:

- Las características del local donde se realiza la actividad.
- Las instalaciones y equipos del mismo.
- Los productos y útiles presentes en el centro de trabajo.
- La naturaleza de los agentes químicos, biológicos y físicos presentes en el ambiente de trabajo.
- Los procedimientos que influyan en la generación de riesgos.
- Características del trabajo relativas a la organización y ordenación que influyan en la magnitud de los riesgos a los que se expone el trabajador.



*Factores de riesgo:* Son el conjunto de elementos o variables presentes en el trabajo y que pueden ocasionar una disminución del nivel de salud del trabajador. Cada actividad o trabajo posee unos factores de riesgo diferentes.

*Técnicas de prevención:* El conjunto de medidas y actividades adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo. Las técnicas específicas de prevención son las siguientes:

- Seguridad en el trabajo
- Higiene laboral
- Medicina del trabajo
- Psicología
- Ergonomía

*Daños profesionales:* Cuando se materializa la posibilidad de perder la salud como consecuencia del trabajo aparecen los daños profesionales. Las consecuencias de estos daños profesionales se determinan en forma de accidentes de trabajo o en enfermedades profesionales.

*Accidente de trabajo:* Toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecute.

*Enfermedad profesional:* La contraída a consecuencia del trabajo ejecutado.

### **Factores de riesgo**

La evaluación de los riesgos laborales se produce determinando la magnitud de los riesgos que no se pueden evitar, recabando la información disponible para adoptar medidas preventivas y conformando el tipo de actuaciones necesarias.

El procedimiento puede resumirse en tres puntos básicos:

- Clasificación de las actividades de trabajo
- Análisis de riesgos
- Plan de control de riesgos



Para poder desarrollar el procedimiento de evaluación de los riesgos laborales es necesario poder identificar los factores de riesgo presentes:

1. Factores de riesgo presentes en las condiciones materiales del ejercicio del trabajo
2. Factores de riesgo presentes en la organización del trabajo
3. Factores de riesgo presentes en el entorno físico

Los factores de riesgo presentes en las condiciones materiales del ejercicio del trabajo son las relacionadas con las máquinas y equipos de trabajo, estado del puesto de trabajo, condiciones de instalación, uso y mantenimiento.

Los factores de riesgo presentes en la organización del trabajo son los concernientes a la jornada laboral, ritmo de trabajo y relaciones de trabajo. Los factores de riesgo presentes en el entorno físico son aquellos relacionados con las condiciones ambientales donde se ejecuta el trabajo.

Por entender que los factores de riesgo (1) y (2) son propios de cada empresa y obedecen fundamentalmente a lineamientos económicos y políticos de cada organización, nos centraremos en analizar los factores de riesgo comunes presentes en el entorno físico relacionados con las industrias de construcción naval. Analizaremos pues, lo relativo a factores específicos de riesgo como contaminantes químicos, que pueden dar origen a enfermedades profesionales.

### **Contaminantes químicos**

*Contaminante químico* es toda sustancia formada por materia inerte que durante los procesos de fabricación, manipulación y uso puede unirse al aire en forma de vapor, gas, humo o polvo con efectos significativos para la salud del trabajador. Estos contaminantes pueden tener entrada en el organismo vía respiratoria, vía digestiva, vía dérmica o vía parenteral (heridas).

Analizando los efectos que pueden producir sobre el organismo del trabajador, estos contaminantes químicos se pueden clasificar en:

- Irritantes y alérgicos
- Anestésicos y narcóticos



- Cancerígenos
- Neumocotonióticos
- Asfixiantes

Los contaminantes químicos irritantes y alérgicos son aquellos que producen irritaciones y/o inflamaciones en las zonas del cuerpo que se encuentran en contacto con el contaminante.

Los contaminantes químicos anestésicos y narcóticos son aquellos que actúan como depresores del sistema nervioso central. Los contaminantes cancerígenos son aquellos que producen un crecimiento desordenado de las células.

Los contaminantes neumocotonióticos son aquellas sustancias sólidas que se depositan en los pulmones produciendo neumopatía.

Por último, los contaminantes asfixiantes son aquellas sustancias que impiden la llegada de oxígeno a los tejidos. Así pues haremos un breve repaso a los principales agentes contaminantes químicos que constituyen riesgos para la salud de los trabajadores que manipulan con frecuencia materiales compuestos en el ámbito de astilleros.

