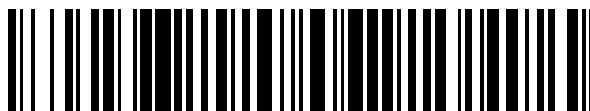


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 488 858**

51 Int. Cl.:

**B01J 19/30** (2006.01)

**B01J 8/06** (2006.01)

**B01J 8/04** (2006.01)

**C01B 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.04.2012 E 12164666 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 2514523**

54 Título: **Reactor tubular con transferencia de calor por choque de chorros**

30 Prioridad:

**22.04.2011 US 201113092378**

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

**29.08.2014**

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)  
7201 Hamilton Boulevard  
Allentown, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**JIN, BO;  
BROEKHUIS, ROBERT ROGER;  
HE, XIAOYI;  
NATARAJ, SHANKAR;  
LICHT, WILLIAM ROBERT y  
GARG, DIWAKAR**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 488 858 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

Reactor tubular con transferencia de calor por choque de chorros

## 5 ANTECEDENTES

La presente invención se refiere a reactores tubulares para producir una mezcla de productos a partir de una mezcla de reactivos. Más específicamente, la presente invención se refiere a mejorar la transferencia de calor en reactores tubulares.

10 Se han descrito reactores que contienen acondicionamientos con catalizador, por ejemplo, los reactores tubulares utilizados en el reformado de metano con vapor. Los acondicionamientos pueden ser acondicionamientos aleatorios tales como gránulos catalizadores o el llamado acondicionamiento estructurado. Los acondicionamientos estructurados, en comparación con el acondicionamiento aleatorio, pueden producir una menor caída de presión, no son fácilmente fluidificables, y no son propensos a la sedimentación o al aplastamiento. Ya que los reactores tubulares se calientan o se enfrían con frecuencia externamente, otra característica importante del reactor se refiere a la transferencia de calor entre el calor de la fuente/sumidero externos y el fluido de proceso dentro del reactor.

15 Los reactores tubulares pueden contener acondicionamiento aleatorio o acondicionamiento estructurado en los que el acondicionamiento incluye catalizadores para la reacción deseada. El acondicionamiento estructurado ha sido acreditado con una menor caída de presión en comparación con el acondicionamiento aleatorio.

La transferencia de calor en los reactores tubulares se ha reconocido que es importante. Se han descrito los esfuerzos relativos a la mejora de la transferencia de calor en los reactores tubulares.

25 Davidson, Patente de EE.UU. Nº 4.340.501, describe una estructura en una vasija de reactor en la que el fluido es intermitentemente, pero de manera controlable, puesto en contacto con las paredes de la vasija. Como resultado, Davidson afirma que es posible obtener las características de flujo suave de las estructuras de nido de abeja con las características de transferencia de calor de las camas de partículas.

30 En la invención según Davidson, el proceso para poner en contacto un fluido con las paredes de una vasija se caracteriza por provocar que el fluido fluya alternativamente (a) a través de una estructura dentro de la vasija, y (b) a través de un gap entre la estructura y la paredes de la vasija. Davidson también describe un aparato para llevar a cabo el proceso que comprende una vasija y una estructura en el interior de la vasija.

35 Repasky et al., Patente de EE.UU. Nº 7.761.994 describe un método y un reactor hechos mediante un método para aumentar la transferencia de calor en un reactor tubular con un acondicionamiento estructurado. El enfoque es para expandir la estructura hacia la pared del reactor tubular durante la construcción, reduciendo así el gap entre la pared y el acondicionamiento. El fluido se comprime entre el acondicionamiento y la pared del tubo. El gap reducido aumenta la velocidad del fluido y por lo tanto aumenta la transferencia de calor.

40 El documento EP 0 458 472 A describe estructuras de destilación catalítica en forma de recipientes rígidos, preferiblemente de forma cilíndrica, que contienen el catalizador y que comprenden aberturas para permitir el paso de vapor y líquido dentro y fuera de los recipientes.

45 Un problema con este enfoque y cualquier enfoque en el que la transferencia de calor se basa en el gap entre la estructura y la pared del tubo, es que después de un funcionamiento prolongado a alta temperatura y presión, el tubo puede experimentar deformación plástica dependiente del tiempo, comúnmente conocido como "flujo plástico o creep" que resulta en un aumento en el diámetro del tubo y un aumento correspondiente en el hueco entre la pared del tubo y el acondicionamiento estructurado. Dado que el mecanismo para la transferencia de calor se basa en la velocidad del fluido en este gap, y la velocidad disminuye a medida que se incrementa el gap, la transferencia de calor disminuye cuando el tubo se deforma plásticamente. Cuando se reduce la transferencia de calor el rendimiento del reactor disminuye.

50 Mientras los acondicionamientos aleatorios se pueden mover con la pared del tubo cuando el tubo se deforma plásticamente y la transferencia de calor por lo tanto no depende de un gap entre el acondicionamiento y la pared del tubo, los acondicionamientos aleatorios pueden sufrir grandes caídas de presión como se mencionó anteriormente.

55 Es deseable mantener la eficacia de la transferencia de calor en un reactor tubular a lo largo de la vida del reactor tubular especialmente cuando el tubo se deforma plásticamente. La presente invención resuelve el problema de la degradación de la transferencia de calor que resulta a partir de la deformación plástica del tubo en un reactor tubular.

60 Es deseable mejorar la transferencia de calor en los reactores tubulares. La presente invención describe prestaciones adicionales para proporcionar la transferencia de calor mejorada en los reactores tubulares.

65

BREVE SUMARIO

La presente descripción se refiere a un reactor tubular con características de transferencia de calor mejoradas.

Hay varios aspectos de la descripción como se indica a continuación:

- 5
- Aspecto #1. Un reactor tubular que tiene una entrada del reactor tubular y una salida del reactor tubular aguas abajo de la entrada del reactor tubular, comprendiendo el reactor tubular:
- 10 un tubo que tiene una pared del tubo y un eje en una dirección en sentido longitudinal del tubo, y una pieza de inserción dispuesta dentro del tubo, en que la pieza de inserción comprende:
- 15 una multitud de estructuras en forma de copa dispuestas consecutivamente en la dirección longitudinal del tubo, cada una de la multitud de estructuras en forma de copa que tiene un extremo aguas arriba, un extremo aguas abajo y una pared lateral que encierra un espacio central entre el extremo aguas arriba y el extremo aguas abajo,
- 20 en el que un catalizador soportado se dispone dentro del espacio central de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa,
- 25 en el que el extremo aguas arriba define una entrada para el espacio central,
- 30 en el que el espacio central está al menos parcialmente bloqueado en el extremo aguas abajo,
- 35 en el que la pared lateral define una multitud de orificios adecuados para formar chorros de un fluido dirigidos desde el espacio central hacia la pared del tubo,
- 40 en el que para cada una de la multitud de estructuras en forma de copa, se forma un espacio externo entre la pared lateral y la pared del tubo, el espacio externo que se extiende desde el extremo aguas arriba al extremo aguas abajo de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa, el espacio externo en comunicación de flujo de fluido con la entrada de una estructura en forma de copa aguas abajo adyacente y/o la salida del reactor tubular; y
- 45 en el que el área de la sección transversal del espacio externo en un primer plano normal al eje del tubo y que pasa a través del extremo aguas abajo de una primera estructura en forma de copa de la multitud de estructuras en forma de copa es mayor que el área de la sección transversal del espacio externo en un segundo plano normal al eje del tubo y que pasa a través de un orificio adyacente al extremo aguas arriba de la primera estructura en forma de copa, dicho orificio que pertenece a la multitud de orificios definidos por la pared lateral de la primera estructura en forma de copa.
- 50 Aspecto #2. El reactor tubular del aspecto #1 que además comprende:
- 55 un deflector de flujo de cuentas dispuesto en el extremo aguas arriba de la primera estructura en forma de copa de la multitud de estructuras en forma de copa, comprendiendo el deflector de flujo de cuentas una multitud de cuentas en el que cada una de la multitud de cuentas toca la pared del tubo.
- 60 Aspecto #3. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 o #2 en el que una segunda estructura en forma de copa de la multitud de estructuras en forma de copa se dispone adyacente y aguas arriba de la primera estructura en forma de copa, en el que una distancia de menos de 15 mm separa el extremo aguas abajo de la segunda estructura en forma de copa del extremo aguas arriba de la primera estructura en forma de copa.
- 65 Aspecto #4. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #3 en el que el espacio central está al menos parcialmente bloqueado en el extremo aguas abajo mediante una estructura a modo de placa.
- 70 Aspecto #5. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #2 a #4 en el que cada una de la multitud de cuentas tiene un agujero definido en la misma, en el que la multitud de cuentas se ensarta en un alambre que pasa a través de cada agujero, teniendo cada agujero una dimensión mayor que la dimensión del alambre, lo que permite el movimiento de la multitud de cuentas para mantener el contacto con la pared del tubo cuando el diámetro de la pared del tubo cambia.
- 75 Aspecto #6. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #2 a #5 en el que el deflector de flujo de cuentas se sujeta mediante la pared lateral de la primera estructura en forma de copa.
- 80 Aspecto #7. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #2 a #5 en el que la primera estructura en forma de copa comprende un desviador en el extremo aguas arriba, en el que el desviador circunscribe la entrada de la primera estructura en forma de copa, y en el que el deflector de flujo de cuentas se sujeta mediante el desviador.
- 85 Aspecto #8. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #2 a #7 en el que cada una de la multitud de cuentas es esférica.

