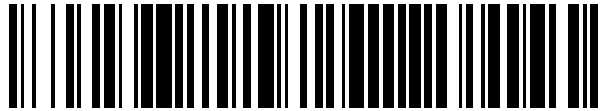


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 497 017**

51 Int. Cl.:

**F28D 3/02** (2006.01)

**F28D 3/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2010 E 10723295 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.06.2014 EP 2427711**

54 Título: **Equipo de haz de tubos con elementos reguladores de flujo de líquido**

30 Prioridad:

**06.05.2009 IT MI20090768**

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

**22.09.2014**

73 Titular/es:

**SAIPEM S.P.A. (100.0%)  
Via Martiri di Cefalonia, 67  
20097 San Donato Milanese (Milano), IT**

72 Inventor/es:

**GIANAZZA, ALESSANDRO y  
CARLESSI, LINO**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 497 017 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**

Equipo de haz de tubos con elementos reguladores de flujo de líquido

5 La presente invención se refiere a equipo de haz de tubos incluyendo elementos metálicos de regulación del flujo de líquido.

Más específicamente, la presente invención se refiere a equipo de haz de tubos del tipo vertical, adecuado para  
10 efectuar intercambio térmico entre dos fluidos, de los que uno, en el estado líquido, cae a lo largo de las paredes internas de los tubos en forma de película.

Más en concreto aún, la presente invención se refiere a un intercambiador de calor de haz de tubos del tipo de  
15 película de líquido descendente, adecuado para separar gases y vapores de un líquido que tiene propiedades altamente agresivas, equipado con un elemento concreto para la distribución de la película de líquido, situado en el cabezal de cada tubo.

Se utiliza ampliamente en la técnica equipo de haz de tubos para efectuar eficientemente el intercambio térmico  
20 entre dos fluidos, en particular cuando tienen lugar transformaciones de fase o reacciones químicas a lo largo de uno o ambos lados de la pared de intercambio debido al flujo térmico. Este tipo de equipo es relativamente fácil y simple de construir puesto que normalmente consta de una cámara cilíndrica cruzada longitudinalmente por una pluralidad de tubos, que están fijados herméticamente sobre dos chapas transversales (llamadas hojas de tubo) que delimitan, en los dos extremos del equipo, delimitadas por dos cabezales, dos cámaras para la recogida y distribución respectivamente de los gases y líquidos que fluyen dentro de los tubos. El fluido intercambiador, que a menudo consta de gases calientes procedentes de un horno o vapor saturado, circula fuera de los tubos, en el  
25 denominado lado de envuelta.

En los intercambiadores de calor de haz de tubos del tipo vertical de película de líquido descendente, a los que la presente invención se refiere en concreto, los tubos están colocados verticalmente de modo que una película de  
30 líquido uniforme y fina fluya por gravedad desde arriba a lo largo de la pared, obteniendo así un intercambio térmico eficiente con el fluido en el lado de envuelta, reduciendo el tiempo de contacto lo más posible. Al mismo tiempo, los vapores posiblemente formados por evaporación o reacción química debido al calentamiento, son liberados fácilmente a través de la ancha superficie de líquido de la película y pueden ser quitados a lo largo del conducto interno sustancialmente sin líquido del tubo. En consecuencia, es esencial para un buen funcionamiento de este tipo de intercambiador de calor que la película de líquido se distribuya uniformemente y que esto no forma ni siquiera  
35 ocasionalmente zonas de bloqueo y turbulencia mezcladas con vapores, con la consiguiente obstrucción y caídas de presión a lo largo del tubo.

Algunos métodos y equipo generalmente adoptados para efectuar intercambio térmico en estos casos se  
40 mencionan, por ejemplo, en la publicación técnica "Perry's Chemical Engineering Handbook", McGraw-Hill Book Co., 6ª Ed. (1984), páginas 11-18. Un ejemplo típico de este equipo lo representa un separador insertado en el ciclo de alta presión de procesos de síntesis de urea.

En intercambiadores de calor que manejan fluidos con propiedades altamente agresivas, al menos una de las dos  
45 superficies de cada tubo y hoja de tubo y al menos una parte de la superficie interna de los cabezales, están expuestas a contacto directo con estos fluidos y en consecuencia estas superficies deben constar de o estar adecuadamente recubiertas con una capa metálica protectora resistente a la corrosión o la erosión químicas que derivan de fenómenos dinámicos tales como, por ejemplo, turbulencia o formación de gases. En muchos casos, las acciones de erosión y corrosión interactúan sinérgicamente haciendo el fluido aún más agresivo.

El problema de la corrosión y/o erosión ha sido afrontado con varias soluciones en las plantas industriales  
50 existentes, y se han propuesto otras en la literatura. De hecho, hay numerosos metales y aleaciones capaces de resistir, durante períodos suficientemente largos, las condiciones sumamente agresivas creadas dentro del equipo en procesos que implican fluidos que tienen una corrosividad sumamente alta, tal como, por ejemplo, en la síntesis de ácido nítrico y urea. Entre estos metales se puede mencionar el plomo, titanio, circonio, tántalo, niobio y sus aleaciones de varios grados, además de numerosos aceros inoxidables, tales como, por ejemplo, acero inoxidable austenítico (AISI 316L acero de grado urea), acero inoxidable del tipo 25/22/2 Cr/Ni/Mo, aceros inoxidables austeno-  
55 ferríticos.

A pesar de su costo más alto con respecto a los aceros inoxidables, metales como titanio y circonio, debido a su alta  
60 resistencia a la corrosión y cualidades mecánicas satisfactorias, son preferidos frecuentemente para la producción de tubos en equipo de intercambio térmico a alta presión usado en la síntesis de urea y ácido nítrico. El circonio, en concreto, es conocido por su excelente resistencia tanto a la corrosión química como a la acción erosiva de los fluidos de proceso con los que entra en contacto, mientras que el titanio tiene una resistencia a la corrosión sustancialmente similar al circonio, pero menor resistencia a la acción erosiva.

65 En el caso particular de un intercambiador de haz de tubos del tipo vertical de película de líquido descendente, tal

como, por ejemplo, el separador incluido en el bucle de síntesis de urea a alta presión, la solución a los problemas de corrosión es sumamente compleja debido a la geometría particular del equipo destinado a permitir una distribución de las temperaturas y composiciones de los fluidos controladas y reproducibles en la medida de lo posible, además del alto esfuerzo mecánico al que se someten las superficies metálicas en las zonas donde tiene lugar la reacción química de descomposición térmica del carbamato de amonio, que en consecuencia experimentan una acción erosiva significativa y debe constar de metales que tienen una resistencia mecánica adecuada. Los operadores en el campo han propuesto numerosas soluciones a lo largo de los años.

La Patente de Estados Unidos 4.899.813 describe la construcción y el uso de equipo de haz de tubos verticales especialmente adecuado para la operación de separación a alta presión de la solución de urea procedente del reactor de síntesis. Con el fin de evitar la corrosión en las zonas dentro de los tubos, donde tienen lugar el intercambio térmico y la descomposición del carbamato, y en consecuencia donde hay la máxima agresividad química y erosiva del fluido, se usa un haz de tubos que consta de tubos bimetálicos, es decir, que consta de una parte externa hecha de acero inoxidable, y una parte interna, que tiene un grosor más fino (0,7-0,9 mm), hecha de circonio, que se adhiere mecánicamente con la primera, pero no está soldada a ella, puesto que los dos materiales son incompatibles uno con otro a soldadura de fusión normal. Esta solución representó una mejora significativa con respecto a la técnica conocida, pero, durante largos períodos de tiempo, no pudo evitar la aparición de problemas de corrosión como resultado de la infiltración del fluido corrosivo hacia la parte externa del tubo, hecho de acero.

Según otras soluciones, también se propuso usar tubos hechos totalmente de un metal de altas prestaciones, tal como circonio, niobio o tántalo, conectados con un recubrimiento hecho del mismo material que las paredes de las partes restantes del aparato expuesto a corrosión. Sin embargo, el alto costo de estas soluciones limitó su amplio desarrollo industrial.

La solicitud de patente EP 1577632 describe un intercambiador de haz de tubos adecuado para el tratamiento de carbamato de amonio en plantas de síntesis de urea, en el que el haz consta de tubos de titanio recubiertos con una capa fina de circonio en el lado en contacto con el fluido corrosivo, y fijados herméticamente sobre el recubrimiento de titanio de la hoja de tubo por soldadura de titanio-titanio. La capa de circonio no se extiende necesariamente por toda la longitud de los tubos, sino que puede estar colocada en la zona del tubo sometida al ataque agresivo más intenso. Los métodos para obtener estos tubos pueden incluir soldadura en caliente o forja, para favorecer la formación de una unión metalúrgica entre la capa de circonio y la superficie del titanio.

La Solicitud de Patente internacional publicada WO 06/020381 propone una solución diferente a este problema, mediante la producción de un haz de tubos, incluyendo los tubos un elemento tubular metálico intermedio, que consta esencialmente de un metal anticorrosión de altas prestaciones, que se suelda en el estado sólido, en uno o ambos extremos, con un segundo elemento tubular coaxial de doble capa en el que una capa es del mismo metal que el elemento intermedio, y la otra capa es adecuada para soldadura con el metal del recubrimiento de la hoja de tubo.

El equipo de intercambio térmico de película de líquido descendente vertical anterior requiere un dispositivo para la óptima distribución del líquido a lo largo de las paredes del tubo y para la descarga simultánea de los gases y vapores introducidos al intercambiador, preferiblemente por debajo, como gas de arrastre, o productos en los tubos propiamente dichos después de la evaporación o descomposición térmica de uno o más constituyentes del líquido propiamente dicho. Este dispositivo, más comúnmente conocido con el término técnico de "férula", tiene por lo general una forma tubular y se acuña sobre el extremo de cada tubo del haz de tubos, encima de la hoja de tubo de soporte. Dicha férula se puede abrir hacia arriba para la salida de los gases o vapores, o puede estar cerrada en el extremo superior por medio de un cabezal que también puede actuar como un apoyo para una posible rejilla de fijación, especificada más adelante, en cuyo caso los gases o vapores son descargados a través de uno o más agujeros laterales situados en la pared lateral de la férula, cerca de su extremo superior. Uno o más agujeros están colocados tangencialmente en la pared de la férula ligeramente encima de la base de apoyo en el extremo del tubo, para permitir la entrada y la distribución uniforme del líquido en las paredes internas. Además, cada férula incluye un extremo inferior, que se extiende más allá de la base de apoyo, conformado de manera que se introduzca correspondientemente en la abertura superior de cada tubo del intercambiador. Una rejilla de fijación descansa por lo general en la parte superior del grupo de férulas insertado en el haz de tubos con el fin de mantener las férulas firmemente insertadas en los tubos, en contra de la fuerza de los vapores ascendentes. Se describen otros dispositivos conocidos en GB 2077121 A y WO 2006/085729 A1.

