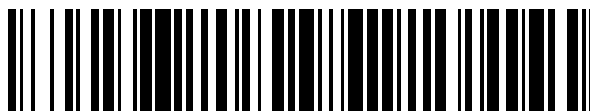


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 868**

51 Int. Cl.:

**F28F 9/18** (2006.01)  
**F28F 9/013** (2006.01)  
**F28F 19/00** (2006.01)  
**F28F 21/08** (2006.01)  
**F28F 9/22** (2006.01)  
**F28D 7/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2010 E 10743280 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2454546**

54 Título: **Disposiciones de haces de tubos helicoidales para intercambiadores de calor**

30 Prioridad:

**16.07.2009 US 225991 P**  
**15.07.2010 US 836688**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.10.2015**

73 Titular/es:

**LOCKHEED MARTIN CORPORATION (100.0%)**  
**6801 Rockledge Drive**  
**Bethesda, MD 20817, US**

72 Inventor/es:

**NAGURNY, NICHOLAS J.;**  
**LEVINGS, NATALIE B.;**  
**BECKNER, DEREK M. y**  
**MAURER, SCOTT M.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 547 868 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

Disposiciones de haces de tubos helicoidales para intercambiadores de calor

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 Este caso reivindica la prioridad de la Solicitud Provisional de la patente de los Estados Unidos No. de Serie 61/225,991, que fue presentada el 16 de julio 2009 (Expediente: 711-283US), y que se incorpora en este documento como referencia.

Si existe cualquier contradicción o inconsistencia en el lenguaje entre esta aplicación y uno o más de los casos que han sido incorporados por referencia que puedan afectar a la interpretación de las reivindicaciones en este caso, las reivindicaciones en este caso se deben interpretar para que sean coherentes con el idioma en este caso.

### 10 Campo de la invención

La presente invención se refiere a intercambiadores de calor en general, y, más particularmente, a intercambiadores de calor de carcasa y tubo, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, así como a un método de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 9. FR 1.374.955 revela dicho intercambiador de calor.

Antecedentes de la invención

15 La conversión de energía térmica oceánica ("OTEC") es un método para generar electricidad basada en la diferencia de temperatura que existe entre aguas profundas y poco profundas de una gran masa de agua, tal como un océano, mar, golfo, o lago grande, profundo. Un sistema de OTEC utiliza un motor térmico (i.e., un dispositivo o sistema termodinámico que genera electricidad basado en un diferencial de temperatura) que está acoplado térmicamente entre aguas superficiales relativamente más cálidas y aguas profundas relativamente más frías.

20 Un motor térmico adecuado para OTEC se basa en el ciclo de Rankine, que utiliza una turbina de baja presión. Un conducto de circuito cerrado que contiene un fluido caracterizado por un punto de ebullición bajo, tal como amoníaco, está acoplado térmicamente con agua caliente a un primer intercambiador de calor, donde se vaporiza el fluido de bajo punto de ebullición. El vapor de expansión es forzado a través de la turbina, que acciona un generador turbo. Después de salir de la turbina, el fluido de trabajo vaporizado se condensa de nuevo en un estado líquido en un segundo intercambiador de calor, donde el conducto de circuito cerrado está acoplado térmicamente con agua fría. A continuación, el fluido de trabajo condensado se recicla a través del sistema.

25 Los sistemas OTEC han demostrado ser técnicamente viables, pero el alto coste de capital de estos sistemas ha frustrado su comercialización. Los intercambiadores de calor son el segundo mayor contribuyente al costo de capital de una planta OTEC (el costo más grande es el de una plataforma o buque amarrado en alta mar). Por lo tanto, es de gran importancia la optimización de los enormes intercambiadores de calor que se requieren para una planta OTEC y puede tener un gran impacto en la viabilidad económica de la tecnología OTEC.

30 Muchos tipos de intercambiadores de calor se han empleado en los sistemas OTEC incluyendo; intercambiadores de calor de aletas de placa, de placa y marco, de carcasa y tubos. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos son particularmente atractivos para su uso en aplicaciones de OTEC, debido a su potencial para grandes volúmenes de caudales de fluido y la baja contrapresión. Un intercambiador de calor de carcasa y tubo comprende múltiples tubos colocados entre dos placas tubulares y encapsuladas en una carcasa de recipiente a presión. Un primer fluido o gas se hace pasar a través de los tubos y un segundo fluido o gas se hace pasar a través de la carcasa de recipiente a presión de tal manera que fluye a lo largo de la superficie exterior de los tubos. La energía térmica se transfiere entre el primer y segundo fluido a través de las paredes de los tubos. Los extremos de los tubos por lo general son ajustados a presión o soldados a las placas tubulares.

35 Desafortunadamente, los intercambiadores de calor de carcasa y tubo tienen varios inconvenientes que hasta el momento han limitado su uso en aplicaciones marinas. En primer lugar, el coeficiente de transferencia de calor global,  $U$ , que está asociado con la caída de presión razonable para OTEC por lo general está por debajo de  $2000 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La eficiencia de transferencia de calor está limitada por, entre otras cosas (1) deflectores que normalmente se incluyen en el recipiente de presión para inducir turbulencia y flujo transversal del segundo fluido, y (2) una limitación de la velocidad de flujo del segundo fluido para evitar la inducción de vibración y de flujo de las fuerzas que inducen tensiones mecánicas y tensiones en los tubos.

40 Un segundo inconveniente de los intercambiadores convencionales de calor de carcasa y tubo es que son propensos a la "contaminación biológica". La contaminación biológica disminuye la eficiencia y conduce a un aumento de los costes de mantenimiento (en particular para los intercambiadores de calor situados en los niveles de aguas profundas). La contaminación biológica surge, entre otras cosas, de la captura de la materia orgánica en los huecos y grietas, tales como los asociados con tubos que se ajustan a presión o soldadura de fusión en placas tubulares.

Un tercer inconveniente de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos convencionales es que no son muy adecuados para aplicaciones de agua de mar, tales como OTEC. Dado que los tubos son ajustados a presión o soldados por fusión en las placas tubulares, es difícil asegurar el aislamiento de fluido entre el fluido primario en el interior de los tubos y el agua de mar que fluye alrededor de los tubos a través de la carcasa. Además, la fiabilidad de los intercambiadores de calor convencionales de carcasa y tubo se ve comprometida por la corrosión galvánica que se produce en las uniones soldadas utilizadas para sellar los tubos a las placas tubulares. La corrosión galvánica se produce debido a la reactividad entre metales diferentes incluidos en las soldaduras de fusión. La corrosión galvánica se ve agravada por la exposición de las soldaduras al agua de mar. La fiabilidad se degrada aún más por el potencial de corrosión de la grieta en las regiones de flujo de estancamiento, incluso para los diseños de carcasa y tubo hechos a medida para aplicaciones OTEC.