Aspecto #9. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #2 a #7 en el que cada una de la multitud de cuentas es cilíndrica.

5 Aspecto #10. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #2 a #7 en el que cada una de la multitud de cuentas son segmentos de un toroide.

Aspecto #11. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #10 en el que cada una de la multitud de estructuras en forma de copa tiene una sección transversal circular.

10 Aspecto #12. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #11 en el que la pared lateral de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa es cónica, teniendo un diámetro mayor en el extremo de aguas arriba que en el extremo de aguas abajo.

15 Aspecto #13. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #11 en el que la pared lateral de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa tiene una parte cilíndrica y una parte cónica contigua a la parte cilíndrica, en el que la parte cilíndrica es aguas arriba de la parte cónica, y en el que la parte cónica tiene un diámetro mayor en su extremo contiguo a la parte cilíndrica.

20 Aspecto #14. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #13, en el que al menos una parte de la multitud de orificios están ranurados.

25 Aspecto #15. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #14, en el que la multitud de orificios se caracterizan por un diámetro hidráulico,  $d$ , y una separación,  $h$ , de la pared del tubo, en los que  $h/d$  para la multitud de orificios está en un intervalo de 0,5 a 20.

Aspecto #16. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #15, en el que la primera estructura en forma de copa tiene una longitud,  $L$ , en la dirección longitudinal, y el tubo tiene un diámetro,  $D$ , normal a la dirección longitudinal, en el que  $0,3 \leq \frac{L}{D} \leq 3$ , o desde  $0,3 \leq \frac{L}{D} \leq 1,3$ .

30 Aspecto #17. El reactor tubular de uno cualquiera de los Aspectos #1 a #16, en el que una pantalla y/o placa perforada se dispone en el extremo aguas arriba del espacio central de la primera estructura en forma de copa para contener el catalizador sujeto.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

35 La FIGURA 1 es un esquema que muestra una parte de un reactor tubular con estructuras en forma de copa para crear choque de chorros en la pared del tubo.

La FIGURA 2 es un esquema que muestra una parte de un reactor tubular con estructuras en forma de copa para crear choque de chorros en la pared del tubo y en los deflectores de flujo de cuentas.

40 La FIGURA 3 es un gráfico del coeficiente de transferencia de calor frente al gradiente de presión a través de un reactor tubular que compara datos experimentales y resultados de la simulación por ordenador de la dinámica de fluidos.

La FIGURA 4 es un gráfico del coeficiente de transferencia de calor frente al gradiente de presión que compara las geometrías de la estructura en forma de copa.

45 La FIGURA 5 es un gráfico del coeficiente de transferencia de calor frente al gradiente de presión que ilustra el efecto de un deflector de flujo de cuentas.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

50 Los artículos "un", "una", "unos" y "unas", como se usan en la presente memoria significan uno o más cuando se aplican a cualquier prestación de las realizaciones de la presente invención descritas en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de "un", "una", "unos" y "unas" no limita el significado a una única prestación a menos que tal límite se indique específicamente. Los artículos "el", "la", "los", "las" que preceden nombres singulares o plurales o frases de sustantivos denotan una prestación especificada en particular o prestaciones específicas particulares y pueden tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utilizan. El adjetivo "cualquier" significa uno, algunos o todos indiscriminadamente de cualquier cantidad. El término "y/o" colocado entre una primera entidad y una segunda entidad significa uno (1) de la primera entidad, (2) la segunda entidad, y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término "y/o" colocado entre las dos últimas entidades de una lista de 3 o más entidades significa al menos una de las entidades en la lista.

60 Como se utiliza en la presente memoria, el término "multitud" significa dos o más.

Como se utiliza en la presente memoria, el término "catalizador soportado" se refiere a un catalizador en un soporte adecuado. El soporte puede contener aditivos para mejorar las propiedades del soporte del catalizador.

Aguas abajo y aguas arriba se refieren a la dirección prevista del flujo del fluido de proceso transferido. Si la dirección del flujo prevista del fluido de proceso es desde el primer dispositivo al segundo dispositivo, el segundo dispositivo está en comunicación de flujo de fluido aguas abajo del primer dispositivo.

- 5 Para los propósitos de esta descripción, la referencia al término "diámetro" significa diámetro hidráulico de secciones transversales no circulares. El diámetro hidráulico se define

$$D_H = \frac{4 \times \text{volumen del líquido}}{\text{sup. superficie bañada por líquido}}$$

- 10 La presente descripción se refiere a un reactor tubular con transferencia de calor mejorada. La transferencia de calor mejorada se proporciona mediante el choque del chorro del fluido de proceso en la pared del tubo del reactor tubular. La intensidad de la transferencia de calor por choque del chorro se puede conservar al asegurar que el gas de proceso no barre otro chorro después del choque, sino que tiene una trayectoria de flujo clara que no interfiere con otro chorro. El aumento de la transferencia de calor generalmente se puede conseguir con el aumento de la transferencia de momento (que corresponde a un aumento de la caída de presión) ya que ambos son procesos análogos. El presente reactor tubular proporciona un aumento de la transferencia de calor sin caída de presión alta por la geometría mejorada.

- 20 Los reactores tubulares son particularmente adecuados para la producción de hidrógeno y/o gas de síntesis (syngas) en los que la mezcla de productos puede comprender H<sub>2</sub> y CO. Los reactores tubulares también se pueden utilizar para otros procesos de reacción, tales como desplazamiento de gas del agua, la oxidación parcial, la hidrogenación, el proceso de Haber, la metanización, la desulfuración de los gases, la deshidrogenación, la oxidación catalítica y la amoxidación.

- 25 Los reactores tubulares son bien conocidos en las industrias química y petroquímica. Los reactores tubulares comprenden un tubo que encierra un catalizador sobre un soporte. El catalizador puede estar soportado sobre granulos de catalizador o sobre un denominado acondicionamiento estructurado. Los catalizadores adecuados para las reacciones deseadas son conocidos en la técnica. Para el caso de hidrógeno y/o la producción de gas de síntesis, el catalizador puede ser un catalizador de reformado con vapor. Los catalizadores adecuados para el reformado de metano (hidrocarburo) con vapor son conocidos en la técnica. Puede seleccionarse y utilizarse en el reactor cualquier catalizador adecuado.

