

326356



326356

MEMORIA DESCRIPTIVA.

PATENTE DE INVENCION.

P A I S : ESPAÑA.

DURACION : 20 AÑOS

OBJETO : "UN APARATO PERMUTADOR DE CALOR
"DEL TIPO DE TUBO".

=====

A nombre de : GENERAL ELECTRIC COMPANY.

Residente en : SCHENECTADY (New York) 1, River Road.

Nacionalidad : ESTADOUNIDENSE.



326356

Este invento se refiere a estructuras de permutación o intercambio de calor y, más particularmente, a una estructura compuesta tubular de intercambiador de calor que comprende un tubo metálico y una envolvente cerámica espaciada.

Las necesidades generales de los intercambiadores de calor han estado creciendo en dirección a los intercambiadores de calor que pueden funcionar a temperaturas y presiones más altas. Este aumento concuerda con la tendencia a la utilización de temperaturas más altas en diversos aparatos térmicos generadores de fuerza en los que se desean rendimientos térmicos más elevados. Sin embargo, tales prácticas exigen que ciertas partes de los intercambiadores de calor, por ejemplo, los canales, los tubos o los pasos de circulación de los mismos, queden expuestos a temperaturas altas, mayores que las que pueden resistir con éxito los metales ordinarios de los permutadores de calor. En muchos casos, las temperaturas elevadas se combinan con atmósferas agresivas respecto a los metales, lo que da como resultado una vida o duración muy acortada.

Por consiguiente, un objeto de este invento es crear una estructura mejorada de canales para intercambiadores de calor.

Otro objeto de este invento es crear una estructura mejorada de intercambiador de calor que comprende un tubo

326356



impermeable que tiene medios concéntricos de soporte y de protección y que puede funcionar como estructura resistente a la deformación bajo carga a elevada temperatura.

- 30.- Descrito brevemente, este invento comprende, en una forma, una estructura de tubo para intercambiadores de calor que incluye un tubo metálico interior y una envolvente cerámica exterior. La envolvente cerámica exterior está situada en relación concéntrica con el tubo
- 35.- metálico interior y está espaciada de él circunferencial mente de modo que, durante la exposición a gases a elevada temperatura, el tubo metálico se expande para ajustarse apretadamente dentro de la envolvente tubular de carburo de silicio que, entonces, actúa como medio de soporte y protección para el tubo interior. La sección cerámica exterior está expuesta a los gases calientes para transferir calor a un gas, tal como aire, que circula por el tubo metálico interior.
- 40.-

Este invento se comprenderá mejor cuando se lea la

45.- siguiente descripción en relación con los dibujos, en los cuales:

La Fig. 1 es una vista en corte transversal de una realización preferida de este invento que ilustra un tubo metálico interior calentado y secciones de envolvente cerámica exteriores unidas a tope, en el montaje inicial.

50.-

La Fig. 2 es una ilustración a escala exagerada del conjunto de la Fig. 1 en condiciones de trabajo a elevada temperatura.

La Fig. 3 es una ilustración a escala exagerada del conjunto de la Fig. 2 en condiciones frías.

55.-



La Fig. 4 es una vista en corte transversal de otra estructura de junta preferida a emplear para las secciones de envolvente de la Fig. 1.

60.- La Fig. 5 es una vista en corte transversal todavía de otra estructura de junta preferida.

La Fig. 6 es una ilustración de una modificación de junta del tipo de manguito de la Fig. 4.

65.- La Fig. 7 es una ilustración de una junta de recubrimiento o solape para las secciones de envolvente de la Fig. 4.

La Fig. 8 es una ilustración de una modificación de la estructura de junta de la Fig. 5.

La Fig. 9 es una ilustración en corte transversal de una junta de tipo de anillo partido.

70.- La Fig. 10 es un ciclo ilustrativo de turbina de gas en el cual es aplicable específicamente este invento.

La Fig. 11 es una ilustración del tubo compuesto de este invento en posición vertical y utilizando un medio de soporte de carga.

75.- La Fig. 12 es una modificación del invento de la Fig. 11 ilustrando un soporte de fuelle como medio de carga.

La Fig. 13 es una modificación del conjunto de tubo de la Fig. 12 que utiliza un soporte de muelle como medio de carga.

80.- La Fig. 14 es una ilustración del medio de arriostramiento empleado entre tubos adyacentes.

La Fig. 15 es una vista en corte vertical de los medios de arriostramiento de la Fig. 14.

85.- Un ejemplo de una aplicación para este invento es la combinación de una turbina de gas con una turbina de vapor



de calor perdido en una central combinada. La turbina de gas, con su temperatura de entrada alta de unos 870°C. utiliza eficazmente la entalpía de elevada temperatura producida por la combustión y rechaza la entalpía no convertida en trabajo, a temperaturas suficientemente altas para que sean usadas para generar vapor de agua. Tal turbina de gas constituye un dispositivo especialmente deseable porque es una máquina experimentada por un fondo térmico considerable. Un obstáculo a la utilización satisfactoria de una turbina de gas de la manera descrita es el problema de que funcione con carbón o aceite combustible residual, que son combustibles suficientemente económicos para la generación de vapor en gran escala en central. Al quemar carbón, el problema particular es el de evitar daños al rodete de la turbina y a las partes afines por erosión o depósito sobre ello de cenizas fundidas que contienen sulfatos alcalinos y algo de óxido de vanadio. Al quemar aceite, los residuos complejos que contienen vanadio provocan una severa corrosión a elevada temperatura. Una solución de este problema es utilizar un intercambiador de calor del tipo radiante para transferir calor desde la llama de combustión de carbón o del petróleo, a presión atmosférica, al aire a alta presión que se utiliza en la turbina de gas. El permutador de calor puede servir como fuente primaria del calor del ciclo y también como regenerador para recuperar el calor perdido en el escape. El uso de un intercambiador de calor permite también la construcción de turbinas de gas de ciclo cerrado que poseen ventajas adicionales en muchas aplicaciones.