Los dispositivos del tipo descrito anteriormente se aplican industrialmente en intercambiadores verticales de líquido descendente en varios campos. Una descripción interesante de la férula usada hasta ahora en muchos separadores del proceso de síntesis de urea se ofrece en el artículo de S. R. Ghosh publicado en: Fertilizer News, Junio 1994, páginas 57-65.

Se usan, por ejemplo, férulas del tipo descrito en el descomponedor/separador del ciclo de síntesis de urea de alta presión, y en el equipo posterior para la descomposición del carbamato de amonio a presión media o baja de la misma planta, cuando estos son del tipo de película descendente. Una vista en sección de una férula típica usada en separadores a alta presión para la síntesis de urea se representa esquemáticamente en la figura 2 siguiente.

Aunque el uso de las férulas anteriores se conoce desde hace mucho tiempo, algunos de los inconvenientes todavía no han sido superados satisfactoriamente. De hecho, uno de los problemas principales sigue siendo la infiltración de líquido con una acción corrosiva y erosiva a través de la zona de apoyo e introducción de la férula en el extremo superior del tubo. De hecho, debido a su función como un dispositivo extraíble, la férula no se suelda sobre el tubo, sino que simplemente descansa en él, explotando el acuífamiento de su parte inferior en la cavidad de tubo, como un elemento de colocación y sellado. Sin embargo, debido a las vibraciones del equipo durante el uso y bajo el esfuerzo de los fluidos a alta temperatura, que tienen una acción altamente corrosiva y erosiva, con el tiempo se producen filtraciones que dañan progresivamente las superficies con las que entran en contacto, produciendo finalmente graves fenómenos de deformación del extremo superior de los tubos y significativas pérdidas de líquido que entra en el tubo en una dirección no tangencial y en una posición no preparada, evitando así la formación uniforme de la película descendente a lo largo de la pared y creando más riesgos de erosión y corrosión de las paredes metálicas. En un intento de prolongar la duración del equipo, se ha usado rejillas que apoyan en los extremos superiores de las férulas, posiblemente provistas de agujeros o cajas para bloquear las férulas, como se representa en la figura 2 anexa y en dicho artículo de Ghosh. Sin embargo, esta solución también ha demostrado ser insatisfactoria, puesto que no es capaz de reducir suficientemente la infiltración en los intersticios presentes entre la férula y el extremo de tubo, debido tanto a la inevitable deformación de la rejilla y del extremo de tubo como también como resultado de la altura desigual de las terminaciones superiores de las férulas con respecto a la perfecta coplanaridad, que permite pequeños desplazamientos de la misma, ante todo en las fases de arranque y parada de la planta, y consiguientes infiltraciones de líquido.

En su actividad por mejorar de forma continua su tecnología, el solicitante ha hallado ahora una configuración concreta del tubo y la férula superpuesta, que proporciona una solución adecuada a los requisitos anteriores y los problemas conectados con ellos, especialmente en relación al equipo de haz de tubos, incluyendo los tubos un material anticorrosivo diferente de acero inoxidable, tal como dicho Zr o Ti.

Por lo tanto, un primer objeto de la presente invención se refiere a equipo de haz de tubos del tipo de película de líquido descendente, adecuado para intercambio térmico entre fluidos, incluyendo un cuerpo cilíndrico vertical cerrado en los extremos y dividido en al menos una sección superior, una sección intermedia y una sección inferior por medio de dos hojas de tubo perforadas dispuestas transversalmente a una distancia adecuada una de otra, donde una pluralidad de tubos están dispuestos longitudinalmente formando un haz de tubos e insertados herméticamente con los respectivos extremos en los agujeros de dichas hojas de tubo permitiendo que dicha sección superior y sección inferior del cuerpo cilíndrico estén en comunicación de fluido una con otra, rematado cada tubo, en el extremo superior, por un dispositivo tubular, también llamado férula, para la entrada y distribución del líquido en forma de una película a lo largo de la pared del mismo, incluyendo dicho dispositivo tubular por encima una o más aberturas para la salida de vapores, a una altura intermedia una o más aberturas, preferiblemente tangenciales, para la entrada del líquido y, debajo, una base circular para sujeción en el extremo superior de dicho tubo y una sección cilíndrica inferior que sobresale hacia abajo más allá de la base circular, insertada en dicho tubo una longitud que varía de 10 a 200 mm y que tiene preferiblemente el diámetro externo sustancialmente coincidente con el diámetro interior del elemento tubular, caracterizado porque dicha férula incluye otra tira metálica dispuesta lateralmente con respecto al exterior de dicha base circular y que sobresale hacia abajo más allá de ésta una longitud de al menos 2 mm, preferiblemente de 3 a 50 mm, y porque, en la zona circular definida entre dicha tira metálica exterior y dicha sección cilíndrica que sobresale hacia abajo, hay una junta estanca, insertada entre dicha base circular de la férula y dicho extremo superior del tubo.

Un segundo objeto de la presente invención se refiere a un método para la producción del equipo de haz de tubos anterior, que incluye colocar dos hojas de tubo perforadas dentro de una envuelta cilíndrica equipada en los dos extremos con dos cabezales terminales, de modo que cada hoja de tubo esté situada cerca de un cabezal, insertar y fijar herméticamente en los agujeros situados en cada hoja de tubo una pluralidad de tubos que se extienden ortogonalmente hacia el plano de la hoja de tubo, toda la distancia que los separa, con el fin de poner los espacios entre cada hoja de tubo y el cabezal correspondiente en conexión de fluido uno con otro, colocar en el extremo superior de cada uno de dicho tubos una férula incluyendo, en la zona superior, una o más aberturas para la salida de vapores, a una altura intermedia, una o más aberturas, preferiblemente tangenciales, para la entrada del líquido y, en la zona inferior, una base circular para que descansa dicho tubo en el límite superior y una sección cilíndrica que sobresale hacia abajo más allá de la base circular, insertada en dicho tubo una longitud que varía de 10 a 200 mm y que tiene el diámetro exterior sustancialmente coincidente con el diámetro interior de la misma, caracterizado porque dicha férula incluye otra tira metálica dispuesta lateralmente con respecto al exterior de dicha base circular y que sobresale hacia abajo más allá de ésta una longitud de al menos 2 mm, preferiblemente de 3 a 50 mm, y porque, en la zona circular definida entre dicha tira metálica exterior y dicha sección cilíndrica que sobresale hacia abajo se ha insertado una junta estanca anular que actúa como un soporte entre dicha base circular de la férula y dicho extremo superior del tubo.

Otros objetos de la presente invención serán evidentes en la presente descripción siguiente y en las reivindicaciones siguientes.

El término "aleación" en el sentido en que se usa aquí con referencia a un cierto metal, se refiere a una composición

metálica incluyendo dicho metal en una cantidad de al menos 50% en peso.

A no ser que se especifique lo contrario más adelante, cada referencia a un metal también incluye sus respectivas aleaciones.

5 Los términos “corrosión” y “corrosividad” usados en la presente descripción y las reivindicaciones con referencia a la acción de un fluido de proceso en contacto con una superficie de un cierto metal o aleación, se entienden en su significado general de extracción o modificación de las propiedades del material que forma la superficie e incluye tanto la acción corrosiva que deriva de un ataque químico de la superficie como también la acción erosiva que deriva de un proceso físico de extracción debido a impacto, rozamiento y fuerzas de cizalladura.

15 Según la presente descripción, el término “resistente a la corrosión” con referencia a un material con respecto a un fluido bajo ciertas condiciones del proceso, define un material que tiene un índice de corrosión inferior a 0,1 mm/año medido según la norma ASTM A 262 Práctica C (prueba HUEY). Los índices de corrosión para materiales para uso industrial normal se indican en varios manuales conocidos por los expertos en la materia, tal como, por ejemplo, en las tablas 23-22 a 23-24 del “Perry's Chemical Engineering Handbook” citado, bajo el apartado “Ammonium Carbamate”.

20 El término “soldadura forzada” y “soldadura estanca”, en el sentido en que se usan en la presente descripción y las reivindicaciones, se refiere a las siguientes definiciones tomadas de la norma ASME VIII Div.1 UW20:

\* Una soldadura forzada es una soldadura con características tales que cumplan los requisitos del proyecto, en base a las características mecánicas y el esfuerzo que deriva de la expansión de las partes soldadas;

25 \* Una soldadura estanca se efectúa con la finalidad de evitar pérdidas y sus dimensiones no se determinan en base a las cargas previamente expresadas para la soldadura forzada.

30 El término “unido metalúrgicamente”, en el sentido en que se usa aquí con referencia a la interacción entre dos cuerpos metálicos unidos uno a otro (tal como, por ejemplo, cualesquiera dos cuerpos seleccionados de un tubo, un recubrimiento metálico, una chapa o cuerpo de fuerza), indica la presencia de una superficie de contacto o sección entre dichos cuerpos metálicos, en la que los respectivos constituyentes (que pueden ser del mismo metal o de metales diferentes) están unidos directa o indirectamente uno con otro con el fin de formar una junta con características de resistencia mecánica y liberación en el mismo orden de magnitud que al menos uno de dichos metales. Los ejemplos de cuerpos unidos metalúrgicamente son aquellos en los que los respectivos metales están unidos por soldadura de fusión, con o sin una varilla fusible, soldadura dura, soldadura por rozamiento, soldadura por explosión, coextrusión, estirado en caliente y técnicas análogas.

40 Los términos “alto” y “bajo” o sus análogos y derivados, como “superior” e “inferior”, cuando se usan en relación con intercambiadores de calor de líquido descendente o sus partes, incluyendo el equipo objeto de la presente invención, se refieren al aparato vertical, en su posición cuando está en uso.

45 Los términos “circular” y “diámetro” en el sentido en que se usan aquí con referencia al equipo reivindicado o sus partes, como tubos y férulas, no se han previsto de ninguna forma como limitación de las partes descritas a una geometría cilíndrica, sino que se extienden, por analogía, a diferentes formas de geometrías cerradas, por ejemplo elípticas o cuadrangulares.