- 30 La presente invención se refiere a los reactores tubulares no adiabáticos en los que el calor se suministra o se retira del reactor tubular a través de la pared del tubo.

- 35 Las realizaciones ilustrativas de la invención se describen a continuación. Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, las realizaciones específicas de la misma se han mostrado a modo de ejemplo en los dibujos y se describen en la presente memoria con detalle. Se debe entender, sin embargo, que la descripción en la presente memoria de las realizaciones específicas no se destina a limitar la invención a las formas particulares descritas, sino por el contrario, la invención es para cubrir el alcance de la invención como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

- 40 Con referencia a las FIGURAS 1 y 2, el reactor tubular 101 tiene una entrada 110 del reactor tubular y una salida 120 del reactor tubular aguas abajo de la entrada 110 del reactor tubular. El reactor tubular 101 comprende un tubo 103 que tiene una pared 105 y un eje 106 del tubo en una dirección longitudinal del tubo 103. El reactor tubular también comprende una pieza de inserción 130 dispuesta o situada dentro del tubo 103.

- 50 Un tubo se define en la presente memoria como cualquier cuerpo hueco, estanco a los fluidos, para conducir o transportar un fluido dentro del tubo. El tubo puede tener una sección transversal circular, una sección transversal cuadrada u otra forma deseada. El tubo tiene un eje longitudinal que corre longitudinal y se coloca a lo largo de los centros geométricos de las secciones transversales del tubo. La dirección longitudinal corresponde a la dirección desde la entrada a la salida del reactor.

- 55 El tubo 103 puede fabricarse a partir de cualquier material adecuado para la aplicación deseada. Son conocidos en la técnica los materiales adecuados para reactores tubulares para la producción de hidrógeno y/o syngas.

- 60 La pieza de inserción 130 comprende una multitud de estructuras en forma de copa 132, 133 dispuestas consecutivamente en la dirección longitudinal del tubo 103. Cada una de la multitud de estructuras en forma de copa 132, 133 tiene un extremo 134 aguas arriba, un extremo 136 aguas abajo, y una pared lateral 138 que encierra un espacio central entre el extremo 134 aguas arriba y el extremo 136 aguas abajo. El extremo 134 aguas arriba define una entrada al espacio central. Las estructuras en forma de copa se pueden construir a partir de metal, de material cerámico, o de cualquier otro material adecuado. Se pueden seleccionar los materiales de construcción adecuados para la aplicación particular. Los materiales de construcción adecuados para producir hidrógeno y/o gas de síntesis

son conocidos en la técnica. Las estructuras en forma de copa de metal pueden fabricarse por métodos de trabajar el metal convencionales. Las estructuras en forma de copa de cerámica pueden moldearse por técnicas de fabricación de cerámica convencionales.

- 5 Las estructuras en forma de copa pueden tener una sección transversal circular, complementaria a una sección transversal del tubo que también tiene una sección transversal circular.

10 Las paredes laterales de las estructuras en forma de copa pueden ser cónicas, y tener un diámetro mayor en el extremo de aguas arriba que en el extremo de aguas abajo. Como se usa en la presente memoria, el término "cónico" significa llegar a ser progresivamente menor hacia un extremo, al disminuir gradualmente. Las paredes laterales cónicas son útiles porque permiten que la distancia entre las estructuras en forma de copa adyacentes llegue a ser más pequeña sin restringir el flujo entre las estructuras en forma de copa. La restricción de flujo entre las estructuras en forma de copa de paredes laterales rectas provoca un aumento en la caída de presión.

15 Como se ilustra en la realización mostrada en la FIGURA 2, la pared lateral de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa puede tener una parte cilíndrica y una parte cónica contigua a la parte cilíndrica, en la que la parte cilíndrica está aguas arriba de la parte cónica, y en la que la parte cónica tiene un diámetro mayor en su extremo contiguo a la parte cilíndrica.

20 Las estructuras en forma de copa tienen una longitud, L, en la dirección longitudinal que atraviesa desde el extremo de aguas arriba 134 al extremo aguas abajo 136. El tubo tiene un diámetro, D, normal a la dirección longitudinal. La longitud de las estructuras en forma de copa puede construirse de tal forma que  $0,3 \leq \frac{L}{D} \leq 3$  o  $0,3 \leq \frac{L}{D} \leq 1,3$ .

25 La relación de aspecto L/D afecta a la uniformidad de la temperatura de la pared del tubo y la caída de presión en el reactor tubular. Se prefiere una relación L a D inferior para mejorar la uniformidad de la temperatura de la pared del tubo mientras que no aumenta de manera significativa la caída de presión.

30 Se dispone o se coloca un catalizador soportado 144 dentro del espacio central de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa 132, 133. El catalizador soportado puede ser un catalizador soportado sobre gránulos de cerámica porosa del tipo comúnmente utilizado para soporte de catalizador. El catalizador soportado puede ser un catalizador soportado sobre un soporte estructurado. El catalizador puede ser un catalizador de reformado con vapor. Son conocidos en la técnica los catalizadores de reformado de vapor adecuados.

35 Se pueden disponer una pantalla y/o una placa perforada en el extremo de aguas arriba del espacio central de las estructuras en forma de copa para contener el catalizador soportado. La pantalla y/o placa perforada son útiles para tratar la fluidificación de los gránulos del catalizador.

40 El espacio central se bloquea, al menos parcialmente, en el extremo aguas abajo 136. El espacio central se puede bloquear al menos parcialmente en el extremos 136 aguas abajo mediante una estructura 154 a modo de placa plana como se muestra en las FIGURAS 1 y 2. Alternativamente, el extremo aguas abajo 136 o inferior de la estructura en forma de copa puede ser cóncavo, convexo o de cualquier forma adecuada.

45 La pared lateral 138 de cada una de las estructuras en forma de copa define una multitud de orificios 170, 171 adecuados para formar chorros de un fluido dirigido desde el espacio central hacia la pared 105 del tubo. Como se utiliza en la presente memoria, un orificio es una abertura (tal como un agujero) a través de la cual puede pasar algo. Los orificios pueden ser agujeros circulares o pueden tener otras formas deseadas, tales como hendiduras o ranuras.

50 El término "ranura" como se utiliza en la presente memoria se define como una abertura en la que cual sección transversal de la ranura no es circular y se caracteriza por una eje mayor y un eje menor. El eje mayor es mayor que el eje menor y los dos ejes son generalmente perpendiculares. La ranura puede tener una sección transversal de cualquier forma no circular y cada sección transversal se puede caracterizar por un punto central o centroide, donde centroide tiene la definición geométrica habitual.

55 Los orificios se pueden caracterizar por un diámetro hidráulico, d, y una separación, h, de la pared del tubo, en los que h/d para los orificios está en un intervalo de 0,5 a 20. Para los propósitos de esta descripción, la separación, h, es la distancia entre el centro geométrico del orificio y un punto en la pared del tubo más cercano al centro geométrico del orificio. La separación, h, y el diámetro hidráulico, d, son parámetros, no valores específicos. Los valores para la separación, h, y el diámetro hidráulico, d, no son necesariamente los mismos para cada uno de la multitud de orificios. Los valores se pueden variar intencionadamente de parte de inserción a parte de inserción o incluso dentro de una parte de inserción. La separación, h, puede variar de 0,5 mm a 10 mm o puede variar de 1 mm a 10 mm.

60 Un beneficio particular del presente reactor tubular es que la transferencia de calor no se degrada debido a que la pared del tubo se deforma plásticamente después de un funcionamiento prolongado. La transferencia de calor se

degrada en los métodos anteriores que se basan en la compresión del fluido entre el punto de inserción y la pared del tubo, porque cuando el diámetro de la pared del tubo aumenta, el gap entre el punto de inserción y la pared del tubo aumenta, lo que resulta en una menor velocidad del fluido. La menor velocidad del fluido resulta en la disminución de la transferencia de calor.

