

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 450**

51 Int. Cl.:
B29C 70/44 (2006.01)
B29L 31/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03756234 .5**
96 Fecha de presentación: **28.05.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1507647**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.02.2005**

54 Título: **Proceso de infusión controlada de resina a presión atmosférica**

30 Prioridad:
29.05.2002 US 384154 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
26.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
26.11.2012

73 Titular/es:
THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US

72 Inventor/es:
WOODS, JACK, A.;
MODIN, ANDREW, E.;
HAWKINS, ROBERT, D. y
HANKS, DENNIS, J.

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 391 450 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Proceso de infusión controlada de resina a presión atmosférica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a una infusión de resina únicamente a vacío para fabricar materiales compuestos de resina reforzados con fibra, que implica la compactación de la preforma y el control de la presión de compactación neta de acuerdo con la reivindicación 1. El proceso preferido produce materiales compuestos que tienen fracciones de volumen de fibras elevado comparables a, o que superan a, las de los materiales compuestos convencionales fabricados en autoclave. Los materiales compuestos se pueden usar en aplicaciones aeroespaciales cuando se logran fracciones de volumen de fibras apropiado.

15 **Antecedentes de la invención**

Las industrias marina, automovilística, de transporte por camión, ferroviaria, aeroespacial, de defensa, de recreo, química, de infraestructuras y otras perciben los materiales compuestos para obtener ventajas derivadas de sus propiedades únicas, especialmente por estar libres de corrosión o por ser resistentes a la corrosión y por presentar una elevada proporción de resistencia con respecto a peso. Los materiales compuestos también son resistentes a la fatiga y al ataque químico. Ofrecen elevado potencial de resistencia y rigidez en los componentes ligeros de peso. No obstante, es necesario desarrollar procesos de fabricación de materiales compuestos que reduzcan de forma ostensible el coste de los materiales compuestos, especialmente las estructuras de gran tamaño, al tiempo que se conserva la elevada resistencia y rigidez.

Los procesos de moldeo en húmedo con molde abierto pueden fabricar materiales compuestos de gran tamaño mediante el uso de un proceso de moldeo de líquidos con una inversión de capital pequeña en herramientas de lado único, y con frecuencia pueden usar materiales de coste más bajo que los materiales fibrosos impregnados con resina (prepregs). No obstante, la calidad y la uniformidad del producto varían de manera considerable. Los mejores de estos materiales compuestos todavía muestran baja calidad. El proceso también tiende a resultar hostil y presenta peligros para los trabajadores debido al riesgo de exposición a los disolventes y a las resinas.

Actualmente, los materiales compuestos de alto rendimiento se fabrican con prepreg. Las cintas tejidas o unidireccionales de los prepregs se colocan sobre un mandril de conformación ("molde") a mano o a máquina. Con frecuencia, se precisa el apelmazado entre los pliegues del material laminado para retirar el aire antes de que los laminados sean introducidos en las bolsas de vacío (es decir, encerrados en una atmósfera inerte a vacío para extraer los volátiles emitidos liberados durante el curado de la resina) y consolidados (es decir, expuestos a temperatura elevada y presión en un ciclo de curado) en autoclaves o prensas con el fin de lograr componentes de volumen de fibras elevado. Típicamente, los materiales de prepreg resultan caros (especialmente los que usan fibra de carbono de módulo elevado). Las materias primas de prepreg presentan períodos de caducidad limitados debido a que las resinas que impregnan las fibras continúan reaccionando ("avanzan") a temperatura ambiente. El avance de la resina afecta de manera negativa a las propiedades del material compuesto resultante. Con frecuencia, el trabajo con prepreg también da lugar a un material residual considerable.

Los autoclaves y las prensas empleados para la consolidación para aplicar presión a los prepregs laminados son bienes de capital elevado que aumentan el coste final del material compuesto fabricado. El procesado tiene que centralizarse y llevarse a cabo por lotes, en el lugar de instalación del autoclave o la prensa. La carga y descarga del autoclave (a temperatura elevada, horno presurizado) normalmente se convierte en la etapa limitante de la velocidad. La localización del autoclave dicta el punto en el que se fabrican los materiales compuestos, de forma que la flexibilidad del proceso se ve perjudicada. Se requiere una instalación y una fuerza-trabajo dedicada, centrada alrededor del autoclave.

En algunas formulaciones, la resina del prepreg se lleva a cabo sobre la fibra en forma de laca o barniz que contiene reaccionantes monoméricos que producen el polímero deseado del material compuesto (es decir, prepregs del tipo PMR). En otras formulaciones, la resina es un polímero de peso molecular relativamente elevado que se reticula durante el curado para formar el polímero deseado. La resina se mantiene y se usa en su estado de manera que permanezca un líquido y que sea posible la impregnación sobre la fibra o el tejido. La reacción de los reaccionantes monoméricos o la reticulación del polímero (es decir, su avance) antes del ciclo de curado pretendido impacta de manera negativa sobre la calidad del material compuesto.

Las técnicas de moldeo en líquido tales como el moldeo por transferencia, la infusión de película de resina, el moldeo por transferencia de resina y el moldeo por inyección de reacción estructural (SRIM) típicamente requieren colorantes metálicos apareados costosos y autoclaves o prensas de elevado tonelaje. Generalmente, las partes producidas con estos procesos se encuentra limitadas en cuanto a tamaño y geometría.

La infusión de las preformas con resina húmeda con el uso de vacío (presión atmosférica) como única fuerza de accionamiento resulta conocida. Mientras que pueden existir ejemplos anteriores, el método *Marco* (patente de

EE.UU. 2.495.640) se usó por primera vez al comienzo de la década de 1940. Palmer (patente de EE.UU. 4.492.013) y Seeman (patente de EE.UU. 4.902.215) son ejemplos más recientes. Los inventores son conscientes de un número de otros enfoques que cubre la tecnología de los materiales compuestos en la bibliografía: RIRM, RIFT y UV-VaRTM. El proceso de infusión de vacío de bolsa doble (DBVI) de Boeing, descrito en la solicitud de patente de EE.UU. 09/731.945, proporciona numerosas reivindicaciones relacionadas con el control de la infusión asistida por medio de vacío con un medio de distribución de resina, puertos múltiples o conductos. Seemann dispone de otras patentes que, en gran medida, tienen que ver con la integración de una matriz de distribución de resina en el interior de una bolsa re-utilizable, tal como las patentes de EE.UU. 5.052.906; 5.36.462; 5.439.635 y 5.958.325.