50 El equipo vertical de intercambio térmico según la presente invención (para mayor conveniencia también definido a continuación como intercambiador de calor vertical) no difiere, en sus elementos básicos, de las características de los intercambiadores de película descendente típicos conocidos en la técnica. Por lo general tiene una forma cilíndrica, con un diámetro que varía preferiblemente de 0,5 a 3,0 m, cerrado en los extremos por dos cabezales, normalmente semiesféricos para soportar mejor los empujes de presión, que generalmente también encierran parte del volumen de las dos secciones superior e inferior, destinadas a la distribución y recogida respectivamente del líquido sometido a tratamiento de calor, mientras que la sección intermedia o central del aparato, delimitada por las respectivas hojas de tubo superior e inferior, incluye el haz de tubos que pone en comunicación de fluido dichas cámaras de distribución y recogida, y el espacio, también llamado envuelta, donde el fluido circula para suministrar calor. En los cabezales semiesféricos y a lo largo del cuerpo cilíndrico hay aberturas adecuadas para la entrada y salida de los fluidos, la introducción de posibles sensores y una abertura para inspecciones (agujero de hombre). Cuando está en posición operativa, el equipo está orientado verticalmente, por ejemplo cuando se usa como un separador del proceso de síntesis de urea.

60 Si el intercambiador de calor vertical de la presente invención está destinado a uso en condiciones de presión y temperatura medias-altas, y en presencia de fluidos especialmente agresivos, como es el caso, por ejemplo, en la recuperación de carbamato no reaccionado en procesos de producción de urea, o en la concentración de ácido nítrico, el experto en la materia selecciona con cuidado los materiales metálicos más adecuados para resistir los fenómenos de corrosión y erosión que pueden tener lugar, y dimensiona las varias partes del equipo, en particular el grosor de los tubos del haz de tubos, la hoja de tubo y la pared externa del aparato (también llamado cuerpo

resistente a la presión), de modo que puedan soportar el empuje de presión, garantizando condiciones de alta seguridad. El cuerpo resistente a la presión tiene en concreto grosores normalmente del orden de 20 a 400 mm, más altos para las paredes del cabezal y más finos para la pared cilíndrica de la envuelta. Típicamente, la zona cilíndrica central, en contacto con el vapor saturado a presiones de 0,2 a 5 M Pa, tiene preferiblemente grosores que varían de 20 a 100 mm, mientras que la pared de los cabezales y el cilindro cerca de estos, sometidos a la mayor presión de los fluidos de proceso, tiene grosores proporcionalmente más altos, preferiblemente del orden de 80 a 300 mm. La pared exterior puede constar de una sola capa o varias capas de acero al carbono montadas según alguna de las técnicas conocidas. Los expertos en la materia también montarán y soldarán con cuidado las varias partes de modo que no haya pérdidas debidas a imperfecciones, según los métodos conocidos en la técnica.

El interior del aparato está marcado por la zona incluyendo los tubos del haz de tubos, normalmente agrupados paralelos uno a otro, fijados en las dos hojas de tubo, adecuadamente colocados transversalmente al eje principal del equipo, e incluyendo también un elemento plano adecuado para tolerar la diferencia de presión, normalmente hecho de acero al carbono, con un grosor del orden de 20 a 500 mm. En el caso más común, las dos hojas de tubo están situadas cerca de uno de los dos cabezales y definen una sección intermedia que tiene una geometría esencialmente cilíndrica. Cada hoja de tubo se fija de forma estanca y forzada sobre la pared circular por soldadura, de modo que no pueda haber intercambios de material entre secciones adyacentes.

Los tubos cruzan las dos hojas de tubo, que están adecuadamente perforadas por esta razón, permitiendo el paso de un fluido entre las secciones superior e inferior situadas en el extremo de los tubos. Una corriente de un segundo fluido, normalmente vapor saturado a la presión necesaria para suministrar calor a la temperatura deseada, se introduce en la cavidad intermedia, normalmente en el lado de la envuelta, para efectuar el intercambio térmico a través de la pared de los tubos, y se quita en forma de un condensado a través de conductos de salida adecuados.

Hay un número variable de dichos tubos dependiendo de las especificaciones del proyecto, pero normalmente es del rango de un mínimo de 2 a aproximadamente 10.000 para el equipo más grande. Tabiques intermedios con un grosor de unos pocos milímetros, hechos por lo general de acero al carbono o acero inoxidable (también llamados chapas deflectoras) se pueden disponer en la sección intermedia soportando los tubos.

Según la presente invención, cada tubo coronado por la férula consta preferiblemente de un material que tiene una alta resistencia a la corrosión, posiblemente combinada con la erosión que deriva de la acción mecánica de los fluidos durante la fase de evaporación dentro del tubo. Esta acción mecánica es especialmente alta en las paredes de los tubos verticales donde el líquido se calienta rápidamente y vaporiza con un alto esfuerzo de cizalladura en la superficie. Los materiales especialmente adecuados para la producción de estos elementos tubulares son circonio y niobio, especialmente circonio y sus aleaciones incluyendo al menos 60% de Zr, tal como Zircalloy® y Zircadyne®, debido a la excelente resistencia tanto a la corrosión y a la erosión como la disponibilidad comercial satisfactoria. Otros materiales preferidos por su alta resistencia a la corrosión son titanio y sus aleaciones y las aleaciones de acero inoxidable, especialmente las desarrolladas comercialmente para resistir el contacto con soluciones de carbamato de amonio a alta temperatura, tal como INOX de grado urea, Cr/Ni/Mo 25/22/2, aceros inoxidables austenoferríticos.

También son adecuados a los efectos de la presente invención tubos bimetálicos de circonio/acero inoxidable del tipo descrito en dicha patente US 4.899.813, con la ventaja, en el caso de la presente invención, de que la colocación de la férula en el tubo no requiere la extracción de la capa de circonio en la parte terminal del tubo en una longitud de 30 a 100 mm, como era necesario, por otra parte, en las soluciones propuestas hasta ahora en la técnica. La realización del intercambiador según la presente invención ha demostrado ser igualmente ventajosa, si el tubo es del tipo descrito en dicha solicitud de patente internacional WO 06/020381, o en la solicitud de patente publicada US 2008/093064, cuya parte superior consta de circonio o una capa interna de circonio o una de sus aleaciones, unidas metalúrgicamente a una capa exterior de titanio o una de sus aleaciones. De hecho, también en este caso, la combinación de elementos que caracterizan la presente invención evita el procesado adicional en el extremo de tubo durante la producción del equipo.

Como resultado de sus numerosas aplicaciones, y dependiendo de sus materiales de construcción, las dimensiones del tubo del equipo de la presente invención pueden variar dentro de amplios límites. Para un óptimo rendimiento en la presencia de una presión diferencial alta, por lo general del orden de 2 a 30 MPa, entre la superficie exterior (lado de envuelta, en contacto con un fluido térmico, normalmente con vapor a presión baja, media o alta) y la superficie interna (en contacto con el fluido corrosivo y/o erosivo), el diámetro interior del tubo es del rango de 5 a 150 mm, preferiblemente de 10 a 100 mm, y el grosor varía preferiblemente dentro de un rango de 1 a 20 mm, más preferiblemente de 2 a 15 mm. Aunque los tubos están conformados normalmente de forma cilíndrica, no quedan excluidos del alcance de la presente invención tubos que tengan secciones diferentes, por ejemplo elípticas o cuadradas.

Según la presente invención, la longitud del tubo en el haz de tubos puede variar dentro de amplios límites, en relación a las dimensiones del equipo donde se use. La longitud es generalmente al menos 5 veces más alta que el diámetro y preferiblemente varía de 1 a 20 metros, más preferiblemente de 2 a 15 metros. En el caso más común, la longitud de los tubos define la longitud del haz de tubos y la distancia entre las hojas de tubo.

Según la presente invención, el extremo de cada tubo, en concreto el extremo superior, está convenientemente sellado de forma estanca con el recubrimiento de la hoja de tubo. Esta soldadura puede ser efectuada de varias formas incluidas en el alcance de la presente invención, dependiendo de la composición de los tubos y la hoja de tubo y el uso del equipo. Si la hoja de tubo está recubierta con titanio o circonio, y la parte terminal del tubo consta de al menos una capa compatible con la soldadura con dicho metal o su aleación, es preferible soldar de forma estanca, y posiblemente también soldar a la fuerza, el recubrimiento con dicha capa compatible. El mismo tipo de realización es posible cuando, por ejemplo, tanto el recubrimiento como la pared exterior del tubo constan de un acero inoxidable. Dicha soldadura, si también se efectúa como soldadura forzada, también forma la zona de fijación del tubo sobre la hoja de tubo, resistente al esfuerzo mecánico que deriva de la presión diferencial. Los expertos en la materia pueden hallar fácilmente otras soluciones para fijar el tubo sobre la hoja de tubo en base a lo conocido en la técnica.

Según la presente invención, el borde superior de los tubos del haz de tubos sobresale convenientemente hasta 80 mm, preferiblemente de 10 a 50 mm, más allá del plano de la hoja de tubo en la que se inserta. En este caso, la soldadura del tubo al recubrimiento o en cualquier caso al cuerpo de la hoja de tubo se efectúa alrededor de la superficie exterior del mismo tubo.

La férula situada en el extremo de tubo en el intercambiador según la presente invención es un dispositivo de forma tubular coherente con el tubo propiamente dicho, cuyas funciones principales son, por una parte, permitir la entrada del líquido al tubo vertical de modo que se distribuya cayendo lo más uniformemente posible en las paredes del mismo formando una capa fina (película descendente), y por la otra, para permitir, en un punto más alto con respecto al primero, la salida de los gases y vapores que suben en el tubo vertical del haz, evitando así bloqueos y la formación de burbujas o espuma que podría reducir la funcionalidad del intercambiador, produciendo también caídas de presión indeseadas.

Para ello, la férula se inserta en la cavidad del tubo vertical por medio de su propia sección cilíndrica que sobresale por debajo, que tiene un diámetro externo sustancialmente coincidente, a excepción de una tolerancia de unos pocos  $\mu\text{m}$ , con el de dentro del tubo.

Según la presente invención, dicha férula se extiende una longitud suficiente para permitir la separación entre las aberturas de entrada del líquido y las de la salida de los gases y vapores. La longitud de la férula es por lo general del rango de 200 a 800 mm, preferiblemente de 300 a 600 mm, desde el borde del extremo superior al margen de la extensión de la sección inferior insertada en la cavidad del tubo.