Históricamente, estos inconvenientes han llevado a que el tamaño y el costo de intercambiadores de calor de carcasa y tubos sean demasiado altos para consideración práctica.

Con la creciente necesidad actual de energía, el uso de una fuente de energía de carga base renovable, constante, es una solución deseable. Como consecuencia, existe un interés renovado en las plantas de energía OTEC. Pero el desarrollo de un intercambiador de calor OTEC de bajo costo que tenga alta capacidad de intercambio de calor, altas tasas de flujo, baja pérdidas parásitas de bombeo, y larga vida en medio del océano sigue siendo difícil de alcanzar.

#### Resumen de la invención

La presente invención proporciona un intercambiador de calor sin algunos de los costos y desventajas de la técnica anterior. Las realizaciones de la presente invención son particularmente muy adecuadas para su uso en sistemas de OTEC; Sin embargo, las realizaciones de acuerdo con la presente invención también son adecuadas para su uso en otras aplicaciones de intercambiadores de calor, tales como los reactores nucleares, plantas químicas, y similares.

La realización ilustrativa de la presente invención es un intercambiador de calor de carcasa y tubos, en donde los tubos están dispuestos como una pluralidad de haces de tubos, cada uno de los cuales incluye una pluralidad de tubos para el transporte de un fluido primario o secundario. Cada haz de tubos se caracteriza por un eje central que se extiende desde una primera placa tubular a una segunda placa tubular, y cada haz de tubos se enrolla helicoidalmente alrededor de su eje central.

En algunas realizaciones, las placas tubulares y los tubos están hechos del mismo material y se utiliza soldadura por fricción-rotación para unir las paredes del tubo a las placas tubulares. Como resultado, las paredes del tubo y placas tubulares forman juntas resistentes a la corrosión sustancialmente galvánica que sellan y aíslan el fluido en los tubos de un fluido que fluye alrededor de los tubos en la cáscara.

En algunas realizaciones, la pluralidad de haces de tubos está dispuesta en cada placa tubular en una disposición hexagonalmente compacta.

En algunas realizaciones, los tubos dentro de cada haz de tubos están acoplados mecánicamente para restringir el movimiento de cada tubo con respecto a los otros tubos dentro de su haz de tubos. En algunas realizaciones, los tubos dentro de cada haz de tubos están acoplados mecánicamente para rechazar considerablemente cualquier movimiento de cada tubo con respecto a los otros tubos dentro de cada haz de tubos.

En algunas realizaciones, un primer haz de tubos está encerrado en una primera cubierta que transporta un primer fluido y un segundo haz de tubos está encerrado en una segunda cubierta que transporta un segundo fluido que es diferente del primer de fluido así como el fluido que fluye a través de los mismos tubos.

Una realización de la presente invención comprende: un intercambiador de calor que comprende un primer haz de tubos que tiene un primer eje central, en donde el primer haz de tubos comprende una primera pluralidad de tubos para transportar un primer fluido, y en donde el primer haz de tubos se enrolla helicoidalmente alrededor del primer eje central.

#### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa un diagrama esquemático de un sistema de generación de energía OTEC de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 2 representa un intercambiador de calor de carcasa y tubos convencional, como se conoce en la técnica anterior.

La figura 3A representa un tubo retorcido adecuado para uso en un intercambiador de calor de carcasa y tubos, de acuerdo con la técnica anterior.

La figura 3B representa una serie de vistas en sección transversal de tubos 302 en diferentes puntos a lo largo de la dirección z.

La figura 4 representa un intercambiador de calor de carcasa y tubos, de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención.

5 La figura 5A representa un haz de tubos de acuerdo con la realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 5B representa una vista desde un extremo del haz de tubos 404-*i* de acuerdo con la realización ilustrativa de la presente invención.

La figura 6 representa una disposición de haces de tubos de acuerdo con una primera realización alternativa de la presente invención.

10 La figura 7A representa un haz de tubos de acuerdo con una segunda realización alternativa de la presente invención.

La figura 7B representa un haz 700 de tubos antes del enrollado de los tubos 704 exteriores alrededor del tubo 702 central.

La figura 7C representa mecanismo de montaje del haz para formar un haz de tubos de acuerdo con la segunda realización alternativa de la presente invención.

15 La figura 8 representa una guía para la sujeción de tubos 704 exteriores y el tubo 702 central durante y/o después de la formación del haz 700 de tubos.

#### Descripción detallada

20 La figura 1 representa un diagrama esquemático de un sistema de generación de energía OTEC de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención. El sistema 100 de OTEC, comprende una plataforma 102 marítima, turbogenerador 104, el conducto 106 de circuito cerrado, el evaporador 110-1, condensador 110-2, casco 112, bombas 114, 116 y 124, y los conductos 120, 122, 128, y 130.

25 Una plataforma 102 marítima, es una plataforma en alta mar con patas de tensión que comprende un casco 112 flotante, que incluye una cubierta, cajones, y pontones. El casco está soportado por encima del fondo marino 136 por patas de tensión rígidas que están ancladas en el fondo marino 136, en la ubicación 134 de despliegue. Para mayor claridad, la cubierta, cajón, pontones, y las patas de tensión no se muestran en la figura. 1.

30 En algunas realizaciones, la plataforma 102 marítima se despliega en un lugar de implantación en un cuerpo de agua distinto de un océano (por ejemplo, un lago, mar, etc.). En algunas realizaciones, la plataforma 102 marítima es una plataforma marítima distinta a una plataforma marítima de patas de tensión, tales como un semi-sumergible, mástil, barco de perforación, plataforma marítima autoelevable, planta de pastoreo, y similares. Será evidente para un experto en la técnica cómo especificar, hacer, y utilizar la plataforma 102.

El turbogenerador 104 es un generador de turbina accionado convencional montado en un casco 112. El turbogenerador 104 genera energía eléctrica en respuesta a un flujo de fluido y proporciona la energía eléctrica generada en el cable 138 de salida.

35 El conducto 106 de circuito cerrado es un conducto para transportar un fluido 108 de trabajo a través del evaporador 110 -1, del condensador 110-2 y el turbogenerador 104.

El evaporador 110-1 es un intercambiador de calor de carcasa y tubos que está configurado para transferir calor de agua de mar caliente en la región 118 y fluido 108 de trabajo induciendo de este modo al fluido de trabajo a vaporizarse.

40 El condensador 110-2 es un intercambiador de calor de carcasa y tubos que está configurado para transferir el calor del fluido 108 de trabajo vaporizado al agua de mar fría de la región 126 de aguas profundas, induciendo de este modo la condensación del fluido 108 de trabajo vaporizado, otra vez en forma líquida. El evaporador 110-1 y el condensador 110-2 están acoplados mecánica y fluidicamente con la plataforma 102 marítima.