Las características físicas del proceso de infusión requieren una diferencia de presión a través de la preforma para accionar la infusión de la resina al interior de la misma. Los enfoques tradicionales producen la infusión de la resina a presión completamente atmosférica, es decir, el recipiente a partir del cual se extrae la resina se encuentra abierto a al atmósfera. Durante la infusión, a medida que la preforma se llena con la resina, la presión en el interior de la bolsa de vacío (es decir, la lámina externa impermeable que contiene el flujo de resina durante la infusión) del volumen lleno se aproxima a la presión del exterior de la bolsa, concretamente a la presión atmosférica. Debido a que la infusión de resina sólo con vacío está basada exclusivamente en la sobre-presión de la atmósfera para apretar la pre-forma por debajo de la bolsa contra la superficie de conformación, este aumento de presión en el interior de la bolsa reacciona contra la presión atmosférica de encima. La diferencia restante de presión entre el interior de la bolsa y la presión atmosférica (es decir la presión de compactación neta) es toda la presión que sobra para empujar la preforma de fibra sobre la superficie de conformación. Este diferencial de presión varía dependiendo de un número de factores incluyendo el perfil del gradiente de presión, además de la permeabilidad de los materiales objeto de infusión, y la secuencia temporal de sujeción de líneas de entrada y salida. El espesor acabado de una preforma dada se encuentra relacionado directamente con su fracción de volumen de fibras acabado. El hecho de conseguir una fracción de volumen de fibras elevado requiere la compactación de la preforma. La compactación se consigue por medio de prensado de la preforma contra la superficie de conformación. La acción apropiada de empujar la preforma contra la superficie de conformación durante y tras la infusión hasta que se produce el curado de la resina resulta crítica a la hora de obtener una estructura de elevado rendimiento que proceda de la misma, y que presente un elevado volumen de fibras. Si la presión de compactación neta resulta insuficiente (en VaRTM tradicional, puede aproximarse a cero) la preforma se encuentra libre para flotar en la resina o para experimentar retro-combado a partir de su estado compactado, dando lugar a fracciones de volumen de fibras reducido.

Seemann Composites Inc. ha producido una variedad de estructuras compuestas para Boeing que usan el Proceso de Moldeo por Infusión de Resina Compuesta de Seemann (SCRIMP) a partir de paneles lisos para la preparación de cupones de ensayo mecánicos (Boeing-Seattle, Fall 1999) para una estructura de ala compleja y demostrativa (Boeing-LB 1998-2000), con la intención de usar SCRIMP para la fabricación de partes aeroespaciales. Un problema común experimentado con las presentes estructuras y paneles ha sido los volúmenes de fibras menores de lo esperado y, de manera concomitante, los espesores de pliegue acabado mayores de lo esperado para uso aeroespacial. El intervalo preferido para la fracción de volumen de fibras de carbono en los materiales compuestos aeroespaciales se encuentra, en sentido nominal, en el extremo superior del que se puede obtener, en sentido nominal, 52-60 % dependiendo de la preforma objeto de infusión. El volumen de fibras deseado depende en gran medida del tipo de onda u otra arquitectura de fibra y del tamaño y de la cuenta de haz de filamentos de carbono por ejemplo. Los laminados y estructuras de los materiales compuestos de Seemann fabricados por Boeing típicamente presentan una fracción en volumen de fibras menor que el intervalo deseado. El control del espesor de material compuesto a través de pulgadas por cada pliegue métrico resulta importante con el fin de controlar el peso resultante del material compuesto. En el fallo tradicional de infusión de resina para optimizar el espesor, con frecuencia, los medios que aplican cada pliegue son más gruesos que lo necesario. El refuerzo de fibra que carece de resina presenta una resistencia pobre, de manera los pliegues no controlados del material laminado pueden formar un patrón de áreas de elevada resistencia intercaladas entre zonas de resistencia más baja. El laminado total presenta una resistencia más baja que el material laminado consolidado de forma apropiada que tiene el espesor óptimo por pliegue, y generalmente requiere más pliegues para conseguir la resistencia deseada. Más pliegues se traduce en más material y más trabajo, lo que convierte las partes ya costosas en más costosas todavía. También se traduce en más peso, lo que da lugar a una reducción del rendimiento total del sistema aeroespacial en el cual se usa el material compuesto.

Como se describe en la patente de EE.UU. 4.902.215, Seemann indujo un flujo preferencial y una presión en el medio de flujo por encima de la preforma de fibra en el interior de la bolsa de vacío para distribuir la resina de infusión en una red sobre la preforma. La fuerza de accionamiento es un diferencial de presión o presión de cabecera creado principalmente por medio de la extracción de presión en el interior de la bolsa usando una bomba de vacío. La presión atmosférica sobre la resina empuja la resina hasta el interior de la bolsa a través de un tubo de entrada. La resina que entra en la bolsa encuentra el medio de flujo usado para conducir la resina hasta la preforma de fibra subyacente. La resina fluye en sentido lateral a través del medio de flujo sobre la preforma y, por consiguiente, en sentido descendente hasta el interior de la preforma. Normalmente, la preforma presenta la permeabilidad más reducida para fluir (es decir, la resistencia más elevada al flujo de la resina).

Algunos han propuesto la obtención de volúmenes de fibra más elevados mediante la adopción de un proceso que

podría describirse simplemente como llenado o alimentación y sangrado. En este caso, la preforma es sometida a infusión usando presión completamente atmosférica para empujar la resina en el interior de la preforma seca, como se hace con la infusión de resina tradicional - etapa de llenado. Una vez que la preforma se encuentra totalmente sometida a infusión, se sujetan la línea(s) de entrada y a continuación se expone la preforma a vacío completo o casi completo en la salida(s) o tanto en la entrada(s) como en la salida(s) - etapa de sangrado. El sangrado de la preforma tiene como resultado volúmenes de fibra más elevados. No obstante, el proceso de llenado y sangrado carece de control y es un proceso regulado y deja demasiada resina que debe ser retirada de la preforma, bien de forma local o por toda la preforma. Además, las diferentes permeabilidades con el ensamblaje de los diferentes componentes de la preforma, medios, etc, complica cualquier capacidad para controlar el sangrado y el volumen de fibras resultante. Por la Ley de Darcy, la resina fluye desde la preforma sometida a infusión de manera más rápida desde las zonas de permeabilidad más elevada. Las estructuras que se encuentran comúnmente en el diseño aeroespacial probablemente contienen dichas diferencias de permeabilidad en un ensamblaje de una preforma dada. El documento de EE.UU. 2002 02 2422 A1 describe un proceso de infusión controlada de resina a presión atmosférica (CAPRI).

