

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 730**

51 Int. Cl.:

B01J 19/00	(2006.01)
C10G 2/00	(2006.01)
B01J 35/02	(2006.01)
C10G 29/20	(2006.01)
C10G 45/02	(2006.01)
C10G 47/02	(2006.01)
C10G 50/00	(2006.01)
C10L 1/08	(2006.01)
B01J 23/889	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2006 E 12153890 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.06.2022 EP 2543434**

54 Título: **Proceso de reacción catalítica usando la tecnología de microcanales**

30 Prioridad:

08.07.2005 US 697774 P
16.06.2006 US 814469 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.10.2022

73 Titular/es:

VELOCYS INC. (100.0%)
7950 Corporate Boulevard
Plain City, Ohio 43064, US

72 Inventor/es:

TONKOVICH, ANNA LEE;
JAROSCH, KAI TOD PAUL;
SULLIVAN, TIMOTHY J.;
MAZANEC, TERRY;
FITZGERALD, SEAN PATRICK y
FANELLI, MADDALENA

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 925 730 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

Proceso de reacción catalítica usando la tecnología de microcanales

5 La presente solicitud reivindica prioridad bajo la sección 119(e) del título 35 del U.S.C. a la provisional de EE. UU.

Campo técnico

La tecnología desvelada se refiere a un proceso de reacción catalítica usando tecnología de microcanales.

10

Antecedentes

Los reactores tubulares de lecho fijo (TFBR) convencionales empleados para las reacciones de síntesis de Fischer-Tropsch (FT) usan normalmente pellas de catalizador relativamente grandes formadas como esferas o cilindros con diámetros efectivos de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 6 mm. Con estas reacciones, la selectividad hacia el metano tiende a aumentar al aumentar la distancia de difusión en el catalizador. Se cree que esto es debido a la diferencia en las difusividades entre el H₂ y el CO que conducen a mayores relaciones entre el H₂ y el CO cerca de o en los sitios catalíticos que en la mayor parte del fluido reactante. En las condiciones de proceso de Fischer-Tropsch, los poros del catalizador se pueden llenar de líquido, siendo éste acuoso, orgánico, o una mezcla.

15

20

Además de esto, una película de producto líquido puede cubrir la superficie de las pellas de catalizador; éste puede ser el producto de la reacción o el producto de la reacción y líquidos recirculados al reactor. Los líquidos alimentados o formados en el reactor pueden bajar a lo largo de la longitud del reactor bajo la influencia de la gravedad o la influencia de la gravedad complementada por la alimentación gaseosa.

25

Convencionalmente se mantiene que domina la resistencia a la transferencia de masa en los poros y esto es superado o por la reducción de la longitud de difusión hacia el sitio catalítico mediante la reducción en el diámetro de partículas, o usando partículas de catalizador más grandes, en las que los metales reactivos solo se depositan en una delgada capa del soporte próxima a la superficie de la partícula (catalizadores de tipo 'borde' o 'cáscara de huevo'), por lo que se reduce la distancia de difusión.

30

La influencia de la película de líquido formada sobre la superficie de las partículas de catalizador ha sido ampliamente ignorada, ya que en muchos casos los reactores, tanto a gran escala como a pequeña escala, han funcionado en regímenes en los que no es evidente la influencia de la hidrodinámica del reactor.

35

El documento de patente WO2005/075606 describe un proceso de conversión de una composición de reactantes que comprende H₂ y Co en un producto que comprende al menos un hidrocarburo alifático que tiene al menos aproximadamente 5 átomos de carbono, comprendiendo el proceso: hacer circular la composición de reactantes a través de un reactor de microcanales en contacto con un catalizador de Fischer-Tropsch para convertir la composición de reactantes en el producto, comprendiendo el reactor de microcanales una pluralidad de microcanales de proceso que contienen el catalizador; transferir calor desde los microcanales de proceso a un intercambiador de calor; y retirar el producto del reactor de microcanales; produciendo el proceso al menos aproximadamente 0,5 gramos de hidrocarburo alifático que tiene al menos aproximadamente 5 átomos de carbono por gramo de catalizador por hora; siendo la selectividad hacia el metano en el producto inferior a aproximadamente el 25 %.

40

45

El documento de patente WO2004/103549 describe un proceso de conversión de un reactante de hidrocarburo en CO y H₂. El proceso descrito comprende: (A) hacer circular una composición de reactantes que comprende el reactante de hidrocarburo y oxígeno o una fuente de oxígeno a través de un reactor de microcanales en contacto con un catalizador en condiciones de reacción para formar el producto.

50

El documento de patente EP1382382 describe un método de oxidación parcial de un gas de alimentación que comprende proporcionar un reactor que contiene un catalizador, proporcionar un distribuidor de gas que comprende un cuerpo que tiene una pluralidad de canales a su través y una pluralidad de salidas de dichos canales para distribuir el gas a través del catalizador, alimentar el gas de alimentación y el gas que contiene oxígeno en el distribuidor de gas y permitir que el gas de alimentación y el gas que contiene oxígeno circulen a través del distribuidor de gas y salgan a través de las salidas en contacto con el catalizador.

55

El documento de patente WO2006/127889 describe un aparato, que comprende: al menos un microcanal, comprendiendo el microcanal al menos una pared de transferencia de calor; un soporte poroso térmicamente conductor en el microcanal en contacto con la pared de transferencia de calor; un catalizador o un medio de sorción soportado por el soporte poroso; y una fuente de calor y/o sumidero de calor en contacto térmico con la pared de transferencia de calor.

60

El documento de patente WO2006/057895 describe un proceso de tratamiento o preparación de una emulsión en un microcanal. La emulsión comprende un primer líquido y un segundo líquido, formando el primer líquido una fase

65

continua, formando el segundo líquido gotitas dispersadas en la fase continua.

Sumario

5 La tecnología desvelada se refiere a un proceso que usa la tecnología del proceso de microcanales en donde las condiciones de proceso, las consideraciones de forma del catalizador y/o el diseño del reactor se pueden combinar para proporcionar reacciones gas-líquido potenciadas que emplean un catalizador sólido o reacciones gaseosas potenciadas que emplean un catalizador sólido y dan un producto líquido. Con estas reacciones puede ocurrir una transferencia de masa reducida como resultado de la formación de películas líquidas sobre el catalizador, y con la tecnología desvelada se puede potenciar el rendimiento del reactor, como se mide por la conversión y/o la selectividad.

15 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso de realización de una reacción química en un microcanal de proceso, conteniendo el microcanal de proceso al menos un catalizador, comprendiendo el catalizador un catalizador de fase sólida o un catalizador homogéneo inmovilizado sobre un sólido, comprendiendo el proceso: hacer circular reactantes en el microcanal de proceso, comprendiendo los reactantes un líquido y un gas o reactantes gaseosos que reaccionan formando un producto líquido, siendo la velocidad superficial de entrada de los reactantes gaseosos al menos 0,1 m/s; poner en contacto el al menos un catalizador con los reactantes; y hacer reaccionar los reactantes en presencia del catalizador para formar al menos un producto, comprendiendo el producto una mezcla de dos o más hidrocarburos.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos, partes y características similares tienen designaciones similares.

25 La Fig. 1 es una ilustración esquemática de un microcanal que se puede usar con el proceso desvelado. La Fig. 2 es una ilustración esquemática de un reactor de microcanales que se puede usar con el proceso desvelado. El reactor de microcanales comprende un núcleo de reactor de microcanales, una cabeza de corriente de alimentación, una cola de producto, una cabeza de entrada de fluido de intercambio de calor y una cola de salida de fluido de intercambio de calor.

30 La Fig. 3 es una ilustración esquemática de una capa de microcanales de proceso y una capa de microcanales de intercambio de calor que se pueden usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. La Fig. 4 es una ilustración esquemática que muestra un proceso de ensamblaje de un núcleo de reactor de microcanales que se puede usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2.

35 La Fig. 5 es una ilustración esquemática de una unidad repetida que comprende un microcanal de proceso y una zona de intercambio de calor adyacente que se puede usar en el núcleo de reactor de microcanales del reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene un catalizador que, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador usado en el microcanal de proceso puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. La zona de intercambio de calor contiene una pluralidad de canales de intercambio de calor que se extienden longitudinalmente en ángulos rectos con respecto a la dirección longitudinal del microcanal de proceso. El flujo de fluido de intercambio de calor en los canales de intercambio de calor puede ser de corriente cruzada con respecto al flujo neto de los fluidos de proceso en el microcanal de proceso.

40 La Fig. 6 es una ilustración esquemática de una unidad repetida similar a la unidad repetida ilustrada en la Fig. 5, excepto que el flujo de fluido de intercambio de calor en el canal de intercambio de calor ilustrado en la Fig. 6 es en contracorriente con respecto al flujo neto de los fluidos de proceso en el microcanal de proceso. Alternativamente, el flujo del fluido de intercambio de calor puede ser paralelo con respecto al flujo neto de los fluidos de proceso en el microcanal de proceso.

45 La Fig. 7 es una ilustración esquemática de una unidad repetida que comprende un microcanal de proceso y una zona de intercambio de calor adyacente que se puede usar en el núcleo de reactor de microcanales del reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene un catalizador que, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador usado en el microcanal de proceso puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. La zona de intercambio de calor contiene una pluralidad de canales de intercambio de calor que se extienden longitudinalmente en ángulos rectos con respecto a la dirección longitudinal del microcanal de proceso. La zona de intercambio de calor se extiende longitudinalmente en la misma dirección que el microcanal de proceso y está situada en o cerca de la entrada del microcanal de proceso. La longitud de la zona de intercambio de calor es inferior a la longitud del microcanal de proceso. El flujo de fluido de intercambio de calor en los canales de intercambio de calor es en corriente cruzada con respecto al flujo neto de los fluidos de proceso en el microcanal de proceso.

50 La Fig. 8 es una ilustración esquemática de una unidad repetida que comprende microcanal de proceso y primera y segunda zonas de intercambio de calor adyacentes que se pueden usar en el núcleo de reactor de microcanales del reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene un catalizador que, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador usado en el microcanal de proceso puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. Cada una de las zonas de intercambio de calor contiene una

pluralidad de canales de intercambio de calor que se extienden longitudinalmente en ángulos rectos con respecto a la dirección longitudinal del microcanal de proceso. Las zonas de intercambio de calor se extienden longitudinalmente en la misma dirección que el microcanal de proceso y están situadas en o cerca de la entrada del microcanal de proceso. La longitud de la primera zona de intercambio de calor es inferior a la longitud del microcanal de proceso. La longitud de la segunda zona de intercambio de calor es inferior a la longitud de la primera zona de intercambio de calor. El flujo del fluido de intercambio de calor en los canales de intercambio de calor es en corriente cruzada con respecto al flujo neto de los fluidos de proceso en el microcanal de proceso.

Las Fig. 9-14 son ilustraciones esquemáticas de microcanales de proceso que se pueden usar en el núcleo de reactor de microcanales del reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. La Fig. 9 ilustra un microcanal de proceso que comprende una zona de reacción, una primera zona de procesamiento y una segunda zona de procesamiento. La zona de reacción comprende la segunda zona de procesamiento. La primera zona de procesamiento está aguas arriba de la zona de reacción. La zona de reacción tiene un área en sección transversal más pequeña que la primera zona de procesamiento. El microcanal de proceso también tiene una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción.

La Fig. 10 ilustra un microcanal de proceso que comprende una zona de reacción, una primera zona de procesamiento y una segunda zona de procesamiento. La primera zona de procesamiento está aguas arriba de la zona de reacción. La segunda zona de procesamiento está situada entre la primera zona de procesamiento y la zona de reacción. La segunda zona de procesamiento tiene un área en sección transversal más pequeña que la primera zona de procesamiento. El microcanal de proceso también tiene una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción.

La Fig. 11 ilustra un microcanal de proceso que comprende una zona de reacción, una primera zona de procesamiento, una segunda zona de procesamiento y una zona adicional. La zona de reacción comprende la segunda zona de procesamiento. La primera zona de procesamiento está aguas arriba de la zona de reacción. La zona adicional está aguas abajo de la zona de reacción. La zona de reacción tiene un área en sección transversal más pequeña que la primera zona de procesamiento y la zona adicional.

La Fig. 12 ilustra un microcanal de proceso que comprende una zona de reacción, una primera zona de procesamiento y una segunda zona de procesamiento. La segunda zona de procesamiento comprende obstrucciones internas en forma de objetos esféricos. La segunda zona de procesamiento está situada entre la zona de reacción y la primera zona de procesamiento. Como resultado de la presencia de las obstrucciones internas en la segunda zona de procesamiento, la segunda zona de procesamiento tiene un área en sección transversal abierta más pequeña que la primera zona de procesamiento. El microcanal de proceso también tiene una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción.

La Fig. 13 ilustra un microcanal de proceso que comprende una zona de reacción, una primera zona de procesamiento aguas arriba de la zona de reacción y una segunda zona de procesamiento situada entre la primera zona de procesamiento y la zona de reacción. La segunda zona de procesamiento comprende características superficiales sobre las paredes interiores del canal. Las características superficiales proporcionan la reducción del área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento y la modificación del flujo de fluido en la segunda zona de procesamiento. El microcanal de proceso también tiene una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción.

La Fig. 14 ilustra un microcanal de proceso que comprende una zona de reacción, una primera zona de procesamiento aguas arriba de la zona de reacción y una segunda zona de procesamiento situada entre la zona de reacción y la primera zona de procesamiento. La primera zona de procesamiento y la segunda zona de procesamiento tienen áreas en sección transversal que son más anchas que el área en sección transversal de la zona de reacción. La segunda zona de procesamiento contiene obstrucciones internas en forma de objetos esféricos. La presencia de estas obstrucciones internas tiene el efecto de reducir el área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento. Por lo tanto, la segunda zona de procesamiento tiene un área en sección transversal abierta más pequeña que la primera zona de procesamiento. El microcanal de proceso también tiene una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción.

La Fig. 15 es una ilustración esquemática de una unidad repetida de adición escalonada que se puede usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. Esta unidad repetida comprende un microcanal de proceso, una sección con aberturas, un segundo canal de corriente de reactante y un canal de intercambio de calor. El microcanal de proceso contiene un catalizador que, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador usado en el microcanal de proceso puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. El catalizador está situado en una zona de reacción dentro del microcanal de proceso. El microcanal de proceso tiene una zona de mezcla aguas arriba de la zona de reacción.

La Fig. 16 es una ilustración esquemática de una realización alternativa de una unidad repetida de adición escalonada que se puede usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. Esta unidad repetida comprende un microcanal de proceso, una sección con aberturas, un segundo canal de corriente de reactante y un canal de intercambio de calor. El microcanal de proceso contiene un catalizador que, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador usado en el microcanal de proceso puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. El catalizador está situado en una zona de reacción dentro del microcanal de proceso.

La Fig. 17 es una ilustración esquemática de otra realización alternativa de una unidad repetida de adición escalonada que se puede usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. Esta unidad repetida

comprende un microcanal de proceso, una sección con aberturas, un segundo canal de corriente de reactante y un canal de intercambio de calor. El microcanal de proceso contiene un catalizador que, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador usado en el microcanal de proceso puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. El catalizador está situado en una zona de reacción dentro del microcanal de proceso. El microcanal de proceso tiene una zona de mezcla aguas arriba de la zona de reacción.

La Fig. 18 es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene un catalizador que tiene una configuración de corriente perpendicular.

La Fig. 19 es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene un catalizador que tiene una configuración de corriente paralela.

La Fig. 20 es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene un ensamblaje de aletas que comprende una pluralidad de aletas. Un catalizador está soportado por las aletas.

La Fig. 21 ilustra una realización alternativa del microcanal de proceso y el ensamblaje de aletas ilustrado en la Fig. 20.

La Fig. 22 ilustra otra realización alternativa del microcanal de proceso y el ensamblaje de aletas ilustrado en la Fig. 20.

La Fig. 23 es una ilustración esquemática de una tira de soporte microranurada que se puede usar para soportar un catalizador. La tira de soporte se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. La tira de soporte comprende una pluralidad de microranuras paralelas, una superficie superior, una superficie inferior, un borde delantero, un borde trasero y bordes laterales. Las microranuras están formadas en la superficie superior. Las microranuras pueden penetrar parcial o totalmente a través de la tira de soporte. La penetración de las microranuras totalmente a través de la tira de soporte puede permitir que el fluido circule a través de las microranuras en la dirección desde la superficie superior hasta la superficie inferior, o viceversa.