45 Un experto en la técnica reconocerá que el funcionamiento de un intercambiador de calor como evaporador o condensador depende de la manera en que está configurado fluidicamente dentro del sistema 100 OTEC. Un intercambiador de calor de carcasa y tubos (i.e., el intercambiador 110 de calor) de acuerdo con la realización ilustrativa de la presente invención se describe con más detalle a continuación y con respecto a la figura 4.

El turbogenerador 104, el conducto 106 de circuito cerrado, el evaporador 110, y el condensador 112 forman colectivamente un motor de ciclo de Rankine que genera energía eléctrica basada en la diferencia en la temperatura del agua en la región 118 de la superficie y la temperatura del agua en la región 126 de aguas profundas.

5 Durante el funcionamiento normal, la bomba 114, bombea el fluido 108 de trabajo, en forma líquida, a través del conducto 106 de circuito cerrado al evaporador 110-1. El amoníaco se utiliza a menudo como fluido 108 de trabajo en sistemas de OTEC; sin embargo, será evidente para un experto en la técnica que cualquier líquido que se evapora a la temperatura del agua en la región 118 de la superficie y se condensa a la temperatura del agua en la región 126 de aguas profundas es adecuado para su uso como fluido 108 de trabajo (sujeto a las limitaciones de compatibilidad de material).

10 La bomba 116 extrae agua de mar caliente de la región 118 de la superficie en el evaporador 110 a través del conducto 120. En una implementación típica de OTEC, el agua en la región 118 de la superficie está a una temperatura sustancialmente constante de aproximadamente 25 grados centígrados (sometida a condiciones de clima y luz solar). En el evaporador 110-1, el calor del agua caliente es absorbido por el fluido 108 de trabajo, lo que induce al fluido de trabajo a vaporizarse. Después de pasar por el evaporador 110-1, el agua ahora ligeramente más fría es expulsada de nuevo en el océano 140 por el conducto 122. La salida del conducto 122 se encuentra normalmente más profunda en el océano 140 de la región 118 de superficie (i.e., la región 132 del nivel medio) para evitar la disminución de la temperatura del agua media en la región de aguas superficiales.

15 El vapor del fluido 108 de trabajo en expansión es forzado a través del turbogenerador 104, conduciendo con ello al turbogenerador para generar la energía eléctrica. La energía eléctrica generada es entregada por el cable 138 de salida. Después de pasar a través de turbogenerador 104, el fluido de trabajo vaporizado entra al condensador 110-2.

20 La bomba 124 trae agua de mar fría de la región 126 de aguas profundas al condensador 110-2 a través del conducto 128. Por lo general la región 126 de aguas profundas es de aproximadamente 1000 metros por debajo de la superficie del cuerpo de agua, en el cual la profundidad del agua está a una temperatura sustancialmente constante de unos pocos grados centígrados. El agua fría se desplaza a través del condensador 110-2 donde absorbe calor desde el fluido de trabajo vaporizado. Como resultado, el fluido 108 de trabajo se condensa de nuevo en forma líquida. Después de pasar a través del condensador 110-2, el agua ahora ligeramente más caliente se expulsa en el océano 140 a través del conducto 130. La salida del conducto 130 se encuentra normalmente a menor profundidad en el océano 140 que el de la región 126 de aguas profundas (i.e., región 132 de nivel medio) para evitar el aumento de la temperatura media del agua en la región de aguas profundas.

25 La bomba 114, bombea el fluido 108 de trabajo condensado de nuevo en el evaporador 110-1, donde se vaporiza nuevamente, continuando así el ciclo de Rankine que impulsa al turbogenerador 104.

30 La figura 2 representa un intercambiador de calor de carcasa y tubos convencional como se conoce en la técnica anterior. El intercambiador 200 de calor comprende tubos 202, placas 204 tubulares, deflectores 206, cámara 208 de entrada, cámara 210 de salida, carcasa 212, entrada 214 secundaria, y salida 216 secundaria. El intercambiador 200 de calor transfiere calor entre un fluido primario y un fluido secundario. Para un intercambiador de calor destinado para su uso en aplicaciones OTEC, el fluido primario es por lo general un fluido de trabajo, tal como amoníaco, y el fluido secundario es por lo general agua de mar.

35 Los tubos 202 son conductos rectos, desenrollados hechos de un material térmicamente conductor, tal como aleación de cobre, acero inoxidable, acero al carbono, aleación de cobre no ferroso, Inconel, níquel, Hastelloy y titanio. El fluido de trabajo es proporcionado al intercambiador 200 de calor por la entrada 218. La entrada 218 está conectada fluidicamente a la cámara 208 de entrada, que distribuye el fluido de trabajo a cada uno de los tubos 202. Los tubos 202 transportan el fluido de trabajo a la cámara 210 de salida, que recoge el fluido de trabajo y lo entrega en la salida 220. La entrada 218 y la salida 220 están normalmente conectadas a un conducto de circuito cerrado que transporta el fluido de trabajo.

40 Las placas 204 tubulares son placas sustancialmente idénticas, comprendiendo cada una serie de orificios que aceptan uno de los tubos 202. Los tubos 202 se fijan a las placas 204 tubulares mediante, por ejemplo, la quema de los extremos de los tubos para "estampar" mecánicamente los tubos dentro de los agujeros. Alternativamente, soldadura con cobre, unión o soldadura por fusión se utilizan para unir los tubos y las placas tubulares.

45 Los agujeros en las placas 204 tubulares están dispuestos en una disposición de dos dimensiones que establece la separación entre los tubos 202 para proporcionar un gran número de tubos en el intercambiador de calor de carcasa y tubos. Dado que la transferencia de calor se produce principalmente en el intercambiador de calor a través de las paredes laterales de los tubos, es deseable incluir tantos tubos en un intercambiador de calor como sea posible para maximizar sustancialmente el área de la superficie a través de la cual el calor puede ser transferido entre los fluidos primario y secundario. La separación entre los tubos 202 también debe ser suficiente para permitir una velocidad de flujo razonable de fluido secundario alrededor y a lo largo de los tubos 202, sin reducir la eficiencia del intercambiador de calor debido al aumento de la presión de retorno de fluido.