El proceso de infusión de resina de la presente invención garantiza que los pliegues de fibra de la preforma permanezcan en estado compactado, que la preforma se llene por completo cuando se detiene la infusión y que se consigan las fracciones óptimas de volumen de fibras, mejorando de este modo los procesos tradicionales de infusión.

Resumen de la invención

En la presente invención, los inventores controlan la presión de compactación neta y la presión diferencial que acciona la infusión de resina mediante la reducción de la presión por debajo de la presión atmosférica en el tanque de alimentación de resina. Los inventores usan una bomba de vacío para compactar la preforma de fibra en varios ciclos y posteriormente evacuar el volumen en bolsa de vacío para establecer una presión final en el interior de la bolsa en una cantidad apropiada para la química de la resina y para el ciclo de curado. La presión de la alimentación de resina en el recipiente de alimentación se controla de forma independiente de la presión en la bolsa de vacío. Por ejemplo: la presión en la bolsa de vacío podría ser - 101,6 kilopascales (30 pulgadas de Hg) por debajo de la presión atmosférica, mientras que la presión en el recipiente de alimentación es de 50,8 kilopascales (15 pulgadas de Hg), para presión diferencial para accionar la infusión de resina de 50,8 kilopascales (15 pulgadas de Hg o alrededor de - 0,5 atm o 7 psi). La presión de compactación neta en este caso también es de aproximadamente 50,8 kilopascales (15 pulgadas de Hg o alrededor de ~ 0,5 atm o 7 psi).

La presión por debajo de presión atmosférica en el recipiente de alimentación garantiza: (1) que existe siempre una presión de compactación neta para mantener la preforma en posición sobre la superficie de conformación; y (2) que se pueden llevar a cabo los ajustes en la presión de compactación neta con el fin de compensar algunas variaciones de espesor en la preforma y para variaciones en la presión ambiental, debido a las condiciones meteorológicas o las diferencias en las condiciones de presión nominal a nivel del mar.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una representación esquemática del proceso preferido de la presente invención.

La Figura 2 es una gráfica que muestra el cambio de espesor como función de los ciclos de compactación para un refuerzo de fibra de vidrio 1581 de una preforma de infusión típica.

La Figura 3 es una gráfica que muestra el cambio de espesor como función de los ciclos de compactación para un refuerzo de fibra de carbono 3K-70-P de una preforma de infusión típica.

La Figura 4 es una gráfica que muestra, "por pliegue", ambos como función de la sobre-presión de compactación (vacío en pulgadas de Hg en la bolsa de vacío) para cuatro preformas de fibra.

La Figura 5 es una gráfico que muestra el cambio de espesor como función de los ciclos de compactación para una preforma de panel cosido de Saertex.

La Figura 6 es un gráfico que muestra el cambio de peso del material laminado y el cambio de densidad del material laminado como funciones de la fracción de volumen de fibras, que muestra el intervalo de rendimiento permitido para los materiales compuestos aeroespaciales y otros materiales compuestos de alto rendimiento.

La Figura 7 es un gráfico que muestra las capacidad de transporte de carga y el peso del componente como funciones de la fracción de volumen de fibras para una preforma que tiene un conjunto de números de fibras.

La Figura 8 es un gráfico que muestra la capacidad de transporte de carga y el peso del componente como funciones del cambio en el espesor "por pliegue".

La Figura 9 es una tabla que muestra la correlación entre el espesor "por pliegue" y la fracción de volumen de fibras

para preformas de fibra de carbono bajo varias condiciones de pre-tratamiento.

Descripción detallada de una realización preferida

5 Los procesos de infusión de resina que no controlan la presión interna presentan un éxito limitado a la hora de conseguir volúmenes de fibra deseados en las estructuras acabadas de materiales compuestos, componentes y detalles. El proceso de infusión controlada de resina a presión atmosférica (CAPRI) de los inventores controla el volumen de fibras de forma adecuada con el fin de lograr las fracciones de volumen lo más elevado posible, según piensan los inventores, para una arquitectura de preforma concreta. CAPRI puede conseguir volúmenes de fibra más elevados o equivalentes a los que se logran con los materiales compuestos fabricados a partir de prepregs y se curan por medio de autoclave. CAPRI no requiere recipientes de presión como equipamiento de procesado que resultan caros y, con frecuencia, limitan la velocidad. Por tanto, CAPRI es un método preferido para la fabricación de materiales compuestos de calidad aeroespacial en el cual el control de la fracción de volumen de fibras (o espesor "por pliegue") resulta importante para obtener materiales compuestos que tengan una resistencia óptima específica (es decir, capacidad de transporte de carga / peso unitario o resistencia / masa).

15 CAPRI reconoce que el nivel de presión sobre la resina de entrada influye en gran medida en el volumen de fibras del material compuesto acabado. El control de la presente presión de entrada junto con la compactación cíclica de la preforma seca antes de la infusión permite la producción de materiales laminados de volumen de fibras más elevado que los métodos de la técnica anterior comentados por los inventores.

