



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 330 112**

51 Int. Cl.:
B64G 1/58 (2006.01)
B64C 1/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04754014 .1**
96 Fecha de presentación : **01.06.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1651518**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.05.2006**

54 Título: **Sistema de control de la temperatura superficial.**

30 Prioridad: **05.06.2003 US 455204**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.12.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.12.2009

73 Titular/es: **The Boeing Company**
100 North Riverside Plaza
Chicago, Illinois 60606-2016, US

72 Inventor/es: **Behrens, William, H.;**
Tucker, Andrew, R.;
French, James, E. y
Miller, Gary, J.

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 330 112 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

Sistema de control de la temperatura superficial.

5 Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

Esta invención se refiere, en general, a métodos y aparatos que proporcionan el control de la temperatura superficial en un entorno de elevado flujo térmico con un flujo de alta velocidad simultáneo sobre la superficie y, más particularmente, a métodos de control de la temperatura superficial y aparatos que implican tradicionalmente refrigeración por película o refrigeración por transpiración en el entorno mencionado anteriormente.

Descripción de la técnica relacionada

Muchas aplicaciones de ingeniería, incluyendo diversos componentes de aviones, misiles y naves espaciales requieren el control de temperatura en superficies que alcanzan un flujo de alta velocidad mientras que simultáneamente están sometidas a un elevado flujo térmico incidente. Los métodos convencionales para controlar la temperatura superficial en estas condiciones son refrigeración por película y refrigeración por transpiración.

Un sistema de refrigeración por película típico incluye una cámara impelente estructural que lleva la carga que tiene un gran número de pequeños orificios perforados en la pared estructural externa de la misma. El aire de refrigeración sale de la cámara impelente a través de estos orificios formando de esta manera una película de refrigeración que reduce la temperatura de la pared estructural externa. Sin embargo, dicho sistema de refrigeración tiene desventajas; debe perforarse un gran número de orificios en la superficie a refrigerar, aumento del coste y complejidad de la cámara impelente mientras que se reduce su resistencia estructural. Adicionalmente, los orificios deben diseñarse cuidadosamente para dar una película de refrigeración eficaz en una amplia variedad de entornos externos; el aire de refrigeración que sale a una velocidad demasiado alta se soplará a través de y fuera de la capa límite superficial hacia el flujo de corriente libre, dando como resultado una transferencia de calor reducida en la pared externa de la cámara impelente y un control de la temperatura superficial, en consecuencia, muy malo.

Un sistema de refrigeración por transpiración típico incluye una cámara impelente rodeada por una pared externa que consiste en un material poroso estructural formado a partir de un metal sinterizado o un cerámico. Estos materiales porosos tienen una gran área superficial por volumen unitario y son capaces de proporcionar una refrigeración muy eficaz del material y, en consecuencia, un buen control de la temperatura superficial. Sin embargo, seleccionar el tipo de material poroso a usar como la pared exterior de la cámara impelente es un problema de diseño difícil. Los cerámicos estructurales tienden a ser quebradizos y tienen menos resistencia estructural que los metales. Los metales sinterizados tienden a ser más fuertes pero son también más pesados que los cerámicos estructurales y, de esta manera, pueden imponer una penalización de peso inaceptable.

El documento US 2941 759 describe un cambiador de calor que tiene una lámina metálica dispuesta en relación espacial con una lámina metálica interna que tiene una multiplicidad de orificios, donde una pared porosa o una placa de metal sinterizado se asegura a la lámina de metal interna.

45 Sumario de la invención

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un aparato de control de la temperatura superficial que incluye una cámara impelente estructural de aire de refrigeración rodeada por una pared interna y una pared externa. Una capa porosa se une a la pared externa. La capa porosa puede incluir una espuma cerámica de baja resistencia. El control de la temperatura superficial puede conseguirse haciendo fluir aire de refrigeración hacia y después fuera de la capa porosa. Se proporciona un pequeño número de orificios de entrada para el refrigerante que pueden perforarse a través de la pared externa de la cámara impelente hacia la capa porosa.