Dicha sección inferior de la férula incluye una sección tubular que tiene una longitud preferiblemente del orden de 10 a 120 mm, más preferiblemente de 20 a 80 mm, que se extiende por debajo más allá del borde de la base circular, cuyo grosor se ha reducido con respecto a la parte superior de la férula y cuyo diámetro externo coincide esencialmente con el diámetro interior del tubo del intercambiador de modo que las dos paredes se acuñen sustancialmente una dentro de otra cuando la férula esté insertada en el tubo, asegurando así una colocación correcta. Según un aspecto preferido, dicha parte tubular de la sección inferior de la férula tiene un diámetro externo reducido de 1 a 20 mm, preferiblemente de 2 a 15 mm, con respecto al diámetro externo de la parte superior de la férula, y con esta parte forma, en la línea circular de unión, un perfil en un ángulo recto que produce una superficie anular dispuesta horizontalmente, formando dicha base circular de apoyo de la férula en el extremo del tubo del intercambiador, interpuesto por la junta estanca. Según otro aspecto preferido, el grosor de dicha sección tubular está dentro del rango de 0,5 a 5 mm, preferiblemente de 1 a 4 mm, y está ahusado de forma truncocónica en la parte terminal inferior, preferiblemente una longitud de 5 a 50 mm, más preferiblemente de 10 a 30 mm, de manera que se reduzca progresivamente y forme una continuidad sustancial, en el margen inferior, con la superficie de la pared interna del tubo.

Dicha sección inferior de la férula une la parte restante del dispositivo, superponiendo el perfil tubular de su parte superior, que tiene preferiblemente el mismo diámetro interior que el tubo subyacente, para una sección coaxial que varía de 10 a 150 mm, preferiblemente de 40 a 100 mm. Según un aspecto preferido de la presente invención, en correspondencia con dicha zona de conexión, el diámetro interior de la sección inferior se ensancha progresivamente hacia arriba, produciendo un perfil truncocónico en una longitud de 5 a 50 mm, preferiblemente de 10 a 30 mm, similar al descrito anteriormente, pero orientado en la dirección opuesta. De esta forma, un perfil interno de la férula se forma con una sección trapezoidal como se muestra esquemáticamente en las figuras 3 y 4 siguientes, en las que el diámetro interior, para una sección preferiblemente larga, de un total de 30 a 300 mm, se estrecha de 1 a 10 mm, preferiblemente de 2 a 8 mm. Se ha hallado que el dispositivo según la presente invención permite así alimentar el líquido a una zona intermedia de la férula cuyo diámetro interior es sustancialmente el mismo que el tubo vertical, con el fin de proporcionar una superficie circular más grande y de favorecer la formación uniforme de la película de líquido. Éste fluye entonces hacia abajo sin turbulencias significativas gracias a la presencia de la zona truncocónica ahusada, a excepción del engrosamiento inevitable debido al estrechamiento del diámetro interior de la férula, correspondiente al grosor de la extensión inferior insertada en el tubo, volviendo entonces a correr con un flujo lo más laminar posible en la pared interna del tubo en el haz de tubos, donde el calentamiento es iniciado por intercambio térmico con el vapor saturado en el lado de envuelta.

Como ya se ha indicado, en la línea de unión de la sección sobresaliente inferior y el cuerpo restante de la férula, la diferencia entre los diámetros exteriores de las dos secciones tubulares forma un aro dispuesto horizontalmente, formando la base de apoyo circular en el extremo del tubo. Según la presente invención, también se coloca una tira metálica circular en la superficie exterior de la férula cerca de dicha base circular, sobresaliendo dicha tira hacia abajo, más allá del margen de la base, para una sección de al menos 2 mm, preferiblemente de 3 a 50 mm, más preferiblemente de 3 a 30 mm, formando un alojamiento respectivamente delimitado por la superficie exterior de la parte sobresaliente de dicha sección inferior, dicha base circular y la superficie interna de la extensión de dicha tira circular, dentro de la que se coloca una junta estanca circular, hecha de un material resistente al calor y químicamente inerte, que, descansando en el extremo superior del tubo subyacente, asegura el sellado de la férula con respecto a posibles infiltraciones de líquido, dándole mayor estabilidad y elasticidad con respecto al esfuerzo mecánico del equipo cuando está en uso. En cualquier caso, el saliente hacia abajo de dicha tira circular exterior debe ser inferior a la longitud de la sección sobresaliente del tubo más allá del haz de tubos, con el fin de garantizar que el peso de la férula se cargue sobre la junta estanca circular.

Dicha junta estanca consta preferiblemente de un material compresible de altas prestaciones, que debe tener una alta resistencia al ataque químico del líquido con el que entra en contacto, a menudo de naturaleza corrosiva tal como carbamato de amonio o ácido nítrico, y debe ser capaz de mantener sus propiedades mecánicas, tal como una adecuada resistencia a la tracción y resistencia a la deformación para evitar la deformación permanente, dentro del rango de la temperatura en uso, por ejemplo de 100 a 250°C, pero teniendo al mismo tiempo una elasticidad suficiente para adaptarse a las superficies entre la que se coloque. Los materiales adecuados para dicha finalidad pueden ser seleccionados por los expertos en la materia a partir de polímeros fluorados, polímeros de silicio o elastoméricos análogos, materiales vulcanizados o no vulcanizados, que tienen alta resistencia química y al calor, algunos metales con características de alta maleabilidad y resistencia química, tales como plomo, oro, platino, plata. Polímeros fluorados típicos adecuados a los efectos de la presente invención son, por ejemplo, politetrafluoroetileno (PTFE), que se puede obtener en el mercado bajo los nombres comerciales de Teflon®, Algoflon®, Polimist®; perfluoropolialquiléteres tales como óxido de perfluoropolietileno (Teflon®, Hyflon®); copolímeros de etileno-tetrafluoroetileno; fluoruro de polivinilideno (Hylar®); elastómeros fluorados (Tecnoflon®). PTFE, posiblemente sinterizados en la forma deseada, es especialmente preferido.

La disposición de la sección sobresaliente de la tira exterior permite mantener la junta estanca en su alojamiento y evita su deformación con el tiempo, evitando que pierda su funcionalidad. Dicha junta estanca tiene preferiblemente una forma anular, con diámetros interior y exterior sustancialmente coincidentes con los del alojamiento donde se coloca, más preferiblemente iguales a los diámetros interior y exterior correspondientes del tubo en el que descansa, y un grosor, en una dirección vertical, del orden de 0,5 a 8 mm, más preferiblemente de 1 a 5 mm. La sección es preferiblemente cuadrangular, de modo que la junta estanca esté provista de dos lados planos que sean conformes con la base circular de la férula y con la superficie de apoyo en el extremo de tubo, respectivamente.

El equipo según la presente invención permite así prolongar de forma significativa el ciclo de vida de los termointercambiadores de película descendente sometidos a altos rendimientos. A diferencia de la presente invención, dicho artículo de Ghosh menciona el uso de un aro de Teflon solamente en conexión con una férula del tipo externo, en la que el aro está dispuesto lateralmente al exterior del tubo. En estas condiciones, el mismo Ghosh afirma que la resistencia a la corrosión de la zona terminal del tubo es insatisfactoria.

Tangencialmente a la superficie interna de la férula del equipo de la presente invención, hay al menos una abertura en la pared metálica, a una altura adecuada, para la entrada del líquido descendente en el tubo vertical. La función de esta abertura es distribuir el líquido en forma de una película lo más uniformemente posible en la superficie interna del tubo. Para ello, hay preferiblemente de 3 a 4 aberturas circulares dispuestas simétricamente a la misma altura y orientadas tangencialmente a la superficie interna del tubo. El diámetro de estas aberturas se selecciona preferiblemente dentro del rango de 1 a 5 mm, en base a los parámetros fluidodinámicos del líquido y el flujo establecido para el equipo cuando está en funcionamiento. La altura a la que las aberturas para la entrada de líquido están colocadas, determina el nivel de líquido en la sección superior del intercambiador, encima de la hoja de tubo, y ayuda a determinar el volumen de líquido contenido (retención). Dado que el interior y el exterior de la férula están conectados, el nivel de líquido se mantiene por lo general ligeramente por encima de la altura de dichas aberturas, preferiblemente de 100 a 400 mm más alto, para proporcionar el necesario empuje hidrostático. Según la presente invención, es preferible que dichas aberturas estén a una altura del orden de 50 a 160 mm, preferiblemente de 60 a 100 mm, con respecto a la base circular de la férula que descansa en el tubo. De esta forma, se ha hallado que la película de líquido se distribuye más uniformemente cuando cruza la zona de acoplamiento de la férula en el tubo, donde, como se ha mencionado previamente, el diámetro interior de la férula es menor.

En la parte más alta de la férula, cerca del extremo superior, hay al menos una abertura para la salida de los gases o vapores que suben del tubo subyacente. Esta abertura se puede formar simplemente dejando abierto el conducto de la férula por arriba, o, preferiblemente, se obtiene lateralmente, justo debajo de la parte superior, por ejemplo de 2 a 30 mm por debajo del cierre del extremo superior de la férula, obtenido por soldadura de la misma o por un tope soldado o que descansa encima. Más preferiblemente, hay de dos a cuatro aberturas para la salida de los gases o vapores, dispuestas simétricamente alrededor de la superficie lateral de la férula. La sección de esta abertura, o



aberturas, puede tener cualquier forma y extensión, de forma compatible con las dimensiones de la férula, pero debe ser tal que permita la salida de los gases sin crear una caída de presión significativa. Dichas aberturas son convenientemente cuadradas o circulares, y tienen una dimensión máxima del orden de 2 a 20 mm.

5 Como se ha indicado previamente, cada férula del equipo según la presente invención está preferiblemente cerrada en el extremo superior con una tapa soldada o tope, que puede estar soldado o no, para evitar el goteo del líquido distribuido por arriba directamente a la cavidad de la férula y el tubo subyacente. El tope está conformado preferiblemente de manera que sea capaz de adaptarse a las aberturas correspondientes en la rejilla posible situada encima con el fin de fijar las mismas férulas.

10 Dicha rejilla, conjuntamente con los otros elementos de la presente invención, forma otro instrumento ventajoso para fijar las férulas en la posición operativa y evitar cualquier posible oscilación o movimiento, incluyendo el esfuerzo mecánico inducido por el flujo de gases, mejorando más la resistencia a posible infiltraciones de líquido a la zona de acoplamiento de la férula sobre el tubo.