115.- En tal intercambiador de calor, la temperatura de sa-



- lida ha de ser del orden de unos 870°C. para acomodarse a las turbinas habitualmente disponibles y, potencialmente, debe ser tan alta como 940°C. o más. Los permutadores de calor usuales hechos de acero inoxidable están en general limitados a temperaturas de unos 650°C. Sólomente las superaleaciones que contienen grandes cantidades de materiales críticos de adición, tales como cobalto y columbio, resisten la deformación bajo carga a temperaturas tan extremadas y estos materiales no son económicos para su aplicación general a los intercambiadores de calor. Como el tamaño del intercambiador de calor debe mantenerse mínimo para mantener bajos los costos, la diferencia de temperatura entre la pared del tubo y el aire a calentar debe ser grande. Así se desean temperaturas del tubo de 1.090 a 1.200°C. Con el fin de resistir estas temperaturas extremadas, los únicos materiales razonablemente económicos que no sufren deformación lenta bajo carga y que son resistentes a la oxidación y al ataque por los productos de la combustión del carbón son los superrefractarios tales como alumina, magnesia, mullita y carburo de silicio que no obstante, son porosos y de fabricación muy difícil a la forma de estructuras de intercambio de calor prácticas y eficaces por los métodos actualmente conocidos.

- Estos y otros problemas son vencidos por la práctica de este invento como se muestra en la Fig. 1. Con referencia a ella, se ilustra una estructura 10 de tubo de intercambiador de calor que resistirá las condiciones extremas arriba descritas. El aparato 10 incluye un tubo metálico 11 de material resistente a la oxidación y de elevada resistencia mecánica, tal como acero inoxidable o aleación



150.- Inconel. Situadas concéntricamente alrededor del tubo 11 hay una o más secciones de envolvente o tubo 12, 12', etc. usualmente de un material cerámico, por ejemplo las diversas zonas de carburo de silicio, tales como carburo de silicio aglomerado por arcilla, aglomerado por nitruro o aglomerado espontáneamente.

155.- La envolvente cerámica 12 proporciona resistencia a temperaturas altas para impedir que el tubo interior 11 reviente bajo la presión interna debido a roturas por deformación lenta bajo carga. El tubo interior 11 sirve como forro a prueba de fugas que se une fácilmente a colectores usuales. La estructura definida combina las propiedades complementarias de los metales y de los productos cerámicos porque (1) los metales se fabrican fácilmente y se sueldan para dar estructuras estancas sin fugas pero son relativamente débiles a temperaturas elevadas y (2) los productos cerámicos son de fabricación difícil y de unión difícil para dar estructuras estancas pero poseen una gran resistencia mecánica a elevadas temperaturas. Otra ventaja del uso de la combinación de un tubo metálico interior y una envolvente cerámica exterior es que proporciona medios para la utilización de diversos metales para fines de intercambio de calor mediante tubos en tales condiciones que, sin soporte, sufrirían roturas por deformación lenta bajo carga.

160.-

165.-

170.- La combinación descrita cumple esta finalidad utilizando la envolvente cerámica 12 para soportar eficazmente el tubo metálico 11 contra presión interna y para protegerlo de los productos de la combustión. Adicionalmente, la envolvente 12, al soportar el tubo interior metálico 11, disminuye el

175.- espesor de pared requerido del tubo metálico 11 usado sin



envolvente¹.

Un tubo compuesto preferido de este invento incluye aleación de metal Inconel para el tubo 11 y carburo de silicio para la envolvente 12. El metal Inconel es una aleación de la composición: 77% de níquel, 15% de cromo, 7% de hierro y cantidades secundarias de cobre, estaño, manganeso y carbono. El metal Inconel tiene una resistencia a la tracción a breve plazo de aproximadamente 770 kilos/cm². y un alargamiento de aproximadamente 67% a 1093°C. Este metal puede usarse en atmósferas no sulfurantes a temperaturas de 1093 a 1200°C. Otras aleaciones adecuadas son la aleación Nichrome con 80% de níquel y 20% de cromo, el acero inoxidable 310, con 25% de níquel, 20% de cromo y 55% de hierro, y de acero inoxidable 445 con 27% de cromo y 63% de hierro. El espesor de pared del tubo 11 de aleación de Inconel que sirve de ejemplo tenía aproximadamente 1,6 mm. La envolvente 12 puede ser de las diversas formas de carburo de silicio, por ejemplo, aglutinado con arcilla, aglutinado espontáneamente y aglutinado con nitruro. En esta envolvente preferida 12 para el tubo compuesto, la envolvente era de carburo de silicio aglutinado por arcilla, con un espesor de pared aproximado de 13 mm.