- Los deflectores 206 se distribuyen a lo largo de la longitud de los tubos 202 para aumentar el tiempo de interacción y la longitud entre el fluido secundario y las paredes de tubos 202. Los deflectores 206, sin embargo, también restringen el flujo de fluido secundario a través del intercambiador 200 de calor; aumentando de este modo la presión de retorno para el fluido secundario, el aumento de la fuerza con la que el fluido secundario debe ser bombeado, y la reducción de la eficiencia global de transferencia de calor del intercambiador de calor.
- El fluido primario (también conocido como de trabajo) se introduce a través de los tubos 202 a través de la cámara 208 de entrada. La cámara 208 de entrada suele estar soldada con cobre o soldada a la placa 204 tubular. De manera similar, el fluido primario sale a través de los tubos 202 de la cámara 210 de salida, que por lo general está unida con soldada con cobre o soldada a su respectiva placa 204 tubular.
- La carcasa 212 encierra los tubos 202 y forma un conducto para el fluido secundario. La carcasa 212 está normalmente atornillada a las placas 204 tubulares. Normalmente, un empaque está incluido entre la carcasa y la placa tubular para proporcionar un sello fluido.
- El fluido secundario se introduce en la cáscara 212 a través de entrada 214 secundaria y sale del intercambiador 200 de calor hasta la salida 216 secundaria. La entrada 214 secundaria y salida 216 secundaria están normalmente soldadas con cobre o soldadas a la carcasa 212.
- Desafortunadamente, los intercambiadores de calor de carcasa y tubos convencionales tienen varios problemas, particularmente con respecto a su uso en un sistema de OTEC. El material del tubo debe ser elegido para tener una buena conductividad térmica, pero también para soportar grandes tensiones térmicas que se desarrollan debido a la diferencia de temperatura entre los fluidos de trabajo primarios y secundarios. Además, los fluidos primarios y secundarios están a menudo a alta presión, que se suma a los puntos de flexión a los que los tubos 202 están sujetos. Además, el material del tubo debe ser también compatible con los fluidos secundarios de carcasa y tubos durante largos periodos bajo las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, temperaturas, presiones, caudales, pH, etc.) para mitigar los efectos de la corrosión. Aún más, la elección del material del tubo y/o material de unión (por ejemplo, compuestos de soldadura con cobre o soldadura, etc.) podría resultar en una fuga a través de un tubo entre los lados de carcasa y tubo causando la contaminación cruzada de fluidos y posiblemente la pérdida de presión y el fracaso del intercambiador de calor.
- La figura 3A representa un tubo retorcido adecuado para su uso en un intercambiador de calor de carcasa y tubos, de acuerdo con la técnica anterior. El tubo 302 es un conducto recto, de forma ovalada adecuado para su uso como un tubo 202, en el intercambiador de calor 200. En contraste con el tubo 202, sin embargo, el tubo 302 se retuerce de forma individual alrededor de su eje 304 longitudinal. Cabe señalar que mientras que la sección transversal del tubo 302 ovular gira alrededor del eje 304 longitudinal, el eje 304 longitudinal permanece sustancialmente recto a lo largo de la longitud del tubo 302.
- La figura 3B representa una serie de vistas en sección transversal del tubo 302 en diferentes puntos a lo largo de la dirección z.
- En el punto A lo largo de la dirección z, el eje 306 principal de la sección transversal del tubo 302 ovular está alineado con la dirección x. En el punto B, el eje 306 principal ha girado a aproximadamente 60° en el plano x-y. En el punto C, el eje 306 principal ha girado otros 60 grados a aproximadamente 120° en el plano x-y. El punto D es a aproximadamente la mitad de la longitud de onda del período de rotación del tubo 302, y el eje 306 principal está de nuevo alineado con la dirección x. La rotación adicional del tubo 302 de aproximadamente 60° alrededor del eje 304 longitudinal se produce entre cada uno de los puntos E, F y G. Como resultado, el eje 306 principal está de nuevo a aproximadamente 60° y 120°, respectivamente, en el plano x-y. El punto G representa una longitud de onda completa del período de rotación del tubo 302; por lo tanto, el eje 306 principal está de nuevo alineado con la dirección x.
- La estructura retorcida del tubo 302 resulta en un aumento del área de superficie de las paredes del tubo. Como resultado, la transferencia de calor entre el fluido primario y secundario a través de las paredes del tubo 302 puede ser más eficiente que la del tubo 202. Además, la frecuencia de resonancia mecánica de un tubo retorcido es más alta que en un tubo no retorcido comparable, lo que hace a los tubos 302, más resistentes que los tubos 202 a la desviación lateral debido a las fuerzas ejercidas por el flujo del fluido secundario a través de un intercambiador de calor.
- El tubo 302 tiene varios inconvenientes, sin embargo. Individualmente los tubos retorcidos son más difíciles de limpiar y son más propensos a la contaminación biológica que los tubos no retorcidos. Individualmente los tubos retorcidos también requieren un embalaje apretado para retener un módulo de sección alto/entrelazado. Esta necesidad de embalaje apretado pone limitaciones indeseables sobre la disposición de los tubos dentro de un intercambiador de calor de carcasa y tubos.
- La figura 4 representa un intercambiador de calor de carcasa y tubos, de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención. El intercambiador 110 de calor comprende placas 402 tubulares, haces 404-1 de tubos a través de 404-N, carcasa 408, entrada 410 y salida 412.

Las placas 402 tubulares son análogas a las placas 204 y 206 tubulares del intercambiador de calor 100; sin embargo, la disposición de los agujero de las placas 402 tubulares reubica los haces 404-1 de tubos hasta 404-N (denominados, colectivamente, como haces 404 de tubos).

- 5 Las placas 402 tubulares son de aleación de aluminio de grado marino. Ciertas aleaciones de aluminio son muy adecuadas para aplicaciones OTEC en virtud de su resistencia a la corrosión en agua de mar. Además, el aluminio y la mayoría de sus aleaciones son susceptibles a la utilización de la técnica de junta soldada por fricción-rotación (FSW).

- 10 La soldadura por fricción-rotación es un método bien conocido para unir dos elementos del mismo material. FSW convencional emplea una sonda de rotación que es forzada en la interfase entre los dos elementos. La enorme fricción entre la sonda y los materiales hace que el material en la proximidad inmediata de la sonda se caliente a temperaturas inferiores a su punto de fusión. Esto suaviza las secciones contiguas, pero debido a que el material permanece en estado sólido, se conservan sus propiedades de los materiales originales. El movimiento de la sonda a lo largo de la línea de soldadura empuja al material ablandado de las dos piezas hacia el borde de salida lo que causa que las regiones adyacentes se fundan, formando de este modo una soldadura.

- 15 A diferencia de otras técnicas de unión comunes, tales como la soldadura por fusión, soldadura con cobre, etc., FSW tiene varias ventajas de rendimiento. En particular, la soldadura resultante está compuesta por el mismo material que las secciones unidas. Como resultado, la corrosión galvánica debido al contacto entre metales diferentes en la junta se reduce o elimina. Además, la soldadura resultante retiene las propiedades del material de las secciones unidas.

El uso de FSW para unir los componentes del intercambiador 110 de calor proporciona a la presente invención varias ventajas, como se describe a continuación.