15 La rejilla consta de una estructura metálica hecha de un material que tiene buenas prestaciones mecánicas y es adecuadamente resistente a la corrosión, por ejemplo titanio y sus aleaciones o acero inoxidable, que incluye una serie de cavidades o agujeros en posiciones y con una forma tal que sea capaz de alojar el extremo superior de cada una de las férulas colocadas en los tubos del intercambiador de calor. En el caso de férulas tapadas o cerradas en el extremo y equipadas con agujeros laterales para la salida de los gases, dicha rejilla también está equipada con más aberturas o agujeros para el paso de los gases hacia la parte más alta de la sección superior, que consta del cabezal, donde son enviados hacia la línea de salida. Los grosores preferidos de la rejilla según la presente invención son del rango de 2 a 30 mm, más preferiblemente de 5 a 20 mm. Dicha rejilla se acuña contra las férulas y bloquea por elementos de fijación metálicos adecuados, por ejemplo secciones metálicas soldadas o empernadas en un lado en la rejilla y en el otro en la hoja de tubo. Con el fin de permitir una mayor simplicidad de construcción y mantenimiento, dicha rejilla está dividida preferiblemente en secciones que tienen una dimensión adecuada para el paso a través del agujero de hombre, que luego se montan entre sí en el momento de fijarlas dentro del aparato.

30 La forma particular de las férulas según la presente invención permite insertarlas en el extremo superior de entrada de cada tubo, sin tener que recurrir a ningún procesado metalúrgico concreto y sin quitar cualquier capa interna del tubo propiamente dicho para poder alojar la sección inferior de la férula. De hecho, la colocación de la férula estanca se asegura ahora directamente en el límite terminal del tubo por la junta estanca presente en el alojamiento obtenido en la base circular por la férula como se ha descrito previamente.

35 El equipo de haz de tubos de la presente invención puede ser producido con los métodos usuales adoptados para construcciones mecánicas análogas. Los expertos en la materia diseñan la construcción en base a la estructura definida anteriormente, tomando en cuenta el uso final del equipo y las especificaciones del proyecto.

40 Según esto, el método para la producción del equipo de haz de tubos según la presente invención, especialmente adecuado para efectuar intercambios térmicos entre fluidos en condiciones de alta erosión o corrosión, incluye la producción de un cuerpo hueco equipado con una caja exterior, o cuerpo de fuerza, adecuado para tolerar las presiones operativas, y la formación, dentro de dicho cuerpo hueco, de al menos una sección hueca superior y una sección hueca inferior, separadas por una sección intermedia, hermética con respecto a ellas, mediante la interposición de dos hojas de tubo, articuladas de forma estanca sobre el cuerpo de fuerza, en el que una serie de tubos se inserta en agujeros adecuados, formando el haz de tubos que permite la comunicación de fluido entre dichas secciones inferior y superior.

50 Las hojas de tubo y los tubos del haz se hacen de materiales adecuados para resistir las posibles acciones corrosiva y erosiva de los fluidos de proceso, además de tolerar los empujes de presión en las condiciones operativas. Las paredes que delimitan dichas secciones y los tubos en contacto con fluidos altamente agresivos se hacen preferiblemente o se recubren con metales con una alta resistencia a la corrosión, en particular acero inoxidable de grado urea, titanio, circonio o sus aleaciones, en el caso preferido de la producción de un separador para la solución de carbamato y urea procedentes de la reacción de síntesis.

55 En una realización preferida de la presente invención, dicho método de producción incluye la construcción de un haz de tubos con tubos bimetálicos incluyendo una capa interna de circonio coextrusionada con una capa exterior de titanio producida según WO 06/020381 mencionada anteriormente. Las hojas de tubo están recubiertas con titanio en el lado expuesto a la corrosión.

60 En una segunda realización, los tubos del haz se hacen completamente de circonio y la hoja de tubo se recubre con circonio.

65 La producción del recubrimiento anticorrosivo de la hoja de tubo (tanto inferior como superior) y las paredes restantes de las secciones superior e inferior, se puede efectuar según alguna de las técnicas metalúrgicas adecuadas conocidas en la técnica, tal como, por ejemplo, la colocación, en la superficie de la capa principal de acero al carbono, de elementos laminares hechos del metal o aleación anticorrosión preseleccionado,

adecuadamente cortados y conformados de manera que se adapten a la forma de la superficie a cubrir. Los elementos están dispuestos adyacentes uno a otro y posteriormente se sueldan uno a otro de forma estanca. Se colocan ranuras, soportes, elementos de conexión y otras intervenciones o productos, especialmente a lo largo de los bordes a soldar, según la praxis normal conocida por los expertos en la materia. Los métodos de soldar metales tales como circonio, titanio y sus aleaciones, aunque menos comunes que los destinados a la soldadura de aceros, son conocidos y se pueden aplicar fácilmente.

Se crea una serie de agujeros de dimensiones adecuadas en la hoja de tubo, donde se insertan los tubos destinados a formar el haz de tubos, cuidando de dejar que cada tubo sobresalga por encima una longitud de hasta 80 mm, preferiblemente de 10 a 50 mm, con respecto a la superficie de la hoja de tubo. La pared de cada tubo se suelda de forma estanca y a la fuerza a la hoja de tubo, con diferentes técnicas dependiendo de la estructura de los tubos y la hoja de tubo. En el caso de tubos hechos totalmente de circonio, se sueldan preferiblemente de forma estanca y a la fuerza al recubrimiento de la hoja de tubo hecho de un material análogo, que tendrá un grosor adecuado, generalmente de 1 a 10 mm. En el caso de los tubos bimetálicos, es posible soldar las diferentes capas de manera diferenciada en el recubrimiento y en una de las capas subyacentes, como se describe, por ejemplo, en dicha patente US 4.899.813, en la Solicitud de Patente europea publicada EP 1.503.837 y en la Solicitud de Patente italiana IT MI08A001302. En la fase de soldadura, todas las superficies intersticiales están protegidas preferiblemente, como es habitual, por una atmósfera de argón. Barbacanas adecuadas para poner de manifiesto posibles pérdidas están situadas en la hoja de tubo y en el cuerpo resistente a la presión según las técnicas conocidas.

Después de completar la soldadura estanca y forzada de cada tubo en las respectivas hojas de tubo, en el extremo superior de cada tubo se monta una férula que tiene las características previamente descritas, sobresaliendo con respecto a la superficie de la hoja de tubo una longitud de 10 a 50 mm, e insertada en el tubo por medio de su sección sobresaliente inferior. Dicha férula, según un método de producción preferido y no limitativo, se obtiene por medio de los pasos de procesado siguientes:

A) Preparación de un primer segmento tubular, que consta de un metal resistente a la corrosión adecuado según lo especificado anteriormente, que tiene una longitud preferida de 150 a 700 mm, más preferiblemente de 200 a 550 mm, un diámetro interior esencialmente igual al diámetro interior del tubo del intercambiador y un diámetro externo de 2 a 30 mm más de ancho, preferiblemente coincidente con el diámetro externo del tubo propiamente dicho;

B) Introducción en la cavidad inferior de dicho primer segmento tubular, una longitud del orden de 10 a 150 mm, preferiblemente de 40 a 100 mm, de un segundo segmento tubular que consta de un metal resistente a la corrosión, preferiblemente el mismo metal que el del primer segmento tubular o un metal compatible con la soldadura con éste, que tiene un diámetro externo esencialmente igual al diámetro interior del primer segmento tubular, un diámetro interior 1 a 10 mm más pequeño y una longitud de 20 a 250 mm, preferiblemente de 40 a 200 mm, de modo que sobresalga más allá del límite inferior del primer segmento tubular una longitud del orden de 10 a 200 mm, preferiblemente de 10 a 120 mm, más preferiblemente de 20 a 80 mm, habiendo sido procesado dicho segundo segmento tubular en ambos extremos con el fin de obtener, en la cavidad interna de cada uno de estos, un perfil truncocónico ahusado de la superficie para una longitud que varía de 5 a 50 mm, preferiblemente de 10 a 30 mm;

C) Soldadura estanca del límite inferior de dicho primer segmento tubular, preferiblemente previamente ranurado para favorecer el depósito de soldadura, según la técnica conocida, con la pared lateral de dicho segundo elemento tubular, y procesado de la zona de soldadura para obtener una base horizontal para que descansa en el extremo de tubo;

D) Colocación, en el lado exterior de dicho primer segmento tubular, de una tira metálica tubular que consta de un metal resistente a la corrosión, preferiblemente el mismo metal que el primer segmento tubular o un metal compatible con la soldadura con él, que tiene un grosor del orden de 0,5 a 10 mm, preferiblemente de 1 a 5 mm, una longitud de 5 a 100 mm, preferiblemente de 10 a 80 mm, de modo que una sección de la misma tira sobresalga hacia abajo al menos 2 mm, preferiblemente de 2 a 50 mm, más preferiblemente de 3 a 30 mm, y soldadura del límite superior de dicha tira sobre el lado exterior del primer segmento tubular, con el fin de formar un asiento adecuado para alojar una junta estanca anular entre la base circular de la férula y el límite superior del tubo de soporte;

E) Formación, por ejemplo por perforación, de al menos un agujero horizontal en una dirección tangencial con respecto a la superficie interna, preferiblemente de tres a cuatro agujeros, dispuestos simétricamente con respecto al eje tubular, en la pared de dicho primer segmento tubular, teniendo dicho agujero tangencial un diámetro del orden de 1 a 5 mm, a una distancia de 50 a 160 mm, preferiblemente de 60 a 100 mm del margen inferior del segmento tubular (correspondiente a la base circular de la férula).

En dicho paso D), la soldadura de la tira exterior al primer segmento tubular se efectúa preferiblemente en puntos discretos, suficientes para mantenerla en la posición deseada durante un tiempo medio de uso de la férula (de 2 a 10 años en el proceso de síntesis de urea), más bien que a lo largo del límite circular completo de la tira. Además, puede sustituirse alternativamente por un método de unión diferente, por ejemplo por la formación de una unión

metalúrgica con la técnica de soldadura de rozamiento.

5 Si se desea una férula con el extremo superior cerrado, dicho método de producción también incluye la inserción o soldadura estanca de un tope de cierre de dicho extremo superior y la formación de uno o más agujeros laterales ligeramente por debajo del cierre para la salida de gases o vapores al operar.

En el momento del montaje de la férula en el extremo de tubo, se inserta una junta estanca con las características especificadas anteriormente en el alojamiento obtenido por el método anterior de producción de la férula.