5 Por el contrario, el presente reactor tubular no se basa intencionadamente en el gap entre el punto de inserción y la pared del tubo para proporcionar una transferencia de calor eficiente, sino más bien en la velocidad del chorro. Dado que el diámetro hidráulico de los orificios no cambia después de un funcionamiento prolongado del reactor tubular, la velocidad del fluido no cambia para un caudal dado, y se mantiene la eficiencia en la transferencia de calor.

10 Los chorros de fluido de proceso chocan en la pared del tubo por lo que se transfiere calor entre los chorros de fluido y la pared del tubo. El choque del chorro mejora la transferencia de calor entre la pared del tubo y el fluido de proceso al disminuir la capa límite que de otro modo se acumularía a lo largo de la pared del tubo. Los chorros pueden dirigirse sustancialmente perpendiculares a la superficie de la pared del tubo o bajo un ángulo a la pared del tubo. El ángulo puede estar dentro de  $\pm 45^\circ$  de la normal a la pared del tubo. Que el calor se transfiere entre el tubo y el fluido de proceso significa que el calor se puede transferir desde el tubo al fluido de proceso o desde el fluido de proceso hacia el tubo. Después de que el fluido de proceso choca sobre la pared del tubo, el gas de proceso tiene que fluir lejos, bajo el espacio anular entre la estructura en forma de copa y la pared del tubo, y en la estructura en forma de copa aguas abajo adyacente. Si el gas de proceso acumula suficiente velocidad, el gas de proceso puede barrer los chorros a distancia y de este modo degradar la transferencia de calor. La masa del gas de proceso post-choque aumenta desde la parte superior de la estructura en forma de copa hacia la parte inferior de la estructura en forma de copa, a medida que más y más gas de proceso sale de los orificios. Al estrechar adecuadamente la pared lateral de la estructura en forma de copa, la resistencia de flujo se reduce para el gas de proceso, que preserva la transferencia de calor al tiempo que reduce la caída de presión.

25 Para cada una de la multitud de estructuras en forma de copa 132, 133, se forma un espacio externo 160 entre la pared lateral 138 y la pared 105 del tubo. El espacio externo se extiende desde el extremo 134 aguas arriba hacia el extremo 136 aguas abajo de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa 132, 133. Cada una de las estructuras en forma de copa tiene su respectivo espacio externo 160. El espacio externo 160 está en comunicación de flujo de fluido con la entrada de una estructura en forma de copa aguas abajo adyacente o, en el caso de la estructura en forma de copa más aguas abajo, con la salida 120 del reactor tubular.

35 El espacio externo 160 es para recoger el fluido después de que choca sobre la pared 105 del tubo y pasar el fluido a la entrada de una estructura en forma de copa aguas abajo adyacente. Un espacio externo en comunicación de flujo de fluido con la entrada de una estructura en forma de copa adyacente aguas abajo, significa que al menos una parte de un fluido que fluye a través del espacio externo pasa a la entrada de la estructura en forma de copa aguas abajo adyacente. El espacio externo para la estructura en forma de copa más aguas abajo estará en comunicación de flujo de fluido con, y de ese modo pasará el fluido a, la salida del reactor tubular.

40 El término "adyacente" significa cerca y puede o no incluir el contacto, pero sí requiere la ausencia de cualquier cosa del mismo tipo entre medias.

45 Como se muestra en las realizaciones de la FIGURA 1 y la FIGURA 2, el área de la sección transversal del espacio externo 160 en un primer plano 157 normal al eje 106 del tubo 103 y que pasa a través del extremo 136 aguas abajo de la estructura en forma de copa 133, es mayor que el área de la sección transversal del espacio externo 160 en un segundo plano 158 normal al eje 106 del tubo 103 y que pasa a través de un orificio 171 adyacente al extremo 134 aguas arriba de la estructura en forma de copa 133, dicho orificio 171 que pertenecen a la multitud de orificios 170, 171 definidos por la pared lateral 138 de la estructura en forma de copa 133. El orificio 171 es adyacente al extremo 134 aguas arriba de la estructura en forma de copa 133, lo que significa que no hay otros orificios entre este orificio y el extremo aguas arriba.

50 Se puede disponer otra estructura en forma de copa 132 adyacente y aguas arriba de la estructura en forma de copa 133 en la que una distancia de menos de 15 mm separa el extremo 136 aguas abajo de la estructura en forma de copa 132, del extremo 134 aguas arriba de la estructura en forma de copa 133. Esta es una mejora con respecto a las estructuras donde la separación es mayor, ya que el gap entre las estructuras no tiene transferencia de calor por choque de chorro, lo que da lugar a puntos calientes localizados. La geometría cónica de las estructuras en forma de copa facilita la separación más cercana entre las estructuras en forma de copa, mientras que reduce la resistencia al flujo ya que el gas de proceso fluye desde una estructura en forma de copa hasta la estructura en forma de copa adyacente aguas abajo.

60 La separación entre las estructuras en forma de copa se puede proporcionar mediante un separador, o cada una de las estructuras en forma de copa se puede unir a una varilla central conectada a cada una de las estructuras en forma de copa y que recorre la longitud del tubo.

En la realización mostrada en la FIGURA 2, el reactor tubular 101 además comprende un deflector 180 de flujo de cuentas dispuesto en el extremo 134 aguas arriba de la estructura en forma de copa 133. El deflector 180 de flujo de cuentas comprende una multitud de cuentas en las que cada una de las cuentas toca la pared del tubo 105.

5 La función del deflector de flujo de cuentas es para bloquear al menos parcialmente el flujo desde que entra en el espacio externo en el extremo aguas arriba de la estructura en forma de copa y dirigir el flujo a la entrada de cada estructura en forma de copa.

10 Las cuentas se pueden fabricar de materiales cerámicos, por ejemplo, los mismos materiales cerámicos utilizados para los gránulos del catalizador.

Las cuentas pueden ser esféricas, cilíndricas, segmentos de un toroide, o de cualquier otra forma adecuada.

15 Las cuentas tiene una dimensión externa que les impide pasar a través del gap entre la pared lateral o el deflector y la pared del tubo en el extremo de aguas arriba.

20 El deflector 180 de flujo de cuentas se puede soportar mediante la pared lateral 138 de la estructura en forma de copa 133. El deflector 180 de flujo de cuentas puede contenerse mediante un borde que impide que los gránulos se muevan hacia adentro. Este borde puede permitir que las cuentas se muevan dentro de un intervalo estrecho en respuesta a la expansión térmica del tubo, pero impide el desplazamiento bruto. Este borde puede ser una continuación de la pared lateral de la copa o un componente separado.

25 En la realización mostrada en la FIGURA 2, la estructura en forma de copa 133 comprende un desviador 188 en el extremo 134 aguas arriba en el que el deflector 188 circunscribe la entrada de la estructura en forma de copa 133, y en la que el deflector 180 de flujo con cuentas se sujeta mediante el desviador 188. Un deflector es cualquier dispositivo, tal como una placa, pared, o pantalla, que desvía el flujo de un fluido.

30 Una característica distintiva entre el deflector de flujo de cuentas y el desviador es que el deflector de flujo de cuentas mantiene contacto con la pared del tubo cuando el diámetro de la pared del tubo aumenta/disminuye, lo que proporciona la desviación del gas de proceso en la entrada de la estructura en forma de copa, incluso cuando el diámetro del tubo aumenta/disminuye. Por el contrario, el diámetro del desviador cambia sólo debido a sus cambios de expansión térmica y por lo tanto no es tan eficaz como el deflector de flujo de cuentas para impedir al fluido de proceso derivarse desde la entrada a la estructura en forma de copa, y en su lugar fluir directamente al espacio externo entre la pared lateral de la estructura en forma de copa y la pared del tubo.