Con el fin de dar una combinación útil de tubo metálico 11 y envolvente cerámica 12, debe establecerse también una relación de trabajo entre las características de expansión por temperaturas de ambos materiales. El coeficiente de expansión de un tubo cerámico, tal como el carburo de silicio, es de 2,6 por 10^{-6} por 0,5°C. y para un metal tal como la aleación Inconel es de 8,4 por 10^{-6} por 0,5°C. por consiguiente, es necesario un ajuste predeterminado de la



holgura radial en frío entre el tubo metálico 11 y la envolvente 12 de carburo de silicio. Este ajuste de la holgura debe basarse en las mencionadas diferencias de las características de expansión, de manera que el tubo metálico

210.- 11, cuando se expanda por calentamiento, no reviente la envolvente 12 sino que solamente se deforme bajo presión para llenar la envolvente cerámica bastante apretadamente. Por consiguiente, la envolvente 12 soporta al tubo 11 a la temperatura de trabajo y, cuando está frío, el tubo 11 se

215.- contrae con respecto a la envolvente 12 sin solicitación sobre ninguno de ellos. A una temperatura máxima de trabajo del tubo compuesto de metal y carburo de unos 1093°C., la expansión relativa del tubo metálico es de 1,2% del radio del tubo metálico. Esta debe ser la holgura radial mínima prevista entre el tubo metálico 11 y la envolvente 12.

220.- Sea la construcción tal que el componente interior sea metálico y el exterior cerámico, o a la inversa, la relación importante que debe establecerse es que el componente interior debe tener un coeficiente de expansión mayor

225.- que el componente exterior con el fin de que, para el momento en que la construcción de dos componentes haya alcanzado la temperatura de trabajo, la holgura inicial entre los componentes haya desaparecido y la superficie exterior del componente interior esté en apretado contacto físico con

230.- la superficie interior del componente exterior. Los componentes unificados de este modo por expansión a las temperaturas de trabajo combinarán de este modo sus propiedades complementarias de modo que un componente contribuya con su propiedad de estanqueidad al tubo compuesto y el otro con

235.- su gran resistencia. Aunque en la aplicación descrita aquí

- 10 326356



- en detalle se encuentra la resistencia a la presión interna, existen efectivamente aplicaciones en las cuales la presión mayor de fluido aplicada es externa al tubo compuesto. En tal caso, la disposición de componentes será la inversa de la ilustrativa. Un ejemplo de tal construcción de tubo compuesto sería aquel en el cual el componente interior es el cerámico magnesita (coeficiente de expansión $7,2 \text{ por } 10^{-6}$ desde 20 a 930°C .) y el componente exterior es un acero inoxidable ferrítico, del tipo de acero inoxidable 446 (coeficiente de expansión $6,6 \times 10^{-6}$ desde 20 a 650°C .)

- Las piezas 12 de la envolvente se producen por moldeo con una conicidad axial interna necesaria de manera que el macho de moldeo pueda retirarse fácilmente. Como ejemplo, esta conicidad puede tener aproximadamente 1,6 mm. en el diámetro del ánima en una longitud axial de unos 750 mm. Por consiguiente, la holgura máxima en el extremo grande del cono no debe rebasar aproximadamente 2,5% para evitar un estiramiento excesivo del metal. Esto proporciona una holgura mínima de 7,5 mm. y, por ejemplo, una coincidencia de 7,5 mm. por 30 cm. para piezas de envolvente de 63 mm. de diámetro y 300 mm. de largo.

- Considerando las altas temperaturas de trabajo que entran en consideración, en combinación con el hecho de que los tubos de carburo de silicio son de longitud limitada, debe preverse una junta adecuada entre trozos adyacentes de envolvente que proteja al tubo 11 contra condiciones adversas de elevada temperatura y que proporcione también medios para la expansión axial relativa del tubo 11 y de la envolvente 12. Al mismo tiempo, se prefiere una



disposición de junta que impida que el tubo metálico arañe o roce longitudinalmente en el tubo cerámico.

- 270.- En la Fig. 1, se ilustra un tipo común y bien conocido de junta a tope 13, que comprende simplemente el empleo de varias secciones cortas de envolventes 12, 12', etc. a tope entre sí en la junta 13. En el montaje del tubo compuesto 10 las secciones de envolvente 12, 12', etc. se colocan en relación contigua como se ilustra. Luego, en condiciones de trabajo a alta temperatura, el tubo 11 se
- 275.- expande axialmente más que las secciones de la envolvente y se produce una holgura axial entre las secciones de la envolvente. Se prefiere que esta holgura axial se mantenga lo menor posible de manera que el tubo metálico 11 de pared delgada, bajo presiones moderadas, puede salvarla.
- 280.- En general, se ha visto que la holgura axial que ocurre con secciones de envolvente 12, 12', etc. de 30 cm. de longitud es de unos 3,8 mm. Los tubos de pared delgada como se han descrito salvan satisfactoriamente esta holgura con hasta 7 kilos/cm². de presión interna.
- 285.- El empleo de un gran número de tubos cerámicos 12, 12', etc., elimina la necesidad de juntas complicadas y reduce el roce axial como se ha descrito. Sin embargo, debe impedirse que las secciones 12, 12', etc., de la envolvente se deslicen a lo largo del tubo 11 de manera que las
- 290.- holguras axiales mencionadas permanezcan en general equivalentes para cada junta. Las holguras irregulares pueden conducir a que algunas juntas tengan holguras demasiado amplias para que sean salvadas satisfactoriamente por el tubo 11. En una forma de practicar este invento se obtie-
- 295.- nen holguras equivalentes aprovechando la conicidad inte-



