

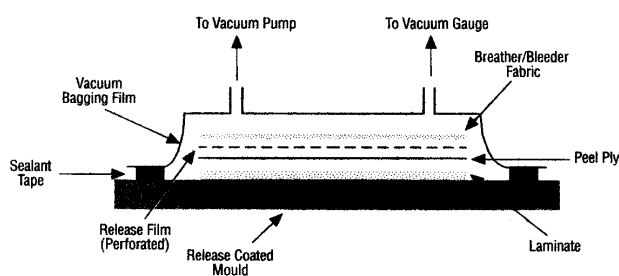
Moldeo por Vacío

Por A. Besednjak

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.

El 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.

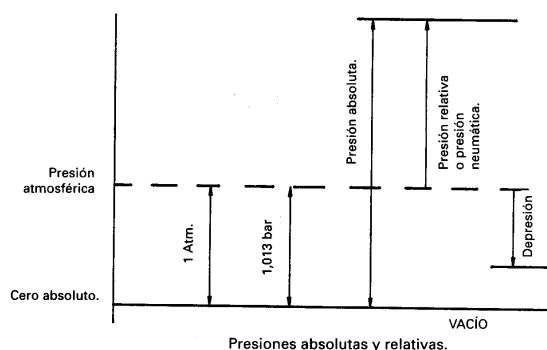
Esta antigua y sencilla técnica es hoy en día la preferida para los constructores navales que buscan estructuras sumamente livianas y con requerimientos estructurales elevados.

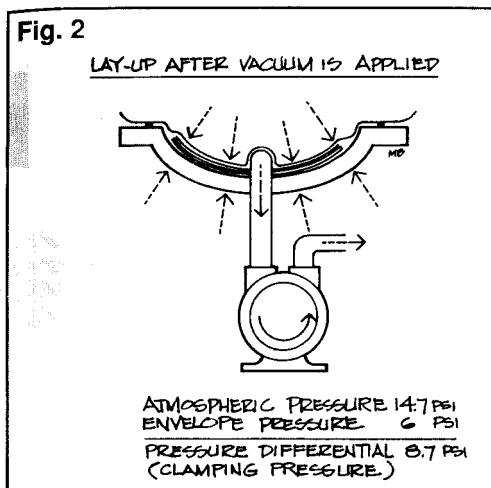
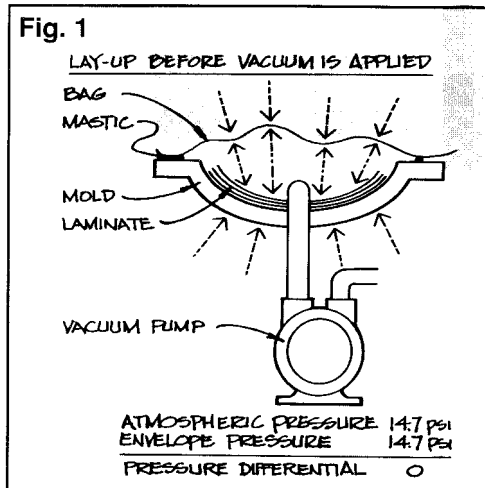
El vacío¹

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.