20 CAPRI combina el control de la presión de entrada convirtiéndola en una presión por debajo de presión atmosférica al tiempo que mantiene una presión de compactación neta sobre la preforma durante toda la infusión. Esta reducción de la presión de entrada durante la infusión crea y mantiene una presión de compactación neta controlada y pre-determinada sobre la preforma durante todo el proceso de infusión y a medida que la presión se equilibra en el interior de la preforma después de la infusión. La presión de compactación neta ya no depende más de la presión atmosférica ambiental. El proceso CAPRI puede producir un volumen de fibras aeroespacial óptimo posible para una arquitectura de fibras concreta consiguiendo y conservando la compactación óptima de la preforma. De manera adicional, si se desea, se pueden conseguir volúmenes de fibra objetivo más bajos mediante el control de la presión de compactación, como se muestra en la Figura 4. Las Figuras 2, 3 y 5 muestran el aumento del anidamiento de fibras a partir del ciclo de compactación de la preforma a partir de la infusión. Se presentaron hallazgos similares en "The Compression Response of Fibre Beds Subjected to Repeated Loading Cycles in the Resin Infusion Under Flexible Tooling (RIFT) Manufacturing Process", JA Craen, S M Grove and J Summerscales, University of Plymouth, UK). Los ensayos de los inventores confirman que la compactación cíclica proporciona compactación adicional con respecto a un apelmazado sencillo. Los inventores asumen que, en algunas preformas, las fibras de un pliegue cogen las fibras del pliegue adyacente reduciendo su "retro-combado" entre los ciclos de compactación, mientras que en otras preformas la compactación procede principalmente del anidamiento de forma exclusiva. Los inventores han encontrado que el número de ciclos para obtener un valor óptimo y práctico de compactación depende de la arquitectura de la preforma. Normalmente, para las arquitecturas de preforma usadas en las aplicaciones aeroespaciales, los inventores han encontrado que el número de ciclos necesarios se encuentra entre 5 y 10.

40 Durante los ensayos de ciclado por compactación de los inventores (véase Figuras 2, 3 & 5), los inventores también han apreciado que, dependiendo de la arquitectura de las fibras, la preforma adopta respuestas variables frente a la pérdida de aumento de presión que empuja el crecimiento de la preforma. Es decir, la preforma básicamente presenta una "constante de muelle" con la cual soporta la compactación. De manera general, una preforma compactada en condiciones de alto vacío crece menos hasta que se aplica una cantidad importante de presión atmosférica en el interior de la bolsa. Por ejemplo, la Figura 4 muestra que esta ruptura, para fibras de carbono 3K-70-P, tiene lugar a aproximadamente 50,8 kilopascales (0,5 atm). Este fenómeno significa que la infusión de la resina con una presión de compactación neta de más de aproximadamente 50,8 kilopascales (0,5 atm) permite que la infusión logre el espesor acabado deseado por pliegue y el volumen de fibras del material compuesto acabado. De igual forma, la clave para controlar el volumen de fibras es la comprensión del modo de comportamiento de una preforma dada en respuesta al cambio de presión que produce la compactación de la misma y su respuesta a la compactación cíclica. Como queda demostrado por la curva de la Figura 4, si la presión de compactación neta es menor que aproximadamente 50,8 kilopascales (0,5 atm), la preforma de las fibras de carbono 3K-70-P comienza a expandirse de forma rápida a medida que se reduce la presión de compactación neta sobre la preforma debido a la presión de resina entrante. El material compuesto sometido a infusión presenta una fracción de volumen de fibras menor que la deseada. La comprensión de la inter-relación entre la presión sobre la resina de entrada, la compactación cíclica, la respuesta de una preforma compactada a los cambios de presión antes y durante la infusión permiten a los usuarios de CAPRI conseguir un volumen de fibras acabado elevado con una definición mejorada de la superficie lateral-herramienta de la estructura de material compuesto.

60 De manera frecuente, tienen lugar áreas de baja permeabilidad en las preformas complejas. El procesado de CAPRI puede de manera intencionada incluir áreas adicionales de baja permeabilidad para proporcionar control sobre el frontal de flujo sin sacrificar los volúmenes de fibra elevados. El control de la presión de resina evita la acumulación de presión provocada por las áreas de baja permeabilidad a lo largo del frontal de flujo. Sin el control de la presión de la resina entrante proporcionado por CAPRI, las áreas de baja permeabilidad pueden aumentar la presión dentro de la preforma, reduciendo de este modo la presión de compactación neta y el volumen de fibras resultante. De

manera adicional, el método de CAPRI de control de flujo elimina la necesidad de "purga" o "lavado" de las resinas, eliminando de este modo los residuos de resina.

5 Los esquemas de embolsados alternativos para el proceso de CAPRI abordan las cuestiones de fiabilidad y rendimiento asociadas a otros procesos. Dos características clave de embolsado son: (1) un sellado de vacío activo para evitar al infiltración de aire atmosférico en el interior de la bolsa, y (2) cuando se usan bolsas múltiples, equilibrar el nivel de presión en el sellado de vacío activo / bolsa exterior con el nivel de presión del laminado con el fin de evitar la infusión de aire o el sangrado de resina. El enfoque más común usado en la industria para proporcionar protección frente a fugas en la lámina impermeable (primera bolsa) o en el sellado circundante es dotar de una doble bolsa a la toda la parte y evacuar completamente el volumen existente entre las bolsas interna y externa. Este enfoque falla a la hora de reconocer el hecho de que la evacuación completa de este volumen crea un diferencia de presión entre la preforma humedecida y la zona evacuada entre la primera y la segunda bolsa, en caso de desarrollarse una fuga en la primera bolsa. Esta diferencia de presión probablemente provoca que la resina fluya fuera de la preforma. Ajustando la presión (es decir, el nivel de vacío) entre las bolsas a la de la preforma limita o evita la pérdida de resina de la preforma, en caso de desarrollo de una fuga en la primera bolsa, ya que no existe fuerza de accionamiento que obligue a la resina a fluir desde el material laminado al interior del espacio que existe entre las dos bolsas.

20 Los inventores prefieren mantener la presión de compactación neta de la preforma, medida a la entrada de la bolsa lo más elevada posible con el fin de mantener la preforma compactada. No obstante, la presión de compactación neta, de manera general, será de aproximadamente 50,8 kilopascales (0,5 atm) con el fin de permitir una fuerza de accionamiento apropiada para completar la infusión además de mantener el volumen de fibras deseado para la pieza aeroespacial. Es preciso tener precaución para garantizar que la bolsa se encuentre sellada. Durante la infusión, los inventores prefieren que la resina no experimente ninguna transformación de fase antes del endurecimiento de la propia resina / etapa de curado que ocurre después de la infusión.

30 Las Figuras 6-9 muestran la importancia del volumen de fibras (espesor "por pliegue") para lograr materiales compuestos de bajo peso y elevado rendimiento. Mientras que las fibras de la preforma todavía transportan su carga esperada en el material compuesto "no controlado", una disminución de la fracción de volumen de fibras produce una estructura más pesada que lo que resulta necesario, en la cual el peso añadido no proporciona ningún beneficio de rendimiento.