rior de la secciones 12, 12', etc., de la envolvente en combinación con el tubo metálico 11. Esta táctica, así como una descripción del trabajo del aparato de la Fig. 1, se describe en relación con las Figs. 1 a 3 como sigue. En 300.- el montaje del aparato 10 de la Fig. 1, la junta 13 está definida por un extremo menor de una sección 12 y el extremo mayor de una sección adyacente 12'. Durante el funcionamiento en condiciones de temperatura elevada, el conjunto de la Fig. 1 cambia al de la Fig. 2 que ilustra una 305.- holgura axial 14 entre miembros de envolvente adyacentes. El tubo metálico 11 se ha expandido también radialmente para ajustar apretadamente en las secciones de envolvente 12, 12', etc., y para salvar la holgura 14. Puede verse que la pared del tubo metálico 11 se adapta por si misma a una 310.- conicidad correspondiente a la del ánima de las secciones 12, 12', etc. de la envolvente salvando una sección curvada 15 la holgura o intersticio 14. Después del enfriamiento, el conjunto de la Fig. 2 cambia al de la Fig. 3. En la Fig. 3, la deformación bajo carga que resulta del funcionamiento a elevada temperatura proporciona una conicidad permanente en el tubo metálico 11 en las secciones individuales 12 de envolvente. Esta conicidad impide que las secciones 12, 12', etc. de la envolvente se muevan axialmente a lo largo del tubo 11. Pueden emplearse también otros tipos 315.- diversos de juntas en la práctica de este invento. Ejemplos representativos de estas juntas en el conjunto frío inicial se ilustran en las Fig. 4 a 10. 320.-

Con referencia ahora a la Fig. 4, se ilustra en ella una estructura de junta 16 entre un par de miembros de envolvente adyacentes 12 y 12'. La estructura de junta 16 se 325.-



denomina junta a tope de anillo. Rodeando a la junta 17 entre los miembros 12 y 12' de la envolvente hay un delgado cilindro metálico 18 que puede ser del mismo metal que el tubo 11 o de un metal diferente. El cilindro me-
330.- tállico 18 se utiliza como elemento sacrificable que queda inicialmente expuesto a los productos de combustión calientes que intentan entrar por la junta 17. El cilindro metálico 18, no solo impide que los productos de la combustión lleguen al tubo 11 y provoquen su corrosión y
335.- erosión sino que neutraliza los elementos corrosivos de estos gases. Sin embargo, el uso de un elemento sacrificable es opcional, dependiendo de las condiciones del ambiente. Otro cilindro 19, usualmente del mismo material que las secciones 12, rodea al cilindro metálico 18 en
340.- relación concéntrica y con una adecuada holgura radial. El cilindro cerámico 19 se emplea para limitar la disipación del cilindro sacrificable 18.

Cuando el intersticio axial entre secciones cerámicas adyacentes pueda ser grande, o cuando la parte del tubo me-
345.- tállico 11 que salva el intersticio precisa de soporte adicional, puede emplearse la estructura de junta 20 de la Fig. 5. En la Fig. 5 el elemento metálico sacrificable 18' tiene forma de T en sección transversal de manera que la barra vertical de la T se aplica periféricamente al tubo
350.- 11. Esta configuración divide en esencia un intersticio grande en dos pequeños y proporciona soporte adicional para el tubo 11 a través del intersticio u holgura.

El manguito cerámico 19 puede formar también parte integrante de una de las secciones 12. Por ejemplo, en la
355.- estructura de junta 21 de la Fig. 6, un miembro 22 de la



360.- envolvente está provisto de una parte de reborde 23 ensanchada y sobresaliente. El reborde 23 recubre entonces al extremo de un miembro de envolvente adyacente 22' o recibe el extremo del miembro de envolvente 22' en una disposición a modo de enchufe y manguito. Se prevé una holgura adecuada entre el diámetro exterior del extremo 22' de la envolvente y el diámetro interior del reborde 23 para situar en ella el cilindro metálico sacrificable 18.

365.- En la Fig. 7 se ilustra una junta 24 que es una modificación de la forma bien conocida de una junta de solape. En la Fig. 7, un miembro 25 de la envolvente incluye una parte de reborde saliente 26 de menor diámetro exterior. Correspondientemente, el miembro 25' de la envolvente incluye una parte 27 de alma ensachada que está destinada a recibir axialmente la parte de labio o reborde saliente 26 del miembro 25 de la envolvente. Si se encuentra deseable, se prevé un intersticio radial entre el reborde saliente 26 y la parte 27 de ánima agrandada de manera que puede emplearse un delgado cilindro 18 de metal sacrificable en la holgura definida para el mismo fin que el cilindro 18 de la Fig. 4.