Una capa semipermeable se une a la superficie externa de la capa porosa para evitar la erosión de la capa porosa y asegurar que la mayoría del flujo de refrigerante sale de la capa porosa a través de unos pequeños orificios que pueden perforarse o troquelarse a través de la capa semipermeable. El flujo de refrigerante que sale a través de los orificios de salida de la superficie se combina con el refrigerante que transpira a través de la capa semipermeable que forma una película de refrigeración en la superficie.

60 Breve descripción de los dibujos

Los objetos, características y ventajas de la presente invención resultarán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción junto con las figuras de los dibujos, en las que:

65 La Figura 1 es una vista en sección transversal de un aparato de refrigeración de acuerdo con la invención;

La Figura 2 es vista en planta del aparato de refrigeración de la Figura 1; y

ES 2 330 112 T3

La Figura 3 es un gráfico de la eficacia de refrigeración como una función de la distancia aguas abajo que proporciona un ejemplo de la eficacia de refrigeración que puede conseguirse usando esta invención.

Descripción detallada

Con referencia inicialmente a la Figura 1, un aparato de refrigeración, indicado de forma general como 10, incluye un miembro estructural interno 12 que se combina con una pared estructural externa 14 que forma una cámara impelente entre ellos 16. El miembro estructural interno 12 y la pared estructural externa 14 pueden formarse a partir de un material metálico tal como titanio. Una capa porosa 18 puede unirse adhesivamente o unirse de otra manera a la pared estructural externa 14 y los orificios de entrada 20 pueden formarse en la pared estructural externa 14 y pueden penetrar la capa porosa 18 proporcionando un flujo de aire refrigerante como se indica mediante las flechas en negrita 22 de la cámara impelente 16 hacia la capa porosa 18. Los orificios de entrada 20, por ejemplo, pueden tener un diámetro de aproximadamente 2,29 mm (90 mils), una profundidad de hasta la mitad del espesor de la capa porosa 18 y pueden estar espaciados en aproximadamente 6,9 mm (0,27").

La capa porosa 18 puede tener un tamaño de huecos de menos de 50 micrómetros y puede formarse a partir de un aislante de espuma cerámica. La baja conductividad térmica de la espuma cerámica ayuda a minimizar la refrigeración requerida por el sistema de control de la temperatura superficial. La baja resistencia estructural de la espuma cerámica comparada con los materiales porosos convencionales no es importante ya que la cámara impelente estructural subyacente funciona como la estructura primaria que lleva la carga. Un ejemplo del tipo de espuma cerámica mencionado está disponible en el mercado como Rescor 360 que es un aislante térmico rígido. Este aislante se fabrica en Cotronics Corporation y puede tener una densidad de aproximadamente 256,3 kg/m³ (16 lb/pie³) y un espesor de aproximadamente 2,54 cm (1,0"). Debido a las cualidades aislantes de la espuma cerámica, puede unirse a la cámara impelente usando una silicona de vulcanización a temperatura ambiente (RTV) disponible en el mercado tal como GE RTV-630, GE RTV-560 o Dow Corning DC3145. El espesor de la línea de unión para el adhesivo puede ser tan fino como 0,2 mm (0,008").

Puede disponerse una capa semipermeable 24 sobre una superficie exterior de la capa porosa 18. La capa semipermeable 24 protege a la capa porosa subyacente de baja resistencia de la erosión por un flujo de alta velocidad y puede estar compuesta por una capa de densificación cubierta con un material compuesto de matriz cerámica (CMC). Un ejemplo de un producto de densificación es el endurecedor aislante líquido Rescor 901A disponible en el mercado y la base rígida fabricada por Cotronics Corporation. El tejido Nextel 312 combinado con una matriz cerámica sinterizada es un ejemplo de CMC. En un entorno donde la radicación es el modo dominante de transferencia de calor, la capa semipermeable 24 podría ser, en lugar de ello, un revestimiento semipermeable altamente reflectante que, cuando se enlaza a la superficie exterior de la capa porosa 18, restringiría tanto la transpiración como minimizaría la energía absorbida.