10 El equipo según la presente invención se aplica en concreto en la separación de gases y vapores de un medio o mezcla en el estado líquido, sometido a calentamiento por intercambio térmico con un segundo fluido más caliente que puede ser un gas, líquido o, preferiblemente un vapor saturado, más preferiblemente vapor. Dicho segundo fluido se pasa, en el volumen que forma el lado de envuelta del intercambiador, a través de líneas de entrada y salida adecuadas normalmente situadas en el lado del equipo. Por otra parte, el medio líquido a evaporar es distribuido, por medio de distribuidores adecuados, en la cámara superior del intercambiador donde se recoge formando, en condiciones de régimen, una capa que tiene un nivel ligeramente más alto que el de los agujeros para la entrada del líquido, situados en la férula, suficiente para suministrar el necesario empuje hidrostático para obtener el flujo deseado.

20 El intercambiador de calor según la presente invención permite tanto la separación de gases y vapores de la película de líquido descendente dentro de los tubos como también la posible formación y separación de compuestos gaseosos según reacciones químicas, como tiene lugar por ejemplo en el caso preferido en el que el equipo de la presente invención se usa como descomponedor y separador del carbamato de amonio no transformado a urea en el proceso de síntesis de ésta última.

25 De hecho, los intercambiadores de calor según la presente invención se usan ventajosamente en particular como separadores en la separación de carbamato sin reaccionar de la mezcla de síntesis de urea. El último equipo opera a presiones normalmente del orden de 1 a 40 MPa y temperaturas del orden de 70 a 300°C, en presencia de mezclas conteniendo agua, amoníaco, dióxido de carbono y carbamato de amonio que es el producto de condensación de dichos compuestos según la reacción:



35 Las condiciones operativas son preferiblemente una presión de 12-25 MPa y una temperatura de 120 a 240°C.

En las plantas industriales usuales para la producción de urea, a las que la presente invención se refiere en concreto, el equipo anterior incluido en las secciones de presión alta y media contiene normalmente volúmenes del orden de 2.000 a 100.000 litros.

40 Para ello, la mezcla de reacción es enviada a un intercambiador de calor vertical de película descendente, donde la película de líquido es calentada muy eficientemente y libera CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> gaseoso y vapor, bajo la posible acción de un gas de lavado, normalmente CO<sub>2</sub> o NH<sub>3</sub> frescos introducidos desde el exterior o procedentes del que hay excedente en la mezcla que sale del reactor, formando así una mezcla gaseosa que sube en cada tubo en contracorriente con respecto al líquido y es recogida en la misma cámara superior del intercambiador donde se distribuye la mezcla líquida, sacándose después a través de una línea de salida y recondensándose antes de ser reciclada al reactor.

50 El equipo según la presente invención también puede ser usado ventajosamente en otras partes del proceso de síntesis de urea, por ejemplo, en los descomponedores de carbamato a presión media o baja, donde las últimas trazas de este compuesto son separadas de la urea, fundidas o están en solución, y son enviadas de nuevo hacia el reactor, o de nuevo, a la sección de concentración de urea por vacío.

Los dibujos de las figuras anexas representan, a escala, algunos ejemplos ilustrativos y no limitadores de realizaciones según la presente invención y, a efectos comparativos, con lo conocido en la técnica.

55 La figura 1 representa esquemáticamente una vista en perspectiva de la sección longitudinal del equipo de haz de tubos según la presente invención, especialmente adecuado para uso como un separador de alta presión para la descomposición del carbamato en una planta para la síntesis de urea. Para mayor simplicidad, solamente se representa un tubo del haz, rematado por la férula relativa.

60 La figura 2 representa esquemáticamente la vista de una sección longitudinal de la parte terminal de un tubo bimetálico del tipo descrito en dicha US 4.899.813, incluyendo una capa fina interna de circonio mecánicamente unido a un cuerpo cilíndrico de acero inoxidable, en el que está montada una férula del tipo tradicional, en un separador típico usado en la técnica para la separación de carbamato en el ciclo de alta presión del proceso de

síntesis de urea.

5 La figura 3 representa esquemáticamente la vista de una sección longitudinal de la región terminal del tubo según la presente invención, como se representa en el equipo de la figura 1, incluyendo una férula montada por interposición de una junta estanca.

10 La figura 4 representa esquemáticamente dos vistas de un detalle ampliado de la figura 3 anterior, representada según la sección longitudinal, en la vista 3B, y según la sección transversal identificada con la línea S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub> en 3B, en la vista 3A, en la que se puede distinguir los detalles de la zona de acoplamiento de la férula propiamente dicha en la parte terminal del tubo vertical.

La figura 5 representa esquemáticamente una vista desde arriba de una parte de la rejilla usada para fijar las férulas en el equipo según la presente invención.

15 Para mayor simplicidad y claridad figurativa de los detalles, las proporciones de los diferentes elementos que aparecen en las figuras no corresponden a las proporciones reales.

20 Con referencia a las figuras anteriores, sigue una descripción de una realización no limitadora del equipo según la presente invención, con referencia especial al separador usado en una planta para la síntesis de urea, constando el gas de lavado de amoníaco en fuerte exceso (siendo por lo general la relación N/C del orden de 3,0 a 3,6) presente en la materia prima (denominado proceso de autoseparación).

25 La figura 1 es una vista en sección de un separador colocado verticalmente, en el que se puede distinguir tres secciones huecas, la sección superior 1, que tiene una forma semiesférica, la sección intermedia 3 que es cilíndrica y la sección inferior 2 que tiene una forma semiesférica. El diámetro de la sección cilíndrica es del rango de 1,5 a 2,5 m y la longitud es del rango de 5 a 10 m. En los extremos superior e inferior del equipo hay dos agujeros de hombre, 7 y 8 respectivamente, mientras que las secciones 1 y 2 están separadas de forma estanca de la sección 3 por medio de las dos hojas de tubo 15 y 16, teniendo cada una de 2.000 a 4.000 agujeros para el paso de los tubos 4. El resto de la pared de las dos secciones 1 y 2 está delimitado por el cuerpo de fuerza 14.

30 La férula 5 puede distinguirse en la sección superior 1, montada en el extremo superior del tubo 4, y mantenida en posición por la rejilla 17. Unos agujeros superiores 203 y agujeros tangenciales intermedios 204 están situados en la férula para la entrada del líquido, que se puede distinguir mejor en las figuras 3 y 4 siguientes. La solución procedente del reactor de síntesis de urea, incluyendo urea, agua, amoníaco en exceso y carbamato no convertido, es alimentada al separador por medio de la línea 9, a una temperatura de aproximadamente 180-200°C y una presión de aproximadamente 14-17 MPa. Es distribuido por medio del toroide 13. El líquido gotea a través de la rejilla 17, y es recogido en la parte inferior de la sección 1, que consta de la superficie de la hoja de tubo, hasta que llega al nivel 21, ligeramente por encima de los agujeros tangenciales 204, a través de los que gotea dentro de la férula 5 y luego al tubo 4, formando una capa fina no representada en la figura 1, mientras que los vapores de amoníaco y dióxido de carbono liberados en la fase de descomposición y separación pasan a través de la parte central del tubo 4 en contracorriente. Dichos vapores son descargados a continuación a través de los agujeros superiores 203 de la férula y son enviados hacia la línea de salida 10.

45 Toda la superficie interna de la sección 1 está recubierta con un metal resistente a la corrosión, por ejemplo 25/22/2 Cr/Ni/Mo (grado urea), titanio o circonio, que tiene un grosor de 3 a 8 mm, no representado en la figura 1.

50 La sección intermedia del equipo incluye la cámara cilíndrica 3, delimitada hacia el exterior por la pared 20 hecha de acero al carbono, que tiene un grosor por lo general del orden de 20 a 30 mm y cruzada por el haz de tubos, en la que el vapor saturado es alimentado a través de la entrada 19, a una presión de aproximadamente 2-3 MPa y una temperatura de 200 a 240°C, que circula fuera de los tubos 4 y se condensa en la pared exterior de los mismos transfiriendo calor a la solución acuosa de urea y carbamato que está fluyendo en su interior. El líquido condensado del vapor agotado sale entonces de la línea 18. De esta forma, el carbamato es descompuesto y el amoníaco excedente es vaporizado, lo que también actúa como agente de separación.

55 La sección inferior 2 está delimitada por un cuerpo de fuerza 14 análogo a la sección 1, y por la hoja de tubo inferior 16. También en este caso, toda la superficie del cabezal y la hoja de tubo expuesta a contacto con el fluido de proceso incluye un recubrimiento, no representado en la figura 1, que consta de un metal o aleación adecuado con alta resistencia a la corrosión, seleccionado de entre los previamente mencionados. La solución de urea purificada principalmente de carbamato es recogida en la parte inferior de la sección 2 y es empujada al sifón 11 desde el que prosigue a las secciones adicionales de purificación y secado. Se puede introducir más amoníaco a través de la entrada 12, si es necesario, o dióxido de carbono según una tecnología alternativa, para favorecer la separación. También se introduce aire de pasivación, cuando sea preciso, por la misma entrada.

65 En el dibujo de la figura 2 se puede distinguir el tubo 111 rematado por una férula 102. El tubo 111 está delimitado por la pared cilíndrica 109, que consta, por ejemplo, de acero inoxidable del tipo AISI 316L (grado urea), acero INOX 25/22/2 Cr/Ni/Mo, insertado en la hoja de tubo 106, hecha de acero al carbono, cuyo extremo está soldado al

recubrimiento anticorrosivo 107 por medio de la soldadura 108. Dentro del tubo 111, una camisa tubular 110, hecha de circonio, forma una capa con una alta resistencia a la corrosión y erosión, mecánicamente unida a la pared 109 del tubo. Como se puede indicar en la figura 2, la parte terminal de la capa protectora ha sido quitada en una longitud que varía en aplicaciones industriales de 30 a 100 mm, para permitir la introducción de la sección inferior de la férula, que es procesada con el fin de mantener sustancialmente el mismo diámetro interior que el tubo, y tiene un perfil en "L" en correspondencia con la línea de soporte en el extremo superior del tubo, creando así una superficie de apoyo circular. La férula 102, delimitada por la pared 101, hecha de acero inoxidable o titanio, tiene de 3 a 4 agujeros tangenciales 104 situados lateralmente en la pared a una altura que normalmente es del orden de 20 a 50 mm con respecto a la superficie de apoyo circular de la férula en el tubo. La parte superior de la férula está cerrada y se mantiene en posición por la rejilla 105 descansando simplemente encima. Dos o tres aberturas están situadas en la férula, ligeramente debajo de la parte superior, con un diámetro de aproximadamente 20-25 mm, para la descarga de los gases. El diámetro interior del tubo (incluyendo el recubrimiento 110) y, correspondientemente, de la férula, está por lo general dentro del rango de 10 a 40 mm en el equipo de alta presión (> 10 MPa), y de 20 a 50 mm en el equipo de presión media o baja ( $\leq 9$  MPa).