La Fig. 24(a) es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso contiene una tira de soporte microranurada como se ilustra en la Fig. 23, soportando la tira de soporte microranurada un catalizador. La Fig. 24(b) es una vista en sección transversal del microcanal de proceso ilustrado en la Fig. 24(a) a lo largo de la línea (b)-(b) en la Fig. 24(a).

La Fig. 25 es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. El microcanal de proceso es similar al microcanal de proceso ilustrado en la Fig. 24(a), con la excepción de que el microcanal de proceso ilustrado en la Fig. 25(a) contiene paredes interiores opuestas y una tira de soporte microranurada que soporta el catalizador situada sobre cada una de las paredes interiores opuestas. La Fig. 25(b) es una vista en sección transversal del microcanal de proceso ilustrado en la Fig. 25(a) a lo largo de la línea (b)-(b) de la Fig. 25(a).

La Fig. 26 es una ilustración esquemática que muestra una pluralidad de tiras de soporte microranuradas apiladas una encima de la otra formando una estructura de soporte de material compuesto, estando suficientemente abiertos los bordes delantero y trasero de cada una de las tiras de soporte microranuradas para permitir que el fluido circule a través de dichos bordes. Las microranuras en cada uno de las tiras de soporte se proyectan a través de las tiras de soporte suficientemente para permitir que el fluido circule a través de las tiras de soporte desde una tira de soporte hasta la otra. La estructura de soporte de material compuesto se puede usar en las zonas de reacción de cualquiera de los microcanales de proceso descritos en el presente documento.

La Fig. 27 es una ilustración esquemática de una vista en despiece ordenado de la estructura de soporte de material compuesto ilustrada en la Fig. 26. La estructura de soporte ilustrada en la Fig. 27 comprende cuatro (4) primeras tiras de soporte microranuradas y cuatro (4) segundas tiras de soporte microranuradas situadas una al lado de la otra en secuencia alterna. Las microranuras en cada una de las tiras de soporte se proyectan a través de las tiras de soporte suficientemente para permitir que el fluido circule a través de las tiras de soporte desde una tira de soporte hasta la otra. Las primeras tiras de soporte microranuradas emplean microranuras que forman el eje de las tiras de soporte que están orientadas hacia los bordes delanteros y los primeros bordes laterales de las tiras de soporte y son superiores a 90° e inferiores a aproximadamente 180° , por ejemplo, en el intervalo desde aproximadamente 100° hasta aproximadamente 120° .

La Fig. 28 es una imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) de un sustrato de acero inoxidable poroso antes ser tratado con calor. Este sustrato se puede usar para producir una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 29 es una imagen de SEM del sustrato ilustrado en la Fig. 28 después de ser tratado con calor. Este sustrato se puede usar para producir una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 30 es una imagen de SEM de un sustrato poroso a medida que se puede usar para producir una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 31 es una ilustración esquemática de una vista en planta de una hoja con aberturas que se puede usar

en la producción de una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 32 es una ilustración esquemática de una vista en planta de una hoja o placa con aberturas que se puede usar en la producción de una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 33 es una ilustración esquemática de una hoja con aberturas relativamente delgada que recubre una hoja o placa con aberturas relativamente gruesa que se puede usar en la producción de una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 34 es una ilustración esquemática de una hoja con aberturas relativamente delgada que recubre una hoja o placa con aberturas relativamente gruesa que se puede usar en la producción de una sección con aberturas para una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida de adición escalonada se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2.

La Fig. 35 es una ilustración esquemática de una realización alternativa de una abertura que se puede usar en la sección con aberturas de una unidad repetida de adición escalonada que se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. La abertura tiene un recubrimiento que lo llena parcialmente y que recubre sus paredes laterales.

Las Figs. 36 y 37 son ilustraciones esquemáticas de las características superficiales que se pueden usar en los microcanales usados con el proceso desvelado.

La Fig. 38 es un gráfico que muestra t^* (espesor de película en cualquier punto dado dividido entre el máximo espesor de película) frente a la velocidad de corriente libre para diversas longitudes de una placa adimensional como se describe en el Ejemplo 2. Se muestran las condiciones operativas relativas para los reactores A, B y C y el reactor tubular de lecho fijo (TFBR) convencional descrito en el Ejemplo 1.

La Fig. 39 es un gráfico de datos de la prueba de tiempo en corriente (TOS) para el catalizador B en el reactor B del Ejemplo 1.

La Fig. 40 es un gráfico que muestra un gradiente de presión estático desarrollado a través de una partícula de catalizador en un reactor tubular de lecho fijo. El gráfico supone que el 33 % del área en sección transversal está libre para fluir, el catalizador está en forma de esferas con un diámetro de 275 micrómetros y el flujo es a una velocidad superficial de entrada de 0,8 ft./sec. (0,24 metros por segundo (m/s)). El término "Pa" usado en la Fig. 34 se refiere a pascales.

La Fig. 41 muestra los resultados de la simulación para el caso de 0,24 m/s para el esfuerzo de cizallamiento desvelado en el Ejemplo 4.

La Fig. 42 muestra los resultados de la simulación para el caso de 0,24 m/s para la presión estática desvelada en el Ejemplo 4.

La Fig. 43 es un gráfico que muestra el esfuerzo de cizallamiento y la presión estática para la simulación desvelada en el Ejemplo 4.

Las Figs. 44 y 45 son gráficos de la velocidad de película y el espesor de película para las simulaciones desveladas en el Ejemplo 4.

La Fig. 46 es una ilustración esquemática de la zona de reacción de un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. La zona de reacción contiene una pluralidad de submicrocanales paralelos, cada uno de los cuales puede contener uno o más catalizadores.

La Fig. 47 es una ilustración esquemática de una zona de procesamiento y dos zonas divisoras para su uso en un microcanal de proceso que se puede usar en el reactor de microcanales mostrado en la Fig. 2. Las dos zonas divisoras están situadas aguas abajo de la zona de procesamiento. La zona de procesamiento contiene obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) no mostradas en el dibujo.

La Fig. 48 es una ilustración esquemática de dos zonas divisoras que se pueden usar en un microcanal de proceso. En el microcanal de proceso la mezcla de reactantes se subdivide dos veces proporcionando corrientes de reactante con diámetros progresivamente más pequeños. Las corrientes de reactante se agitan con el resultado de que se forma un vórtex en cada una de las corrientes. La agitación se puede efectuar haciendo circular las corrientes de reactante en contacto con una o más características superficiales.

La Fig. 49 es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que contiene capas de características superficiales y una pluralidad de corrientes de agitación de la mezcla de reactantes. La agitación de las corrientes de reactante se puede efectuar haciendo circular las corrientes de reactante en contacto con la capas de características superficiales.

La Fig. 50 es una ilustración esquemática que muestra las corrientes de mezcla de reactantes de la Fig. 49 haciendo circular en submicrocanales dentro de un microcanal de proceso.

La Fig. 51 es una ilustración esquemática que muestra una pluralidad de capas de corrientes de agitación de la mezcla de reactantes, estando cada una de las capas separada por capas de características superficiales. Las características superficiales afectan la agitación de las corrientes de mezcla de reactantes a medida que las corrientes de reactante circulan en contacto con las características superficiales.

La Fig. 52 es una ilustración esquemática que muestra las corrientes de mezcla de reactantes de la Fig. 51 que entran en submicrocanales dentro del microcanal de proceso.

La Fig. 53 es una ilustración esquemática de una pluralidad de submicrocanales que se pueden usar en la zona de reacción de un microcanal de proceso. El microcanal de proceso se puede usar en el reactor de microcanales ilustrado en la Fig. 2. El submicrocanal a la izquierda de la Fig. 53 contiene características superficiales grabadas para modificar el flujo dentro del submicrocanal.

La Fig. 54 es una ilustración esquemática de un submicrocanal en donde las paredes interiores están festoneadas. Las paredes interiores festoneadas se pueden usar para controlar el espesor de película y potenciar la reactividad dentro del submicrocanal.

Las Fig. 55-57 son ilustraciones esquemáticas de obstrucciones internas y/o estructuras para poner en contacto y/o soportar un catalizador dentro de un microcanal de proceso. Las obstrucciones y/o estructuras internas comprenden una pluralidad de ángulos oblicuos interconectados que se proyectan desde una pared interior del microcanal de proceso. El microcanal de proceso tiene una trayectoria abierta adyacente a los ángulos abiertos interconectados. La Fig. 55 es una ilustración esquemática de una vista en sección transversal de un microcanal de proceso que contiene las obstrucciones y/o estructuras internas. La Fig. 56 es una vista en planta desde arriba del microcanal de proceso ilustrado en la Fig. 55 con la pared superior transparente para ver los ángulos oblicuos interconectados subyacentes. La Fig. 57 es una vista tridimensional de la estructura ilustrada en las Fig. 55 y 56. La pared superior en la Fig. 57 está parcialmente cortada para revelar los ángulos oblicuos interconectados subyacentes. Los ángulos oblicuos se pueden denominar características superficiales.

15 Descripción detallada

El término "microcanal" se refiere a un canal que tiene al menos una dimensión interna de altura o anchura de hasta aproximadamente 10 milímetros (mm), y en una realización hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización hasta aproximadamente 1 mm. La altura o anchura se pueden denominar un hueco. El flujo neto defluido en el microcanal puede avanzar a lo largo de la longitud del microcanal normal a la altura y anchura del microcanal. La longitud del microcanal puede no ser la dimensión más corta del microcanal. El microcanal puede comprender al menos una entrada y al menos una salida, en donde la al menos una entrada es distinta de la al menos una salida. El microcanal puede no ser simplemente un canal a través de una zeolita o un material mesoporoso. El microcanal puede no ser simplemente un orificio. Un ejemplo de un microcanal se ilustra en la Fig. 1. El microcanal 10 ilustrado en la Fig. 1 tiene una altura (h), anchura (w) y longitud (l).

El fluido puede circular en el microcanal 10 a lo largo de la longitud del microcanal en la dirección indicada por las flechas 12 y 14. La altura (h) o anchura (w) del microcanal puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 1,5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 1 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 0,75 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 0,5 mm. La otra dimensión de altura o anchura puede ser de cualquier dimensión, por ejemplo, hasta aproximadamente 3 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 3 metros, y en una realización aproximadamente 0,1 a aproximadamente 3 metros. La longitud (l) del microcanal puede ser de cualquier dimensión, por ejemplo, hasta aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 6 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 3 metros. Aunque el microcanal 10 ilustrado en la Fig. 1 tiene una sección transversal que es rectangular, se debe entender que el microcanal puede tener una sección transversal que tiene cualquier forma, por ejemplo, un cuadrado, círculo, semicírculo, trapecio, etc. La forma y/o tamaño de la sección transversal del microcanal puede variar a lo largo de su longitud. Por ejemplo, la altura o anchura puede reducirse desde una dimensión relativamente grande hasta una dimensión relativamente pequeña, o viceversa, a lo largo de la longitud del microcanal.

El término "microcanal de proceso" se refiere a un microcanal en donde ocurre un proceso de reacción. El microcanal de proceso puede contener al menos un catalizador.

El término "submicrocanal" se puede referir a un canal que está situado dentro de un microcanal y tiene al menos una dimensión interna de altura o anchura de hasta aproximadamente 1 mm, y en una realización hasta aproximadamente 500 micrómetros, y en una realización hasta aproximadamente 200 micrómetros, y en una realización hasta aproximadamente 100 micrómetros. La altura o anchura se pueden denominar un hueco. El flujo neto de fluido en el submicrocanal puede avanzar a lo largo de la longitud del microcanal normal a la altura y anchura del submicrocanal. La longitud del submicrocanal puede no ser la dimensión más corta del submicrocanal. El submicrocanal puede comprender al menos una entrada y al menos una salida, en donde la al menos una entrada es distinta de la al menos una salida. El submicrocanal puede no ser simplemente un canal a través de una zeolita o un material mesoporoso. El submicrocanal puede no ser simplemente un orificio. La altura o anchura del submicrocanal puede estar en el intervalo de aproximadamente 20 micrómetros a aproximadamente 1 mm, y en una realización desde aproximadamente 50 micrómetros hasta aproximadamente 1 mm, y en una realización desde aproximadamente 100 micrómetros hasta aproximadamente 1 mm, y en una realización desde aproximadamente 200 micrómetros hasta aproximadamente 1 mm. La otra dimensión de altura o anchura puede ser de cualquier dimensión, por ejemplo, hasta aproximadamente 3 metros, y en una realización desde aproximadamente 100 micrómetros hasta aproximadamente 3 metros, y en una realización aproximadamente 1 mm a aproximadamente 3 metros. La longitud del submicrocanal puede ser de cualquier dimensión, por ejemplo, hasta aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 1 cm hasta aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 2 cm hasta aproximadamente 6 metros, y en una realización desde aproximadamente 5 cm

hasta aproximadamente 3 metros. El submicrocanal puede tener una sección transversal que tiene cualquier forma, por ejemplo, un cuadrado, rectángulo, círculo, semicírculo, trapecio, etc. La forma y/o tamaño de la sección transversal del microcanal pueden variar a lo largo de su longitud.

5 El término "reactor de microcanales" se puede referir a un aparato que comprende al menos un microcanal de proceso. El reactor de microcanales puede comprender una pluralidad de los microcanales de proceso que pueden ser operados en paralelo, una cabeza de corriente de alimentación o ensamblaje de colector para proporcionar el flujo de fluido en los microcanales de proceso, y una cola de producto o ensamblaje de colector que proporciona el flujo de fluido de los microcanales de proceso. El reactor de microcanales puede comprender además al menos una fuente de calor y/o sumidero de calor. La fuente de calor y/o sumidero de calor pueden comprender uno o más canales de intercambio de calor, por ejemplo uno o más microcanales de intercambio de calor, adyacente a y/o en contacto térmico con los microcanales de proceso para la refrigeración y/o el enfriamiento de los fluidos en los microcanales de proceso. El reactor de microcanales puede estar en forma de un reactor de adición escalonado en donde los segundos canales de corriente de reactante pueden estar situados adyacentes a los microcanales de proceso. La mezcla de reactantes puede ocurrir aguas arriba del reactor de microcanales, en la cabeza o ensamblaje de colector y/o en los microcanales de proceso. El término "adyacente" cuando se refiere a la posición de un canal con respecto a la posición de otro canal puede significar directamente adyacente de forma que una pared o paredes separaren los dos canales. En una realización, los dos canales pueden tener una pared común. La pared común puede variar en espesor. Sin embargo, los canales "adyacente" pueden no estar separados por un canal intermedio que pueda interferir con la transferencia de calor entre los canales. Un canal puede ser adyacente a otro canal a lo largo de solo parte de la dimensión del otro canal. Por ejemplo, un microcanal de proceso puede ser más largo que y extenderse más allá del uno o más canales de intercambio de calor adyacentes.

25 El término "contacto térmico" se puede referir a dos cuerpos, por ejemplo, dos canales, que pueden o pueden no estar en contacto físico entre sí o adyacentes entre sí, pero que todavía intercambian calor entre sí. Un cuerpo en contacto térmico con otro cuerpo puede calentar o refrigerar el otro cuerpo.

30 El término "fluido" se puede referir a un gas, un líquido, una mezcla de un gas y un líquido, o un gas o un líquido que contiene sólidos, gotitas de líquido y/o burbujas gaseosas dispersadas.

El término "fluido de proceso" se puede usar en el presente documento para referirse a reactantes, producto y cualquier diluyente u otro líquido que pueda circular en un microcanal de proceso.

35 El término "inmiscible" se puede referir a un líquido que no es soluble en otro líquido o que solo es soluble hasta el punto de hasta aproximadamente 1 mililitro por litro a 25 °C.

40 El término "tiempo de contacto" se puede referir al volumen de una zona de reacción dentro de un microcanal dividido entre el caudal volumétrico de alimentación de los reactantes a una temperatura de 0 °C y una presión de una atmósfera.

45 El término "tiempo de residencia" o "tiempo de residencia promedio" se puede referir al volumen interno de un espacio (por ejemplo, la zona de reacción dentro de un reactor de microcanales) ocupado por un fluido que circula en el espacio dividido entre el caudal volumétrico promedio para el fluido que circula en el espacio a la temperatura y presión que se usa.