35 Como se ilustra en la realización de la FIGURA 2, las cuentas pueden tener cada una un orificio definido en las cuentas mismas, y las cuentas se pueden roscar en un alambre 182 que pasa a través de cada agujero. Cada agujero puede tener una dimensión (por ejemplo, un diámetro hidráulico) mayor que la dimensión (por ejemplo, diámetro) del alambre lo que permite así el movimiento de las cuentas para mantener el contacto de las cuentas con la pared del tubo cuando el diámetro de la pared del tubo cambia. El alambre puede hacerse de una aleación de alta temperatura, tal como la SS347, la Incoloy 800H, o de otro material adecuado.

40 Las cuentas se pueden roscar en una cadena (hecha de un material polimérico) en el que la cadena se quema o se gasifica en vapor durante el arranque del reactor tubular.

45 Alternativamente, se pueden mantener las cuentas en su sitio mediante un adhesivo cuando la pieza de inserción se instala en el tubo. El adhesivo se puede quemar durante el arranque del reactor tubular. Las cuentas se pueden mantener en su sitio mediante cualquier técnica o mecanismo adecuados.

50 En una realización alternativa, que incluye el deflector 180 de flujo de cuentas, el área de la sección transversal del espacio externo 160 en un primer plano 157 normal al eje 106 del tubo 103 y que pasa a través del extremo 136 aguas abajo de la estructura en forma de copa 133 puede ser la misma que el área de la sección transversal del espacio externo 160 en un segundo plano 158 normal al eje 106 del tubo 103 y que pasa a través de un orificio 171 adyacente al extremo 134 aguas arriba de la estructura 133 en forma de copa, dicho orificio 171 que pertenece a la multitud de orificios 170, 171 definidos por la pared lateral 138 de la estructura 133 en forma de copa.

55 El reactor tubular descrito en la presente memoria se utiliza de una forma similar a otros reactores tubulares para sus respectivos requisitos de procesamiento químico.

60 El uso del reactor tubular que se describe en la presente memoria se comprende bien por el expertos en la técnica, particularmente en vista de la publicación de EE.UU. Nº 2010/0038593.

#### EJEMPLOS

65 El efecto técnico de la multitud de orificios para la transferencia de calor de chorro de choque se investigó utilizando modelado Computacional de Dinámica de Fluidos (CFD). El efecto técnico de la estructura en forma de copa cónica también se investigó, ya que era el efecto técnico del deflector de flujo de cuentas.



El modelado CFD se validó frente a los experimentos de transferencia de calor.

- 5 Los experimentos de transferencia de calor se llevaron a cabo para varios acondicionamientos. El coeficiente de transferencia de calor se midió como una función de la caída de presión a través del tubo. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando aire como fluido y el tubo se calentó eléctricamente. Los experimentos se llevaron a cabo a aproximadamente presión atmosférica y temperatura ambiente. El coeficiente de transferencia de calor se calculó a partir de mediciones de la temperatura de la pared para diferentes caudales.
- 10 Los resultados de las simulaciones CFD se comparan con los datos experimentales en la FIGURA 3. Para el "diseño de la copa de pared recta", similar a la estructura ilustrada en la FIGURA 1, excepto que la pared lateral de la copa era recta y no cónica como se muestra en la figura. En el "diseño de la copa de pared recta" la separación entre la abertura del orificio y la pared del tubo es de unos 3 mm. La estructura en forma de copa tenía una longitud de aproximadamente 33 mm, con una distancia de 18 mm entre las estructuras en forma de copa adyacentes.
- 15 La estructura en forma de copa tenía una parte superior abierta y una parte inferior sellada. El diámetro de la pared lateral era de unos 96 mm. La pared lateral tenía un total de 60 ranuras, cada una con una anchura de aproximadamente 1 mm. El extremo aguas arriba de cada una de las estructuras en forma de copa tenía un desviador para bloquear el paso de flujo entre la pared de la estructura de metal y la pared del tubo. El gap entre el diámetro externo del desviador y el tubo para las simulaciones del CFD fue de 1 mm.
- 20 La estrecha concordancia entre los resultados de los modelos CFD y los experimentos de transferencia de calor indica la fiabilidad adecuada del modelado CFD.
- 25 La FIGURA 4 muestra los resultados de las simulaciones CFD para dos "diseños de copa cónica" comparados con los "diseños de copa de pared recta". Para ambos diseños de copa cónica y los diseños de copa de pared recta, la pared lateral tenía un total de 28 ranuras, cada una con una anchura de aproximadamente 1 mm. Ambos diseños de copa cónica y el diseño de copa de pared recta tenían estructuras en forma de copa con una longitud de aproximadamente 66 mm, con una distancia de 7,6 mm entre las estructuras en forma de copa.
- 30 La diferencia entre los dos diseños de copa cónica era la forma de la pared lateral de la copa, y por lo tanto la separación entre las aberturas de los orificios y la pared del tubo. La pared lateral de la copa cónica I tiene una parte cilíndrica y una parte cónica como la que se muestra en la FIGURA 2. De forma más precisa, la mitad superior (el 50% de la parte superior) de la estructura en forma de copa es cilíndrica y la mitad inferior es cónica. La separación entre las aberturas de los orificios y la pared del tubo es de aproximadamente 3 mm para la mitad superior de la estructura en forma de copa, y varía de 3 mm en el centro de la estructura en forma de copa a 9 mm en la parte inferior de la estructura en forma de copa.
- 35 La copa cónica II se estrecha a lo largo de su longitud, como la que se muestra en la FIGURA 1. La separación entre las aberturas de los orificios aumenta linealmente desde aproximadamente 3 mm en la parte superior de la estructura en forma de copa a 9 mm en la parte inferior de la estructura en forma de copa.
- 40 La separación entre las aberturas de los orificios y la pared del tubo para la copa de pared recta era de 6 mm, que corresponde a la separación promedio para la copa cónica II.
- 45 Como se muestra en la FIGURA 4, cada uno de los diseños de la copa cónica proporciona una transferencia de calor alrededor del 25% mayor en comparación con el diseño de la copa recta para la misma caída de presión. Dicho de forma alternativa, para la misma transferencia de calor, el diseño de la estructura en forma de copa cónica puede reducir significativamente la caída de presión.
- 50 La FIGURA 5 muestra una comparación para un diseño de copa recta con y sin un gap entre la estructura en forma de copa en el extremo aguas arriba. El caso con un gap representa una estructura en forma de copa sin un deflector de flujo de cuentas o un desviador en el extremo aguas arriba, en el que el gap entre la pared lateral de la estructura en forma de copa y la pared del tubo es de 3 mm. El caso sin un gap representa un caso con un deflector de flujo de cuentas.
- 55 El diámetro del tubo es de 102 mm. La longitud y el diámetros de la estructura en forma de copa es de aproximadamente 33 mm y de aproximadamente 96 mm, respectivamente. La distancia entre las estructuras en forma de copa es de aproximadamente 17,8 mm. La pared lateral tenía un total de 56 ranuras, cada una con una anchura de aproximadamente 1 mm. La distancia entre la pared lateral de la estructura en forma de copa y la pared del tubo es de 3 mm para ambos casos.
- 60 Los resultados muestran claramente una mejora significativa en la transferencia de calor para el caso sin gap (con deflector de flujo de cuentas) que corresponde a que ningún fluido de proceso se deriva a la entrada de la estructura en forma de copa. Además de la mejora de la transferencia de calor, también se espera una conversión mejorada, ya que todo el fluido de proceso se fuerza a pasar a través del espacio que contiene el catalizador de la estructura en forma de copa.
- 65