380.- En la Fig. 8 se ilustra una junta 28 entre dos miembros de envolvente 29 y 30. Cada uno de los miembros de envolvente 29 y 30 tiene una parte externa con mayor diámetro, 31 y 31', respectivamente. Así, cuando se sitúan dos de tales miembros, como se ilustra en la Fig. 8, queda definida una cámara 32 en general cilíndrica. La cámara 32 incluye un primer cilindro cerámico 33 que está situado axialmente en ella para rodear el tubo 11. Luego, se sitúa un cilindro 18 de metal sacrificable concéntricamente

385.-



390.- en torno del cilindro 33 y salva el intersticio caliente que aparece en la línea de junta 34 entre tubos cerámicos adyacentes 29 y 30. La finalidad de la arancela compuesta 33 y 18 es la de coger el tubo metálico 11 en la junta 34 y dividir el intersticio de la holgura en dos intersticios menores que el tubo puede salvar con más facilidad.

395.- La Fig. 9 se ilustra una forma alternativa de reforzar la pared del tubo en el intersticio y en ella se muestra una junta 35 entre dos miembros de envolventes 36 y 36'. El miembro de envolvente 36' incluye una parte de reborde saliente 37 de mayor diámetro que sobresale por encima de un extremo de la envolvente 36 en relación de deslizamiento. Este conjunto proporciona también, si es deseable, una holgura radial 38 en la cual se sitúa un cilindro sacrificable 18 como se ha descrito con respecto a la Fig. 4. Un cilindro corto adecuado 39 de metal o de cerámica está situado concéntricamente entre el tubo 11 y la envolvente 36 para salvar la línea de junta 40'. El interior de la superficie del cilindro corto 39 es una superficie lisa arqueada o curvada. En el funcionamiento de este invento con la junta 35, el tubo interior 11 se deforma desde su dimensión en frío como se ilustra con el número 11 al estado de expansión calentado, indicado por el número 11', que está junto a las secciones adyacentes 36 y 36' de la envolvente. Alternativamente, puede formarse una depresión en el tubo 11 por repulsado o recalado. Luego, el anillo de soporte 39 hecho en dos mitades como anillo partido se sujeta sobre la depresión de la pared del tubo y se mantiene en su sitio por las secciones de envolvente 36 y 36' que

400.-

405.-

410.-

415.-



se deslizan sobre él'. El objeto del anillo de soporte 39 es salvar el intersticio caliente entre secciones adyacentes de la envolvente y proporcionar soporte para el tubo 11 a través de toda la amplitud del intersticio engruesando eficazmente la pared del tubo en ese punto. Esta construcción puede usarse con secciones de envolvente más largas dando mayores intersticios o a presiones mayores que las juntas ilustradas en las Figs. 1 a 6. El principio de todas las juntas como se han descrito en las Figs. 4 a 9 es crear un camino tortuoso entre la atmósfera corrosiva y el tubo metálico 11 en el cual puede haber también un anillo de metal sacrificable para interceptar los agentes corrosivos.

Como se ha mencionado, una aplicación particular de este invento es un intercambiador de calor en una central de turbina de gas que quema carbón. Una disposición ilustrativa como la descrita se representa en la Fig. 10 como ciclo 41 de turbina de gas. El ciclo 41 representa una instalación que quema carbón en la cual es quemado carbón en una cámara de combustión 42 como en un hogar ordinario de central de vapor y los productos de la combustión pasan entonces por un intercambiador de calor 43, que incorpora los principios y prácticas de este invento, y desde allí a una caldera de calor perdido o a otro aparato. Se hace pasar aire u otro fluido a través de un compresor 44 y dentro del intercambiador 43 de este invento donde su temperatura es muy aumentada. Desde el cambiador de calor 43 el aire u otro fluido atraviesa en una turbina 45 para realizar trabajo útil. El escape de la turbina 45 pasa entonces a la cámara de combustión 42. En tal instalación típica como se ha descrito, un método preferido de utilizar los tubos com-



puestos de este invento es en la forma de tubos metálicos rectos 11 de hasta 12 m. de largo, colocados lado a lado para formar una pared con secciones de envolvente 12, 12', etc. de aproximadamente 30 o 70 cm. de largo. Se ha visto que es ventajoso utilizar un gran número de secciones de envolvente con el fin de hacer frente mejor a la desalineación axial de la expansión térmica y permitir el uso de juntas de tope sencillas como se ilustran en la Fig. 1'. Los miembros de envolvente de 0,90 a 1,50 m. pueden emplearse y se usan juntas como las descritas en las Figs. 5, 8 y 9 para soportar el tubo metálico 11 en los intersticios o soluciones de continuidad entre las secciones.

Los tubos compuestos pueden instalarse horizontalmente, disponiendo medios de soporte cada 0,90-1,50 m. para impedir que se comben verticalmente, lo mismo que en una caldera usual. La disposición vertical debe emplearse conjuntamente con una disposición equilibradora o de contrapeso para soportar la mayoría del peso de los miembros de envolvente y para impedir que el tubo metálico se estire o se comprima en el extremo caliente. Una de estas disposiciones se muestra en la Fig. 11. Con referencia a la Fig. 11, se ilustra en ella un conjunto 50 que comprende un colector caliente 51 y un colector frío 52 y un conjunto 53 de tubo compuesto de interconexión está expuesto al calor de la combustión en un hogar y, así, calienta aire que pasa desde el colector frío a través del tubo compuesto 53 al colector caliente 51. El conjunto de tubo 53 es el mostrado en la Fig. 1 e incluye un tubo metálico 11 y una pluralidad de secciones de envolvente circundantes 12, 12', etc. El conjunto de tubo 53 incluye también una parte cur-