El término "zona de reacción" se puede referir al espacio dentro de un microcanal en donde ocurre una reacción química o en donde ocurre una conversión química de al menos una especie. La zona de reacción puede contener uno o más catalizadores.

50 El término "volumen" con respecto al volumen dentro de un microcanal, por ejemplo la zona de reacción de un microcanal, puede incluir todo el volumen en el microcanal para el que un fluido de proceso puede pasar en paralelo o pasar perpendicular. Este volumen puede incluir el volumen dentro de un soporte de catalizador, por ejemplo, microranuras de un soporte microranurado o poros en un soporte poroso, que pueden estar situados en el microcanal y adaptados para el flujo de fluido en un modo de flujo en paralelo o en un modo de flujo perpendicular. Este volumen puede incluir volumen dentro de características superficiales que pueden estar situadas en el microcanal y adaptadas para el flujo de fluido en un modo de flujo en paralelo o en un modo de flujo perpendicular.

60 Los términos "aguas arriba" y "aguas abajo" se puede referir a posiciones dentro de un canal (por ejemplo, un microcanal de proceso) que está con respecto a la dirección de flujo de una corriente de fluido en el canal. Por ejemplo, una posición dentro del canal todavía no alcanzado por una porción de una corriente de fluido que circula hacia esa posición estaría aguas abajo de esa porción de corriente de fluido. Una posición dentro del canal ya atravesado por una porción de una corriente de fluido que circula lejos de esa posición estaría aguas arriba de esa porción de corriente de fluido. Los términos "aguas arriba" y "aguas abajo" no se refieren necesariamente a una posición vertical, puesto que el canal usado en el presente documento puede estar orientado horizontalmente, verticalmente o en un ángulo inclinado.

El término "laminilla" se puede referir a una hoja o placa plana o sustancialmente plana. El espesor de la laminilla puede ser la dimensión más pequeña de la laminilla y puede ser de hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización en el intervalo de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 1 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 0,5 mm. La laminilla puede tener cualquier longitud y anchura.

El término "característica superficial" se puede referir a una depresión en una pared de microcanal y/o una proyección de una pared de microcanal que modifica el flujo y/o la mezcla dentro del microcanal. Las características superficiales pueden estar en forma de círculos, esferas, troncos, oblongas, cuadradas, rectángulos, rectángulos angulosos, cuadrículas, chevrones, veletas, láminas de aire, formas onduladas y similares. Las características superficiales pueden contener subcaracterísticas donde las principales paredes de las características superficiales contienen además características superficiales más pequeñas que pueden tomar la forma de muescas, ondas, indentaciones, orificios, rebabas, cuadrículas, festones, y similares. Las características superficiales pueden tener una profundidad, una anchura y para características superficiales no circulares una longitud. Los ejemplos incluyen los ilustrados en las Fig. 36-37. Las características superficiales se pueden formar sobre o en una o más de las paredes interiores de los microcanales de proceso usados según la invención. Las características superficiales se pueden formar sobre o en una o más de las paredes interiores de los canales de intercambio de calor empleados en el presente documento. Las características superficiales se pueden denominar características superficiales pasivas o características de mezcla pasivas. Las características superficiales se pueden usar para alterar el líneas de corriente de flujo laminar y crear flujo advectivo a un ángulo con respecto a la dirección de flujo neto. Esto puede potenciar el contacto entre componentes del fluido o entre componentes del fluido y el catalizador.

El término "microranura" se puede referir a una ranura en un sustrato que tiene una profundidad de hasta aproximadamente 5000 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 5000 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 2000 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 1000 micrómetros. Las microranuras pueden penetrar totalmente a través del sustrato sobre parte o toda la longitud de las microranuras. Las microranuras pueden penetrar solo parcialmente a través del sustrato. La profundidad de las microranuras se puede medir en el punto de penetración más profundo en el sustrato. Las microranuras pueden tener una anchura de hasta aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 500 micrómetros. La anchura puede ser la anchura medida en el punto más ancho de la microranura. La microranura puede tener cualquier longitud, por ejemplo, hasta aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 cm. La microranura puede tener una sección transversal de cualquier forma. Los ejemplos incluyen cuadrado, rectángulo, V, semicírculo, cola de milano, trapecio y similares. La forma y/o tamaño de la sección transversal de la microranura puede variar a lo largo de la longitud de la microranura.

El término "fuente de calor" se puede referir a una sustancia o dispositivo que emite calor y se puede usar para calentar otra sustancia o dispositivo. La fuente de calor puede estar en forma de un canal de intercambio de calor que tiene un fluido de intercambio de calor en el que transfiere el calor a otra sustancia o dispositivo; siendo la otra sustancia o dispositivo, por ejemplo, un canal que es adyacente a y/o en contacto térmico con el canal de intercambio de calor. El fluido de intercambio de calor puede estar en el canal de intercambio de calor y/o puede atravesar el canal de intercambio de calor. La fuente de calor puede estar en forma de un elemento de calentamiento no por fluido, por ejemplo, un elemento de calentamiento eléctrico o un calentador de resistencias.

El término "sumidero de calor" se puede referir a una sustancia o dispositivo que absorbe calor y se puede usar para enfriar otra sustancia o dispositivo. El sumidero de calor puede estar en forma de un canal de intercambio de calor que tiene un fluido de intercambio de calor en el que recibe el calor transferido de otra sustancia o dispositivo; siendo la otra sustancia o dispositivo, por ejemplo, un canal que es adyacente a y/o en contacto térmico con el canal de intercambio de calor. El fluido de intercambio de calor puede estar en el canal de intercambio de calor y/o puede atravesar el canal de intercambio de calor. El sumidero de calor puede estar en forma de un elemento de refrigeración, por ejemplo, un elemento de refrigeración no por fluido. El sumidero de calor puede estar en forma de un elemento electrónico de Peltier.

El término "fuente de calor y/o sumidero de calor" se puede referir a una sustancia o un dispositivo que puede emitir calor y/o absorber calor. La fuente de calor y/o sumidero de calor pueden estar en forma de un canal de intercambio de calor que tiene un fluido de intercambio de calor en el que transfiere calor a otra sustancia o dispositivo adyacente a y/o en contacto térmico con el canal de intercambio de calor cuando la otra sustancia o dispositivo se va a calentar, o recibe calor transferido de la otra sustancia o dispositivo adyacente a o en contacto térmico con el canal de intercambio de calor cuando la otra sustancia o dispositivo se va a enfriar. El canal de intercambio de calor que funciona de una fuente de calor y/o sumidero de calor puede funcionar de canal de calentamiento unas veces y de canal de refrigeración otras veces. Una parte o partes del canal de intercambio de calor pueden funcionar de canal de calentamiento mientras que otra parte o partes del canal de intercambio de calor pueden funcionar de canal de refrigeración.

El término "canal de intercambio de calor" se puede referir a un canal que tiene un fluido de intercambio de calor en el que puede emitir calor y/o absorber calor.

5 El término "pared de transferencia de calor" se puede referir a una pared común entre un microcanal de proceso y un canal de intercambio de calor adyacente, donde el calor de se transfiere desde un canal al otro a través de la pared común. La pared de transferencia de calor puede tener uno o más soportes de catalizador conductores de calor (por ejemplo, una o más tiras de soporte microranuradas) en contacto térmico con ella para potenciar la transferencia de calor entre un catalizador soportado por el soporte y el canal de intercambio de calor.

10 El término "fluido de intercambio de calor" se puede referir a un fluido que puede emitir calor y/o absorber calor.

El término "película de líquido" se puede referir a una fase líquida sobre una fase sólida. Una fase gaseosa puede encontrarse superponerse a la película líquida. El término "espesor de película líquida" se puede referir a la distancia de la interfase fase sólida-película líquida a la interfase película líquida-fase gaseosa.

15 El término "conversión de reactante" se puede referir al cambio en los moles de reactante entre un fluido que entra en un reactor de microcanales y un fluido que sale del reactor de microcanales dividido entre los moles de reactante en el fluido que entran en el reactor de microcanales.

20 El término "rendimiento" se puede referir al número de moles de producto que salen de un reactor de microcanales dividido entre el número de moles de un reactante que entran en el reactor de microcanales.

El término "ciclo" se puede referir a un único pase de los reactantes a través de un reactor de microcanales.

25 El término "hidrocarburo" se puede referir a compuestos puramente de hidrocarburo; es decir, compuestos alifáticos, (por ejemplo, alcano, alqueno o alquino), compuestos alicíclicos (por ejemplo, cicloalcano, cicloalquileno), compuestos aromáticos, compuestos aromáticos sustituidos con alifáticos y alicíclicos, compuestos alifáticos sustituidos con aromáticos, compuestos alicíclicos sustituidos con aromáticos y similares. Los ejemplos pueden incluir metano, etano, etileno, propano, propileno, ciclohexano, etilciclohexano, tolueno, los xilenos, etilbenceno, 30 estireno, etc. El término "hidrocarburo" se puede referir a compuestos de hidrocarburo sustituidos; es decir, compuestos de hidrocarburo que contienen sustituyentes no de hidrocarburo. Los ejemplos de los sustituyentes no de hidrocarburo pueden incluir hidroxilo, acilo, nitro, etc. El término "hidrocarburo" se puede referir a compuestos de hidrocarburo heterosustituidos; es decir, compuestos de hidrocarburo que contienen átomos distintos de carbono en una cadena o anillo que por lo demás contiene átomos de carbono. Los heteroátomos pueden adecuados incluir, por 35 ejemplo, nitrógeno, oxígeno y azufre.

El término "conversión de CO" se puede referir al cambio de moles de CO entre la composición de reactante y el producto dividido entre los moles de CO en la composición de reactante.

40 El término "selectividad hacia el metano" se puede referir a los moles de metano en el producto dividido entre los moles de metano más dos veces el número de moles de hidrocarburos C2 en el producto, más tres veces el número de moles de hidrocarburos C3 en el producto, más cuatro veces el número de moles de hidrocarburos C4 en el producto, etc., hasta que se hayan incluidos todos los moles de hidrocarburos en el producto.

45 El término "conversión de CO de un pase" se puede referir a la conversión de CO después de un pase a través de un reactor de microcanales.

50 El término "dispersión de metal" se puede referir al porcentaje de átomos de metal y átomos de promotor catalíticamente activos sobre la superficie del catalizador en comparación con el número total de átomos de metal en el catalizador como se mide por quimiosorción de hidrógeno que se describe en "Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice", 2ª ed., Charles N. Satterfield, p. 139, McGraw Hill (1996).

55 El término "carga de Co" se refiere al peso de Co en un catalizador dividido entre el peso total del catalizador, es decir, el peso total del Co más cualquier cocatalizador o promotor, así como el soporte. Si el catalizador está soportado sobre una estructura de soporte manipulada, tal como una espuma, fieltro, guata, aleta o soporte microranurado, el peso de la estructura de soporte manipulada no se debe incluir en el cálculo. Similarmente, si el catalizador está adherido a las paredes del microcanal, el peso de las paredes del microcanal no se debe incluir en el cálculo.

60 El término "dirección del flujo neto" se puede referir al vector a través del cual el fluido se puede desplazar en una trayectoria abierta en un canal.

65 El término "región de flujo neto" se puede referir a áreas abiertas dentro de un microcanal. Una región de flujo neto contigua puede permitir el rápido flujo de fluidos a través de un microcanal sin caídas de presión significativas. En una realización puede haber flujo laminar en la región de flujo neto. Una región de flujo neto puede comprender al menos aproximadamente el 5 % del volumen interno y/o área en sección transversal de un microcanal, y en una

- realización desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 100 %, y en una realización desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 99 %, y en una realización aproximadamente del 5 % a aproximadamente el 95 %, y en una realización desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 90 %, y en una realización desde aproximadamente el 30 % hasta aproximadamente el 80 % del volumen interno y/o área en
- 5 sección transversal del microcanal. Los términos "canal abierto" o "canal de flujo perpendicular" o "trayectoria abierta" se pueden referir a un canal (por ejemplo, un microcanal) con un hueco de al menos aproximadamente 0,01 mm que se extiende totalmente a través del canal de forma que el fluido pueda atravesar el canal sin encontrar una barrera al flujo. El hueco se puede extender hasta aproximadamente 10 mm.
- 10 El término "área en sección transversal" de un canal (por ejemplo, microcanal de proceso) se puede referir a un área medida perpendicular a la dirección del flujo neto de fluido en el canal y puede incluir todas las áreas dentro del canal incluyendo cualquier catalizador que pueda estar presente (por ejemplo, partículas de catalizador, monolito de catalizador y/o recubrimiento de pared de catalizador), pero no incluye las paredes del canal. Para los canales que se curvan a lo largo de su longitud, el área en sección transversal se puede medir perpendicular a la dirección de
- 15 flujo neto en un punto seleccionado a lo largo de una línea que es paralela a la longitud y está en el centro (por área) del canal. Las dimensiones de altura y anchura se pueden medir desde una pared del canal hasta la pared del canal opuesta. Estas dimensiones no se pueden cambiar por la aplicación de un recubrimiento a la superficie de la pared. Estas dimensiones pueden ser valores promedio que explican variaciones causadas por la rugosidad superficial, corrugaciones y similares.
- 20 El término "área en sección transversal abierta" de un canal (por ejemplo, microcanal de proceso) se puede referir a un área abierta para el flujo neto de fluidos en un canal medido perpendicular a la dirección del flujo neto del flujo de fluidos en el canal. El área en sección transversal abierta puede no incluir catalizador u obstrucciones internas, tales como esferas, características superficiales y similares que pueden estar presentes.
- 25 El término "velocidad superficial" para la velocidad de un fluido que circula en canal se refiere a la velocidad resultante de dividir el caudal volumétrico del fluido a la temperatura y presión de entrada del canal dividido entre el área en sección transversal del canal.
- 30 El término "velocidad de corriente libre" se puede referir a la velocidad de una corriente que circula en un canal a una distancia suficiente de la pared lateral del canal de forma que la velocidad esté en un valor máximo. La velocidad de una corriente que circula en un canal es cero en la pared lateral, pero aumenta a medida que aumenta la distancia de la pared lateral hasta que se logra un valor constante. Este valor constante es la "velocidad de corriente libre".
- 35 El término "velocidad local" para la velocidad de un fluido que circula en un canal se puede referir al caudal volumétrico del fluido a la temperatura y presión de entrada dividido entre el área en sección transversal abierta del canal en una localización específica a lo largo de la longitud del canal.
- 40 El término "presión dinámica" se puede referir a la energía de un fluido que circula en un canal y se puede definir como el cuadrado de la velocidad de flujo másico a la largo del área en sección transversal dividido entre dos veces la densidad del fluido a la temperatura y presión de entrada.
- 45 El término "velocidad superficial de flujo másico" se puede referir al caudal másico que pasa a través de un área en sección transversal abierta dividido entre el área en sección transversal. Una definición más general de la "velocidad de flujo másico" puede ser el caudal másico dividido entre el área en sección transversal.
- 50 El término "número alfa" se puede referir a un parámetro derivado de la distribución de Anderson-Schulz-Flory y se puede determinar analizando los hidrocarburos producidos y determinando la fracción másica de cada número de carbonos, luego haciendo una representación del número de carbonos frente al logaritmo común (base 10) de cada fracción másica dividida entre su número de carbonos respectivo. La pendiente de dicho gráfico es el número de carbonos. Por ejemplo, si una muestra de hidrocarburo que pesa 5 gramos contiene 1 gramo de hidrocarburos C13, la fracción másica para una número de carbonos de 13 es 0,2.
- 55 El término "catalizador graduado" se puede referir a un catalizador con uno o más gradientes de actividad catalítica. El catalizador graduado puede tener una concentración variable o área superficial de un metal catalíticamente activo. El catalizador graduado puede tener una tasa de renovación variable de catalíticamente sitios activos. El catalizador graduado puede tener propiedades físicas y/o una forma que varía en función de la distancia. Por ejemplo, el catalizador graduado puede tener una concentración de metal activo que es relativamente baja en la entrada a un microcanal de proceso y aumenta hasta una mayor concentración cerca de la salida del microcanal de proceso; o
- 60 una menor concentración de metal catalíticamente activo más cerca del centro (es decir, punto medio) de un microcanal de proceso y una mayor concentración más cerca de una pared de microcanal de proceso, etc. La conductividad térmica de un catalizador graduado puede variar de una localización a otra dentro de un microcanal de proceso. El área superficial de un catalizador graduado se puede variar variando tamaño de sitios de metal catalíticamente activo sobre un soporte de área superficial constante, o variando el área superficial del soporte, tal como variando el tipo de soporte o el tamaño de partículas. Un catalizador graduado puede tener soporte poroso o un soporte microranurado donde la relación entre el área superficial y el volumen del soporte es mayor o menor en
- 65

diferentes partes del microcanal de proceso, seguido por la aplicación del mismo recubrimiento de catalizador en cualquier parte. Se puede usar una combinación de dos o más de las realizaciones precedentes. El catalizador graduado puede tener un único componente catalítico o múltiples componentes catalíticos (por ejemplo, un catalizador bimetálico o trimetálico). El catalizador graduado puede cambiar gradualmente sus propiedades y/o composición en función de la distancia de una localización a otra dentro de un microcanal de proceso. El catalizador graduado puede comprender partículas con borde que tienen distribuciones de "cáscara de huevo" de metal catalíticamente activo dentro de cada partícula. El catalizador graduado pueden estar graduado en la dirección axial a lo largo de la longitud de un microcanal de proceso o en la dirección lateral. El catalizador graduado puede tener diferentes composiciones de catalizador, diferentes cargas y/o números de sitios catalíticos activos que pueden variar de una posición a otra posición dentro de un microcanal de proceso. El número de sitios catalíticamente activos se puede cambiar alterando la porosidad de la estructura de catalizador. Esto se puede llevar a cabo usando un proceso de recubrimiento por inmersión que deposita cantidades variables de material catalítico. Un ejemplo puede ser el uso de diferentes espesores de catalizador poroso a lo largo de la longitud del microcanal de proceso, por lo que se puede dejar una estructura porosa más gruesa donde se requiere más actividad. También se puede usar un cambio en la porosidad para un espesor de catalizador poroso fijo o variable. Se puede usar un primer tamaño de poro adyacente a un área abierta o hueco para el flujo y se puede usar al menos un segundo tamaño de poro adyacente a la pared de microcanal de proceso.