La capa de barrera semipermeable puede incluir una pluralidad de perforaciones que funcionan como orificios de salida 26 para el aire de refrigeración. No es necesario que estos orificios de salida 26 estén alineados con los orificios de entrada 20 y pueden situarse en filas escalonadas formando una cuadrícula uniforme como se representa en la Figura 2. La proporción de orificios de salida 26 a orificios de entrada 20 puede ser de aproximadamente 10,7 orificios de salida por orificio de entrada. Los orificios de salida 26 pueden tener un diámetro de aproximadamente 1 mm (40 mils), una profundidad de aproximadamente 2,5 mm (0,1") y pueden espaciarse 3,05 mm (0,12") unos de otros. Los orificios de salida 26 pueden formarse usando una operación de perforación o una operación de troquelado sencilla y barata que penetre una parte de la capa semipermeable 24 sin necesidad de una operación de perforación más cara.

Una fuente de calor, indicada mediante las flechas 30, se dispone por encima del aparato de refrigeración 10. El aire de refrigeración se introduce en la cámara impelente 16, como se indica mediante las flechas 32, entra en la capa porosa 18 a través de los orificios de entrada 20, como se indica mediante las flechas 22. El aire de refrigeración se dispersa entonces en el plano de la capa porosa 18 mientras que se desplaza a través del espesor de la capa porosa 18, como se indica mediante una pluralidad de flechas 34 mostradas en la capa porosa 18. La mayor parte del aire de refrigeración fluye a través de los orificios de salida 26, como se indica mediante las flechas 36, ya que la capa semipermeable 24 es un obstáculo significativo al flujo de aire de refrigeración hacia fuera de la capa porosa 18. La pequeña cantidad de aire de refrigeración que no fluye a través de los orificios de salida 26 transpira a través de la capa semipermeable 24 hacia las áreas entre los orificios de salida 26, como se indica mediante las flechas 28.

La invención combina los mejores atributos de la refrigeración por película y por transpiración mientras que supera las limitaciones de cada método. Este sistema tiene muchos menos orificios perforados a través de la pared externa de la cámara impelente comparado con los que eran necesarios en el sistema de refrigeración por película convencional. Esto permite fabricar más fácilmente una cámara impelente además estructuralmente más fuerte. Un pequeño número de orificios de entrada en la pared externa de la cámara impelente mantiene un control de la temperatura superficial uniforme porque el aire de refrigeración se difunde fácilmente tanto en el plano como a través del espesor de la capa porosa, un efecto que se amplifica por la severa restricción de la transpiración que ocurre en la capa semipermeable.

Al compararlo con un sistema de refrigeración por película convencional, puede pensarse que los orificios de orificios de salida de refrigerante son aquellos que se han movido fuera de la pared externa de la cámara impelente

ES 2 330 112 T3

hacia la superficie de la espuma cerámica porosa. Los orificios de salida pueden fabricarse fácilmente en la espuma porosa usando un troquel sencillo que penetra en la barrera semipermeable sin tener que emplear una operación de perforación más cara.

5 La capa de espuma cerámica adicional sirve para reducir en gran medida la velocidad de salida del aire de refrigeración. Las velocidades de refrigeración menores reducen la penetración en la capa límite, evitando de esta manera una dificultad habitual de los sistemas de refrigeración por película convencionales y, en lugar de ello, proporcionando un rendimiento de refrigeración comparable a los sistemas de refrigeración por transpiración convencionales. La baja conductividad del aislante de espuma cerámica porosa minimiza la transferencia de calor desde el entorno de elevado
10 flujo térmico y, de esta manera, permite que la cámara impelente se construya a partir de materiales de menor temperatura y de menor coste. La baja resistencia del aislante de espuma cerámica de peso ligero se mitiga uniéndola directamente a la pared externa de la cámara impelente estructural. Esta disposición es más fuerte que los sistemas que utilizan cerámicos refrigerados para transpiración convencionales y es más ligera que los sistemas de refrigeración por transpiración con metal sinterizado poroso.

15 Estos beneficios se realizan en un sistema que proporciona un mejor control de la temperatura superficial que los sistemas de refrigeración por película convencionales y comparable con los sistemas de refrigeración por transpiración convencionales. La eficacia térmica de la invención es alta debido a que la combinación de refrigeración por película y refrigeración por transpiración representada en este sistema crea una película de refrigeración en la superficie externa con una penetración mínima de la capa límite. Esto, a su vez, significa que se necesitan menores caudales de refrigerante para conseguir una temperatura superficial dada cuando se compara con los sistemas de refrigeración por película convencionales.