35 Por medio de la utilización de CAPRI, los inventores han conseguido espesores de paneles equivalentes a los de los paneles procesados con autoclave fabricados a partir de prepregs (Fig. 9). El proceso CAPRI proporciona el control de espesor que se ajusta o que supera a la variación de espesor para las partes curadas en autoclave. El hecho de conseguir espesores y controlarlos resulta importante para algunas aplicaciones aeroespaciales en las que el control de peso y la resistencia específica de una parte resulta crítica. CAPRI permite la fabricación de partes aeroespaciales sin necesidad de autoclave, reduciendo de este modo en gran medida los costes de inversión y mecanización.

40 CAPRI también utiliza materiales de coste más bajo que los prepregs, reduce el tiempo de ciclo y permite la fabricación de estructuras integradas más grandes y complejas que presentan un acabado superficial de lado de herramienta superior. Además de fabricar los materiales compuestos de calidad más elevada con costes de mecanización totales relativamente bajos, el fabricante puede esperar una reducción de 20-50 % en el coste de materias primas y una reducción de 10-40 % en el coste de mano de obra dependiendo del nivel de integración del diseño, enfoque de diseño y la adopción de un flujo pobre, sin la dosificación que permite la infusión de resina.

50 Como se muestra en la Figura 1, el proceso CAPRI preferido coloca una menor presión (vacío) sobre el recipiente de entrada 10 de aproximadamente 50,8 kilopascales (0,5 atm o 7,5 psi o 15 pulgadas de Hg). La bomba de vacío que opera en la salida de embolsado 12 reduce la presión en la salida hasta esencialmente vacío total para crear una fuerza de accionamiento entre el recipiente de entrada y la salida. La presión sobre la resina en el recipiente de entrada empuja la resina hasta el interior de la bolsa 12 donde una preforma 14 de fibra de refuerzo seca en una configuración de cinta, tejido o cosida se sitúa sobre la superficie del molde 16 con pliegues de liberación apropiados, según sea necesario. La resina que entra en la bolsa 12 fluye hacia el interior de un medio de distribución o cualesquiera conductos, hendiduras o un otro dispositivo o arquitectura 18 que transporte o conduzca la resina sobre la preforma 14 y sobre el pliegue 20 provisional poroso. La resina fluye a través del pliegue provisional 20 hacia abajo al interior de la preforma, moviéndose desde la entrada hacia la salida. Durante la infusión, la presión en la bolsa aumenta desde esencialmente vacío completo hasta aproximadamente la presión del recipiente de entrada. Como tal, el prensado de presión de compactación neta sobre la preforma 14 será de aproximadamente 0,5 atm.

65 El medio de distribución 18 se detiene excluyendo la salida para crear una "zona muerta". La resina no puede alcanzar esa salida sin pasar a través de la parte final de la preforma que subyace la "zona muerta" más allá del final del medio de distribución. Por tanto, la "zona muerta" garantiza que la preforma se humedezca por completo cuando la resina alcanza la línea de salida o aleta. Típicamente, esta parte de la preforma es de aproximadamente 0,3175 a 1,27 m (de 0,125 a 0,5 pulgadas) de largo.

5 Los inventores usan las resinas VaRTM salientes en sus procedimientos, pero prefieren usar resinas de baja viscosidad (50-800 centipoise) sin calentar, sobre el recipiente de entrada o herramienta. La preforma o la preforma y la resina se pueden calentar si se desea para acelerar la infusión y para permitir el uso de resinas que presenten dichas viscosidades elevadas a temperatura ambiente de manera que la infusión a temperatura ambiente resulta impráctica. Los inventores prefieren un medio de distribución o método de distribución de resina que presente permeabilidad elevada, proporcionando de este modo una resistencia mínima al flujo de la resina a través de la superficie de la preforma. Los inventores han sido capaces de producir partes de ensayo que tienen fracciones de volumen de fibras elevado que se corresponden, en cuanto a calidad y propiedades de rendimiento, con los requisitos que Boeing impone a los materiales sometidos a autoclave fabricados de acuerdo con la Especificación de Boeing BMS8-256. Las partes de ensayo de los inventores presentan un rendimiento en la cizalladura en el plano, no obstante, ligeramente menor que el de sus contra-partes sometidas a autoclave. Los inventores atribuyen este hecho a la fragilidad de las resinas de infusión disponibles más que a una consecuencia del procesado de CAPRI. Los inventores esperan que las formulaciones de resinas futuras eliminen este inconveniente relativamente pequeño.

10 Mientras que los inventores han descrito realizaciones preferidas, los expertos en la técnica reconocerán que se pueden llevar a cabo modificaciones y variaciones sin que ello suponga alejarse del concepto de la invención. Los ejemplos proporcionados en las secciones II y III ilustran la invención y no se pretende que la limiten. Por tanto, la descripción y las reivindicaciones deben interpretarse de forma liberal únicamente con dicha limitación tal y como resulta necesario a la vista de la técnica anterior pertinente.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para fabricar una parte de material compuesto que presenta un fracción de volumen de fibras elevado, un espesor pre-determinado, y un espesor controlado usando una infusión de resina que comprende hacer fluir una resina al interior de una preforma (14) sobre una superficie de conformación, comprendiendo el proceso las etapas de:
- 5
- (a) compactar la preforma (14) con compactación cíclica hasta un espesor deseado, y
- 10 (b) retener el espesor deseado de la preforma al tiempo que se produce la infusión de la resina conservando una presión de compactación neta apropiada sobre la preforma (14), en el que la presión de compactación neta se consigue colocando un recipiente de alimentación de resina que contiene la resina bajo vacío parcial, en el que el vacío parcial se controla para mantener la presión de compactación neta,
- 15 en el que la presión de resina de entrada se controla haciendo que alcance un valor por debajo de la presión atmosférica ambiental al tiempo que la presión de compactación neta se mantiene sobre la preforma.