El término "crecimiento de cadena" se puede referir al crecimiento en una molécula resultante de una reacción en la que la molécula crece con la adición de nuevas estructuras moleculares (por ejemplo, la adición de unidades de monómero a una cadena de polímero en una reacción de polimerización o la adición de grupos metileno a una cadena de hidrocarburo en una síntesis de Fischer-Tropsch).

El término "mm" se puede referir a milímetro. El término "nm" se puede referir a nanómetro. El término "ms" se puede referir a milisegundo. El término "µs" se puede referir a microsegundo. El término "µm" se puede referir a micra o micrómetro. Los términos "micra" y "micrómetro" tienen el mismo significado y se pueden usar indistintamente.

A menos que se indique lo contrario, todas las presiones se expresan en términos de presión absoluta.

El proceso inventivo es adecuado para la realización de cualquier reacción química, en donde la reacción se realiza en presencia de un catalizador de fase sólida o un catalizador homogéneo que se inmoviliza sobre un soporte sólido, y se usan fases líquidas y gaseosas. Los reactantes puede comprender un primer reactante y un segundo reactante. Los reactantes comprenden al menos un reactante líquido y al menos un reactante gaseoso. Las reacciones que se pueden realizar según la tecnología desvelada pueden incluir reacciones de síntesis de Fischer-Tropsch, reacciones de oxidación, reacciones de hidrocraqueo, reacciones de hidrogenación que incluyen hidrogenaciones selectivas, reacciones de hidratación, reacciones de carbonilación, reacciones de dimerización, reacciones de trimerización, reacciones de oligomerización, reacciones de polimerización y similares. Las reacciones pueden incluir reacciones de desulfuración, síntesis de peróxido de hidrógeno por reacción de hidrógeno directa con oxígeno o por reducción cíclica de antraquinona o sus derivados, oxidaciones selectivas que incluyen oxidaciones selectivas de alcoholes dando aldehídos o carbonilos, oxidación en húmedo de contaminantes, reacciones de hidrot ratamiento, reacciones de hidrocraqueo, reacciones de alquilación, reacciones de acilación, reacciones fotocatalíticas, o una combinación de dos o más de las mismas. El primer reactante puede comprender uno o más fluidos, que es un líquido, un gas, o una mezcla de los mismos. Cuando el primer reactante comprende más de un líquido, la mezcla de líquidos resultante puede estar en forma de una disolución o una mezcla de líquidos multifásica (por ejemplo, una emulsión). El primer reactante puede comprender además sólidos dispersados en el uno o más líquidos.

El segundo reactante puede comprender uno o más gases. El segundo reactante puede comprender un gas que contiene gotitas de líquido dispersadas. El segundo reactante, cuando se mezcla con el primer reactante para formar una mezcla de reactantes, puede formar burbujas de gas en el primer reactante.

En una realización, uno de los reactantes puede comprender un fluido crítico, por ejemplo, CO₂ supercrítico.

La pureza de los reactantes puede no ser fundamental, aunque se desea evitar la presencia de compuestos que puedan envenenar el catalizador. Los reactantes pueden comprender impurezas que no son reactivas con los reactantes y/o productos.

Uno o más de los reactantes se puede combinar con uno o más materiales diluyentes. Los ejemplos de dichos diluyentes pueden incluir nitrógeno, helio, diluyentes de hidrocarburo no reactivo y similares. La concentración de diluyente de cada uno de los reactantes puede estar en el intervalo desde cero hasta aproximadamente el 99 % en peso, y en una realización desde cero hasta aproximadamente el 75 % en peso, y en una realización desde cero hasta aproximadamente el 50 % en peso. Los diluyentes se pueden combinar con uno o más de los reactantes. Los diluyentes se pueden usar para reducir la viscosidad de reactantes líquidos viscosos. Una ventaja de al menos una realización de la invención puede ser que cuando se evita el uso de dichos diluyentes, la operación del proceso inventivo puede ser más eficiente y compacta.

En las siguientes reacciones, se puede formar una capa de película líquida sobre el catalizador. Las capas de película líquida de este tipo tienden a imponer una resistencia a la transferencia de masa relativamente alta a los reactantes gaseosos. Esto puede ser un factor limitante en el aumento de la velocidad o conversión de reacción global. La velocidad de transferencia de masa de un reactante gaseoso a través de una capa de película líquida puede ser proporcional al espesor de la capa de película líquida, y así pueden ser convenientes capas más delgadas de película líquida sobre la superficie de un catalizador.

Las reacciones descritas en el presente documento tienen más de un reactante y, como tal, puede ser importante la tasa de difusión de todas las especies hacia los sitios activos del catalizador en el catalizador. Por ejemplo, la reacción de síntesis de Fischer-Tropsch usa CO y H₂ como reactantes. La combinación de difusión y reacción a través de las capas de líquido puede poner la molécula de CO más grande y más lenta a una menor concentración en los macro y microporos del catalizador que el H₂ más pequeño y que difunde más rápidamente. Localmente, esto puede conducir a una mayor relación molar de H₂:CO a medida que aumenta la distancia en el catalizador. Esto puede conducir a un aumento en la producción de metano. Si la capa de película líquida sobre el catalizador es más delgada, difunde más CO en el catalizador. Esto puede aumentar la tasa de reacción y disminuir la relación molar de H₂:CO en el catalizador. Esto puede proporcionar un producto con un mayor número alfa.

El espesor de la capa de película líquida se puede afectar por las propiedades del fluido, los comportamientos hidrodinámicos locales y las condiciones hidráulicas del reactor en general, tales como la velocidad del gas y del líquido, la viscosidad, la tasa de generación de líquido y de gas y su relación, etc. Mayores velocidades de fase gaseosa pueden conducir a películas de líquido más delgadas, mientras que mayores velocidades de fase líquida pueden conducir a películas de líquido más gruesas. Los líquidos con menores viscosidades de líquido pueden ayudar a proporcionar la formación de capas relativamente delgadas de película líquida, puesto que estas pueden provocar menos cizallamiento con una pared de microcanal y requieren menores velocidades de gas para conducir el flujo de película. Los gases con mayores viscosidades pueden potenciar la disminución de la viscosidad de la película líquida, puesto que estos tienden a ejercer mayor arrastre sobre la interfase gas-líquido.

Los reactores de microcanales pueden proporcionar ventajas en la formación de capas de película de líquido delgadas y a su vez aumentar la transferencia de masa y las velocidades de reacción. Debido a los pequeños tamaños de hueco que son típicos con los reactores de microcanales, puede ser posible la obtención de gradientes de velocidad de gas relativamente altas (du/dy). Como tal, puede ser mayor la fuerza de arrastre que actúa sobre la interfase gas-líquido para conducir el flujo de líquido. Una velocidad relativamente alta para el flujo de la película de líquido puede reducir el espesor de la película cuando el caudal sigue siendo constante. Sin embargo, existe un límite inferior del tamaño del canal que se puede usar para formar la capa de película de líquido delgada, es decir, el tamaño del hueco del canal tiene que ser superior a los espesores de la capa de película de líquido.

Los métodos de determinación de los líquido espesores de película se pueden encontrar en diversos libros o artículos de mecánica de fluidos, siendo un ejemplo "Convective Boiling and Condensation" por John G. Collier, Oxford University Press, USA; tercera edición (1 de agosto de 1996).

Las reacciones de oxidación pueden implicar la reacción, en presencia de uno o más catalizadores de oxidación, de uno o más compuestos de hidrocarburo que son capaces de experimentar una reacción de oxidación con oxígeno o una fuente de oxígeno. Los compuestos de hidrocarburo, que se pueden denominar el primer reactante, pueden estar en forma de líquidos, o pueden estar en forma de gases dispersados en uno o más líquidos. El oxígeno o fuente oxígeno, que se pueden denominar el segundo reactante, puede estar en forma de un gas.

Los compuestos de hidrocarburo que se pueden usar en las reacciones de oxidación pueden incluir compuestos alifáticos saturados (por ejemplo, alcanos), compuestos alifáticos insaturados (por ejemplo, alquenos, alquinos), aldehídos, compuestos aromáticos sustituidos con alquilo, compuestos aromáticos sustituidos con alquileo y similares. Los compuestos alifáticos saturados pueden incluir alcanos que contienen 1 a aproximadamente 25 átomos de carbono por molécula, y en una realización 1 a aproximadamente 10 átomos de carbono. Estos pueden incluir alcanos de cadena lineal, alcanos de una sola cadena ramificada y múltiples y alcanos cíclicos que incluyen alcanos cíclicos que tienen uno o más grupos alquilo unidos al anillo. Estos puede incluir metano, etano, propano, isopropano, butano, isobutano, pentano, ciclopentano, hexano, heptano, octano, 2-etilhexano, nonano, decano, dodecano y similares. Los compuestos alifáticos insaturados pueden incluir alquenos o alquilenos, y alquinos. Los compuestos alifáticos insaturados pueden contener desde 2 hasta aproximadamente 25 átomos de carbono, y en una realización desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 10 átomos de carbono. Estos pueden incluir alquenos de cadena lineal, alquenos de una sola cadena ramificada y de múltiples cadenas ramificadas y alquenos cíclicos que incluyen alquenos cíclicos que tienen uno o más grupos alquilo y/o alqueno unidos al anillo. Estos puede incluir etileno; propileno; 1-buteno; 2-buteno; isobutileno; 1-penteno; 2-penteno; 3-metil-1-buteno; 2-metil-2-buteno; 1-hexeno; 2,3-dimetil-2-buteno; 1-hepteno; 1-octeno; 1-noneno; 1-deceno; 1-dodeceno; y similares.

Los compuestos alifáticos insaturados pueden comprender polienos. Estos pueden incluir dienos, trienos y similares. Estos compuestos pueden contener desde 3 hasta aproximadamente 25 átomos de carbono por molécula, y en una

realización desde 3 hasta aproximadamente 20 átomos de carbono, y en una realización desde aproximadamente 3 hasta aproximadamente 10 átomos de carbono. Los ejemplos pueden incluir 1,2-propadieno (también conocido como aleno); 1,3-butadieno; 2-metil-1,3-butadieno (también conocido como isopreno); 1,3-pentadieno; 1,4-pentadieno; 1,5-hexadieno; 2,4-hexadieno; 2,3-dimetil-1,3-butadieno; y similares.

5 Los aldehídos pueden estar saturados o insaturados. Pueden ser alifáticos y/o aromáticos. Los aldehídos pueden contener desde 2 hasta aproximadamente 25 átomos de carbono por molécula, y en una realización aproximadamente 2 a aproximadamente 20 átomos de carbono, y en una realización aproximadamente 2 a aproximadamente 10 átomos de carbono. Los ejemplos pueden incluir formaldehído; acetaldehído; propionaldehído; n-butiraldehído; n-valeraldehído; caproaldehído; acroleína; tran-2-cis-6-nonadienal; n-heptilaldehído; trans-2-hexenal; hexadeconal; benzaldehído; fenilacetaldéhído; o-tolualdehído; m-tolualdehído; p-tolualdehído; salicilaldehído; p-hidroxibenzaldehído; y similares.

15 Los compuestos aromáticos sustituidos con alquilo o alquileo pueden contener uno o más sustituyentes alquilo o alquileo. Estos compuestos pueden ser monocíclicos (por ejemplo, fenilo) o policíclicos (por ejemplo, naftilo). Estos compuestos pueden incluir compuestos aromáticos sustituidos con alquilo que contienen uno o más grupos alquilo que contienen 1 a aproximadamente 25 átomos de carbono, y en una realización 1 a aproximadamente 20 átomos de carbono, y en una realización 1 a aproximadamente 10 átomos de carbono. Estos también puede incluir compuestos aromáticos sustituidos con alquileo que contienen uno o más grupos alquileo que contienen 2 a aproximadamente 25 átomos de carbono, y en una realización 2 a aproximadamente 20 átomos de carbono, y en una realización 2 a aproximadamente 10 átomos de carbono. Los ejemplos pueden incluir tolueno, a-xileno, m-xileno, p-xileno, hemimeliteno, pseudocumeno, mesitileno, prehniteno, isodureno, dureno, pentametilbenceno, hexametilbenceno, etilbenceno, n-propilbenceno, cumeno, n-butilbenceno, isobutilbenceno, sec-butilbenceno, terc-butilbenceno, p-cumeno, estireno y similares.

25 El oxígeno o la fuente de oxígeno usada en las reacciones de oxidación puede comprender molecular oxígeno, aire u otros oxidantes, tales como óxidos de nitrógeno, que pueden servir de una fuente de oxígeno. La fuente de oxígeno puede ser dióxido de carbono, monóxido de carbono o un peróxido (por ejemplo, peróxido de hidrógeno). Se pueden usar mezclas gaseosas que contienen oxígeno, tales como mezclas de oxígeno y aire, o mezclas de oxígeno y un gas inerte (por ejemplo, helio, argón, etc.) o un gas diluyente (por ejemplo, dióxido de carbono, vapor de agua, etc.).

35 La relación molar entre el reactante de hidrocarburo y el oxígeno puede variar desde aproximadamente 0,2:1 hasta aproximadamente 8:1, y en una realización desde aproximadamente 0,5:1 hasta aproximadamente 4:1, y en una realización desde aproximadamente 1:1 hasta aproximadamente 3:1. La relación molar puede ser aproximadamente 2:1 o superior, y en una realización aproximadamente 2,5:1 o superior. La relación molar puede ser aproximadamente 1,8 o menos.

40 El catalizador de oxidación puede comprender cualquier catalizador que sea útil como catalizador de oxidación. El catalizador puede comprender cualquier metal, óxido metálico u óxido metálico mixto de uno o más de Mo, W, V, Nb, Sb, Sn, Pt, Pd, Cs, Zr, Cr, Mg, Mn, Ni, Co, Rh, Zn, Ir, Re, Ru y Ce. Estos catalizadores también pueden comprender uno o más metales alcalinos o metales alcalinotérreos u otros metales de transición, metales de las tierras raras o lantánidos.

45 Pueden estar presentes elementos adicionales, tales como P y Bi. El catalizador pueden estar soportado, y si es así, materiales de soporte útiles incluyen óxidos metálicos (por ejemplo, alúmina, titania, circonia), sílice, materiales mesoporosos, zeolitas, materiales refractarios, o combinaciones de dos o más de los mismos.