20 La eficacia térmica de la invención se ha demostrado en experimentos de laboratorio. Se realizó un ensayo en el que una lámina aislante de cerámico poroso de 2,54 cm (1") de espesor con una capa semipermeable de CMC endurecida unida se unió adhesivamente a un sustrato de titanio usando silicona de alta temperatura. La capa semipermeable de la muestra se penetró con orificios de salida dispuestos en una cuadrícula uniforme que consistía en filas escalonadas de orificios. Estos orificios eran de aproximadamente 1 mm (40 mils) de diámetro, estaban espaciados 3,05 mm (0,12") entre sí y penetraban a una profundidad de aproximadamente 2,54 mm (0,1"). Se perforaron orificios de entrada que
30 tenían un diámetro de aproximadamente 2,29 mm (90 mils) a través del sustrato de titanio a una densidad de orificio de 10,7 orificios de salida por orificio de entrada. El aire de alta velocidad y alta temperatura se dirigió tangencialmente sobre la superficie de la muestra mientras que se soplaba aire de refrigeración a través de la muestra a diferentes caudales.

35 Los resultados de este ensayo se presentan en la Figura 3. La figura representa la eficacia de refrigeración η como una función de la distancia aguas abajo sobre la muestra. La eficacia de refrigeración es una medida de la eficacia con la que el aire de refrigeración reduce la temperatura superficial de la muestra por debajo de la temperatura de la superficie no refrigerada como se indica en la ecuación mostrada anotada en la representación gráfica. Una eficacia de refrigeración de 0,0 corresponde a una temperatura de pared refrigerada igual a la temperatura de pared no refrigerada mientras que la eficacia de refrigeración de 1,0 corresponde a una temperatura de pared refrigerada igual a la temperatura de suministro a la cámara impelente del refrigerante. Las líneas verticales en la representación, 38 y 40, indican los límites aguas arriba y aguas abajo respectivamente de la cuadrícula de orificios de salida en la superficie de la muestra.

45 Puede observarse el efecto de dos modos de refrigeración distintos en la superficie de la muestra en la forma de las curvas de eficacia. Hay una región aguas arriba inicial sobre la que el espesor de la película de refrigeración se acumula caracterizada por una eficacia que aumenta rápidamente, seguido de una región de película de refrigeración desarrollada totalmente y caracterizada por una eficacia aproximadamente constante.

50 La invención consigue un alto nivel de aproximadamente el 71% de eficacia de refrigeración en la región totalmente desarrollada con una modesta refrigeración de 0,034 kg/min/cm² (0,49 lb/min/pulg²) de caudal de aire de refrigeración. Cortar el caudal de refrigerante sobre el 40% a 0,020 kg/min/cm² (0,29 lb/min/pulg²) sólo reduce la eficacia totalmente desarrollada a aproximadamente el 65%. Una reducción adicional en el caudal a 0,013 kg/min/cm² (0,18 lb/min/pulg²) produce una eficacia totalmente desarrollada de aproximadamente el 59%. El hecho de que sólo se pierden 12 puntos
55 porcentuales de eficacia para una reducción de casi dos tercios en el caudal de refrigerante manifiesta la alta eficacia térmica de la invención.

Las curvas de eficacia muestran también el alto grado de uniformidad de refrigeración conseguido sobre la región totalmente desarrollada de la superficie de la muestra, especialmente a los caudales más altos. Esto muestra que la invención produce, en consecuencia, un alto grado de uniformidad en la temperatura superficial.

60 Un sistema de refrigeración de acuerdo con la invención es más barato, estructuralmente más fuerte y más eficaz térmicamente que los sistemas de refrigeración de película convencionales. La invención proporciona también un sistema de refrigeración que es estructuralmente más fuerte, más ligero de peso y es al menos tan eficazmente térmicamente como los sistemas de refrigeración por transpiración convencionales. Adicionalmente, la invención puede adaptarse fácilmente a diversas situaciones de diseño que se dan en aviones, misiles, vehículos hipersónicos y naves espaciales.