va o bucle 54 que es similar al bucle de expansión bien conocido que se encuentra en diversas instalaciones de tubería expuestas a amplias variaciones de temperatura. Sin embargo, el bucle 54 cumple fines adicionales en el presente invento, tales como crear medios para la expansión del conjunto de tubos 53 y para soportar el peso del conjunto de tubos 53. El bucle 54 puede también utilizarse para calentar aire como disposición precalentadora por la cual los gases de escape del hogar más fríos son dirigidos por el bucle para precalentar aire en él. Si el peso del conjunto del tubo (aproximadamente 8 kg. por metro) está soportado en tensión desde el colector superior 51 cuando está frío y la sensibilidad de resorte del bucle 54 es tal que esté soportado en su totalidad en compresión desde abajo cuando está caliente, la sollicitación sobre el extremo caliente del tubo será pequeña en condiciones de trabajo y no tendrá lugar estiramiento.

En lugar del bucle 54 pueden emplearse otros medios de expansión y de soporte. Por ejemplo, en la Fig. 12, se ilustra un conjunto de fuelle 55 en combinación con una junta deslizante 56'. El fuelle 55 está unido al colector 52 y al tubo 11 permitiendo así que el tubo 11 se expanda en la junta de deslizamiento 56'. El funcionamiento del fuelle es el mismo que el del bucle 54'.

Un método alternativo de conseguir el resultado descrito se muestra en la Fig. 13. En la Fig. 13, el tubo 11 del conjunto 53 pasa por una junta deslizante equipada con un miembro de empaquetadura adecuado 57 y entra en el colector frío 52. Un muelle 58 calibrado adecuado está dispuesto entre la junta 57 y el extremo 59 de la envolvente de modo



que todo el peso del conjunto es soportado sobre el muelle 58.

510.- Esos tubos compuestos de las Figs. 12 y 13, en sus longitudes más largas, pueden necesitar alguna forma de arriostamiento entre tubos para impedir la flexión. A este fin pueden emplearse diferentes riostras mecánicas, cuñas, inserciones, etc. Un método ilustrativo puede incorporarse en la estructura de envolvente como se ilustra en la Fig. 14. Con referencia a la Fig. 14, se ilustra un par de los tubos compuestos de este invento, 60 y 61. Las envolventes cerámicas individuales 62 y 63 y 64 y 65, respectivamente, están unidos por tipos de junta de manguito o de enchufe similares a la junta de la Fig. 6. Con el fin de impedir la flexión o pandeo de tubos paralelos largos, 520.- se emplea una disposición de patillas de enclavamiento o trabazón incorporado en la estructura de junta. Por ejemplo, el manguito 66 de la envolvente 62 está provisto de orejetas o patillas 67 o 68 que se extienden lateralmente y que definen una sección cóncava para recibir la envolvente adyacente 64. Por consiguiente, la parte de manguito 69 de la envolvente 64 está recortada en 70 para recibir la patilla 68. Esta disposición de trabazón se muestra mejor en la Fig. 15 en sección transversal. En la Fig. 15, las patillas 68 y 68' definen la sección cóncava 71 que 530.- ajusta en torno de la envolvente adyacente 64. El manguito 69 de la envolvente 64 está recortado o es mucho más estrecho lateralmente para incluir un par de salientes o patillas opuestos 72, 73. Como se ha ilustrado, las patillas 72 y 73 están enfrentadas a lo largo de un eje que está separado 45° de la dirección en la cual están situadas 535.-



1966

las patillas 67, 67', 68 y 68'. Cuando se monta una pluralidad de tubos con tipos alternados de patillas para tubos alternados, queda definida una estructura que impide la deformación, el pandeo y la torsión de tubos individuales.

540.- El tubo compuesto de este invento se ha utilizado en diversas formas y en condiciones diferentes. Por ejemplo, se han sometido trozos de 0,60 a 1,20 m. de tubo compuesto con estructuras de junta como se han descrito a temperaturas elevadas, en un horno eléctrico, mientras se hallaban bajo presión interna. Esos tubos compuestos incluían tubos metálicos de Inconel de 41 mm. a 64 mm. de diámetro encerrados por secciones de envolvente de carburo de silicio aglomerado con arcilla de un espesor de pared de 13 mm.

545.- Las presiones internas fluctuaban desde 3,15 para los tubos mayores a 5,25 kg/cm². para los tubos menores. Estos tubos fueron probados hasta 1.500 horas y a temperaturas de hasta 1.093°C. en ensayos adicionales los tubos compuestos ilustrativos de este invento se expusieron en un hogar encendido con carbón y se sometieron a presión a 7 kg/cm². y se calentaron durante largos periodos con ciclos de temperaturas de varios cientos de grados C. No se encontró ataque serio por corrosión.

555.- En otra serie de ensayos, un tubo compuesto consistente en un tubo interior de Inconel con una camisa de carburo de silicio como antes se ha descrito se calentó a 1.150°C. exteriormente mientras aire a presión atmosférica y 27°C se insufló a través del tubo interior a 19,5 m. por segundo. La temperatura del tubo de Inconel era de 560.- 1.040°C. y la temperatura de salida del aire era de 140°C.



para un aumento de temperatura de 110°C . en una longitud de 0,90 m. El ensayo mostró que los miembros de envolvente no se agrietaban con un gradiente radial de temperatura causado por la circulación del calor al aire frío.