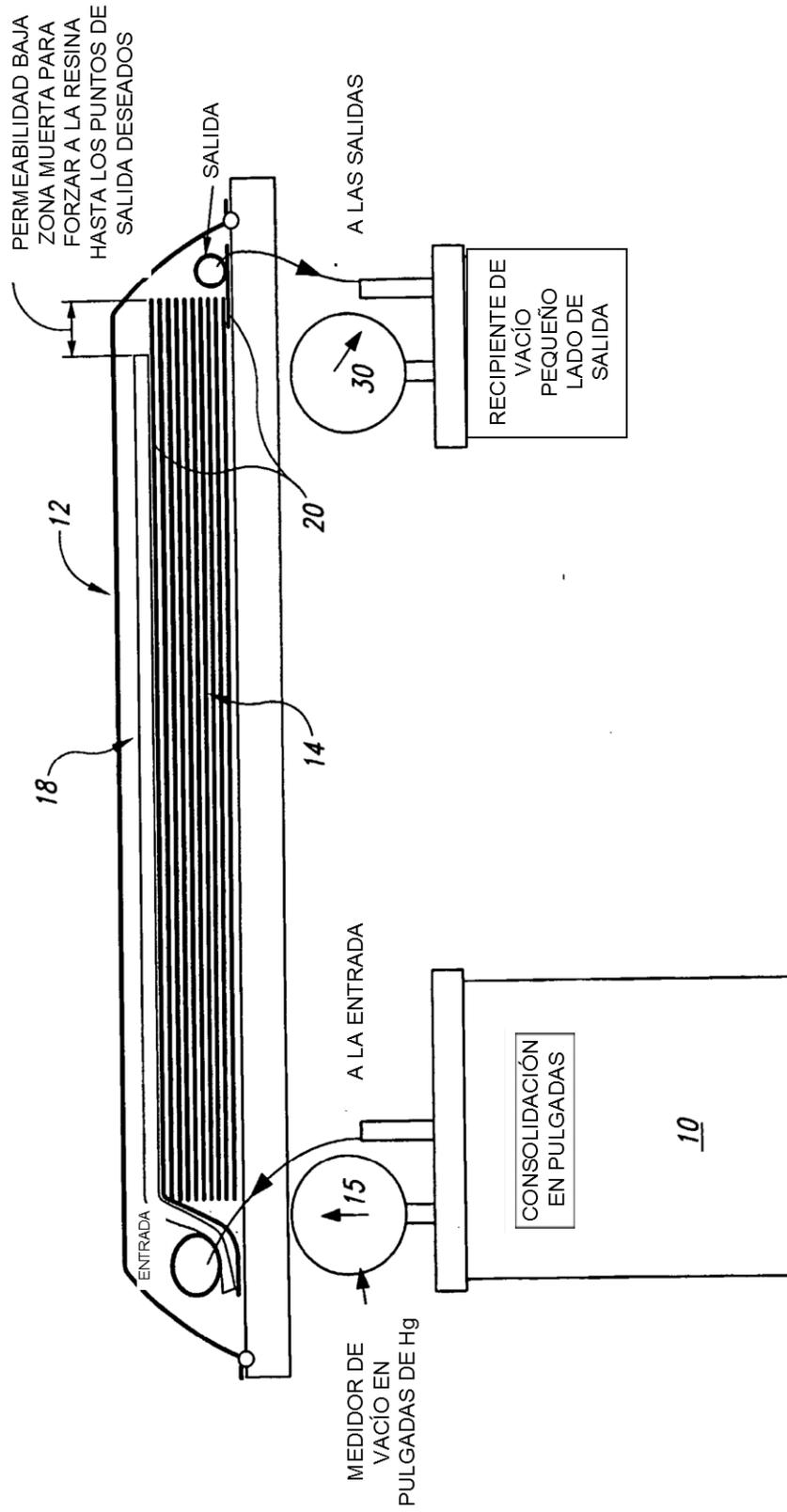


Fig. 1

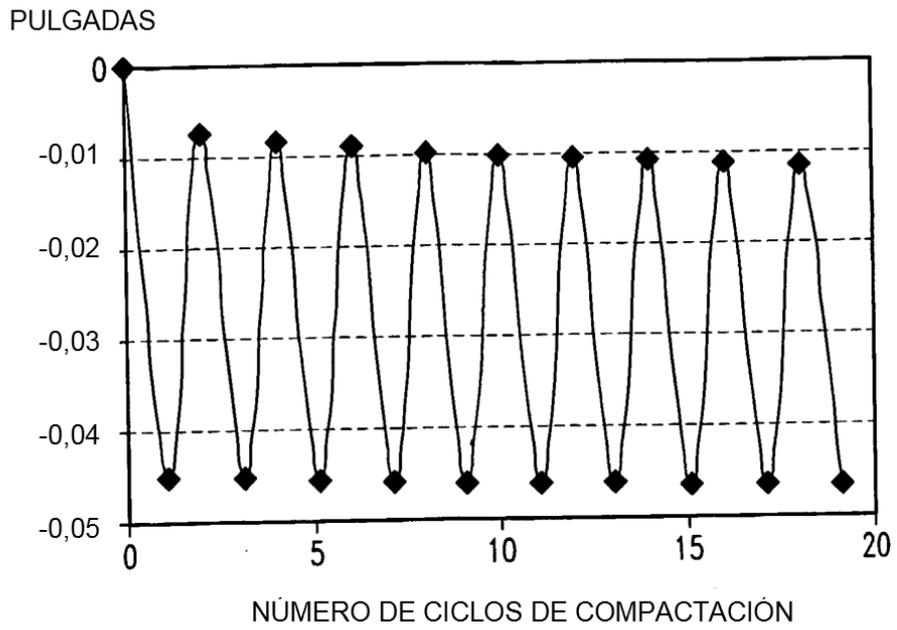


Fig. 2

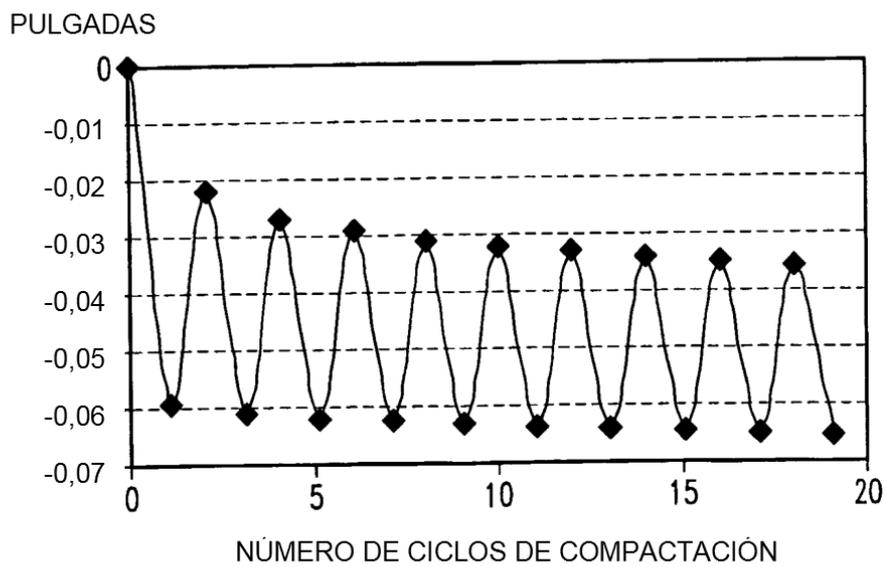


Fig. 3

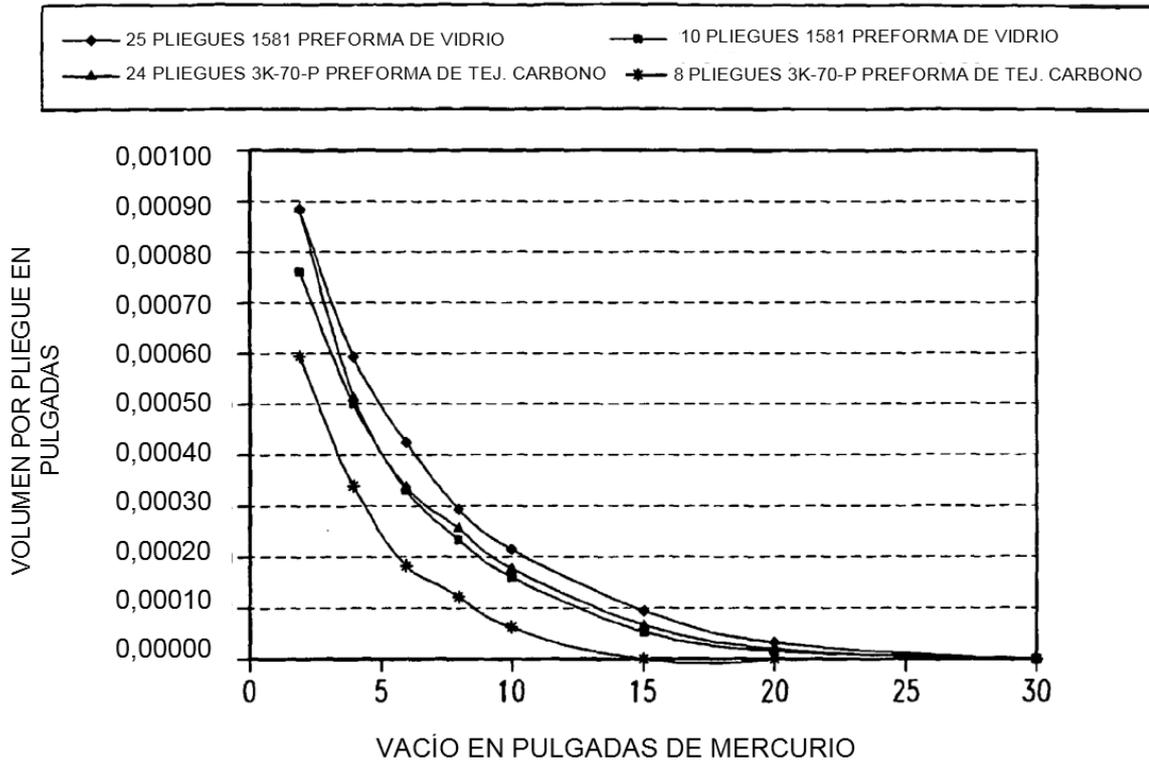


Fig. 4

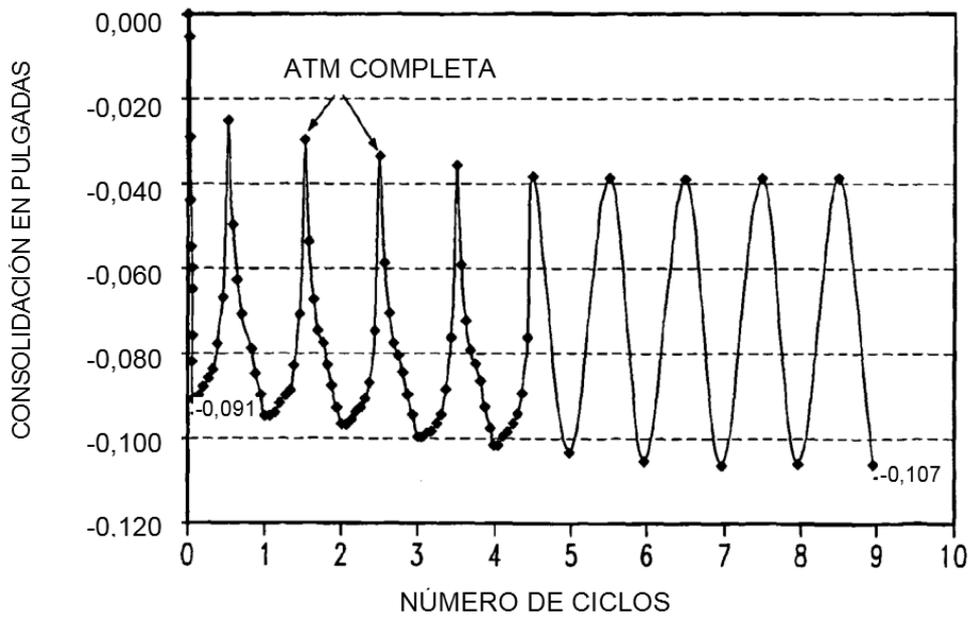
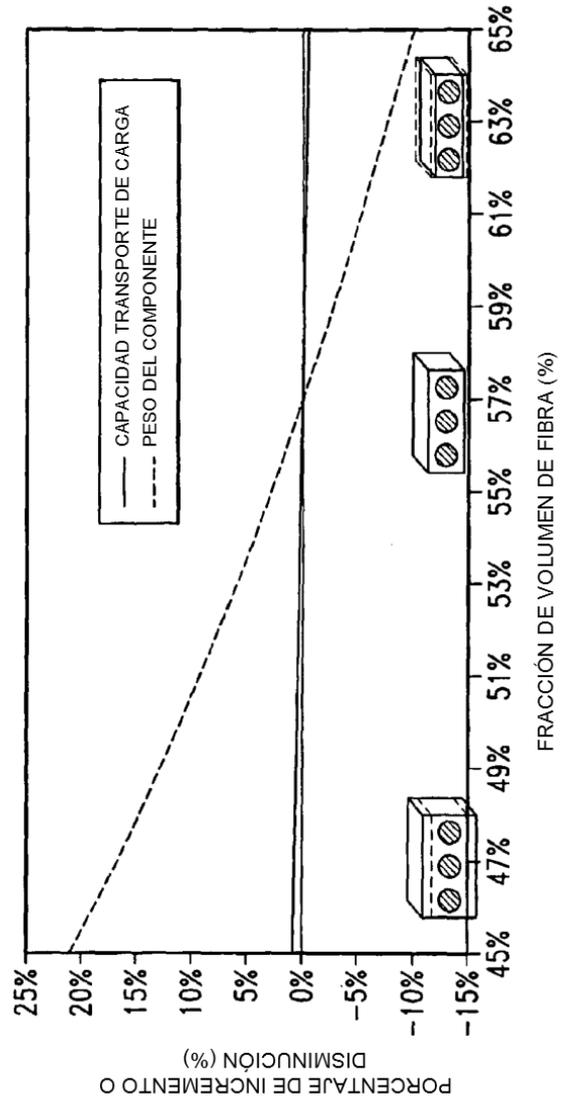