50 El producto formado por la reacción de oxidación puede comprender uno o más oxigenatos. El término "oxigenato" se puede usar para referirse a un compuesto de hidrocarburo que contiene al menos un oxígeno. Los oxigenatos pueden incluir alcoholes, epóxidos, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, anhídridos de ácido carboxílico, ésteres y similares. Los oxigenatos pueden incluir, con la excepción de los epóxidos y los ésteres, uno o más de los oxigenatos indicados anteriormente que contienen desde 1 hasta aproximadamente 25 átomos de carbono por molécula, y en una realización desde 1 hasta aproximadamente 20 átomos de carbono, y en una realización desde 1 hasta aproximadamente 10 átomos de carbono. Los epóxidos y ésteres contienen al menos 2 átomos de carbono, pero en todos los otros respectos pueden incluir compuestos dentro de los intervalos indicados anteriormente, por ejemplo, desde 2 hasta aproximadamente 25 átomos de carbono, etc. Los alcoholes pueden incluir monooles y polioles. Los ejemplos pueden incluir metanol, alcohol etílico, alcohol propílico, alcohol butílico, alcohol isobutílico, alcohol pentílico, alcohol ciclopentílico, alcohol crotilico, alcohol hexílico, alcohol ciclohexílico, alcohol alílico, alcohol bencílico, glicerol y similares. Los epóxidos pueden incluir óxido de etileno, óxido de propileno, óxido de butileno, óxido de isobutileno, óxido de ciclopenteno, óxido de ciclohexeno, óxido de estireno y similares. Los aldehídos pueden incluir formaldehído; acetaldehído; propionaldehído; n-butiraldehído; n-valeraldehído; caproaldehído; acroleína; tran-2-cis-6-nonadienal; n-heptilaldehído; trans-2-hexenal; hexadeconal; benzaldehído; fenilacetaldéhído; o-tolualdehído; m-tolualdehído; p-tolualdehído; salicilaldehído; p-hidroxibenzaldehído; y similares. Las cetonas pueden incluir acetona, metil etil cetona, 2-pentanona, 3-pentanona, 2-hexanona, 3-hexanona, ciclohexanona, metil isobutil cetona, acetofenona, propiofenona, n-butiropfenona, benzofenona y similares. Los ácidos carboxílicos pueden

incluir ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isobutírico, ácido valérico, ácido caproico, ácido caprílico, ácido cáprico, ácido acrílico, ácido metacrílico, ácido benzoico, ácido toluico, ácido ftálico, ácido salicílico y similares. Los anhídridos de ácido carboxílico pueden incluir anhídrido acético, anhídrido maleico, anhídrido ftálico, anhídrido benzoico y similares. Los ácidos y anhídridos carboxílicos pueden incluir ácidos y anhídridos carboxílicos sustituidos con hidrocarburo (por ejemplo, ácidos y anhídridos succínicos sustituidos con hidrocarburo) en donde el sustituyente de hidrocarburo contiene desde 1 hasta aproximadamente 500 átomos de carbono, y en una realización desde aproximadamente 20 hasta aproximadamente 500 átomos de carbono. Los ésteres pueden incluir acetato de metilo, acetato de vinilo, acetato de etilo, acetato de n-propilo, acetato de n-butilo, acetato de n-pentilo, acetato de isopentilo, acetato de bencilo, acetato de fenilo y similares.

Las reacciones de hidrocrqueo puede implicar hidrogenación destructiva (también conocida como hidrogenólisis) de grandes moléculas de hidrocarburo en donde las moléculas de hidrocarburo grandes o pesadas se descomponen dando más pequeñas o más ligeras y se hacen reaccionar con hidrógeno. El reactante de hidrocarburo se puede denominar el primer reactante y el hidrógeno se pueden denominar el segundo reactante. Los términos "ligero" y "pesado" se usan en el presente documento en su sentido normal dentro de la industria del refinado para referirse respectivamente a intervalos de puntos de ebullición relativamente bajos y altos. El reactante de hidrocarburo puede comprender cualquier hidrocarburo que requiera hidrocrqueo. El reactante de hidrocarburo puede variar de nafta a fracciones residuales pesadas de crudo de petróleo. El reactante de hidrocarburo puede tener un punto de ebullición del 5 % en volumen por encima de aproximadamente 350°F (177 °C), y en una realización por encima de aproximadamente 400°F (204 °C). En una realización, al menos aproximadamente el 90 % en volumen del reactante de hidrocarburo puede entrar dentro del intervalo de puntos de ebullición de aproximadamente 300°F (149 °C) a aproximadamente 1050°F (566°C), y en una realización entre aproximadamente 600°F (316°C) a aproximadamente 1000°F (538 °C). El reactante de hidrocarburo puede comprender una o más fracciones de petróleo, tales como gasoil atmosférico y de vacío (AGO y VGO). El reactante de hidrocarburo puede comprender aceites minerales o sintéticos hidrocarbonáceos pesados o una mezcla de una o más fracciones de los mismos. El reactante de hidrocarburo puede comprender gasoil de destilación directa, gasoil de vacío, aceites desmetalizados, residuos de vacío desasfaltados, destilados de coque, destilados de craqueo catalítico, petróleo de esquisto, petróleo de arenas bituminosas, líquidos del carbón y similares.

El hidrógeno usado en las reacciones de hidrocrqueo puede estar en forma de gas hidrógeno o puede estar en una corriente de alimentación de hidrógeno que comprende además agua, metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono y/o nitrógeno. El hidrógeno puede derivar de otro proceso, tal como un proceso de reformado con vapor de agua (corriente de producto con relación molar de H₂/CO de aproximadamente 3), un proceso de oxidación parcial (corriente de producto con relación molar de H₂/CO de aproximadamente 2), un proceso de reformado autotérmico (corriente de producto con relación molar de H₂/CO de aproximadamente 2,5), un proceso de reformado de CO₂ (corriente de producto con relación molar de H₂/CO de aproximadamente 1), un proceso de gasificación de carbón (corriente de producto con relación molar de H₂/CO de aproximadamente 1), y combinaciones de los mismos. Con cada una de estas fuentes de hidrógeno, el hidrógeno se puede separar de los componentes restantes usando técnicas convencionales, tales como membranas o adsorción.

La relación molar entre reactante de hidrocarburo e hidrógeno en estas reacciones de hidrocrqueo puede variar desde aproximadamente 0,1:1 hasta aproximadamente 10:1, y en una realización aproximadamente 0,5:1 a aproximadamente 5:1.

El catalizador de hidrocrqueo puede comprender cualquier catalizador de hidrocrqueo. Estos pueden incluir catalizadores de zeolita, que incluyen beta zeolita, omega zeolita, L-zeolita, zeolitas ZSM-5 y zeolitas de tipo Y. El catalizador puede incluir un óxido inorgánico refractario, tal como alúmina, magnesia, sílice, titania, circonia y sílice-alúmina. El catalizador puede comprender un componente de hidrogenación. Los ejemplos de componentes de hidrogenación adecuados pueden incluir metales del grupo IVB y grupo VIII de la tabla periódica y compuestos de dichos metales. Se pueden usar molibdeno, tungsteno, cromo, hierro, cobalto, níquel, platino, paladio, iridio, osmio, rodio y rutenio como el componente de hidrogenación. Estos catalizadores se describen en la patente de EE. UU. 6.312.586 B1.

El producto producido por la reacción de hidrocrqueo puede comprender una mezcla de hidrocarburos en donde desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 98 % en peso de la mezcla hierve a una temperatura inferior a aproximadamente 350 °C a presión atmosférica; desde aproximadamente el 10 hasta aproximadamente el 90 % en peso hierve a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 150 hasta aproximadamente 300 °C; desde aproximadamente el 20 hasta aproximadamente el 80 % en peso hierve a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 200 hasta aproximadamente 250 °C; y desde aproximadamente el 2 hasta aproximadamente el 100 % en peso de la mezcla hierve a una temperatura superior a aproximadamente 150 °C.

El producto producido por el proceso de hidrocrqueo puede comprender una fracción de destilado medio que hierve en el intervalo desde aproximadamente 260 hasta aproximadamente 700°F (127-371 °C). El término "destilado medio" pretende incluir las fracciones del intervalo de ebullición del diésel, el combustible de aviación y el queroseno. Los términos intervalo de "queroseno" y de "combustible de aviación" pretenden referirse a un intervalo de temperatura de 260-550°F (127-288 °C) e intervalo de ebullición de "diésel" pretende referirse a puntos de

ebullición de hidrocarburos desde aproximadamente 260 hasta aproximadamente 700°F (127-371 °C). El producto destilado puede ser una fracción de gasolina o de nafta. Se puede considerar que éstas son las fracciones del extremo final C₅ a 400°F (204°C).

- 5 Las reacciones de hidrogenación pueden implicar la reacción, en presencia de uno o más catalizadores de hidrogenación, de uno o más compuestos de hidrocarburo que son capaces de experimentar una reacción de hidrogenación con hidrógeno. Los compuestos de hidrocarburo se puede denominar el primer reactante. Estos compuestos de hidrocarburo pueden estar en forma de líquidos, o pueden estar en forma de gases dispersados en líquidos. El hidrógeno se puede denominar el segundo reactante, y puede estar en forma de un gas. El hidrógeno
10 puede derivar de cualquiera de las fuentes mencionadas anteriormente.

Los compuestos de hidrocarburo que pueden experimentar una reacción de hidrogenación pueden incluir los compuestos de hidrocarburo insaturado tratados anteriormente. Los compuestos de hidrocarburo pueden incluir grasas y aceites insaturados. Las grasas y los aceites pueden derivar de fuentes animales o vegetales. Las grasas y
15 los aceites pueden incluir triglicéridos, es decir, ésteres de glicerol y ácidos grasos. Los ácidos grasos pueden ser monoinsaturados o poliinsaturados. Los ejemplos de los ácidos grasos pueden incluir ácido oleico, ácido linoleico, ácido linolénico y similares.

La relación molar entre reactante de hidrocarburo insaturado e hidrógeno en estas reacciones de hidrogenación puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,1:1 hasta aproximadamente 10:1, y en una realización desde
20 aproximadamente 0,5:1 hasta aproximadamente 5:1.

El catalizador de hidrogenación puede ser cualquier catalizador de hidrogenación. Estos pueden incluir metales del grupo IVB y grupo VIII de la tabla periódica y compuestos de dichos metales. Se pueden usar molibdeno, tungsteno,
25 cromo, hierro, cobalto, níquel, platino, paladio, iridio, osmio, rodio y rutenio. En una realización, el catalizador puede comprender paladio recubierto sobre las paredes del microcanal de proceso o adherido a un soporte fijo dentro del microcanal de proceso. Las paredes y/o el soporte fijo pueden tener una primera porción con un espesor superior a aproximadamente 0,05 mm y porosidad inferior a aproximadamente 0,9. Las paredes o el soporte fijo pueden tener un segundo espesor superior a aproximadamente 0,01 mm y una porosidad de cero. El catalizador puede estar
30 fijado a la primera porción.

El producto producido por el proceso de hidrogenación puede ser un hidrocarburo saturado o parcialmente saturado correspondiente a los compuestos de hidrocarburo insaturado usados como el primer reactante.

- 35 Las reacciones de hidratación pueden implicar la reacción, en presencia de un catalizador de hidratación, de un compuesto de hidrocarburo insaturado con agua para formar un alcohol o un éter. El compuesto de hidrocarburo insaturado, que se puede denominar el primer reactante, puede ser cualquiera de los compuestos de hidrocarburo insaturado tratados anteriormente. El agua, que se puede denominar el segundo reactante, puede ser tomada de cualquier fuente conveniente. El agua puede ser desionizada o purificada usando osmosis o destilación. La relación
40 molar entre el hidrocarburo insaturado y el agua puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10, y en una realización desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 5.

El catalizador de hidratación puede comprender un catalizador ácido sólido, tal como zeolita; una resina de intercambio iónico ácida que contiene grupos sulfonato o similares; un óxido inorgánico, tal como óxido de niobio
45 hidratado, óxido de tántalo hidratado, dióxido de circonio, dióxido de titanio, óxido de aluminio, dióxido de silicio, o un óxido mixto de los mismos; o un compuesto en capas de tipo intercambio iónico obtenido tratando un compuesto en capas, tales como esmectita, caolinita o vermiculita con al menos un óxido metálico seleccionado de óxidos de aluminio, silicio, titanio y circonio. El catalizador puede comprender aluminosilicatos, tales como mordenita, faujasita, clinoptililita, zeolita de tipo L, chabazita, erionita y ferrierita, así como los productos de zeolita ZSM-5, ZSM-4, ZSM-8,
50 ZSM-11, ZSM-12, ZSM-20, ZSM-40, ZSM-35 y ZSM-48. El catalizador puede comprender una zeolita que contiene elementos, tales como borosilicato, galosilicato y ferroaluminosilicato. Estas zeolitas pueden contener torio, cobre, plata, cromo, molibdeno, tungsteno, titanio, circonio, hafnio y metales similares. Se puede usar zeolita de tipo intercambio de protones (tipo H), y se puede intercambiar una porción de la misma con una especie catiónica seleccionada de elementos alcalinos, tales como Na, K y Li, elementos alcalinotérreos, tales como Mg, Ca y Sr, y
55 elementos del grupo VIII, tales como Fe, Co, Ni, Ru o Pd.

Las reacciones de carbonilación pueden implicar la reacción de un hidrocarburo saturado o insaturado con monóxido de carbono en presencia de un catalizador de carbonilación. El reactante de hidrocarburo saturado o insaturado, que se puede denominar el primer reactante, puede ser cualquiera de los hidrocarburos saturados o insaturados tratados
60 anteriormente. El monóxido de carbono, que se puede denominar el segundo reactante, puede ser tomado de cualquier fuente. El monóxido de carbono puede ser tomado de una corriente de proceso, tal como un proceso de reformado con vapor de agua (producto corriente con H₂/CO relación molar de aproximadamente 3), a oxidación parcial proceso (corriente de producto con relación molar H₂/CO de aproximadamente 2), un proceso de reformado autotérmico (corriente de producto con relación molar H₂/CO de aproximadamente 2,5), un proceso de reformado
65 con CO₂ (corriente de producto con relación molar H₂/CO de aproximadamente 1), un proceso de gasificación de carbón (corriente de producto con relación molar H₂/CO de aproximadamente 1) y combinaciones de los mismos.

Con cada una de estas fuentes de monóxido de carbono, el monóxido de carbono se puede separar de los restantes componentes usando técnicas convencionales, tales como membranas o adsorción.

La relación molar entre reactante de hidrocarburo y monóxido de carbono en estas reacciones de carbonilación puede variar desde aproximadamente 0,5:1 hasta aproximadamente 20:1, y en una realización aproximadamente 2:1 a aproximadamente 10:1.

El catalizador de carbonilación puede ser cualquier catalizador de carbonilación. Estos pueden incluir catalizadores ácidos sólidos. El catalizador puede ser un sólido que comprende la interacción de sitios próticos y de ácidos de Lewis. El catalizador puede comprender una combinación de un ácido de Brønsted (protónico) y un ácido de Lewis. Los ejemplos incluyen óxidos metálicos sulfatados (por ejemplo, circonia sulfatada), sulfatos de fluorocarbono ($(\text{B}(\text{CF}_2)_n\text{BSO}_3\text{H})$) en combinación con soportes (por ejemplo, óxidos metálicos y carbono), heteropoliácidos, haluros de Ta, Sb, Ga y B, óxidos metálicos halogenados, zeolitas sulfatadas, haluros de Ta, Sb, Ga y B en combinación con resinas de ácido fluorosulfónico. Los óxidos metálicos pueden incluir tanto óxidos de un componente como óxidos de múltiples componentes, es decir, óxidos metálicos mixtos. Los óxidos metálicos de un solo componente pueden incluir alúminas, sílices, circonia, titania y mezclas de las mismas. Los óxidos metálicos mixtos pueden ser o mezclas físicas o estructuralmente conectadas. El ejemplo de óxidos metálicos mixtos puede incluir óxidos de ZrCTi, WCZr, TiCCu, TiCZn, TiCSi, AlCZr, FeCZr y TiCMn. Los ejemplos pueden incluir circonia sulfatada, titania sulfatada, óxido de tungsteno sulfatado, BF_3 sobre alúmina fluorada, cloruro de aluminio sobre alúmina clorada, $\text{H}_3\text{PW}_{10}\text{O}_{40}$, $\text{Cs}_{2,5}\text{H}_{0,5}\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$, $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$ y similares.