Con referencia a la figura 3, ésta ilustra los elementos que representan el equipo según la presente invención. El tubo 4 del intercambiador representado en la figura 1 está delimitado por la pared cilíndrica 209, representada aquí con una sola capa metálica, pero que también puede incluir, como ya se ha indicado, dos o más capas de metales o aleaciones diferentes. Dicho tubo 4 está insertado en la hoja de tubo 206, hecha por lo general de acero al carbono, recubierta por una capa metálica anticorrosiva 207, por medio de soldadura estanca 208, situada cerca del extremo superior del tubo, de modo que éste último sobresalga por encima del recubrimiento una longitud del orden de 30 a 50 mm.

El tubo 4 está rematado por la férula 5, insertada en el extremo de entrada del mismo por medio de la sección inferior 215, claramente visible en la figura 4, que es procesada de manera que mantenga sustancialmente el mismo diámetro interior que el tubo, y forme un ángulo recto con la base de apoyo 216 de la férula. La férula 5, delimitada por la pared 201, hecha de acero inoxidable o titanio, tiene de 3 a 4 agujeros tangenciales 204 situados lateralmente en la pared a una altura del orden de 50 a 100 mm con respecto a dicha base de apoyo 216.

Cerca de la base de apoyo circular 216, en la figura 3 se puede ver, incluso más claramente en la figura 4, otra tira metálica 214 que sobresale externamente con respecto al elemento tubular principal 201 de la férula, que se extiende una longitud de 5 a 20 mm, hacia abajo, más allá de la superficie circular horizontal de la misma base 216. En el alojamiento respectivamente delimitado en tres lados por dicha base horizontal, la parte sobresaliente de la tira 214, claramente visible en la sección ampliada de la figura 4, y por la pared vertical de la sección inferior 215, se puede distinguir la junta estanca 213, hecha de PTFE, que permite que la férula apoye indirectamente en el límite del extremo superior de cada tubo 211, evitando al mismo tiempo el escape de la fase líquido recogida en la zona superior del intercambiador.

La parte superior de la férula está cerrada por medio del tope 212 y se mantiene en posición por la rejilla 205, de la que se representa un detalle en una vista en planta horizontal, en la figura 5 siguiente. Dos o más aberturas 203, que tienen un diámetro de aproximadamente 10-20 mm, están situadas en la férula, ligeramente por debajo de la parte superior, para la descarga de los gases o vapores. El diámetro interior del tubo y correspondientemente de la parte superior de la férula, está normalmente dentro del rango de 10 a 30 mm en el equipo de alta presión (> 10 MPa), y de 20 a 60 mm en el equipo de presión media o baja ( $\leq 9$  MPa).

Sin embargo, a diferencia de lo que se representa en la figura 2 anterior, en el equipo según la presente invención, no hay que efectuar ningún procesado preliminar en el extremo del tubo 211 para adaptarlo a la introducción de la sección inferior 215 de la férula, puesto que el sellado satisfactorio del conjunto férula-tubo está asegurado por la presencia de la junta estanca, mantenida en una posición firme por la presencia de la tira exterior 214.

El dibujo de la figura 5 representa esquemáticamente una vista desde arriba de una parte de la rejilla 17, cuya sección se representa, con la misma referencia numérica, en las figuras 1 y 3. En la figura 5 se puede distinguir gran número de agujeros circulares 301 geoméricamente en orden, que alternan con otras aberturas 302 que tienen una forma irregular. Cada agujero 301 está destinado a alojar la parte terminal superior de la férula, preferiblemente el tope 212 visible en la figura 3, que tiene una forma truncocónica, un segmento esférico o cualquier otra forma adecuada para favorecer una introducción estable en el agujero propiamente dicho. Por lo tanto, el diámetro de cada agujero 301 es sustancialmente el mismo que el de la férula o ligeramente menor. Por otra parte, las aberturas 302 tienen la doble función de permitir que los vapores fluyan hacia la parte superior del cabezal del intercambiador separador, y permitir que el líquido dispersado gotee desde el distribuidor 13 de la figura 1, recogándose en la superficie de la hoja de tubo hasta que llega al nivel 21.

Dicha rejilla puede constar de cualquier metal resistente a la corrosión, tal como, por ejemplo, aluminio, titanio, circonio, acero inoxidable. Por lo general se obtiene cortando una hoja que tiene un grosor adecuado, según el perfil de los agujeros y aberturas que se haya de obtener. Una técnica de corte conocida que es especialmente adecuada para dicha finalidad es por medio de un chorro de agua a alta presión (de 10 a 100 MPa), controlado por un sistema computerizado.

- 5 El equipo según lo previamente descrito con referencia a las figuras 1, 3, 4 y 5 ha demostrado un perfecto sellado de las férulas montadas en los tubos. Después de aproximadamente un año operando en condiciones de régimen industrial de un separador de alta presión en un proceso de síntesis de urea (en condiciones de autoseparación con amoníaco), una inspección de la zona de montaje de la férula reveló el buen estado de conservación, sin deformación evidente, de la junta estanca hecha de Teflon® y la ausencia de recorridos erosión debido a infiltraciones de líquido.
- 10 Realizaciones de la presente invención, diferentes de las descritas anteriormente, pueden ser realizadas por los expertos en la materia adaptándolas a los varios requisitos de aplicación, que forman variantes obvias, en cualquier caso incluidas en el alcance de las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1. Equipo de haz de tubos del tipo de película de líquido descendente, adecuado para intercambio térmico entre fluidos, incluyendo un cuerpo cilíndrico vertical cerrado en los extremos y dividido en al menos una sección superior (1), una sección intermedia (3) y una sección inferior (2) por medio de dos hojas de tubo perforadas (15, 106, 206, 16) dispuestas transversalmente a una distancia adecuada una de otra, donde una pluralidad de tubos (111, 4) están dispuestos longitudinalmente formando un haz de tubos e insertados herméticamente con los respectivos extremos en los agujeros de dichas hojas de tubo (15, 106, 206, 16) permitiendo que dicha sección superior (1) y la sección inferior (2) del cuerpo cilíndrico estén en comunicación de fluido una con otra, rematado cada tubo (4, 11), en el extremo superior por un dispositivo tubular (5, 102), también llamado férula, para la entrada y distribución del líquido en forma de una película a lo largo de la pared del mismo, incluyendo dicho dispositivo tubular (5, 102), encima, una o más aberturas (103, 203) para la salida de vapores, a una altura intermedia una o más aberturas (204, 104), preferiblemente tangenciales, para la entrada del líquido y, debajo, una base circular (216) para sujeción en el extremo superior de dicho tubo (4, 111) y una sección cilíndrica inferior (215) que sobresale hacia abajo más allá de la base circular, insertada en dicho tubo una longitud variable de 10 a 200 mm, **caracterizado** porque dicha férula (5, 102) incluye otra tira metálica (214) dispuesta lateralmente con respecto al exterior de dicha base circular (216) y sobresaliendo más allá de ésta una longitud de al menos 2 mm hacia abajo, preferiblemente de 3 a 50 mm, y porque, en la zona circular definida entre dicha tira metálica exterior (214) y dicha sección cilíndrica (215) que sobresale hacia abajo, hay una junta estanca (213), insertada entre dicha base circular (216) de la férula y dicho extremo superior del tubo.
2. El equipo según la reivindicación 1 anterior, donde dicho tubo (4, 111) tiene un diámetro interior del orden de 5 a 150 mm, preferiblemente de 10 a 100 mm, y un grosor dentro del rango de 1 a 20 mm, preferiblemente de 2 a 15 mm.
3. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el límite superior de dichos tubos del haz de tubos sobresale hasta 80 mm, preferiblemente de 10 a 50 mm, más allá del plano de la hoja de tubo (15, 106, 206, 16) en la que se inserta.
4. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la sección inferior de dicha férula (5, 102) tiene un diámetro exterior sustancialmente coincidente, a excepción de una tolerancia de unos pocos  $\mu\text{m}$ , con el diámetro interior del tubo del haz de tubos.
5. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la sección inferior de la férula consta de un sector tubular que tiene una longitud de 10 a 120 mm, preferiblemente de 20 a 80 mm, prolongada por debajo más allá del límite de la base circular, y un grosor dentro del rango de 0,5 a 5 mm, preferiblemente de 1 a 4 mm.
6. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la longitud de la férula (5, 102) es del rango de 200 a 800 mm, preferiblemente de 300 a 600 mm, del borde del extremo superior al límite de la extensión de la sección inferior insertada en el extremo de tubo.
7. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha sección inferior de la férula (5, 102) está superpuesta internamente con respecto al perfil tubular de la parte superior de la férula, para una porción coaxial que varía de 10 a 150 mm, preferiblemente de 40 a 100 mm.
8. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha tira exterior circular (214) de la férula sobresale hacia abajo, más allá del límite de la base circular (216) una longitud de 3 a 30 mm.
9. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha junta estanca (213) consta de un material compresible de altas prestaciones, seleccionado preferiblemente de polímeros fluorados, polímeros de silicio o materiales elastoméricos análogos, vulcanizados o no vulcanizados, que tienen una alta resistencia química y al calor, metales nobles maleables.
10. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha junta estanca (213) tiene una sección cuadrangular y un grosor, en una dirección vertical, del orden de 0,5 a 8 mm, preferiblemente de 1 a 5 mm.
11. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha junta estanca (213) tiene una forma anular con diámetros interior y exterior sustancialmente coincidentes con los del alojamiento donde se coloca.
12. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha férula está cerrada en el extremo superior por medio de un tapón o tapa soldado (212) y tiene al menos una abertura lateral (203) cerca del extremo superior, para la salida de los gases.
13. El equipo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde una rejilla hecha de material metálico está acuñada encima de dichas férulas, incluyendo una serie de cavidades o agujeros en posiciones y teniendo una forma tal que sea capaz de alojar el extremo superior de cada una de las férulas.