ES 2 330 112 T3

Aunque las realizaciones preferidas de la invención se han descrito con propósitos ilustrativos, los especialistas en la técnica apreciarán que son posibles diversas modificaciones, adiciones y sustituciones sin alejarse del alcance de la invención como se describe en este documento y en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, aunque se ha descrito el aire como un refrigerante, por supuesto pueden usarse otros fluidos.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) que comprende:

un miembro estructural interno (12) y una pared estructural externa (14) que definen una cámara impelente (16) entre ambos;

una capa porosa (18) unida a la pared estructural externa (14);

incluyendo la pared estructural externa (14) aberturas (20) en su interior, **caracterizada** por una capa perforada (24) dispuesta sobre una superficie exterior de la capa porosa (18), estando hecha la capa perforada de un material semipermeable que permite que el refrigerante transpire a través del material en las regiones entre las perforaciones.

2. El aparato de la reivindicación 1, en el que la capa porosa (18) incluye una capa aislante de espuma cerámica.

3. El aparato de la reivindicación 1, en el que la capa perforada (24) incluye un material compuesto de matriz cerámica endurecido.

4. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la pared estructural externa (14) está formada de un material metálico.

5. Un método de fabricación de un aparato para refrigerar la superficie de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3.

6. Un método para refrigerar una superficie que comprende:

proporcionar una cámara impelente estructural (16) unida por un miembro estructural interno (12) y una pared estructural externa (14);

proporcionar una capa porosa (18) unida a la pared estructural externa (14) por fuera de la cámara impelente (16);

proporcionar aberturas en la pared estructural externa (14) para colocar la cámara impelente (16) en comunicación fluida con la capa porosa (18); **caracterizado** por proporcionar una capa semipermeable (24) unida a la capa porosa (18), proporcionar una pluralidad de aberturas en la capa semipermeable y proporcionar aire presurizado dentro de la cámara impelente (16), donde una parte del aire presurizado transpira a través de la capa semipermeable (24) en las regiones entre las perforaciones.

7. El método de la reivindicación 6, en el que el aire presurizado generalmente fluye a través del espesor de la capa porosa (18) desde las aberturas en la pared estructural externa (14) de la cámara impelente (16) hacia la capa semipermeable (24), con el algo de dispersión del flujo en el plano de la capa porosa (18).

8. El método de la reivindicación 7, en el que la mayor parte del aire presurizado sale de la capa porosa (18) a través de la pluralidad de aberturas en la capa semipermeable (24).

9. El método de la reivindicación 6, en el que el aire presurizado que sale a través de la pluralidad de aberturas se combina con la parte del aire presurizado que transfiere a través de la capa semipermeable (24) para formar una película de refrigeración adyacente a la superficie que se está enfriando.