- 570.- Todos los materiales utilizados en la práctica de este invento para los tubos, el metal sacrificable y los carburos refractarios para la envolvente resultaron ser químicamente compatibles por debajo de unos 1.093°C . No se encontró reacción química adversa entre las combinaciones
- 575.- de metal y cerámica, por ejemplo Inconel y carburo de silicio aglomerado por arcilla. Parece que la camisa de cerámica impide la formación de incrustaciones sobre el tubo metálico al impedir que se desprenda la película formada sobre él.
- 580.- Este invento es particularmente adaptable para calentar gases a temperaturas y presiones mayores que las conseguidas con los recuperadores usuales, aun cuando puede usarse igualmente para calentar líquidos. Se cree que el invento es aplicable más específicamente a una central de
- 585.- carbón donde el intercambiador recibe preferiblemente todo el calor por radiación de la llama y, así, no hay necesidad de un contacto directo de los gases de la llama con los tubos. Una aplicación importante para la estructura compuesta de este invento se refiere a centrales que
- 590.- utilicen un vapor metálico como fluido de trabajo, como el mercurio, el cesio, el cinz, etc., en que es un problema la severa corrosión de los tubos del intercambiador de calor. Otras aplicaciones de este invento incluyen (a) turbinas de gas de ciclo abierto y cerrado, y particularmen-
- 595.- te turbinas de gas de ciclo abierto que utilicen combusti-



bles sucios, (b) generadores MHD, (c) recalentadores de vapor y superrecalentadores para centrales, (d) intercambiadores de calor para elevar regenerativamente la temperatura de una llama en un proceso industrial que lo requiera, 600.- por ejemplo hornos altos, hornos siemens, depósitos de fusión de vidrio, y síntesis química por combustión parcial de gases naturales y (f) caldeo de productos químicos en diversos procedimientos, por ejemplo petróleo y gas, o nitrógeno en la síntesis del amoníaco. Otra aplicación todavía 605.- para el tubo compuesto de este invento es como simple conducto de transferencia para fluidos a temperatura muy alta.

En algunas de estas aplicaciones, el tubo interior puede hacerse de otros materiales, tales como cuarzo y vidrio muy rico en sílice que, si se soportan y protegen como se expone en este invento, permiten llegar a temperaturas de funcionamiento más alta que con metales. Para uso con gases reductores, tales como hidrógeno o hidrocarburos, puede ser deseable tener un tubo metálico de forro dentro del 610.- tubo interior resistente a atmósferas reductoras, resistiendo el tubo exterior a atmósferas oscilantes, estando ambos soportados por una camisa de carburo. 615.-

NOTA.-
=====

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta Patente de Invención en España, por veinte años, son los siguientes: 620.-

1º.- Un aparato permutador de calor del tipo de tubo compuesto que está sometido a altas temperaturas para transferir calor a un fluido que circula a su través, que com-



- 625.- prende un miembro metálico para recibir el fluido en contacto con una superficie del mismo y aislar el fluido de la temperatura alta, una pluralidad de miembros cerámicos para, simultáneamente, soportar y proteger dicho miembro metálico, recibiendo dicho miembro cerámico las altas temperaturas en una superficie de los mismos y teniendo la superficie opuesta junto a dicho miembro metálico, teniendo dicho miembro metálico y dicho miembro cerámico, cada uno, un diferente coeficiente de expansión térmica y estando dispuestos con el miembro que tiene el mayor coeficiente de expansión dentro del miembro que tiene el menor coeficiente de expansión, teniendo dichos miembros una holgura en frío preseleccionada entre sus paredes de tal modo que a la temperatura de funcionamiento elevada preseleccionada el miembro interior se expando para tocar al miembro exterior obteniéndose así una fuerte construcción unificada a prueba de fugas, cuya área de pared tiene una gran rapidez de transferencia del calor.

- 2º.- Un aparato según el punto 1º en el cual dicho miembro metálico forma un cilindro interior de la combinación y el miembro cerámico comprende una pluralidad de miembros cilíndricos cada uno de los cuales es más corto que el miembro metálico y está dispuesto en yuxtaposición longitudinal a lo largo de dicho miembro metálico interconectando una estructura de junta los extremos de cada par de miembros adyacentes.

3º.- Un aparato según los puntos 1º ó 2º en el cual el miembro cerámico está hecho de carburo de silicio y el miembro metálico está hecho de aleación de níquel.

4º.- Un aparato según los puntos 2º ó 3º en el cual



655.- la holgura radial fría total entre dichos miembros es igual a 1,2 a 2,4 por ciento del radio de dicho miembro metálico.

660.- 5^a.- Un aparato según los puntos 2, 3 ó 4 en el cual dichos miembros cerámicos tienen ánimas estrechadas que, en condiciones de alta temperatura, deforman permanentemente el tubo interior que se expande a una configuración cónica de manera que se reduzca al mínimo el deslizamiento de dicho miembro cerámico a lo largo de dicho miembro metálico interior.