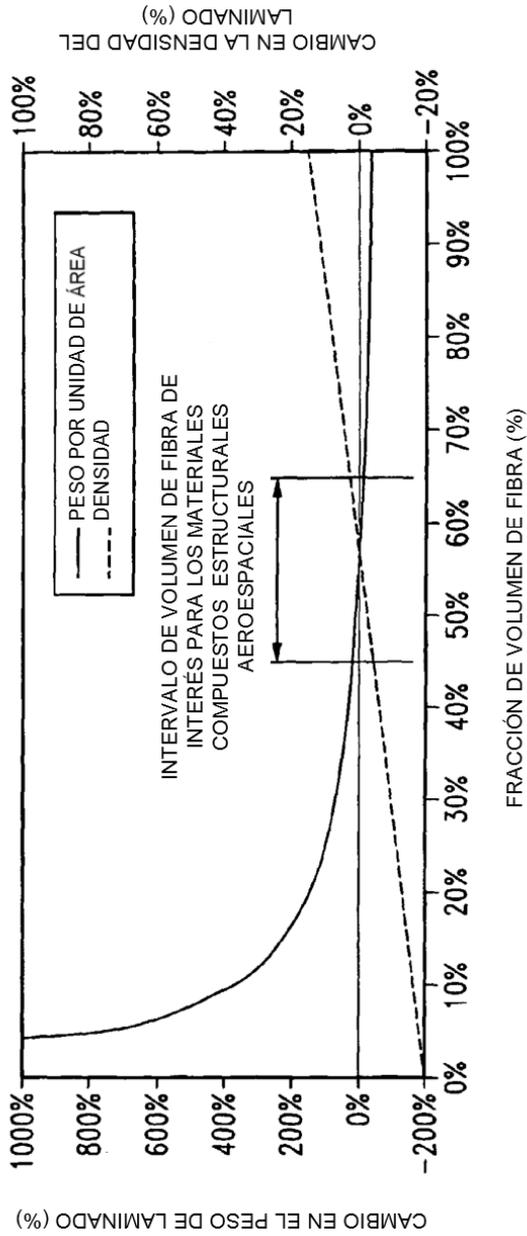


Fig. 5



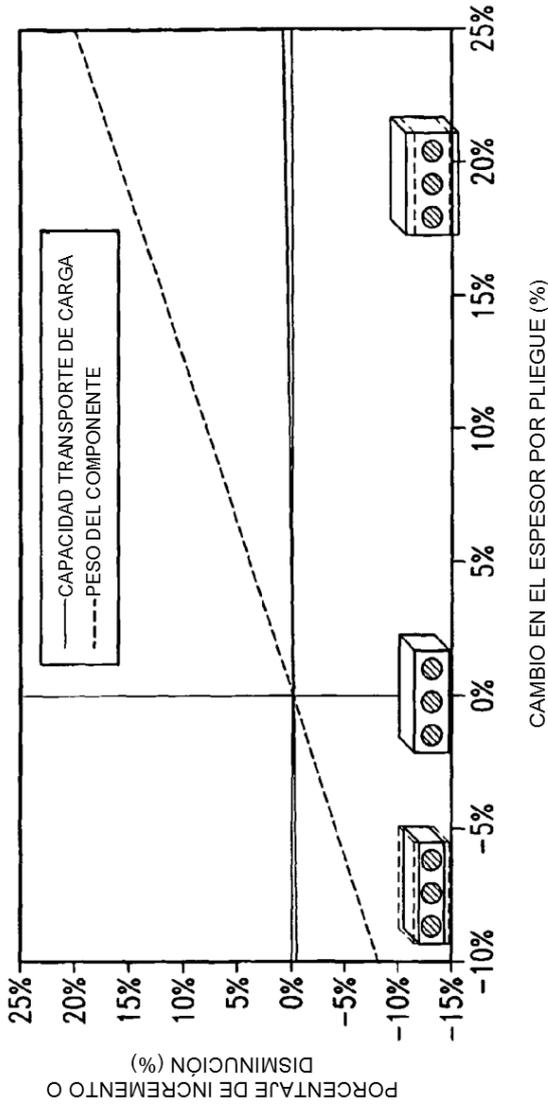


Fig. 8

ENSAYO	PATRÓN	PANEL N°	COSTURA	PRESIÓN DE RESINA	CICLOS DE COMPACTACIÓN	ESPESOR EN PULGADAS	% DE VOLUMEN DE FIBRAS DE CARBONO	% DE VOLUMEN DE FIBRA TOTAL
5	++-	2	SI	ATM	NINGUNO	0,762	49%	50%
2	+--	4	SI	20" Hg	NINGUNO	0,746	50%	51%
1	+++	3	SI	ATM	7	0,730	51%	52%
7	+--	1	SI	20" Hg	7	0,704	53%	54%
3	-+-	U2	NO	ATM	NINGUNO	0,679	55%	55%
8	-++	U3	NO	ATM	7	0,663	56%	56%
6	---	U4	NO	20" Hg	NINGUNO	0,651	57%	57%
4	--+	U1	NO	20" Hg	7	0,633	59%	59%

Fig. 9