- 20 Cada uno de los haces 404 de tubos comprende los tubos 406-1 hasta 406-3 (denominados, colectivamente, como tubos 406). Los tubos 406 son tubos extruidos hechos del mismo material que el de las placas 402 tubulares. En algunas realizaciones, los tubos 406 provienen de tubos. En algunas realizaciones, los tubos 406 se forman de manera que estén sustancialmente sin fisuras. Los tubos 406 transportan agua de mar a través de la longitud del intercambiador 110 de calor. Aunque en la realización ilustrativa, cada uno de los haces 404 de tubos comprende tres tubos, será evidente para un experto en la técnica, después de leer esta memoria descriptiva, cómo hacer y usar las realizaciones alternativas de la presente invención en donde al menos un haz de tubos comprende más o menos de tres tubos.

- 30 Aunque la realización ilustrativa comprende tubos y placas tubulares que están hechos de aluminio, estará claro para un experto en la técnica, después de leer esta memoria descriptiva, cómo especificar, hacer y usar realizaciones alternativas de la presente invención que comprenden componentes que sean hechos de otro material que sea sustancialmente resistente a la corrosión, particularmente en un entorno marino. El material utilizado para placas 402 tubulares y los tubos 406 no deben mostrar corrosión excesiva en un entorno marino, durante la vida útil del intercambiador de calor. Además, el material utilizado para las placas de los tubos 402 y los tubos 406 debe ser sustancialmente térmicamente conductor. Los materiales adecuados para su uso en placas 402 tubulares y los tubos 406 incluyen, sin limitación, aluminio, aleaciones de aluminio, cerámica, aleaciones de acero, titanio, aleaciones de titanio, plásticos conductores térmicamente, polímeros conductores térmicamente, y similares.

El tamaño, la longitud y el espesor de la pared de cada uno de los tubos 406 son parámetros de diseño que son dependientes de la implementación particular de la presente invención. Para fines de ejemplo, sin embargo, en la realización ilustrativa, cada uno de los tubos 406 es de aproximadamente 24 milímetros (mm) de diámetro, es de aproximadamente 10 metros de largo, y tiene un espesor de pared de aproximadamente 2.54 mm.

- 40 El haz de tubos 404 se describe con más detalle a continuación y con respecto a las figuras 5A y 5B.

El haz de tubos 404 está dispuesto en placas 402 tubulares en una disposición hexagonal compacta. En algunas realizaciones, el paquete de tubos 404 está dispuesto en placas 402 tubulares en una disposición de envasado diferente de una disposición hexagonal compacta.

- 45 La carcasa 408 es una carcasa adecuada para encerrar los haces 404 de tubos y también para el transporte de fluido primario (i.e., de trabajo) a lo largo de las superficies de los tubos 406. La carcasa 408 está hecha de un material que es adecuadamente resistente a la corrosión u otros daños como resultado de la exposición al fluido de trabajo.

- 50 El fluido de trabajo entra a la carcasa 408 a través de la entrada 410 y sale de la carcasa 408 a través de la salida 412. Como resultado, el fluido de trabajo se transporta a lo largo y entre los tubos 406, permitiendo la transferencia eficiente de calor entre el agua de mar dentro de los tubos 406 y el fluido de trabajo. Será evidente para un experto en la técnica cómo especificar, hacer, y usar la entrada 410 y salida 412.

Cabe señalar que, en la realización ilustrativa, el intercambiador 110 de calor opera de una manera opuesta al intercambiador 200 de calor en el que el fluido secundario (i.e., agua de mar) se transporta a través de cada uno de los tubos en haces 404 de tubos y el fluido de trabajo es transportado alrededor y a lo largo de los tubos durante su

progreso a través de la carcasa 408. Un experto en la técnica reconocerá, sin embargo, después de leer esta memoria descriptiva, que el intercambiador 110 de calor puede funcionar de una manera similar como el intercambiador 200 de calor, en donde el fluido de trabajo fluye a través de tubos 408 y el fluido secundario (por ejemplo, el agua de mar) fluye a través de la carcasa 408.

- 5 La figura 5A representa un haz de tubos de acuerdo con la realización ilustrativa de la presente invención. El haz de tubos 404-i comprende los tubos 406-1, 406-2, y 406-3 y una opcional cubierta 502 de haz.

10 Los extremos 504-1 hasta 504-3 de tubos 406-1 hasta 406-3 están dispuestos en la placas 402 tubulares (no de muestran) en una disposición simétrica alrededor del eje central de 506. Los haces 404 de tubos-i se tuercen, como una unidad, alrededor del eje 506 central para formar una disposición enrollada helicoidalmente. El radio exterior del haz enrollado helicoidalmente, la periodicidad del espiral enrollado en forma helicoidal, y el radio exterior del haz, son cuestiones de diseño.

15 En algunas realizaciones, los tubos 406-1 hasta 406-3 están unidos rígidamente entre sí. El movimiento de un tubo individual con respecto al haz de tubos, por lo tanto, no está permitido. En algunas realizaciones, los tubos 406-1 hasta 406-3 están parcialmente unidos entre sí, por ejemplo, sólo en aquellos puntos en que los tubos se encuentran dentro de un haz de tubos como consecuencia de su configuración enrollada helicoidalmente. El movimiento de un tubo individual con respecto al haz de tubos, por lo tanto, está restringido. Como resultado, los haces de tubos de acuerdo con la presente invención se caracterizan por una mayor rigidez mecánica.

Los intercambiadores de calor de acuerdo con la presente invención tienen varias ventajas sobre los intercambiadores de calor de la técnica anterior que comprenden, tubos rectos no retorcidos, tales como:

- 20 i. mejora de la eficiencia de transferencia de calor debido a la mayor área de superficie de la pared del tubo; o
- ii. aumento de la rigidez del tubo; o
- iii. aumento de la resistencia a la vibración inducida por el flujo de los tubos; o
- iv. mejora del flujo del fluido secundario; o
- v. módulo de sección alto; o
- 25 vi. cualquier combinación de i, ii, iii, iv y v.

Los intercambiadores de calor de acuerdo con la presente invención tienen varias ventajas sobre los intercambiadores de calor de la técnica anterior que comprenden tubos retorcidos individuales, tales como:

- i. reducida susceptibilidad a la contaminación biológica; o
- ii. mejora de la inmunidad a la corrosión; o
- 30 iii. mejora del área de superficie por tubo; o
- iv. mejora del flujo de fluido secundario; o
- v. cualquier combinación de i, ii, iii, iv y v.