14. Un método para la producción de equipo de haz de tubos según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que incluye disponer dos hojas de tubo perforadas (15, 106, 206, 16) dentro de una envuelta cilíndrica equipada en los dos extremos con dos cabezales terminales, de modo que cada hoja de tubo esté situada cerca de un cabezal, insertar y fijar herméticamente en los agujeros situados en cada hoja de tubo una pluralidad de tubos (4, 111) que se extienden ortogonalmente hacia el plano de las hojas de tubo la distancia completa que los separa, con el fin de poner los espacios entre cada hoja de tubo y el cabezal correspondiente en conexión de fluido uno con otro, colocar en el extremo superior de cada uno de dichos tubos una férula (5, 102) incluyendo, en la zona superior, una o más aberturas (203) para la salida de vapores, a una altura intermedia, una o más aberturas (104, 204), preferiblemente tangenciales, para la entrada del líquido y, en la zona inferior, una base circular (216) para sujeción en el límite superior de dicho tubo (4, 111) y una sección cilíndrica (215) que sobresale hacia abajo más allá de la base circular, insertada en dicho tubo una longitud variable de 10 a 200 mm y que tiene el diámetro exterior sustancialmente coincidente con el diámetro interior del mismo, **caracterizado** porque dicha férula (5, 102) incluye otra tira metálica (214) dispuesta lateralmente con respecto al exterior de dicha base circular y que sobresale más allá de ésta una longitud de al menos 2 mm hacia abajo, preferiblemente de 3 a 50 mm, y porque, en la zona circular definida entre dicha tira metálica exterior (214) y dicha sección cilíndrica (215) que sobresale hacia abajo, se ha insertado una junta estanca (213), que actúa como un soporte entre dicha base circular de la férula y dicho extremo superior del tubo.
15. Uso del equipo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, como un intercambiador de calor en un proceso para la síntesis de urea.



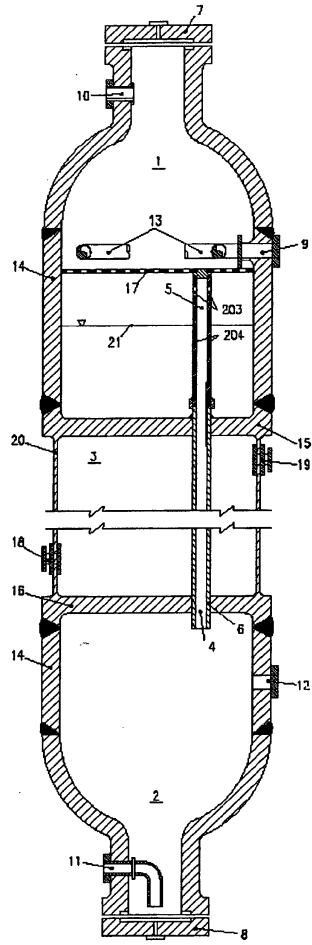


Fig. 1

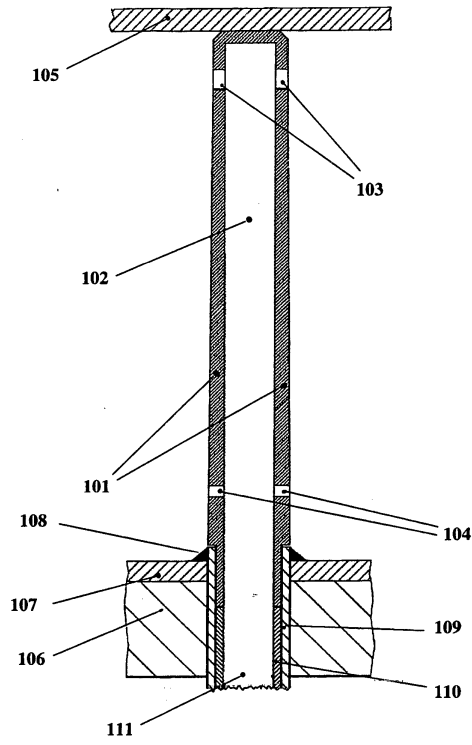


Fig. 2

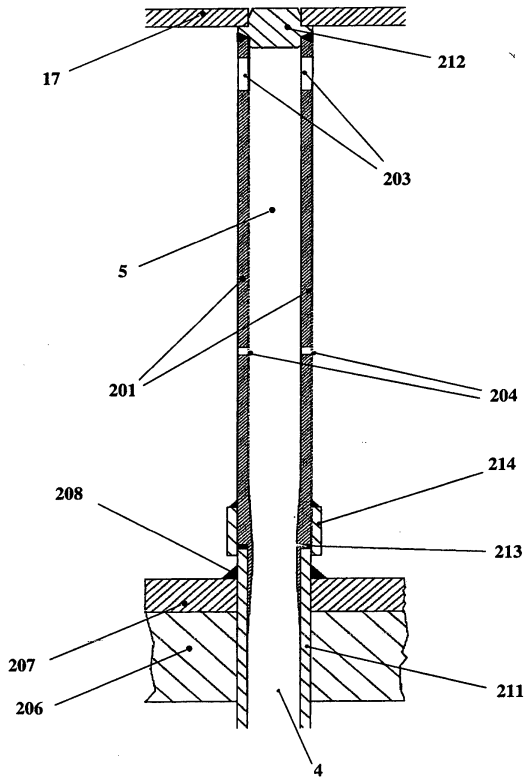


Fig. 3

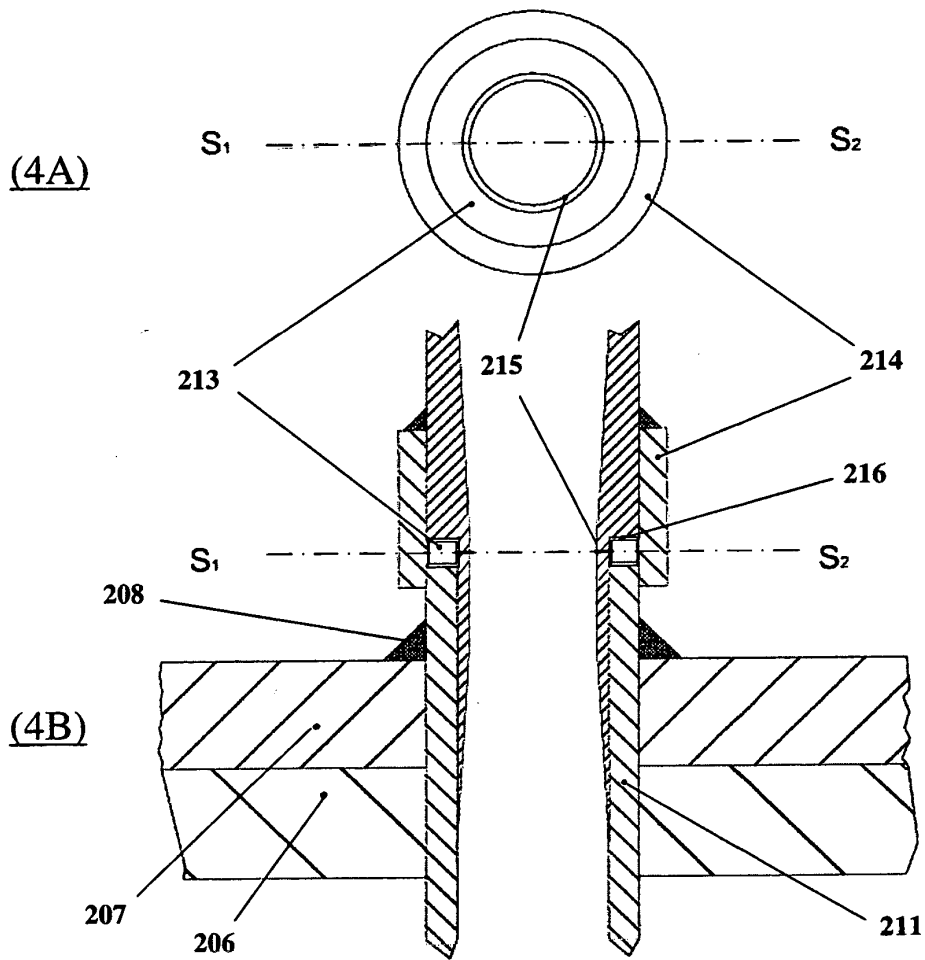


Fig. 4

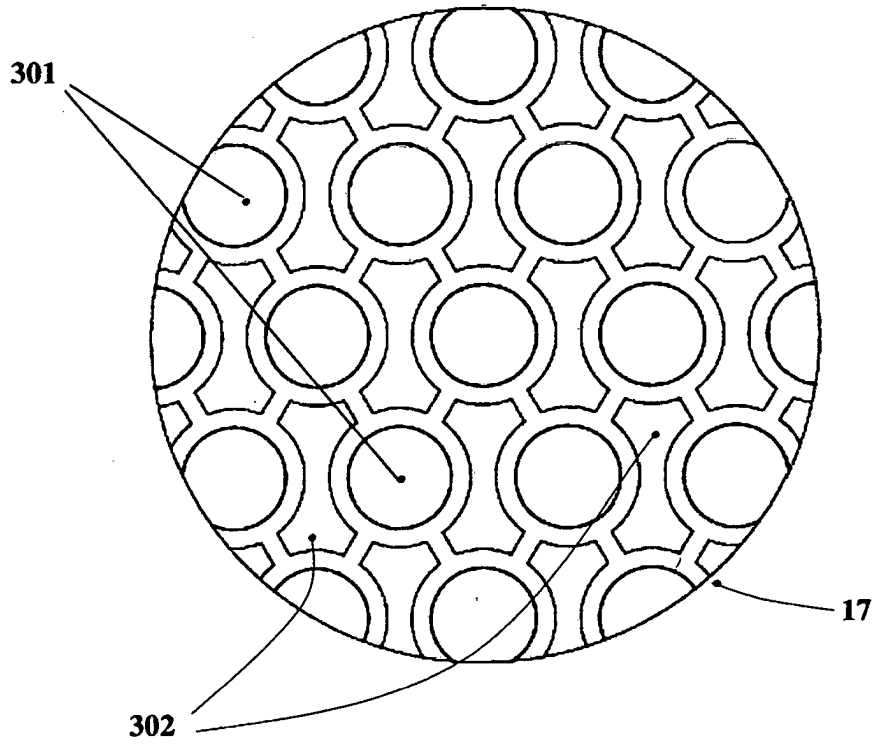


Fig. 5