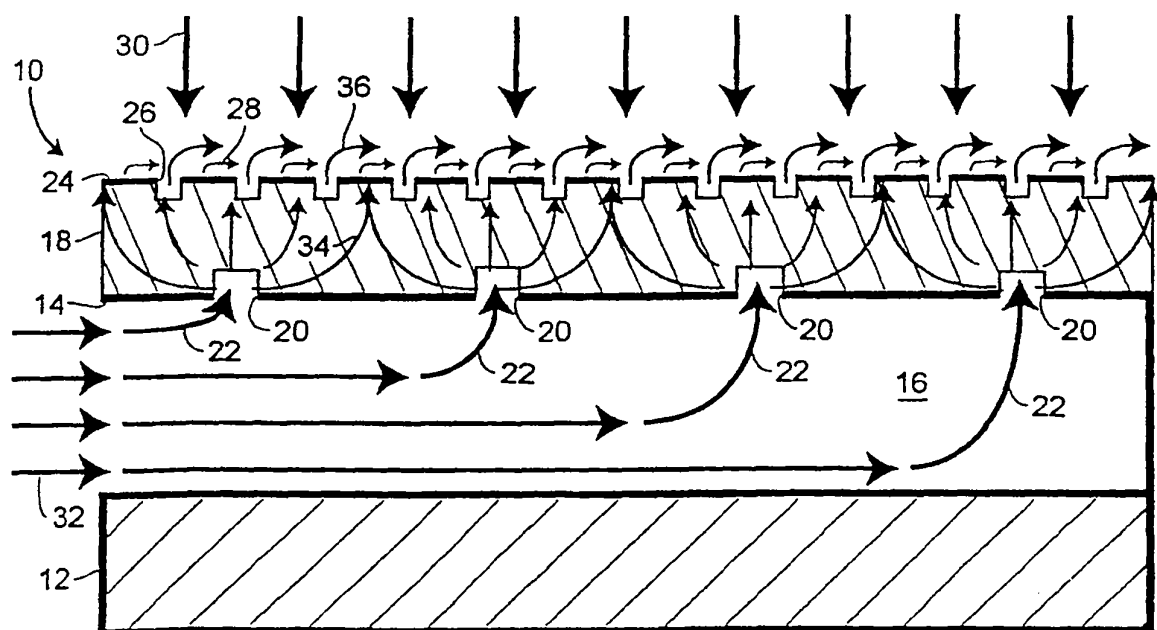


FIG. 1

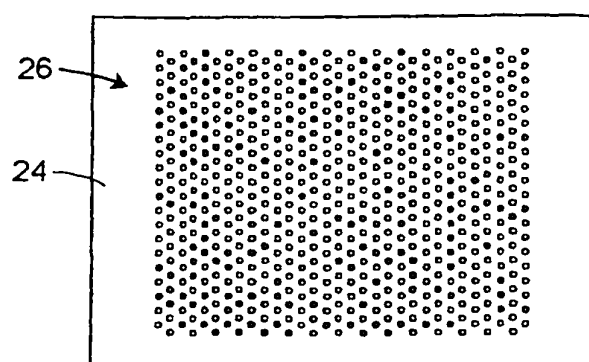


FIG. 2

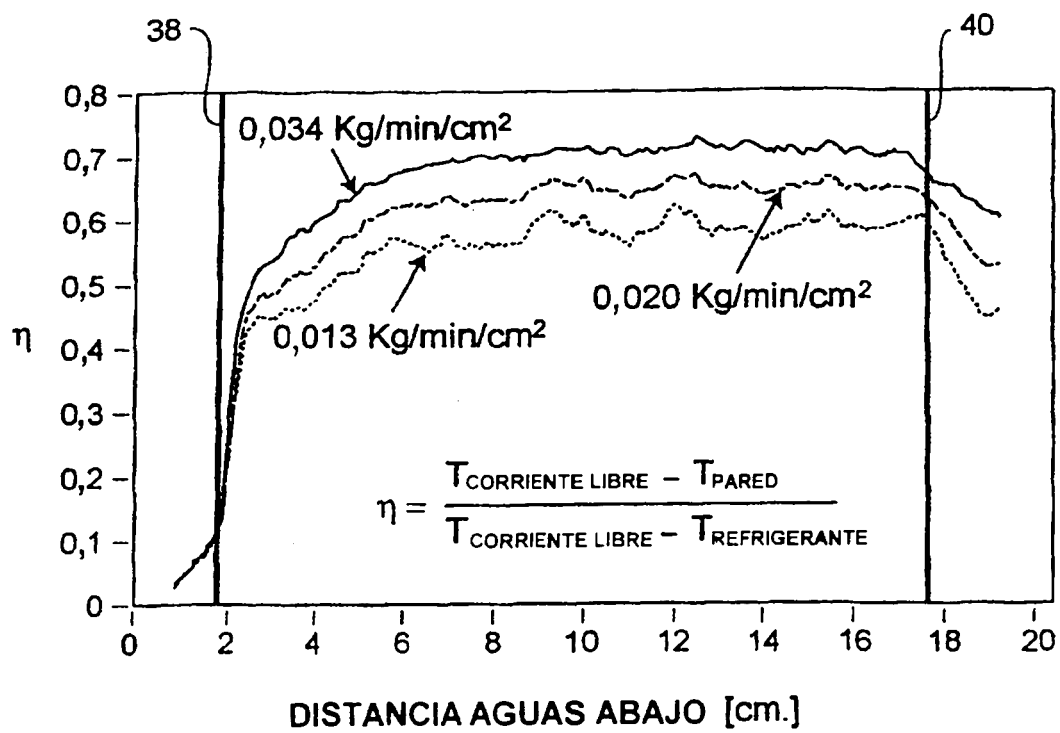


FIG. 3