Las reacciones de Fischer-Tropsch (FT) pueden implicar la conversión de H_2 y CO en hidrocarburos alifáticos, por ejemplo, hidrocarburos alifáticos de aproximadamente 5 o más átomos de carbono. La composición de reactante puede comprender una mezcla que contiene H_2 y CO. Esta mezcla se puede denominar gas de síntesis o sintegás. La relación molar entre H_2 y CO puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,8 hasta aproximadamente 10, y en una realización desde aproximadamente 0,8 hasta aproximadamente 5, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 3, y en una realización desde aproximadamente 1,5 hasta aproximadamente 3, y en una realización desde aproximadamente 1,8 hasta aproximadamente 2,5, y en una realización desde aproximadamente 1,9 hasta aproximadamente 2,2, y en una realización desde aproximadamente 2,05 hasta aproximadamente 2,10. La relación molar entre H_2 y CO puede ser hasta aproximadamente 2,7, y en una realización hasta aproximadamente 2,5, y en una realización hasta aproximadamente 2,3, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,8 hasta aproximadamente 2,7, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,8 hasta aproximadamente 2,5, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,8 hasta aproximadamente 2,3. La composición de reactante también puede contener CO_2 y/o H_2O , así como hidrocarburos ligeros de 1 a aproximadamente 5 átomos de carbono, y en una realización 1 a aproximadamente 2 átomos de carbono. La composición de reactante puede contener desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 45 % en volumen de CO, y en una realización desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 20 % en volumen de CO; y desde aproximadamente el 55 hasta aproximadamente el 95 % en volumen de H_2 , y en una realización desde aproximadamente el 80 hasta aproximadamente el 95 % en volumen de H_2 . La concentración de CO_2 en la composición de reactante puede ser de hasta aproximadamente el 60 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 60 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 40 % en volumen. La concentración de H_2O en la composición de reactante puede ser de hasta aproximadamente el 80 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 80 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 50 % en volumen. La concentración de hidrocarburos ligeros en la composición de reactante puede ser de hasta aproximadamente el 80 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 80 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 50 % en volumen. La composición de reactante puede comprender productos gaseosos recirculados formados durante el proceso. La composición de reactante puede comprender una corriente (por ejemplo, una corriente gaseosa) de otro proceso, tal como un proceso de reformado con vapor de agua (corriente de producto con relación molar H_2/CO de aproximadamente 3), un proceso de oxidación parcial (corriente de producto con relación molar de H_2/CO de aproximadamente 2), un proceso de reformado autotérmico (corriente de producto con relación molar H_2/CO de aproximadamente 2,5), un proceso de reformado con CO_2 (corriente de producto con relación molar H_2/CO de aproximadamente 1), un proceso de gasificación de carbón (corriente de producto con relación molar H_2/CO de aproximadamente 1) y combinaciones de los mismos. En una realización, se puede usar un proceso de separación de microcanales, tal como un proceso de adsorción por oscilación térmica (TSA), para adaptar la relación entre H_2 y CO. La presencia de contaminantes, tales como azufre, nitrógeno, halógeno, selenio, fósforo, arsénico y similares, en la composición de reactante de FT puede ser no deseable. Los contaminantes anteriores se pueden retirar de la composición de reactante o reducir sus concentraciones antes de realizar el proceso. Las técnicas de eliminación de estos contaminantes se conocen bien por los expertos en la técnica. Por ejemplo, se pueden usar lechos protectores de ZnO para retirar impurezas de azufre. En una realización, el nivel de contaminantes en la composición de reactante puede estar a un nivel de hasta aproximadamente el 5 % en volumen, y en una realización hasta aproximadamente el 1 % en volumen, y en una realización hasta aproximadamente el 0,1 % en volumen, y en una realización hasta aproximadamente el 0,05 % en volumen. En una realización, se puede usar un proceso de separación de microcanales, tal como un proceso de adsorción por oscilación térmica, para separar las impurezas.

ES 2 925 730 T3

El catalizador de FT puede comprender un catalizador soportado, comprendiendo la porción activa del catalizador al menos una composición representada por la fórmula



en donde: M¹ puede ser Fe, Ni, Ru, Re, Os o una mezcla de los mismos, y en una realización M¹ puede ser Ru o Re o una mezcla de los mismos; M² puede ser Li, B, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, La, Ac, Zr, La, Ac, Ce, Th o una mezcla de dos o más de los mismos, y, en una realización M² puede ser Na, K, o una mezcla de los mismos; a puede ser un número en el intervalo desde cero hasta aproximadamente 0,5, y en una realización desde cero hasta aproximadamente 0,2; b puede ser un número en el intervalo desde cero hasta aproximadamente 0,5, y en una realización desde cero hasta aproximadamente 0,1; y x es el número de oxígenos necesarios para cumplir los requisitos de valencia de los elementos presentes. M¹ se puede denominar un cocatalizador. M² se puede denominar un promotor.

En una realización, el catalizador de FT puede comprender un catalizador basado en Fe. El material de soporte para el catalizador de FT puede comprender alúmina, circonia, sílice, fluoruro de aluminio, alúmina fluorada, bentonita, cerio, óxido de cinc, sílice-alúmina, carburo de silicio, o una combinación de dos o más de los mismos. El material de soporte puede comprender un óxido refractario o un tamiz molecular. En una realización, el material de soporte puede ser distinto de titanía.

En una realización, el catalizador de FT puede comprender cobalto soportado sobre alúmina. En una realización, el catalizador de FT puede comprender cobalto y renio soportados sobre alúmina. En una realización, el catalizador de FT puede ser distinto de un catalizador que comprende cobalto y rutenio soportados sobre titanía.

El catalizador de FT se puede preparar usando un proceso que comprenden múltiples etapas de contacto con etapas de calcinación realizadas entre cada etapa de contacto, seguidas por una o más etapas de oxidación y de reducción. Las etapas de contacto se pueden denominar etapas de impregnación. Las etapas de reducción y oxidación se pueden denominar etapas o ciclos de redox. El uso de este proceso, al menos en una realización, puede permitir la formación de catalizadores con niveles de carga de cobalto y, opcionalmente, uno o más cocatalizadores y/o promotores que son mayores en comparación con procesos en donde estos procedimientos no se emplean. El uso de este proceso, al menos en una realización, puede proporcionar un catalizador que es más activo en comparación con catalizadores producidos por procesos en donde estos procedimientos no se usan. En una realización, el Co y opcionalmente un cocatalizador (por ejemplo, Re o Ru) y/o promotor (por ejemplo, Na o K) se pueden cargar sobre un soporte (por ejemplo, Al₂O₃) usando las siguientes etapas: (A-1) poner en contacto el soporte con una composición que comprende cobalto y opcionalmente un cocatalizador y/o promotor para proporcionar un catalizador soportado; (A-2) calcinar el catalizador soportado formado en la etapa (A-1) para formar un catalizador calcinado; (A-3) poner en contacto el catalizador calcinado formado en (A-2) con otra composición que comprende cobalto y opcionalmente un cocatalizador y/o promotor para formar un producto de catalizador mejorado; y (A-4) calcinar el producto de catalizador mejorado formado en la etapa (A-3) para proporcionar un catalizador soportado intermedio.

Para el catalizador de FT, cobalto y un cocatalizador y/o promotor opcional se pueden impregnar sobre el soporte usando un proceso de impregnación por humedad incipiente. Se puede usar una disolución de nitrato de cobalto para impregnar el soporte con cobalto. Se pueden repetir las etapas (A-3) y (A-4) una o más veces adicionales hasta que se logra la carga de cobalto, y cocatalizador y/o promotor opcional. El proceso puede continuar hasta que el cobalto logre un nivel de carga de aproximadamente el 20 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 25 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 28 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 30 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 32 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 35 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 37 % en peso o más, y en una realización aproximadamente el 40 % en peso o más. La dispersión de Co puede ser de al menos aproximadamente el 3 %, y en una realización al menos aproximadamente el 5 %, y en una realización al menos aproximadamente el 7 %. La carga de cocatalizador (por ejemplo, Re o Ru) puede estar en el intervalo de hasta aproximadamente el 40 % en peso, y en una realización de hasta aproximadamente el 20 % en peso, y en una realización de hasta aproximadamente el 10 % en peso, y en una realización desde aproximadamente el 0,1 hasta aproximadamente el 10 % en peso, y en una realización desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 6 % en peso. La carga de promotor (por ejemplo, Na o K) puede ser de hasta aproximadamente el 20 % en peso, y en una realización de hasta aproximadamente el 5 % en peso. Cada una de las etapas de calcinación puede comprender calentar el catalizador a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 500 °C, y en una realización aproximadamente 100 °C a aproximadamente 400 °C, y en una realización desde aproximadamente 250 hasta aproximadamente 350 °C, durante aproximadamente 0,5 a aproximadamente 100 horas, y en una realización aproximadamente 0,5 a aproximadamente 24 horas, y en una realización aproximadamente 2 a aproximadamente 3 horas. La temperatura pueden ser incrementada hasta la temperatura de calcinación a una tasa de aproximadamente 1-20 °C/min. Las etapas de calcinación pueden ir precedidas de etapas de secado, en donde el catalizador se seca a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 75 °C hasta aproximadamente 200 °C, y en una realización desde aproximadamente 75 °C hasta

aproximadamente 150 °C, durante aproximadamente 0,5 a aproximadamente 100 horas, y en una realización aproximadamente 0,5 a aproximadamente 24 horas. En una realización, el catalizador se puede secar durante aproximadamente 12 horas a aproximadamente 90 °C y luego a aproximadamente 110-120 °C durante aproximadamente 1-1,5 horas, siendo la temperatura incrementada 90 °C hasta 110-120 °C a una tasa de aproximadamente 0,5-1 °C/min.

El catalizador soportado intermedio de (A) se pueden oxidar y reducir. La secuencia puede implicar (B) reducción, (C) oxidación, (D) reducción, (E) oxidación y (F) reducción. El catalizador soportado se puede oxidar usando la etapa de oxidación (C) y, opcionalmente, la etapa de oxidación (E). El catalizador soportado se puede reducir usando la etapa de reducción (D) y, opcionalmente, las etapas de reducción (B) y/o (F). En una realización, la etapa (A) se puede realizar antes de poner el catalizador en los microcanales de proceso, y las etapas (C) y (D) se pueden realizar después de que el catalizador haya sido colocado en los microcanales de proceso. En una realización, la etapa (A) se puede realizar antes de colocar el catalizador en los microcanales de proceso, y las etapas (B), (C) y (D) se pueden realizar después de que el catalizador haya sido colocado en los microcanales de proceso. En una realización, la etapa (A) se puede realizar antes de colocar el catalizador en los microcanales de proceso, y las etapas (B), (C) y (D) se pueden realizar después de que el catalizador haya sido colocado en los microcanales de proceso. En una realización, las etapas (C), (D), (E) y (F) se pueden realizar después de que el catalizador haya sido colocado en los microcanales de proceso. En una realización, las etapas (B) a (F) se pueden realizar con el catalizador situado en los microcanales de proceso del reactor de microcanales. En una realización, las etapas (A) a (E) se pueden realizar antes de colocar el catalizador en los microcanales de proceso, y la etapa (F) se puede realizar después de que el catalizador se haya colocado en los microcanales de proceso.

La etapa de reducción (B) para el proceso de producción del catalizador de FT puede implicar las etapas de proceso (B-1) a (B-5). Las etapas (B-1) a (B-4) pueden implicar poner en contacto el catalizador soportado con un fluido reductor. La etapa de reducción (B) puede comprender: (B-1) calentar el catalizador soportado desde la temperatura ambiente hasta una primera temperatura en el intervalo desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 500 °C, y en una realización desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 400 °C, y en una realización desde aproximadamente 200 °C hasta aproximadamente 300 °C, y en una realización aproximadamente 250 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 12 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 10 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 5 horas, y en una realización aproximadamente 3,8 horas; (B-2) mantener el catalizador soportado a la primera temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 25 horas, y en una realización durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 20 horas, y en una realización aproximadamente 8 horas; (B-3) calentar el catalizador soportado de (B-2) hasta una segunda temperatura en el intervalo desde aproximadamente 300 °C hasta aproximadamente 600 °C, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 400 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 12 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 10 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 3 horas, y en una realización aproximadamente 2,5 horas; (B-4) mantener el catalizador soportado a la segunda temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 24 horas, y en una realización desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 24 horas, y en una realización durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente 20 horas, y en una realización aproximadamente 12 horas; y (B-5) poner en contacto el catalizador soportado de (B-4) con un fluido inerte y enfriar el catalizador soportado hasta temperatura ambiente durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 48 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente 48 horas, y en una realización aproximadamente 13,2 horas. Las etapas (B-1) a (B-4) se pueden realizar a una presión en el intervalo desde aproximadamente 0,7 hasta aproximadamente 20 atm, y en una realización desde aproximadamente 1,25 hasta aproximadamente 5 atm.

La etapa de oxidación (C) para el proceso de producción del catalizador de FT puede implicar las etapas de proceso (C-1) a (C-3). Las etapas (C-1) y (C-2) puede implicar poner en contacto el catalizador soportado con un fluido oxidante. La etapa de oxidación (C) puede comprender: (C-1) calentar el catalizador soportado desde la temperatura ambiente hasta una primera temperatura en el intervalo desde aproximadamente 150 °C hasta aproximadamente 650 °C, y en una realización desde aproximadamente 200 °C hasta aproximadamente 500 °C, y en una realización aproximadamente 350 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 12 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 6 horas, y en una realización aproximadamente 3,6 horas; (C-2) mantener el catalizador soportado a la primera temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 10 horas, y en una realización durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 3 horas, y en una realización aproximadamente 2 horas; y (C-3) poner en contacto el catalizador soportado con un fluido inerte y enfriar el catalizador soportado hasta temperatura ambiente durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 48 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 48 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 30 horas, y en una realización aproximadamente 18,1 horas. Las etapas (C-1) a (C-3) se pueden realizar a una presión en el intervalo desde aproximadamente 0,7 hasta aproximadamente 20 atm, y en una realización desde aproximadamente 1,25 hasta aproximadamente 5 atm.

La etapa de reducción (D) para el catalizador de FT puede implicar las etapas de proceso (D-1) a (D-5). Las etapas (D-1) a (D-4) puede implicar poner en contacto el catalizador soportado con un fluido reductor. La etapa de reducción (D) puede comprender: (D-1) calentar el catalizador soportado hasta una primera temperatura en el intervalo desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 500 °C, y en una realización desde aproximadamente 200 °C hasta aproximadamente 300 °C, y en una realización aproximadamente 250 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 12 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 8 horas, y en una realización aproximadamente 3,8 horas; (D-2) mantener el catalizador soportado a la primera temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 25 horas, y en una realización se realiza a una presión en el intervalo desde aproximadamente 0,7 hasta aproximadamente 20 atm, y en una realización desde aproximadamente 1,25 hasta aproximadamente 5 atm.

La etapa de reducción (F) para el catalizador de FT puede implicar las etapas de proceso (F-1) a (F-5). Estas etapas pueden implicar poner en contacto el catalizador soportado con un fluido reductor. La etapa de reducción (F) puede comprender: (F-1) calentar el catalizador soportado hasta una primera temperatura en el intervalo desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 500 °C, y en una realización desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 400 °C, y en una realización aproximadamente 250 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 20 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 12 horas, y en una realización aproximadamente 3,8 horas; (F-2) mantener el catalizador soportado a la primera temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 48 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 20 horas, y en una realización aproximadamente 12 horas, y en una realización aproximadamente 1 hora; (F-3) calentar el catalizador soportado de (F-2) hasta una segunda temperatura en el intervalo desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 600 °C, y en una realización desde aproximadamente 300 °C hasta aproximadamente 600 °C, y en una realización aproximadamente 375 °C, durante un periodo tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 12 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 5 horas; y en una realización aproximadamente 2,1 horas; (F-4) mantener el catalizador soportado a la segunda temperatura durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 48 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 24 horas, y en una realización aproximadamente 12 horas; y (F-5) poner en contacto el catalizador soportado con un fluido reductor a una presión en el intervalo desde aproximadamente 0,7 hasta aproximadamente 75 atm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 50 atm, y en una realización aproximadamente 28,2 atm, y enfriar el catalizador soportado hasta una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 60 °C hasta aproximadamente 250 °C, y en una realización desde aproximadamente 100 °C hasta aproximadamente 230 °C, y en una realización aproximadamente 160 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 40 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 20 horas. Las etapas (F-1) a (F-4) se pueden realizar a una presión en el intervalo desde aproximadamente 0,7 hasta aproximadamente 20 atm, y en una realización desde aproximadamente 1,25 hasta aproximadamente 5 atm.