665.- 6^a.- Un aparato según cualquiera de los puntos 2, 3, 4 ó 5, en el cual la estructura de junta comprende un primero de dichos miembros cerámicos que tiene en un extremo del mismo una parte periférica agrandada para recibir en ella el extremo de un miembro cerámico adyacente, definiendo entre ellas dicha parte periférica agrandada y dicho extremo de un miembro cerámico adyacente un espacio periférico y un corto cilindro metálico sacrificable dispuesto en dicho espacio y espaciado radialmente desde dicho miembro periférico agrandado.

675.- 7^a.- Un aparato según los puntos 2, 3, 4, 5 ó 6 en el cual se emplea una pluralidad de tubos compuestos que incluyen además salientes formados en dicha estructura de junta para trabazón con salientes complementarios formados en la estructura de junta de un tubo compuesto adyacente para arriostrar dichos tubos contra movimiento en una dirección lateral respecto al eje central de dichos tubos.

680.- 8^a.- Un aparato según cualquiera de los puntos anteriores, en el cual dicho miembro metálico tiene la forma de un cilindro recto circular que tiene un espesor de pa-



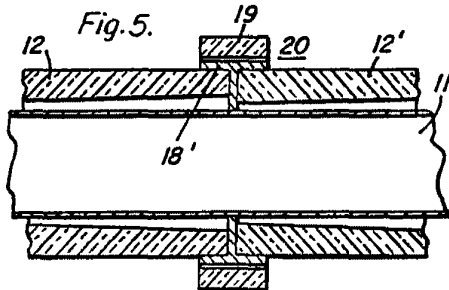
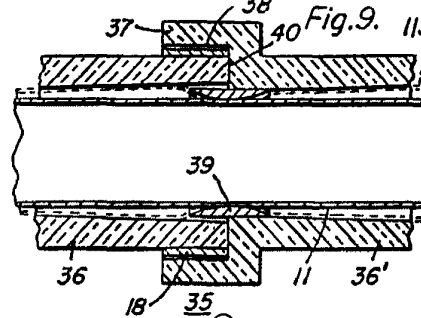
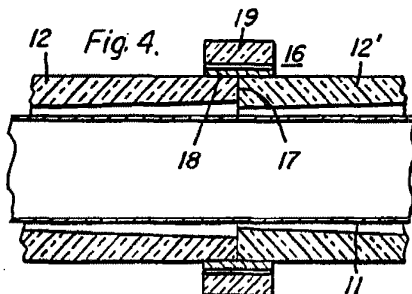
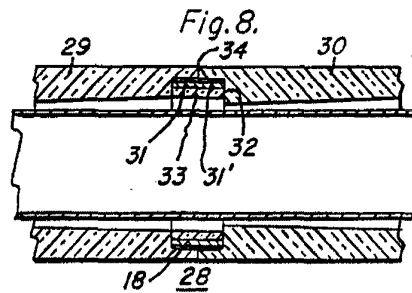
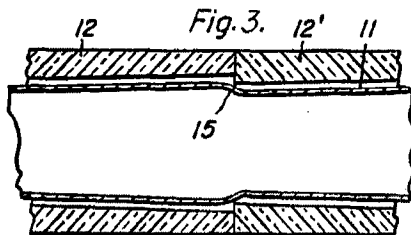
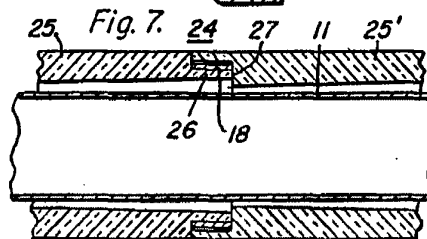
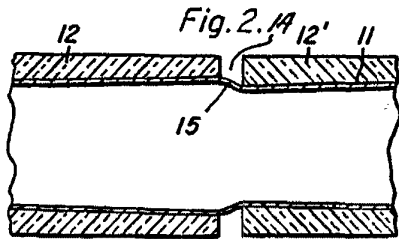
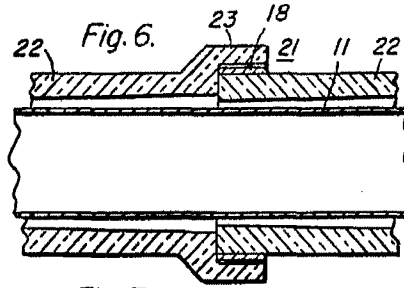
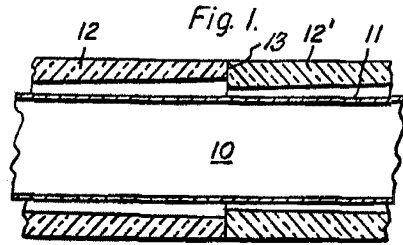
685.- red suficiente y bastante resistencia para aguantar la presión del fluido interno sin soporte externo adicional a temperaturas inferiores a las de funcionamiento del tubo compuesto.

9º.- "UN APARATO PERMUTADOR DE CALOR DEL TIPO DE TUBO",
690.- todo tal y conforme se describe en la presente memoria, la cual consta de 692 líneas y a título de ejemplo se representa en los adjuntos dibujos.

Madrid, - 5 MAY. 1968

ESCALA VARIABLE.

326356 ⁵



Madrid, 5 MAY. 1966

326356

ESCALA VARIABLE

HOJA 2/2

GENERAL ELECTRIC COMPANY

Madrid, - 5 MAY. 1968