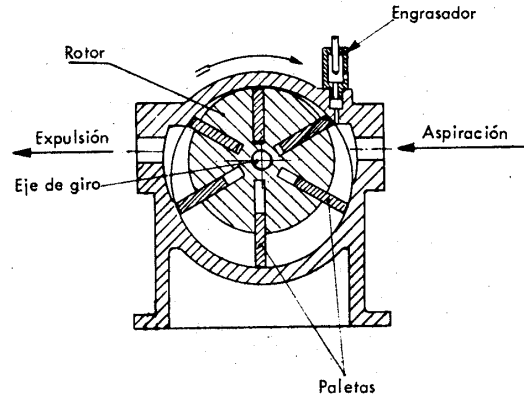


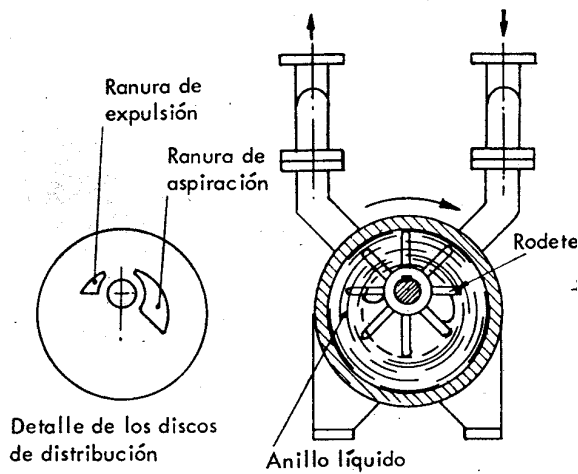
Fig. 2-4. — Bomba de paletas para vacío medio

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 necesarias 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.

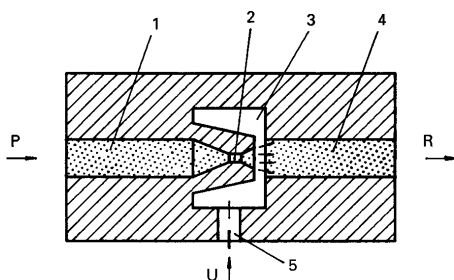


La principal ventaja de esta bomba estriba en que, por no existir roce entre el rotor y el estator, ya que el anillo de agua es el que roza con ambos, no hay prácticamente desgaste entre las piezas. El mismo anillo hace de lubricante y refrigerante. Como inconveniente presenta el calentamiento y evaporación 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 m³ hora hasta 1600 m³ 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.



Representación esquemática de un eyector

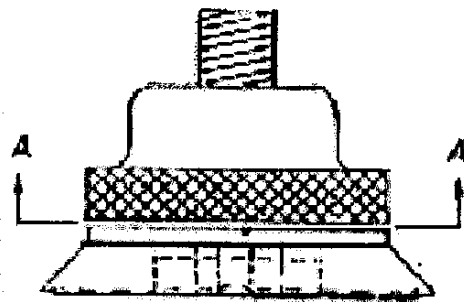
El aire a presión entra en el eyector procedente de la red (1) (dependiendo del grado de vacío, dicha presión puede oscilar entre 1,5 bares hasta 8 bares). Al llegar al punto (2), el aire se estrangula, aumentando considerablemente la velocidad. Ese aumento de velocidad crea una depresión en la cámara 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.

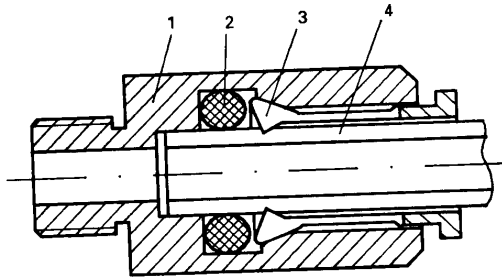


Ventosa

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

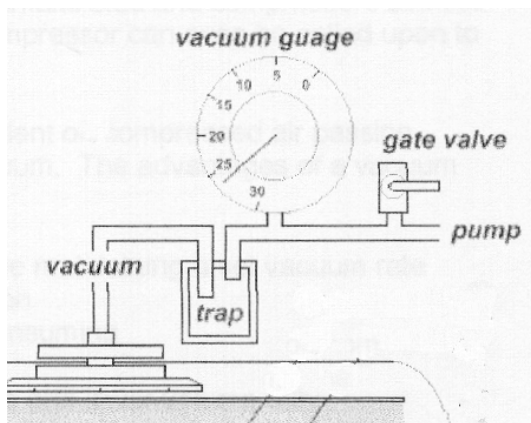
trenzado, recubiertas de silicona, y con conectores rápidos en sus extremos.



Esquema de conector rápido

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.