Aunque la presente invención ha sido descrita como las realizaciones o ejemplos específicos, no se limita a ellos, sino que se puede cambiar o modificar en cualquiera de varias otras formas sin apartarse del alcance de la invención como se define mediante las reivindicaciones que se acompañan.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un reactor tubular que tiene una entrada al reactor tubular y una salida del reactor tubular aguas abajo de la entrada al reactor tubular, comprendiendo el reactor tubular:
- un tubo que tiene una pared del tubo y un eje en una dirección longitudinal del tubo, y una pieza de inserción dispuesta dentro del tubo, en la que la pieza de inserción comprende:
- 10 una multitud de estructuras en forma de copa dispuestas consecutivamente en la dirección longitudinal del tubo, teniendo cada una de la multitud de estructuras, un extremo aguas arriba, un extremo aguas abajo y una pared lateral que encierra un espacio central entre el extremo aguas arriba y el extremo aguas abajo,
- 15 en el que un catalizador soportado se dispone dentro del espacio central de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa,
- en el que el extremo aguas arriba define una entrada al espacio central,
- en el que el espacio central está, al menos parcialmente, bloqueado en el extremo aguas abajo,
- 20 en el que la pared lateral define una multitud de orificios adecuados para formar chorros de fluido dirigidos desde el espacio central hacia la pared del tubo,
- en el que por cada una de la multitud de estructuras en forma de copa, se forma un espacio externo entre la pared lateral y la pared del tubo, extendiéndose el espacio externo desde el extremo aguas arriba al extremo aguas abajo de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa, el espacio externo en comunicación de flujo de fluido con la entrada de una de las estructuras en forma de copa aguas abajo adyacentes y/o con la salida del reactor tubular; y
- 25 en el que el área de la sección transversal del espacio externo en un primer plano normal a los ejes del tubo y que pasa a través del extremo aguas abajo de una primera estructura en forma de copa de la multitud de estructuras en forma de copa es mayor que el área de la sección transversal del espacio externo en un segundo plano normal a los ejes del tubo y que pasa a través de un orificio adyacente al extremo aguas arriba de la primera estructura en forma de copa, dicho orificio que pertenece a la multitud de orificios definidos por la pared lateral de la primera estructura en forma de copa.
- 30 2. El reactor tubular de la reivindicación 1 en el que una segunda estructura en forma de copa de la multitud de estructuras en forma de copa se dispone adyacente y aguas arriba de la primera estructura en forma de copa en el que una distancia de menos de 15 mm separa el extremo aguas abajo de la segunda estructura en forma de copa del extremo aguas arriba de la primera estructura en forma de copa.
- 35 3. El reactor tubular de la reivindicación 1 o 2 que además comprende:
- 40 un deflector de flujo de cuentas dispuesto en el extremo aguas arriba de la primera estructura en forma de copa de la multitud de estructuras en forma de copa, comprendiendo el deflector de flujo de cuentas una multitud de cuentas, en el que cada una de la multitud de cuentas toca la pared del tubo.
- 45 4. El reactor tubular de la reivindicación 3 en el que cada una de la multitud de cuentas tiene un agujero definido en la misma, en el que la multitud de cuentas se roscan en un alambre que pasa a través de cada agujero, teniendo cada agujero una dimensión mayor que la dimensión del alambre.
- 50 5. El reactor tubular de la reivindicación 3 o 4 en el que el deflector de flujo de cuentas se sujeta mediante la pared lateral de la primera estructura en forma de copa.
6. El reactor tubular de la reivindicación 3 o 4 en el que la primera estructura en forma de copa comprende un desviador en el extremo aguas arriba en el que el desviador circunscribe la entrada de la primera estructura en forma de copa, y en el que el deflector de flujo de cuentas se sujeta mediante el desviador.
- 55 7. El reactor tubular de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el espacio central está al menos parcialmente bloqueado en el extremo aguas abajo mediante una estructura a modo de placa.
- 60 8. El reactor tubular de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la pared lateral de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa es cónica, teniendo un diámetro mayor en el extremo aguas arriba que en el extremo aguas abajo.
- 65 9. El reactor tubular de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en el que la pared lateral de cada una de la multitud de estructuras en forma de copa tiene una parte cilíndrica y una parte cónica contigua a la parte cilíndrica, en el que la parte cilíndrica está aguas arriba de la parte cónica, y en el que la parte cónica tiene un diámetro mayor en su extremo contiguo a la parte cilíndrica.

10. El reactor tubular de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos una parte de la multitud de orificios están ranurados.
- 5 11. El reactor tubular de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la primera estructura en forma de copa tiene una longitud,  $L$ , en la dirección longitudinal, y el tubo tiene un diámetro,  $D$ , normal a la dirección longitudinal, en el que  $0,3 \leq \frac{L}{D} \leq 3$ .
- 10 12. El reactor tubular de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que una pantalla y/o placa perforada se dispone en el extremo aguas arriba del espacio central de la primera estructura en forma de copa para contener el catalizador soportado.