Las recientes normativas medioambientales vigentes para la Comunidad Europea establecen nuevas clasificaciones de sustancias y dictaminan directrices referentes a la utilización de las mismas en todas sus fases (producción, negocio y transformación). Dentro de estas normativas se incorpora la reducción de los compuestos orgánicos volátiles (VOC), entre los cuales se haya el estireno.

### Estireno

El estireno se utiliza fundamentalmente en las resinas de poliéster como en las resinas de viniléster y constituye la principal fuente de polución de una fábrica de composites. Cumple dos funciones básicas: interviene como diluyente regulador de la viscosidad y actúa como reticulante. El poliéster necesita del estireno para su curado. El estireno, como es un líquido, puede evaporarse. Al evaporarse en grandes cantidades puede afectar seriamente la salud los trabajadores y puede contaminar el medio ambiente.

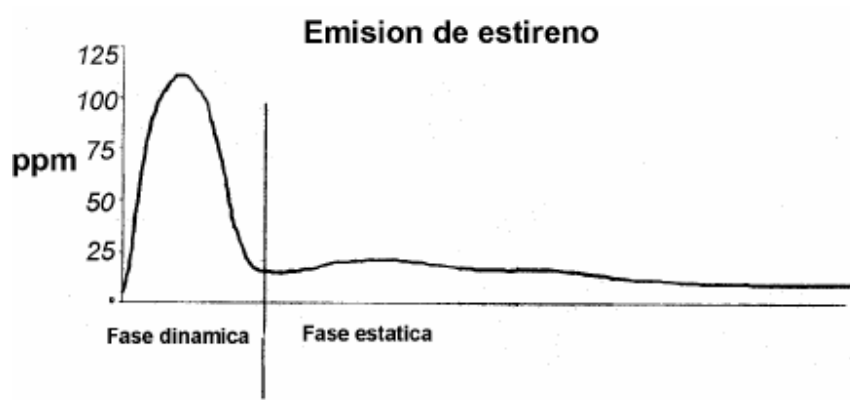
Esta evaporación del estireno se produce en dos facetas bien diferenciadas:



- Evaporación en fase dinámica
- Evaporación en fase estática

La fase dinámica ocurre cuando se ha realizado la mezcla de catalización de la resina y se encuentra ésta todavía en estado líquido. Es la fase donde se produce la mayor evaporación del estireno y ocurre cuando se aplica un gelcoat por pulverización, se aplica una resina por proyección o bien cuando se produce el laminado por compactación. En esta etapa la superficie de la resina está siendo continuamente perturbada y las emisiones son elevadas y difíciles de controlar.

La fase estática o de curado se produce una vez el laminado se ha finalizado y la resina se encuentra en estado de gel, momento que se produce un aumento de temperatura fruto de la reacción exotérmica. Este aumento de temperatura acelera la evaporación del estireno. Podríamos decir entonces que la resina está en reposo, y las emisiones de estireno son más reducidas.



### Catalizadores

En la industria de los composites, los catalizadores más utilizados son generalmente peróxidos orgánicos, tales como el peróxido de metiletilcetona y peróxido de benzoilo. Son altamente inflamables y pueden descomponerse de forma explosiva bajo ciertas condiciones de manipulación y almacenamiento.





Para determinar su peligrosidad se hallan clasificados por diferentes características como punto de inflamación, estabilidad, velocidad de combustión, punto de inflamación, sensibilidad al choque y sensibilidad al calor.

Existen una serie de recomendaciones generales para el uso y manipulación de los catalizadores. No obstante, siempre conviene consultar las recomendaciones específicas de cada fabricante. Estas recomendaciones de índole general se describen a continuación:

- Trabajar siempre con protecciones, puesto son productos irritantes y pueden producir quemaduras en la piel.
- Almacenar aisladamente de otros productos.
- Poseer un área independiente para realizar la dosificación y otra para la mezcla.
- Sólo utilice pequeñas cantidades en la zona de trabajo.
- No fumar en la zona de trabajo y trasvase.
- Jamás mezclar catalizadores con aceleradores de forma directa. Riesgo de explosión violenta.
- No exponerlos a la luz solar directa.
- No exponerlos a fuentes de calor directo.
- Evitar los golpes o impactos.
- No exceder las temperaturas recomendadas de trabajo propuestas por el fabricante.
- No permitir que entren en contacto con materiales contaminantes como cobre, bronce, acero.
- Lea siempre las recomendaciones hechas por el fabricante.