Las etapas de proceso usadas en etapas de reducción (B), (D) y (F) para el catalizador de FT, que implican poner en contacto el catalizador soportado con un fluido reductor, pueden implicar el uso de hidrógeno, hidracina, o una mezcla de los mismos, como medio reductor. Se puede usar una mezcla gaseosa que comprende hidrógeno y al menos un gas inerte. El gas inerte puede ser nitrógeno, helio o argón. La concentración de hidrógeno en la mezcla gaseosa puede estar en el intervalo desde aproximadamente el 0,25 hasta aproximadamente el 99,75 % en volumen, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente el 0,25 hasta aproximadamente el 50 %, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente el 0,25 hasta aproximadamente el 20 %, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 10 % en volumen, y en una realización aproximadamente el 5 % en volumen.

Las etapas de proceso usadas en las etapas de oxidación (C) y (E) para producir el catalizador de FT, que implican poner en contacto el catalizador soportado con un fluido oxidante, pueden implicar usar oxígeno, un peróxido (por ejemplo, peróxido de hidrógeno) o una mezcla de los mismos. Se puede usar una mezcla gaseosa que comprende oxígeno y al menos un gas inerte. El gas inerte puede ser nitrógeno, helio o argón. La concentración de oxígeno en la mezcla gaseosa puede estar en el intervalo desde aproximadamente el 0,25 hasta aproximadamente el 100 % en volumen, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente el 0,25 hasta aproximadamente el 50 %, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente el 0,25 hasta aproximadamente el 20 %, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente el 0,5 hasta aproximadamente el 10 % en volumen, y en una realización aproximadamente el 2 % en volumen.

El fluido inerte usado en las etapas (B-5), (C-3), (D-5) y (E-3) para producir el catalizador de FT puede ser un gas inerte. El gas inerte puede comprender nitrógeno, helio, argón, o una mezcla de dos o más de los mismos.

La conversión de CO en el proceso de FT en una base molar puede ser aproximadamente del 40 % o superior por

ciclo, y en una realización aproximadamente del 50 % o superior, y en una realización aproximadamente del 55 % o superior, y en una realización de aproximadamente el 60 % o superior, y en una realización de aproximadamente el 65 % o superior, y en una realización de aproximadamente el 70 % o superior. El término "ciclo" se usa en el presente documento para referirse a un único pase de los reactantes a través de los microcanales de proceso. La alimentación durante un ciclo puede comprender constituyentes de un ciclo previo.

El producto de reacción de FT comprende una mezcla de hidrocarburos en donde desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 98 % en peso de la mezcla hierve a una temperatura inferior a aproximadamente 400 °C a presión atmosférica; desde aproximadamente el 10 hasta aproximadamente el 100 % en peso hierve a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 150 hasta aproximadamente 350 °C; desde aproximadamente el 1 hasta aproximadamente el 100 % en peso hierve a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 200 hasta aproximadamente 300 °C; y desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100 % en peso hierve a una temperatura superior a aproximadamente 150 °C.

El producto puede comprender una mezcla de hidrocarburos en donde al menos aproximadamente el 10 % en peso, y en una realización desde aproximadamente el 20 % hasta aproximadamente el 50 % en peso, hierve a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 25 °C hasta aproximadamente 350 °C a presión atmosférica; y/o al menos aproximadamente el 5 % en peso, y en una realización al menos aproximadamente el 10 % en peso, y en una realización al menos aproximadamente el 25 % en peso, hierve a una temperatura superior a aproximadamente 350 °C a presión atmosférica.

El producto puede comprender una mezcla de hidrocarburos en donde al menos aproximadamente el 5 % en peso de la mezcla comprende hidrocarburos con un peso molecular medio numérico de al menos aproximadamente 500, y en una realización al menos aproximadamente 1000, y en una realización al menos aproximadamente 5000.

La selectividad hacia el metano en el producto producido por el proceso de FT en una base molar puede ser aproximadamente del 25 % o menos, y en una realización aproximadamente del 20 % o menos, y en una realización aproximadamente del 15 % o menos, y en una realización aproximadamente del 12 % o menos, y en una realización aproximadamente del 10 % o menos. El rendimiento de producto para el proceso de FT en una base molar puede ser aproximadamente del 25 % o superior por ciclo, y en una realización aproximadamente del 30 % o superior, y en una realización aproximadamente del 40 % o superior por ciclo. El rendimiento se puede basar en todos los productos que contienen carbono con al menos 5 átomos de carbono. En una realización, la conversión de CO para el proceso de FT puede ser de al menos aproximadamente el 50 %, la selectividad hacia el metano pueden ser de aproximadamente el 15 % o menos, y el rendimiento de producto puede ser de al menos aproximadamente el 35 % por ciclo.

El peso de consumo volumétrico de CO puede ser al menos aproximadamente 10 g-mol/kg-cat/h de catalizador activo, y en una realización desde aproximadamente 40 hasta aproximadamente 70 g-25 mol/kg-cat/h. La selectividad hacia el metano en una base molar puede ser inferior a aproximadamente el 15 % por ciclo, y en una realización inferior a aproximadamente el 12 % por ciclo, y en una realización inferior a aproximadamente el 10 % por ciclo.

El producto de reacción de FT formado por el proceso de FT puede comprender una fracción de producto gaseoso y una fracción de producto líquido. La fracción de producto gaseoso puede incluir hidrocarburos que hierven por debajo de aproximadamente 350 °C a presión atmosférica (por ejemplo, gases de cola a destilados medios). La fracción de producto líquido (la fracción de condensado) puede incluir hidrocarburos que hierven por encima de aproximadamente 350 °C (por ejemplo, gasoil de vacío a parafinas pesadas). El separador usado para separar estas fracciones puede ser de diseño convencional o puede ser un separador de microcanales. El separador de microcanales puede comprender una pluralidad de microcanales de proceso, por ejemplo, aproximadamente 10 o más microcanales de proceso paralelos.

La fracción de producto de FT que hierve por debajo de aproximadamente 350 °C se puede separar en una fracción de gas de cola y una fracción de condensado, por ejemplo, parafinas normales de aproximadamente 5 a aproximadamente 20 átomos de carbono e hidrocarburos de mayor ebullición, usando, por ejemplo, un separador de vapor-líquido de alta presión y/o menor temperatura, o separadores de baja presión, o una combinación de separadores. La fracción que hierve por encima de aproximadamente 350 °C (la fracción de condensado) se puede separar en una fracción de cera que hierve en el intervalo de aproximadamente 350 °C a aproximadamente 650 °C después de retirar una o más fracciones que hierven por encima de aproximadamente 650 °C. La fracción de cera puede contener parafinas lineales de aproximadamente 20 a aproximadamente 50 átomos de carbono con cantidades relativamente pequeñas de parafinas ramificadas de mayor ebullición. La separación se puede efectuar usando destilación fraccionada.

El producto de FT puede incluir metano, cera y otros productos pesados de alto peso molecular. El producto puede incluir olefinas, tales como etileno, parafinas normales e iso-parafinas, y combinaciones de los mismos. Estos pueden incluir hidrocarburos en los intervalos de combustible de destilado, que incluye los intervalos de combustible para aviación o diésel.

La ramificación para el producto de FT puede ser ventajosa en varios usos finales, particularmente cuando se deseen elevados índices de octanaje y/o reducidos puntos de fluidez.

5 El grado de isomerización puede ser superior a aproximadamente 1 mol de isoparafina por mol de n-parafina, y en una realización aproximadamente 3 moles de isoparafina por mol de n-parafina. Cuando se usa en una composición de combustible diésel, el producto puede comprender una mezcla de hidrocarburos que tiene un índice de cetano de al menos aproximadamente 60.

10 Los pesos moleculares más altos para los productos de FT, por ejemplo ceras, pueden o aislarse y usarse directamente, o hacerse reaccionar para formar productos de menor peso molecular. Por ejemplo, los productos de alto peso molecular pueden ser hidrocraqueados para proporcionar productos de menor peso molecular, aumentando el rendimiento de los combustibles líquidos. Hidrocraqueo se puede referir a un proceso catalítico, normalmente llevado a cabo en presencia de hidrógeno libre, en el que el craqueo de las moléculas de hidrocarburo más grandes es el objetivo principal de la operación. Los catalizadores usados en llevar a cabo las operaciones de hidrocraqueo se conocen bien en la técnica; véanse, por ejemplo, las patentes de EE. UU. 4.347.121 y 4.810.357, para sus descripciones de hidrotratamiento, hidrocraqueo y catalizadores usados en cada proceso. El producto formado por el proceso de FT se puede procesar adicionalmente para formar un aceite de base lubricante o combustible diésel. Por ejemplo, el producto producido por el proceso de FT se puede hidrocraquear y entonces se somete a destilación y/o isomerización catalítica para proporcionar un aceite de base lubricante, combustible diésel y similares.

25 Los productos de hidrocarburo producidos por el proceso de FT se pueden hidroisomerizar usando el proceso desvelado en las patentes de EE. UU. 6.103.099 o 6.180.575; hidrocraquear e hidroisomerizar usando el proceso desvelado en las patentes de EE. UU. 4.943.672 o 6.096.940; descercar usando el proceso desvelado en la patente de EE. UU. 5.882.505; o hidroisomerizar y descercar usando el proceso desvelado en las patentes de EE. UU. 6.013.171, 6.080.301 o 6.165.949.

30 El proceso de síntesis de FT se puede realizar en un reactor de microcanales que se aloja en una unidad móvil o transportable. El proceso de FT se puede realizar en combinación con un proceso de hidrocraqueo en una única planta o unidad móvil o en múltiples unidades que pueden usar un aparato de conexión, por ejemplo, una conexión de tubería con bridas, para conectar el equipo de proceso.

35 El proceso de síntesis de FT se puede realizar en combinación con un proceso de reformado con vapor de agua u otro proceso de producción de sintegás. El reactor de microcanales se puede ubicar cerca de una alimentación que produce sintegás, tal como una tubería de gas natural, mina de carbón, fuente de gas geológico, fuente de gas de vertedero, gas de alta mar y similares. El equipo de intercambio de calor, el equipo de separación y similares, que pueden estar en forma de intercambiadores de calor de microcanales, separadores de microcanales, etc., se pueden combinar con el reactor de microcanales del proceso de FT. El proceso puede tener cualquier capacidad de producción, por ejemplo, el proceso puede tener una capacidad de producción que varía desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 5000 barriles por día de producto líquido. Se pueden usar uno o más procesos de síntesis de FT en microcanales dispuestos en serie o en paralelo para lograr la capacidad y/o calidad del producto deseado.

45 El proceso para realizar las reacciones anteriores se puede describir con referencia a la Fig. 2. Con referencia a la Fig. 2, el proceso se puede realizar usando el reactor de microcanales 100, que comprende un núcleo de reactor de microcanales 102, una cabeza de corriente de alimentación 104 y cola de producto 106. El reactor de microcanales 100 puede comprender además una cabeza de entrada de fluido de intercambio de calor 108 y una cola de salida de fluido de intercambio de calor 110. El núcleo de reactor 102 puede comprender una o más unidades repetidas. Cada una de las unidades repetidas puede comprender uno o más microcanales de proceso.

50 Las unidades repetidas pueden estar en forma de unidades repetidas de adición escalonada, que pueden comprender uno o más microcanales de proceso y uno o más segundos canales de corriente de reactante. Las secciones con aberturas pueden estar situadas en paredes comunes entre los microcanales de proceso y segundos canales de corriente de reactante. Los ejemplos de estos se muestran en las Fig. 15-17. En una realización, dos o más microcanales de proceso pueden estar situados adyacentes a cada segundo canal de corriente de reactante. En una realización, dos o más segundos canales de corriente de reactante pueden estar situados adyacentes a cada microcanal de proceso.

60 Uno o más catalizadores en forma sólida pueden estar presentes en las zonas de reacción. El catalizador puede comprender catalizadores homogéneos inmovilizados sobre soportes sólidos. Los catalizadores pueden ser catalizadores graduados.

65 Cada microcanal de proceso puede comprender una zona de procesamiento que contiene una o más obstrucciones internas y una zona de reacción que contiene una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador. La una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden contener aberturas para permitir que los reactantes circulen a través de la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador y el contacto del

catalizador. La una o más obstrucciones internas y la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden tener la misma estructura o sus estructuras pueden ser diferentes. La una o más obstrucciones internas pueden comprender una o más características superficiales formadas en y/o que se proyectan de una o más paredes interiores del microcanal de proceso. La una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden comprender características superficiales que se proyectan desde una o más paredes interiores del microcanal de proceso. La una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden comprender un catalizador recubierto sobre la una o más estructuras o crecido sobre la una o más estructuras. El catalizador puede comprender sólidos en partículas que se ponen en contacto con la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador. La una o más obstrucciones internas pueden tener al menos una dimensión perpendicular a la dirección del flujo neto para el flujo de fluidos en la zona de procesamiento que es mayor que el diámetro de las aberturas en la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador. La Fig. 46 es una ilustración esquemática de la zona de reacción en donde la zona de reacción contiene una pluralidad de submicrocanales paralelos, cada uno de los cuales puede contener uno o más catalizadores. La Fig. 47 es una ilustración esquemática de una zona de procesamiento y dos zonas divisoras. Las dos zonas divisoras están situadas aguas abajo de la zona de procesamiento. La zona de procesamiento contiene obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) para interrumpir el flujo de fluido en la zona de procesamiento. La Fig. 48 es una ilustración esquemática de dos zonas divisoras en donde la mezcla de reactantes se subdivide dos veces para proporcionar corrientes de reactante con diámetros progresivamente más pequeños. Las corrientes de reactante se agitan, siendo el resultado que se forma un vórtex en cada una de las corrientes. La agitación se puede efectuar haciendo circular las corrientes de reactante en contacto con una o más características superficiales.

La Fig. 49 es una ilustración esquemática de un microcanal de proceso que contiene capas de características superficiales y una pluralidad de corrientes de agitación de la mezcla de reactantes. La agitación de las corrientes de reactante se puede efectuar haciendo circular las corrientes de reactante en contacto con la capas de características superficiales. La Fig. 50 es una ilustración esquemática que muestra las corrientes de mezcla de reactantes de la Fig. 49 que circulan en submicrocanales dentro de un microcanal de proceso.

La Fig. 51 es una ilustración esquemática que muestra una pluralidad de capas de corrientes de agitación de la mezcla de reactantes, estando cada una de las capas separada por capas de características superficiales. Las características superficiales efectúan la agitación de las corrientes de mezcla de reactantes a medida que las corrientes de reactante circulan en contacto con las características superficiales. La Fig. 52 es una ilustración esquemática que muestra las corrientes de mezcla de reactantes de la Fig. 51 que circulan en submicrocanales dentro del microcanal de proceso.

La Fig. 53 es una ilustración esquemática de una pluralidad de submicrocanales que se pueden usar en la zona de reacción. El submicrocanal del lado izquierdo de la Fig. 53 contiene características superficiales grabadas para modificar el flujo dentro del submicrocanal.

La Fig. 54 es una ilustración esquemática de un submicrocanal en donde las paredes interiores están festoneadas. Las paredes interiores festoneadas se pueden usar para controlar el espesor de película y potenciar la reactividad dentro del submicrocanal.

Las Fig. 55-57 son ilustraciones esquemáticas de obstrucciones internas y/o estructuras para el contacto y/o soporte de un catalizador dentro de un microcanal de proceso. Las obstrucciones internas y/o estructuras comprenden una pluralidad de ángulos oblicuos interconectados que se proyectan desde una pared interior del microcanal de proceso. El microcanal de proceso tiene una trayectoria abierta adyacente a los ángulos oblicuos interconectados. La Fig. 55 es una ilustración esquemática de una vista en sección transversal de un microcanal de proceso que contiene las obstrucciones internas y/o estructuras. La Fig. 56 es una vista en planta desde arriba del microcanal de proceso ilustrado en la Fig. 55 con la pared superior transparente para ver los ángulos oblicuos interconectados subyacentes. La Fig. 57 es una vista tridimensional de la estructura ilustrada en las Fig. 55 y 56. La pared superior en la Fig. 57 está parcialmente cortada para revelar los ángulos oblicuos interconectados subyacentes. Los ángulos oblicuos se pueden denominar características superficiales.