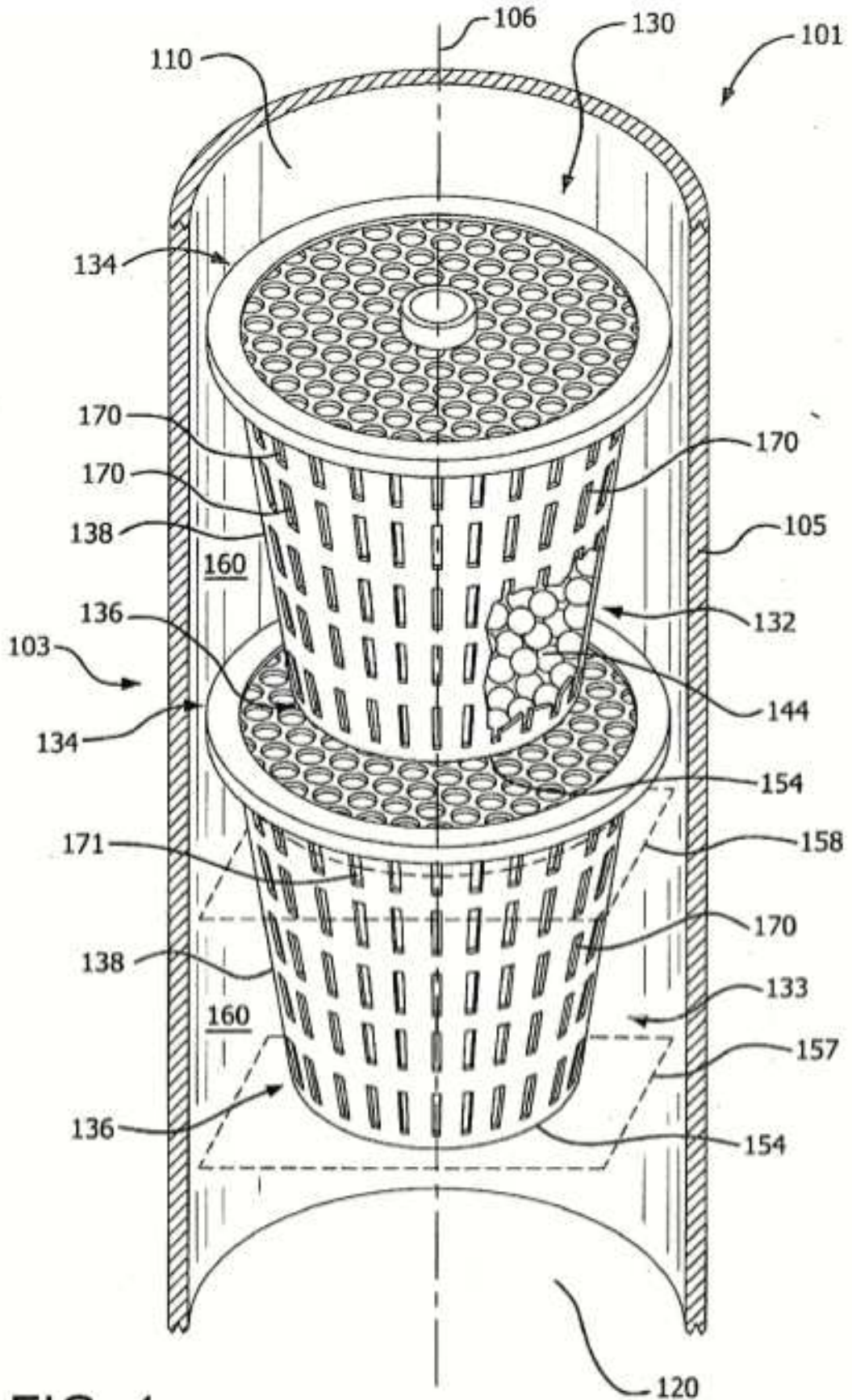


FIG. 1

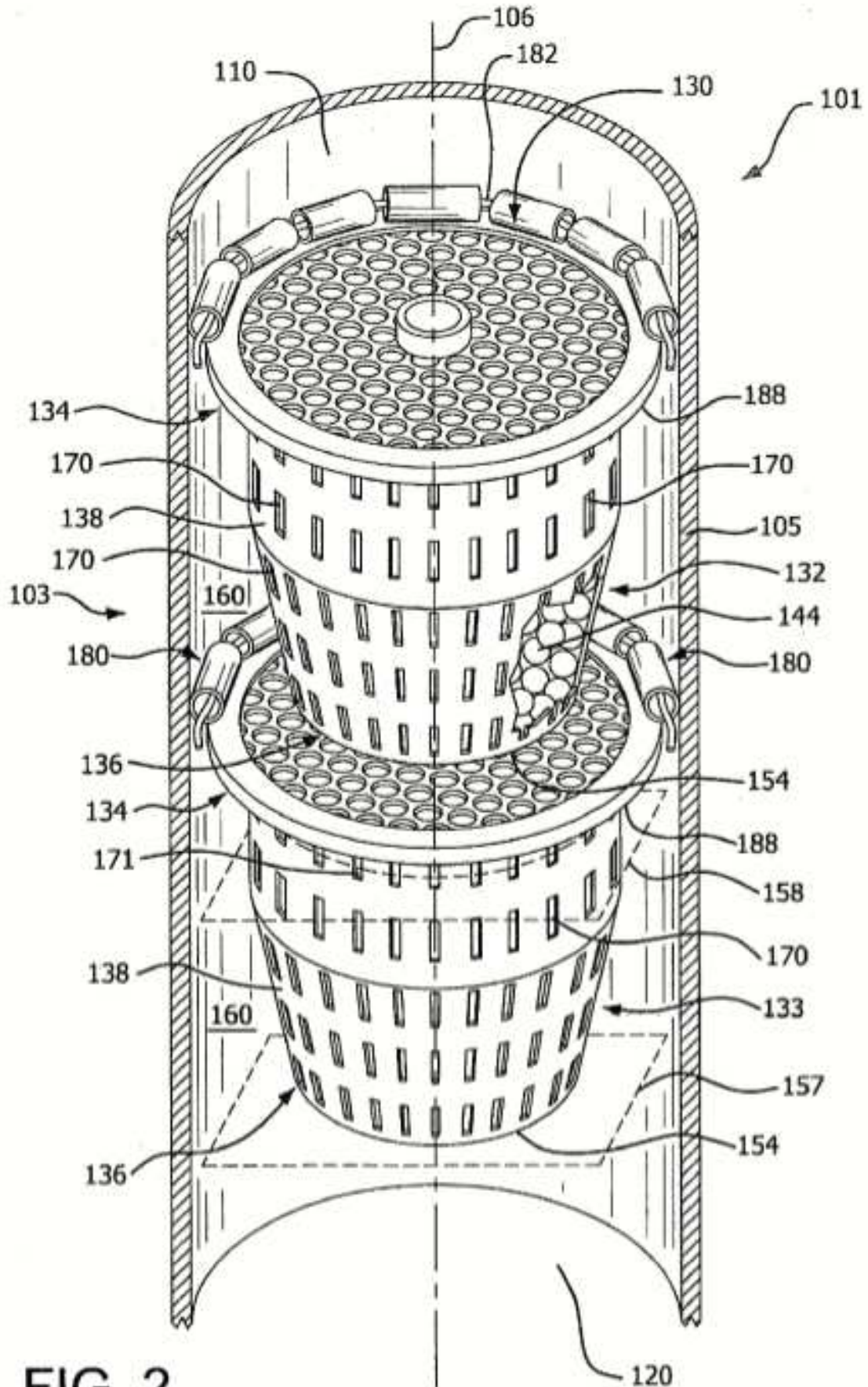


FIG. 2

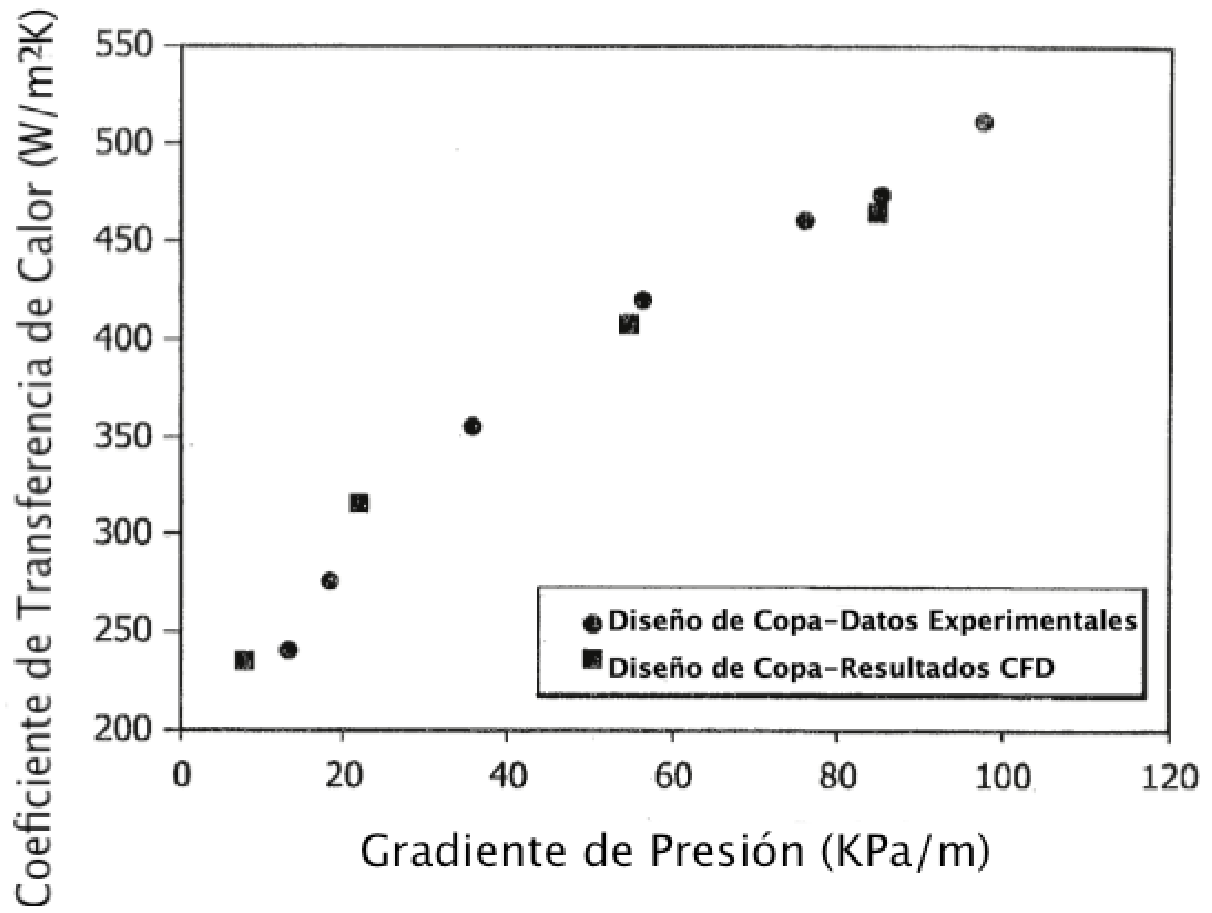