### Aceleradores

El acelerador, también conocido como activador, se utiliza para reducir el tiempo de gelificación y polimerización de los termoestables. Los aceleradores más comúnmente utilizados en la industria de los materiales compuestos son la dimetil anilina (DMA) y la dietil anilina.

Todos los aceleradores son particularmente tóxicos y pueden absorberse por la piel. La inhalación de los vapores que estos generan pueden ocasionar dolores de cabeza, náuseas, debilidad o irregularidades respiratorias.



La mayor parte de las recomendaciones hechas para los catalizadores son válidas para los aceleradores. No obstante, siempre leer las fichas de seguridad del producto.

### Resinas en general

El manejo de resinas puede producir daños en la piel y en las mucosas si no se toman medidas para evitar el contacto directo. La inhalación de vapores o de partículas de polvo constituyen también un riesgo para la salud, por lo cual es recomendable mantener siempre limpio y aseado el lugar de trabajo.

En la manipulación de las resinas deben tenerse presentes algunas consideraciones:

- Utilización de equipos de protección individual (guantes, gafas, y mascarilla).
- Disponer de un sistema de ventilación que permita remover la concentración de estireno producida por el proceso de laminado.
- Mantener limpia y aireada la zona de trabajo así como las herramientas.
- No utilizar el mismo dosificador para dos productos diferentes (ejemplo catalizador / acelerador)
- Establecer un método para realizar las mezclas. Dicho método debe ser realizado por quien sepa hacerlo, desalentado a quienes no lo hayan aprendido sistemáticamente.

### Otros compuestos orgánicos volátiles

La mayoría de los disolventes y diluyentes suelen tener efectos tóxicos. Debido a su empleo de forma habitual en todos los talleres y a su elevada volatilidad, pueden concentrarse o acumularse en el ambiente de trabajo de forma suficiente como para causar reacciones fisiológicas.

La acumulación de estos vapores de los disolventes y diluyentes puede facilitar las condiciones para que se produzca una explosión. Esta concentración debe ser prevenida mediante un buen sistema de ventilación y renovación del aire.

Los disolventes deberán estar clasificados como materiales peligrosos, por lo que es recomendable marcarlos de acuerdo a la normativa vigente al respecto. Deberán siempre ser manipulados mediante aparatos cerrados o contenedores ininflamables.



Los aparatos eléctricos y conexiones en la zona de su almacenamiento y manipulación deben llevar protección antideflagrante.

Debido a que actúan de disolvente de grasas, se deberá evitar cualquier contacto con la piel, ya que podrían dañar la piel de modo persistente o provocar intoxicación por absorción.

### Vidrio textil

Los refuerzos de fibra de vidrio no constituyen el grupo de los denominados materiales peligrosos, puesto que el diámetro de sus filamentos se encuentra en un campo biológico no crítico. No obstante, pueden provocar irritaciones en el tracto respiratorio superior producto de inhalaciones en forma de polvo o casos de dermatitis en zonas del cuerpo que tengan contacto con el mismo.

La zona de trabajo y mecanizado de piezas debe mantenerse siempre en condiciones de pulcritud.

Debe evitarse el utilizar ropas ajustadas que provoquen rozamiento con la piel. Debe lavarse con agua y jabón las partes del cuerpo que hayan quedado expuestas al polvo de fibra de vidrio y es desaconsejable el uso del aire comprimido como medio de limpieza del cuerpo y la ropa de trabajo.



### Cargas y aditivos

Debido a la diversidad de productos específicos con características particulares existentes es recomendable estudiar cada caso particular para adoptar las medidas de protección más adecuadas. Para ello es conveniente disponer de la hoja de seguridad del producto que deberá ser emitida por el fabricante del mismo.

Como norma general podríamos decir que deberá prestarse atención al momento de la adición de estas cargas y aditivos a la resina líquida; es en este momento cuando se pueden producir nubes de partículas o polvos que podrían afectar la salud del trabajador.

Para ello se deberá disponer de un sistema idóneo de extracción de polvos y partículas en la zona destinada a realizar las mezclas y en las zonas destinadas a mecanizados.