35 Cabe señalar que la disposición helicoidal de tubos mejora el flujo de calor entre los fluidos primario y secundario mediante la ruptura de las capas límite interior y/o exterior de los tubos y la combinación de flujo axial y radial del fluido a lo largo y alrededor de la superficie exterior de los tubos. El flujo turbulento del fluido a través de los tubos mejora la transferencia de calor a través de la capa límite de fluido con relativamente poco aumento de la caída de presión a través del intercambiador de calor. Como resultado, en algunas realizaciones, los deflectores para redirigir el flujo de fluido a través de la carcasa 502, tales como los deflectores 206 descritos anteriormente y con respecto a la figura. 2, no son necesarios.

40 La figura 5B representa una vista desde un extremo del haz de tubos 404-i de acuerdo con la realización ilustrativa de la presente invención.

45 El tubo 406-1 comprende la pared 508-1 lateral. La pared 508-1 lateral se une con placa 402 tubular utilizando FSW para formar un sello sustancialmente hermético en todo el perímetro exterior del tubo 406-1. FSW es un método de unión de dos elementos sin la incorporación de un material diferente. Las uniones soldadas por FSW mantienen sustancialmente las propiedades del material de volumen del material unido y los límites de grano de metal de los materiales unidos que normalmente no se ven afectados de manera adversa. FSW se describe en detalle en la Solicitud



de Patente de los Estados Unidos número de serie 12/484,542, presentada el 15 de junio, 2009 (Expediente: 711-231US), que se incorpora en este documento por referencia. FSW es un ejemplo de una tecnología de unión que resulta sustancialmente resistente a la corrosión galvánica.

5 La unión formada entre la pared lateral 508-1 y la placa 402 tubular evita la formación de grietas que por lo general existen entre los extremos de los tubos laminados mecánicamente y el material de la placa tubular circundante en un intercambiador de calor de carcasa y tubos convencional. Al evitar estas grietas, la vida útil de un intercambiador de calor de acuerdo con la presente invención puede ser significativamente más larga desde la corrosión debido a que la exposición al agua de mar corrosiva en las grietas se mitiga o elimina.

10 De manera similar, el tubo 406-2 comprende la pared 508-2 lateral. La pared 508-2 lateral se une con placas 402 tubulares por medio de la soldadura de fricción-rotación (FSW) para formar un sello sustancialmente hermético en todo el perímetro del tubo 406-2. Además, el tubo 406-3 comprende la pared 508-3 lateral. La pared 508-3 lateral se une con la placa 402 tubular por medio de soldadura de fricción-rotación (FSW) para formar un sello a prueba de fugas sustancialmente alrededor del perímetro del tubo 406-3.

15 Un experto en la técnica reconocerá, sin embargo, que el proceso de FSW deja zonas afectadas por el calor 510-1, que rodean la unión entre la pared lateral 508-1 y la placa 402 tubular. La extensión lateral de esta zona afectada por el calor limita el espacio mínimo entre las paredes laterales de tubo 508-1 hasta 508-3 en cada una de las placas 402 tubulares.

20 Los haces de tubos helicoidales actúan como elementos de resorte que pueden manejar fácilmente una carga previa o la carga axial que resulta de las diferencias de presión entre el tubo y lado de la carcasa, o variaciones de contracción/expansión de temperatura entre los materiales. En algunas realizaciones, los tubos dentro de uno o más de los haces 404 de tubos son pre-cargados para aumentar su frecuencia de resonancia y, por lo tanto, su resistencia a la vibración inducida por el flujo durante el funcionamiento.

Además, el aumento de la rigidez de los tubos dispuestos helicoidalmente hace que los intercambiadores de calor de acuerdo con la presente invención sean susceptibles a funcionar verticalmente, tal como en un evaporador con carcasa lateral de flujo hacia arriba o un condensador con carcasa lateral de flujo hacia abajo.

25 Cabe señalar que los haces 404 de tubos se pueden formar de cualquiera de varias maneras. En algunas realizaciones, uno o más de los haces 404 de tubos está formado por enrollamiento de tubos preformados sobre el eje 506 central, de manera similar al método descrito a continuación y con respecto a las figuras 7A-C y 8. Alternativamente, uno o más de los haces 404 de tubos pueden estar formados en su disposición enrollada helicoidalmente por extrusión de todos los tubos 502 en la pluralidad de tubos 406, al mismo tiempo, mientras que simultáneamente la rotación de una matriz de extrusión o el material extruido durante el proceso de extrusión.

30 La figura 6 representa una disposición de haces de tubos de acuerdo con una primera realización alternativa de la presente invención.

35 El intercambiador 600 de calor comprende una disposición hexagonalmente compacta de haces 404 de tubos. Cada haz de tubos está encerrado dentro de la cubierta 602 de haces. Cada cubierta de haces se aísla fluidicamente de las otras cubiertas de haces, lo que permite que el intercambiador 600 de calor, lleve los diferentes fluidos a través de diferentes cubiertas de haces. Además, en algunas realizaciones, uno o más tubos dentro de los haces 404 de tubos transportan un fluido diferente a partir de al menos otro tubo dentro de los haces de tubos.

40 Por ejemplo, cada tubo dentro de haz de tubos 404-1 lleva un primer fluido secundario mientras que cada tubo dentro de cada uno de los haces 404 de tubos-2 hasta 404-N lleva un segundo fluido secundario. Además, la cubierta 602-2 de haces transporta un primer fluido primario, mientras que cada una de las cubiertas de haces 602-1 y 602-3 hasta 602-N, transporta un segundo fluido primario.

Un experto en la técnica reconocerá, después de leer esta memoria descriptiva, que la disposición representada en la figura. 6 pueden ser intercambiadores de calor más grandes

45 La figura 7A representa un haz de tubos de acuerdo con una segunda realización alternativa de la presente invención. El haz 700 de tubos comprende el tubo 702 central y los tubos 704 exteriores.

Cada uno de los tubos 702 y 704 es análogo a uno de los tubos 406 descritos anteriormente y con respecto a la figura. 3.

50 El haz 700 de tubos es análogo a uno de los haces 404 de tubos, con la excepción de que el tubo 702 central es recto y no retorcido y los tubos exterior 704 se enrollan alrededor del tubo 702 central. El tubo 702 central es co-lineal con el eje 706 central del haz 700 de tubos.

A pesar de que el haz 700 de tubos comprende seis tubos 704 exteriores, será evidente para un experto en la técnica, después de leer esta memoria descriptiva, cómo especificar, hacer y usar las realizaciones alternativas de la presente invención, en donde el haz 700 de tubos comprende a parte de seis tubos 704 exteriores y/o más de un tubo 702 central.

5 La figura 7B representa el haz 700 de tubos antes del enrollado de tubos 704 exteriores alrededor del tubo 702 central.

La figura 7C representa mecanismo de montaje del haz para formar un haz de tubos de acuerdo con la segunda realización alternativa de la presente invención. El mecanismo 708 comprende la estructura 710 de soporte, tapa 712 terminal fija, y la tapa 714 terminal giratoria.