FIG. 3

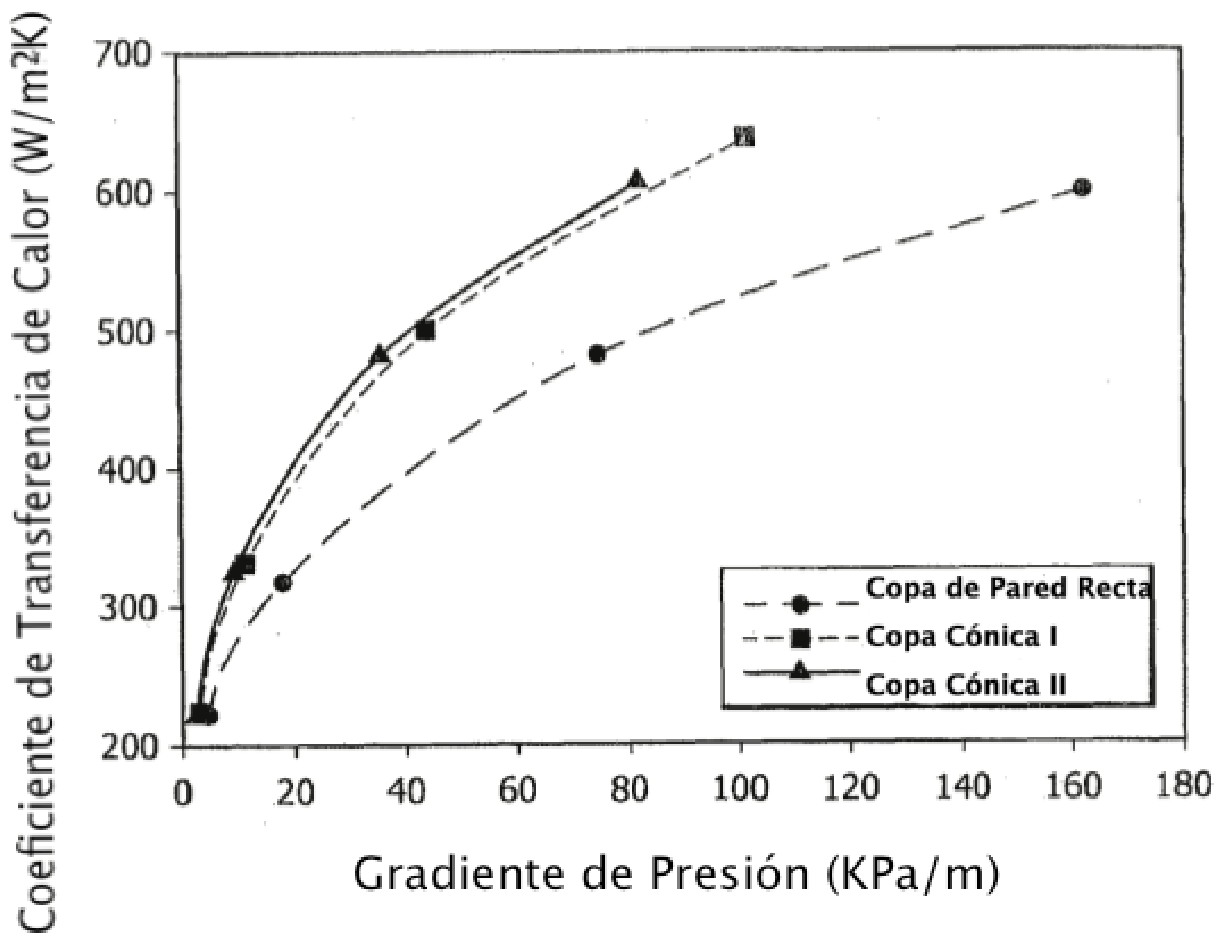


FIG. 4



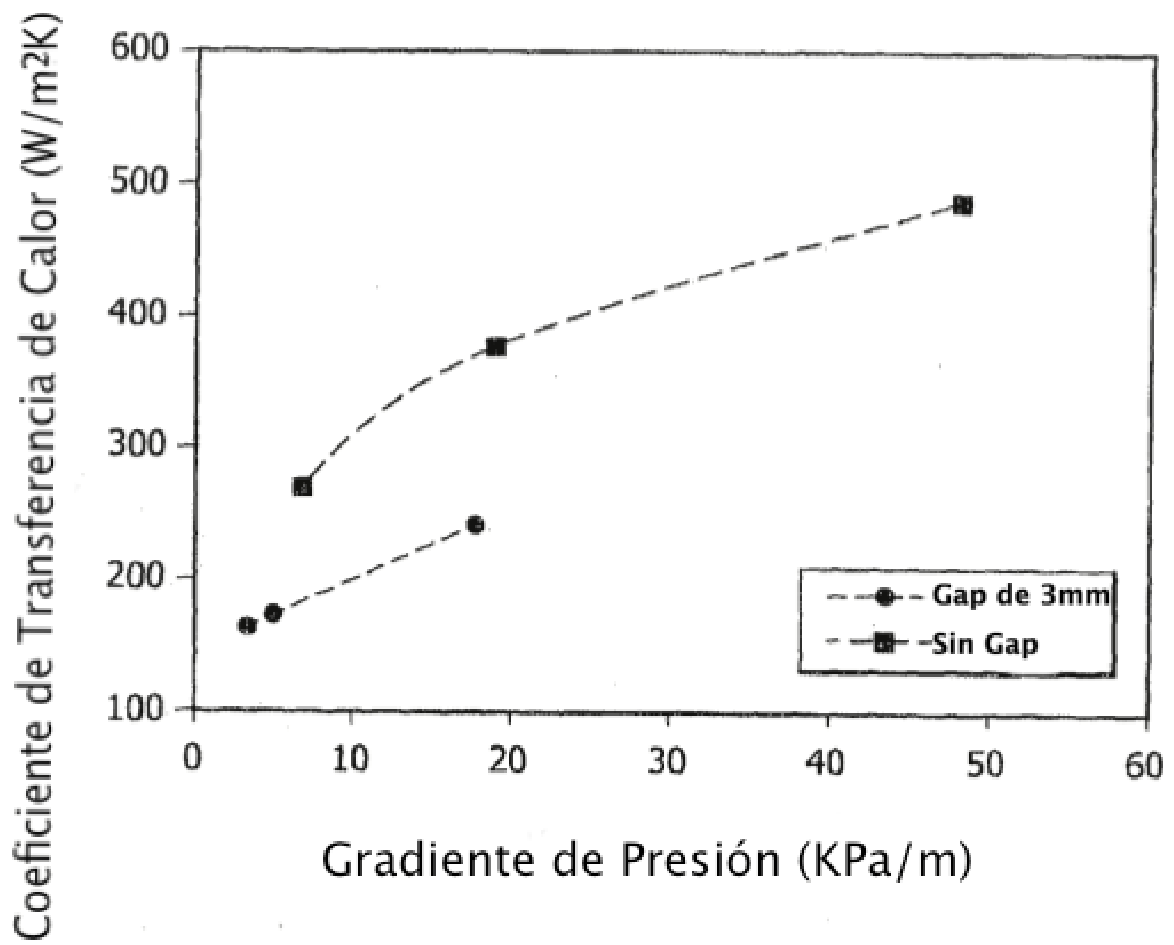


FIG. 5