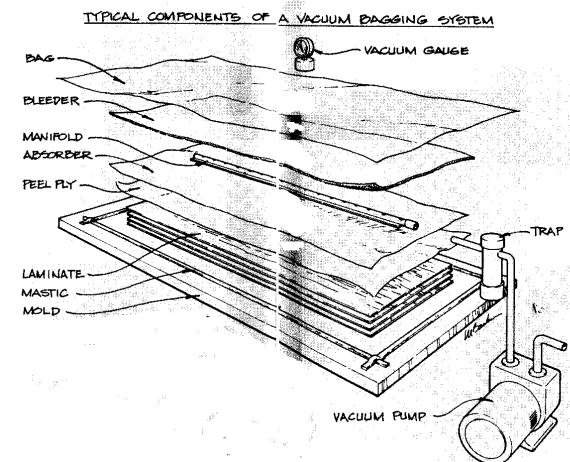
Desarrollo del método

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 sangradores 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 luego 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 procesamiento 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/m², 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.

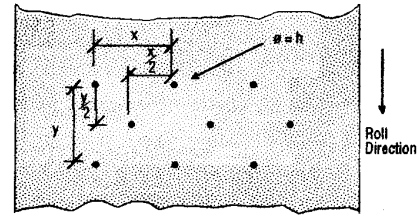
Todas estas consideraciones permitirán seleccionar el film sangrador adecuado que permita "salir" al exceso de resina y al aire que hubiese quedado atrapado entre capas de laminado. Si su elección no se hace correctamente, podemos obtener malos resultados como laminados con alta tasa de porosidad (poca 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.

Explanation of Perforated Pitch:

Perforation Reference	Nominal Hole Size (h)	Pitch (x) (mm)	Pitch (y) (mm)	Bleed Characteristics
P	0.4	3	3	High
P3	0.4	12.7	12.7	Medium
P90	0.4	15	30	Low



Ejemplo de perforado en sangrador

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/m²) 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

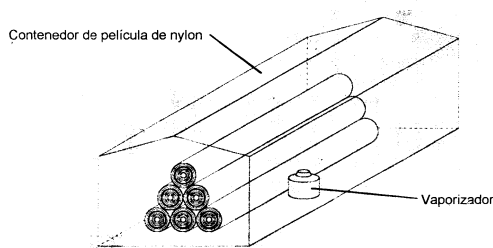
Los films de bolsa de vacío son lo encargados de sellar todo el laminado de materiales compuestos, incluidos el resto de fungibles de vacío anteriormente mencionados. Una vez sellado, se aplica vacío al laminado para que actúe externamente la presión atmosférica.

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.
- Adaptabilidad a formas complejas.

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.

4 – El 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.

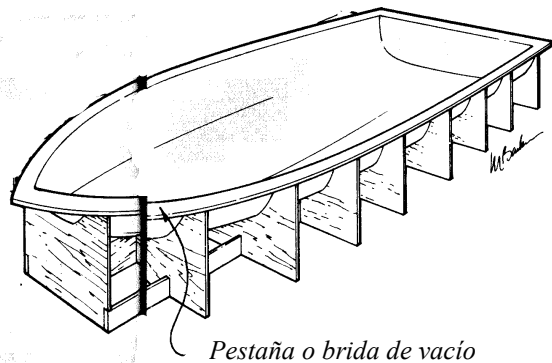
No dejar de mencionar, sin embargo, que el ambiente de trabajo deberá cumplir con los requisitos mínimos establecidos por los fabricantes de los materiales respecto de temperatura y humedad ambiente, así como renovaciones de aire, iluminación e higiene del lugar de trabajo.

5 – Los 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.



5 – 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.

6 - 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.

7 - Los 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.

Referencias

¹ Según A. Serrano Nicolás, en su libro “*Neumática*” editorial paraninfo, Madrid, 2000.

Bibliografía

SP Systems – Guide to composites,
www.spsystems.com
Vacuum bagging Equipment & Techniques,
www.fibreglast.com
Airtech advanced Materials group ,
www.airtechonline.com
Bacuum Bagging, Ted Hugger, Professional Boatbuilder Magazine, Issue Number 1 Oct/Nov 1989.
Neumática, A. Serrano Nicolás, editorial paraninfo, Madrid, 2000.
INP 96 S.L., Catálogo comercial, Madrid, 2000.
Equipos de vacío industrial Busch SA,
www.busch.es
Basic vacuum Bagging , Patrick McCrary,
www.bertram31.com