10 En un método representativo para la formación de haz 700 de tubos, tubo 702 centrales y tubos 704 exteriores se insertan en tapa 712 terminal fija y la tapa 714 terminal giratoria. La tapa 714 terminal giratoria, se gira para enrollar los tubos 704 exteriores, alrededor del eje 706 central hasta que se consigue la cantidad deseada de enrollado y la periodicidad de la disposición helicoidal de los tubos 704 exteriores. El haz 700 de tubos se retira entonces a partir de cada una de la tapa 712 terminal fija y la tapa 714 terminal giratoria.

15 La figura 8 representa una guía para sujetar los tubos 704 exteriores y tubo 702 central durante y/o después de la formación de haz 700 de tubos. La guía 800 mantiene los tubos 704 exteriores enrollados por medio de brazos 802. La abertura 804 permite que las guías 800 giren alrededor del tubo 702 central sin inducir la tensión de torsión en el tubo central. En algunas realizaciones, una pluralidad de guías está dispuesta a lo largo de la longitud del haz 700 de tubos.

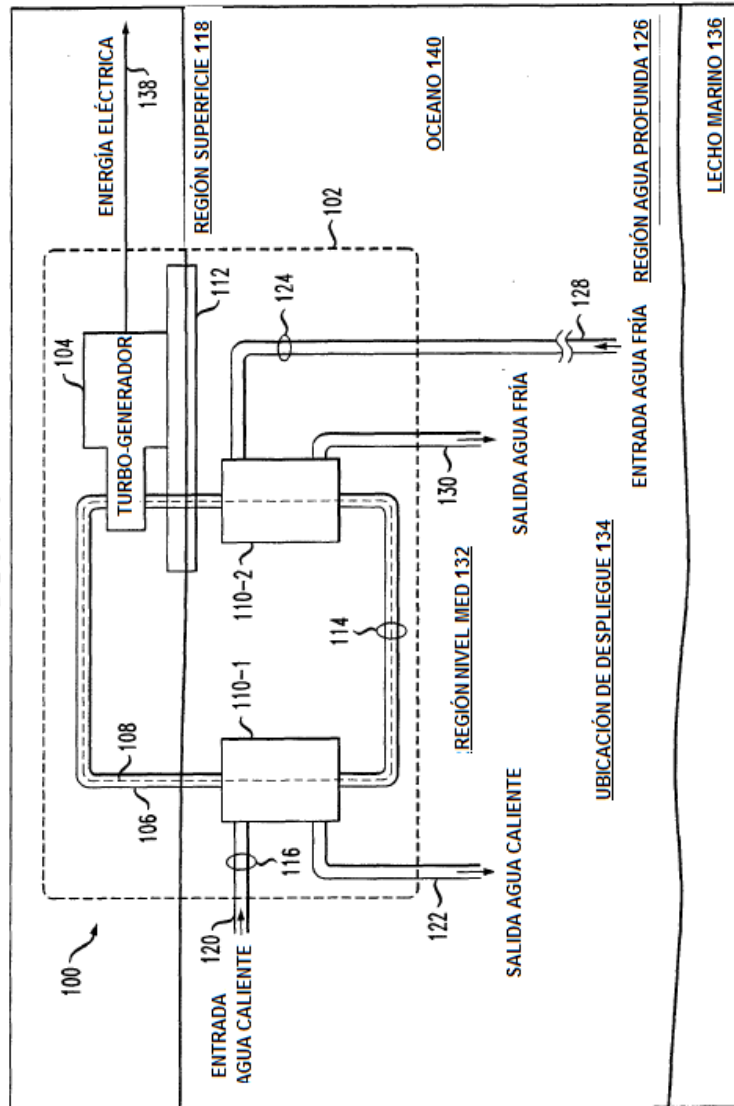
20 Se ha de entender que la descripción enseña sólo un ejemplo de la realización ilustrativa y que muchas variaciones de la invención se pueden concebir fácilmente por los expertos en la técnica después de leer esta descripción y que el alcance de la presente invención se debe determinar por las siguientes reivindicaciones.

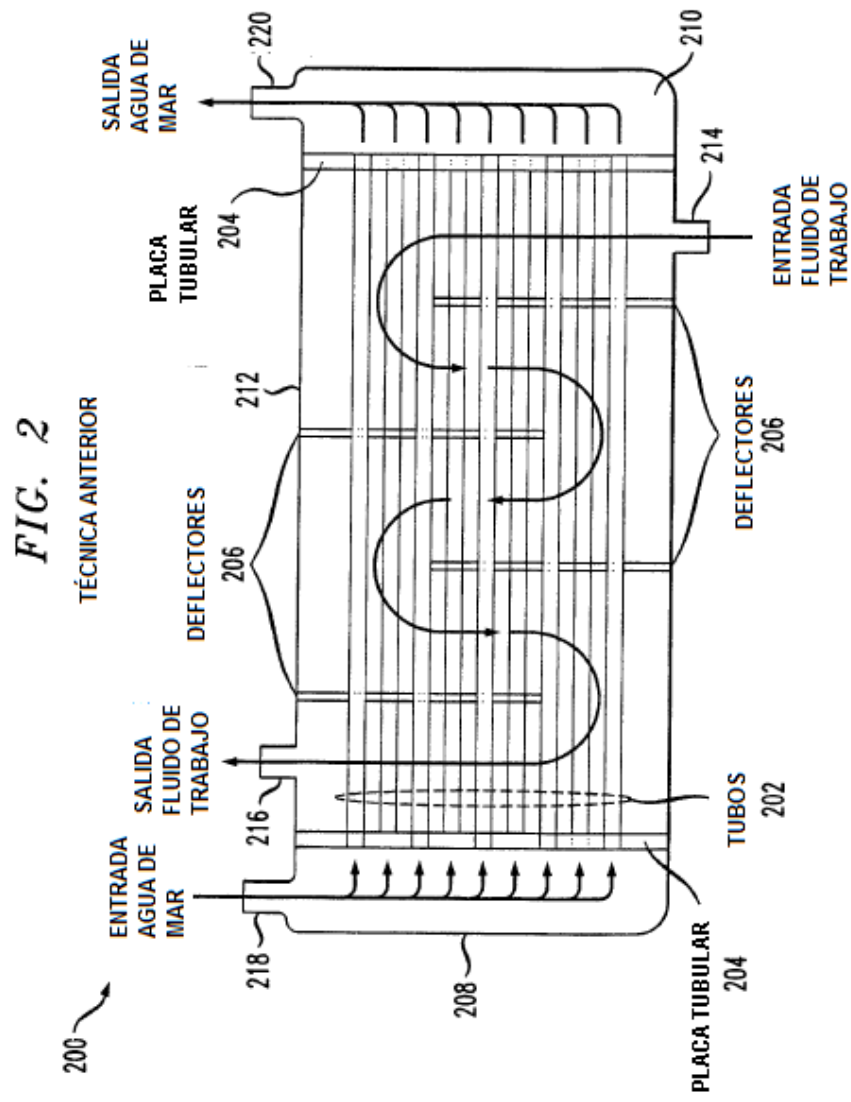
## REIVINDICACIONES

1. Un intercambiador de calor que comprende:  
  
un primer haz de tubos que tiene un primer eje central, en donde el primer haz de tubos comprende una primera pluralidad de tubos para transportar un primer fluido, y en donde el primer haz de tubos se enrolla helicoidalmente alrededor del primer eje central;  
  
una primera placa tubular que comprende un primer material y una segunda placa tubular  
  
en donde cada uno de la primera pluralidad de tubos tiene un primer extremo, un segundo extremo, y una pared del tubo, caracterizado porque el primer material comprende aluminio, la segunda placa tubular comprende el primer material y cada uno de la primera pluralidad de tubos comprende el primer material;  
  
10 en donde la primera placa tubular y la pared del tubo en cada uno de los primeros extremos se unen con un sello sustancialmente hermético que comprende una junta soldada por fricción-rotación; y  
  
en donde la segunda placa tubular y la pared del tubo en cada uno de los segundos extremos se unen con un sello sustancialmente hermético que comprende una junta soldada por fricción-rotación.
2. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, que comprende además:  
  
15 una carcasa, en donde la carcasa, la primera placa tubular, y la segunda placa tubular colectivamente definen una cámara que contiene el primer haz de tubos;  
  
una entrada para introducir un segundo fluido en la cámara; y  
  
una salida para permitir que el segundo fluido salga de la cámara;  
  
en donde el primer fluido en cada una de la primera pluralidad de tubos se aísla fluídicamente del segundo fluido.
- 20 3. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, en donde cada uno de la primera placa tubular, la segunda placa tubular, y la primera pluralidad de tubos consiste en el primer material.
4. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, en donde el primer material se selecciona entre el grupo que consiste en aluminio, aleación de aluminio, y aleación de aluminio de grado marino.
- 25 5. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, en donde el primer haz de tubos es uno de una pluralidad de haces de tubos, y en donde la pluralidad de haces de tubos están dispuestos en una disposición hexagonal compacta en una primera placa tubular.
6. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, que comprende además al menos una restricción, siendo la restricción dimensionada y dispuesta para inhibir el movimiento de cada tubo de la primera pluralidad de tubos en relación con los otros tubos de la primera pluralidad de tubos.
- 30 7. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, que comprende además:  
  
un segundo haz de tubos que tiene un segundo eje central, en donde el segundo haz de tubos comprende una segunda pluralidad de tubos para transportar un segundo fluido;  
  
una primera cubierta para transportar un tercer fluido, en donde la primera cubierta encierra el primer haz de tubos, y en donde el tercer fluido y primer fluido están aislados fluídicamente;  
  
35 una segunda cubierta para transportar un cuarto fluido, en donde la segunda cubierta encierra el segundo haz de tubos, y en donde el cuarto fluido y segundo fluido están aislados fluídicamente;  
  
en donde el tercer y el cuarto fluido están aislados fluídicamente.
8. El intercambiador de calor de la reivindicación 1, en donde al menos un tubo del primer haz de tubos se somete a una fuerza de precarga.
- 40 9. Un método para formar un intercambiador de calor, en donde el método comprende:

- 5 proporcionar un primer haz de tubos que comprende una primera pluralidad de tubos, en donde cada uno de la primera pluralidad de tubos tiene un primer extremo, un segundo extremo, y una pared del tubo, y en donde el primer haz de tubos tiene un primer eje central, y en donde el primer haz de tubos se enrolla helicoidalmente alrededor del primer eje central; caracterizado porque cada uno de la primera pluralidad de tubos que comprende un primer material que incluye aluminio, el método comprende además sellar una primera placa tubular y la pared del tubo en el primer extremo de cada tubo del primer haz de tubos con una junta soldada por fricción-rotación, la primera placa tubular que comprende el primer material; y
- sellar una segunda placa tubular y la pared del tubo en el segundo extremo de cada tubo del primer haz de tubos con una junta soldada por fricción-rotación, la segunda placa tubular que comprende el primer material.
- 10 10. El método de la reivindicación 9, que comprende además encerrar el primer haz de tubos en una carcasa, en donde un primer fluido que fluye en cada tubo de un primer haz de tubos se aísla fluídicamente de un segundo fluido que fluye a través de la carcasa.
11. El método de la reivindicación 9, que comprende además seleccionar el primer material entre el grupo que consiste en aluminio, aleación de aluminio, y aleación de aluminio de grado marino.
- 15 12. El método de la reivindicación 9, que comprende además:
- proporcionar la primera placa tubular, en donde la primera placa tubular consiste esencialmente en un primer material;
- proporcionar la segunda placa tubular, en donde la segunda placa tubular consiste esencialmente en el primer material; y
- 20 proporcionar la primera pluralidad de tubos, en donde cada uno de la primera pluralidad de tubos consiste esencialmente del primer material.
13. El método de la reivindicación 9 que comprende además:
- proporcionar la primera placa tubular, en donde la primera placa tubular consiste en un primer material;
- proporcionar la segunda placa tubular, en donde la segunda placa tubular consiste en el primer material; y
- 25 proporcionar la primera pluralidad de tubos, en donde cada uno de la primera pluralidad de tubos consiste en el primer material.
14. El método de la reivindicación 9, que comprende además:
- proporcionar una primera pluralidad de los primeros haces de tubos; y sellar la primera placa tubular y la pared del tubo en el primer extremo de cada tubo de cada uno de la primera pluralidad de los primeros haces de tubos con una junta soldada por fricción-rotación.
- 30 15. El método de la reivindicación 14, que comprende además disponer el primer haz de tubos y la primera pluralidad de los primeros haces de tubos en una disposición hexagonal compacta.

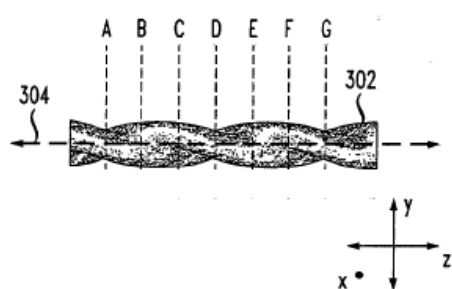
FIG. 1





*FIG. 3A*

TÉCNICA ANTERIOR



*FIG. 3B*

TÉCNICA ANTERIOR