La una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden comprender una pluralidad de submicrocanales paralelos situados en el microcanal de proceso aguas abajo de la zona de procesamiento. Un ejemplo de esto se muestra en la Fig. 46, que muestra un microcanal de proceso que contiene una pluralidad de submicrocanales paralelos. El catalizador puede estar situado en los submicrocanales. El catalizador se puede recubrir sobre una o más paredes interiores del submicrocanal o crecer sobre una o más paredes interiores de los submicrocanales. El catalizador puede comprender partículas sólidas en los submicrocanales.

Una o más zonas divisoras pueden estar situadas entre la zona de procesamiento y la zona de reacción. Las ilustraciones esquemáticas de zonas divisoras que se pueden usar se muestran en las Fig. 47 y 48. Cada zona divisora se puede usar para dividir una corriente de la mezcla de reactantes en dos o más corrientes pequeñas. En una realización, dos o más zonas divisoras pueden estar situadas entre la zona de procesamiento y la zona de reacción. Las dos o más zonas divisoras pueden estar situadas en orden secuencial, estando una zona divisora aguas abajo de la siguiente zona divisora.

Las características superficiales pueden estar situadas en y/o sobre una o más paredes interiores de los submicrocanales. Estas características superficiales pueden estar grabadas en una o más paredes interiores de los submicrocanales. Esto se muestra en la Fig. 53. Las paredes interiores de los submicrocanales pueden estar festoneadas. Esto se muestra en la Fig. 54.

La una o más obstrucciones internas y/o la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden comprender una pluralidad de ángulos oblicuos interconectados que se proyectan desde una pared interior del microcanal de proceso. El microcanal de proceso puede tener una trayectoria abierta adyacente a los ángulos oblicuos interconectados. Esto se muestra en las Fig. 55-57. Los ángulos oblicuos se pueden denominar características superficiales.

La relación entre la longitud de la zona de reacción y la longitud de la zona de procesamiento puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1000, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1000, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 100, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100. La relación entre la longitud de la zona de reacción y la longitud de la una o más zonas divisoras puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1000, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 1000, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 100, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100.

En una realización, cada microcanal de proceso puede contener al menos una primera zona de procesamiento con una primera área en sección transversal abierta aguas arriba de la zona de reacción y al menos una segunda zona de procesamiento con una segunda área en sección transversal abierta. La zona de reacción puede comprender la segunda zona de procesamiento. Alternativamente, la segunda zona de procesamiento puede estar situada entre la zona de reacción y la primera zona de procesamiento. La segunda área en sección transversal abierta puede ser más pequeña que la primera área en sección transversal abierta. El área en sección transversal de la segunda zona de procesamiento puede ser más estrecha que el área en sección transversal de la primera zona de procesamiento. La segunda zona de procesamiento puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, objetos esféricos, características superficiales, catalizador, soportes de catalizador, etc.) que puede proporcionar un área en sección transversal abierta reducida para la segunda zona de procesamiento. Cada microcanal de proceso puede comprender además al menos una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción. El área en sección transversal de la zona adicional puede ser la misma que o mayor que el área en sección transversal de la zona de reacción.

El núcleo de reactor de microcanales 102 puede comprender además una fuente de calor y/o sumidero de calor en contacto térmico con los microcanales de proceso. La fuente de calor y/o sumidero de calor pueden comprender uno o más canales de intercambio de calor adyacentes a y/o en contacto térmico con los microcanales de proceso, y en una realización los segundos canales de corriente de reactante. Los canales de intercambio de calor pueden ser microcanales. Cuando la reacción que se realiza en los microcanales de proceso es una reacción exotérmica, la fuente de calor y/o sumidero de calor se pueden usar para proporcionar refrigeración a los microcanales de proceso. Cuando la reacción que se realiza en los microcanales de proceso es una reacción endotérmica, la fuente de calor y/o sumidero de calor se pueden usar para proporcionar calor a los microcanales de proceso. Se pueden emplear diversas combinaciones de calentamiento y refrigeración para proporcionar perfiles de temperatura deseados dentro de los microcanales de proceso y a lo largo de la longitud de los microcanales de proceso, y en una realización dentro de y a lo largo de la longitud de los segundos canales de corriente de reactante.

La cabeza de corriente de alimentación 104 puede comprender uno o más colectores para distribuir los reactantes a los microcanales de proceso. Los reactantes se pueden mezclar aguas arriba de la cabeza de corriente de alimentación 104 y/o en la cabeza de corriente de alimentación 104. La cabeza de corriente de alimentación 104 se puede usar para distribuir uno o más reactantes líquidos o primeros reactantes a los microcanales de proceso, y uno o más reactantes gaseosos o segundos reactantes a los segundos canales de corriente de reactante. La cola de producto 106 puede comprender uno o más colectores para recoger el producto de los microcanales de proceso.

Uno o más reactantes líquidos o primeros reactantes y uno o más reactantes gaseosos o segundos reactantes pueden entrar dentro de la cabeza de corriente de alimentación 104, como se indica por la flecha 112. El reactante líquido o primer reactante y el reactante gaseoso o segundo reactante pueden ser premezclados aguas arriba de la cabeza 104 y luego entrar y atravesar la cabeza de corriente de alimentación 104 en los microcanales de proceso. El reactante líquido o primer reactante y el reactante gaseoso o segundo reactante pueden entrar en la cabeza de corriente de alimentación 104 por separado, formar una mezcla de reactantes en la cabeza de corriente de alimentación, y entonces entrar de los microcanales de proceso. El reactante líquido o primer reactante y el reactante gaseoso o segundo reactante pueden atravesar la cabeza de corriente de alimentación 104 por separado, y entonces se mezclan en los microcanales de proceso. El reactante líquido o primer reactante puede atravesar la cabeza de corriente de alimentación 104 y desde la cabeza de corriente de alimentación 104 entrar en uno o más microcanales de proceso en el núcleo de reactor 102. El reactante gaseoso o segundo reactante puede atravesar la cabeza de corriente de alimentación 104 y desde la cabeza 104 entrar en uno o más de los microcanales de

- proceso. Alternativamente, el reactante gaseoso o segundo reactante puede atravesar la cabeza de corriente de alimentación 104 dentro de uno o más segundos canales de corriente de reactante en el núcleo de reactor 102, y luego circular desde los segundos canales de corriente de reactante en los microcanales de proceso y ponerse en contacto y mezclar con el reactante líquido o primer reactante en los microcanales de proceso. Las secciones con aberturas pueden estar situadas en paredes comunes entre los segundos canales de corriente de reactante y los microcanales de proceso, y el reactante gaseoso o segundo reactante puede circular desde los segundos canales de corriente de reactante a través de las secciones con aberturas en los microcanales de proceso.
- La mezcla de reactantes puede circular en la zona de procesamiento en contacto con la una o más obstrucciones internas para potenciar la mezcla del reactante líquido o primer reactante y el reactante gaseoso o segundo reactante, y entonces circular en aberturas en la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador y contacto del catalizador. Los reactantes pueden reaccionar entre sí en presencia del catalizador.
- En una realización, ambos de los reactantes pueden atravesar la primera zona de procesamiento y entonces a través de la segunda zona de procesamiento. El reactante líquido o primer reactante y el reactante gaseoso o segundo reactante pueden ponerse en contacto con el catalizador, formar una capa de película de líquido sobre el catalizador, y reaccionar para formar al menos un producto
- El producto puede circular desde los microcanales de proceso hasta y a través de la cola de producto 106, y desde la cola de producto 106 del reactor de microcanales, como se indica por la flecha 114. Los reactantes sin reaccionar y cualquier diluyente que pueda estar presente también pueden circular desde los microcanales de proceso a través de la cola 106. Aunque una ventaja del proceso es que se puede obtener un alto nivel de conversión en el producto deseado con un pase a través del reactor de microcanales, uno o más reactantes sin reaccionar se pueden separar del producto usando técnicas convencionales o de microcanales y recirculando a través del reactor de microcanales. Los reactantes sin reaccionar se pueden recircular a través del reactor de microcanales cualquier número de veces, por ejemplo, una, dos, tres, cuatro veces, etc.
- El proceso de reacción puede ser exotérmico o endotérmico. Para controlar la reacción, se puede transferir calor entre los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante, y una fuente de calor y/o sumidero de calor. Es decir, durante el proceso de reacción, los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante se pueden calentar usando una fuente de calor y/o refrigerar usando un sumidero de calor. La fuente de calor y/o el sumidero de calor pueden estar adyacentes a los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante. Alternativamente, la fuente de calor y/o el sumidero de calor pueden estar alejados de, es decir, no adyacentes a, los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante, pero en contacto térmico con los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante.
- La fuente de calor y/o el sumidero de calor pueden comprender uno o más canales de intercambio de calor que contienen un fluido de intercambio de calor. La fuente de calor puede comprender un elemento calefactor no por fluido, tal como un elemento calefactor eléctrico o un calentador de resistencias.
- El sumidero de calor puede comprender un elemento refrigerante no por fluido, tal como un elemento electrónico de Peltier. Un fluido de intercambio de calor puede entrar y atravesar la cabeza de entrada de fluido de intercambio de calor 108, como se indica por la flecha 116, y desde aquí entrar en el núcleo de reactor 102. El fluido de intercambio de calor puede atravesar canales de intercambio de calor en el núcleo de reactor 102, y entonces circular hasta y a través de una cola de intercambio de calor 110, como se indica por la flecha 118. La transferencia de calor entre los fluidos de proceso, es decir, reactantes y producto, y la fuente de calor y/o sumidero de calor se puede efectuar usando transferencia de calor convectivo. En una realización, la transferencia de calor se puede potenciar usando un fluido de intercambio de calor en donde el fluido de intercambio de calor se somete a una reacción exotérmica o endotérmica y/o a un cambio de fase completo o parcial. Se pueden emplear múltiples zona de intercambio de calor a lo largo de la longitud de los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante para proporcionar diferentes temperaturas en diferentes puntos a lo largo de las longitudes de los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante. Esto puede proporcionar la ventaja de adaptar el perfil de calentamiento y/o refrigeración en los microcanales de proceso y/o segundos canales de corriente de reactante.
- El reactor de microcanales 100 se puede usar en combinación con uno o más recipientes de almacenamiento, bombas, válvulas, colectores, microprocesadores, dispositivos de control de flujo y similares, que no se muestran en los dibujos, pero que serían evidentes para los expertos en la técnica. Unidades repetidas o microcanales de proceso que se pueden usar en el núcleo de reactor 102 pueden incluir los ilustrados en las Fig. 3 y 5-17.
- El núcleo de reactor de microcanales 102 puede contener capas de microcanales de proceso y canales de intercambio de calor alineados los unos al lado de los otros o apilados los unos sobre los otros. Un ejemplo de estas capas de canales se ilustra en la Fig. 3.
- Con referencia a la Fig. 3, las capas de microcanales de proceso 130 y las capas de canales de intercambio de calor 150 se pueden apilar las unas sobre las otras o situar las unas al lado de las otras para proporcionar la unidad repetida 170. La capa de microcanales de proceso 130 comprende una pluralidad de microcanales de proceso 132

que proporcionan el flujo de fluido de proceso (es decir, reactantes y producto). La capa de canales de intercambio de calor 150 comprende una pluralidad de canales de intercambio de calor 152 que proporcionan el flujo de fluido de intercambio de calor. Los canales de intercambio de calor 152 pueden ser microcanales. Para cada capa de intercambio de calor 150, se puede usar una o más capas de microcanales de proceso 130. Por lo tanto, se pueden emplear, por ejemplo, una, dos, tres, cuatro, cinco, seis o más capas de microcanales de proceso 130 con una única capa de canales de intercambio de calor 150. Alternativamente, se pueden emplear dos o más capas de canales de intercambio de calor 150 con cada capa de microcanales de proceso 130. Las capas de canales de intercambio de calor 150 se pueden usar para calentar y/o refrigerar. En una realización, cada capa de microcanales de proceso 130 puede estar situada entre capas de canales de intercambio de calor 150 adyacentes. En una realización, dos o más capas de microcanales de proceso 130 pueden estar situadas adyacentes entre sí para formar una pila verticalmente u horizontalmente orientada de capas de microcanales de proceso, y una capa de intercambio de calor 150 puede estar situada sobre uno o ambos lados de la pila. En diversas realizaciones, se pueden usar segundos canales de corriente de reactante, que pueden ser microcanales, en combinación con los microcanales de proceso, y para estas realizaciones una o más capas de los segundos canales de corriente de reactante pueden estar situados adyacentes a cada capa de microcanales de proceso. Alternativamente, una o más capas de microcanales de proceso 130 pueden estar situadas adyacentes a cada segunda capa de corriente de reactante. Cuando se usan las segundas capas de canales de corriente de reactante, los segundos canales de corriente de reactante y microcanales de proceso adyacentes pueden tener paredes comunes con secciones con aberturas en las paredes comunes para proporcionar el flujo del segundo reactante desde los segundos canales de corriente de reactante en los microcanales de proceso. Cada combinación de capas de microcanales de proceso 130, capas de canales de intercambio de calor 150 y segundas capas de canales de corriente de reactante se puede denominar una unidad repetida.

La capa de microcanales 130 puede contener una pluralidad de microcanales 132 alineados en paralelo, extendiéndose cada microcanal de proceso 132 en una dirección vertical a lo largo de la longitud de la capa de microcanales 130 desde el extremo 134 hasta el extremo 136, extendiéndose los microcanales de proceso 132 a lo largo de la anchura de la capa de microcanales 130 desde el extremo 138 hasta el extremo 140. Tiras de unión 142 y 144 pueden estar situadas en los extremos 138 y 140, respectivamente, de la capa de microcanales 130 para permitir la unión de la capa de microcanales 130 a la siguiente capa adyacente, es decir, capa de intercambio de calor 150, capa de microcanales de proceso 130 o segunda capa de canales de corriente de reactante. Alternativamente, el reactor de microcanales puede ser fabricado por métodos que no requieren tiras de unión. Por ejemplo, el reactor de microcanales puede ser fabricado usando hojas con características grabadas. Un catalizador puede estar situado en los microcanales de proceso 132. Las áreas dentro del microcanal de proceso 132 que contienen el catalizador se pueden denominar zonas de reacción.

En una realización, cada microcanal de proceso 132 puede comprender una zona de procesamiento que contiene una o más obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) y una zona de reacción que contiene una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador. La una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador pueden contener aberturas para permitir que los reactantes circulen a través de la una o más estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador y contacto del catalizador. En una realización, una o más zonas divisoras pueden estar situadas entre la zona de procesamiento y la zona de reacción.

En una realización, cada microcanal de proceso 132 puede contener al menos una primera zona de procesamiento, que puede tener una primera área en sección transversal abierta y puede estar situada aguas arriba de la zona de reacción, y al menos una segunda zona de procesamiento, que puede tener una segunda área en sección transversal abierta. La segunda zona de procesamiento puede estar en la zona de reacción y/o entre la zona de reacción y la primera zona de procesamiento. La segunda área en sección transversal abierta puede ser más pequeña que la primera área en sección transversal abierta. El área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento puede ser más estrecha que el área en sección transversal abierta de la primera zona de procesamiento como resultado de las paredes laterales de los microcanales que se desvían de la primera zona de procesamiento a la segunda zona de procesamiento. La segunda zona de procesamiento puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, objetos esféricos, características superficiales, catalizador, soportes de catalizador, etc.) que proporcionan un área en sección transversal abierta reducida para la segunda zona de procesamiento. Cada microcanal de proceso puede comprender además al menos una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción. El área en sección transversal de la zona adicional puede ser la misma que o mayor que el área en sección transversal de la zona de reacción.

El flujo de fluido de proceso, es decir, reactantes y producto, en los microcanales de proceso 132 puede estar en la dirección indicada por las flechas 146 y 148. Cada uno de los microcanales de proceso 132 puede tener una sección transversal que tiene cualquier forma, por ejemplo, un cuadrado, rectángulo, círculo, semicírculo, etc. La altura interna de cada microcanal de proceso 132 se puede considerar que es la distancia vertical u horizontal o el hueco entre la capa de microcanales 130 y la siguiente capa adyacente, es decir, la capa de intercambio de calor 150, la capa de microcanales de proceso 130 o la segunda capa de corriente de reactante.

La capa de canales de intercambio de calor 150 puede contener una pluralidad de canales de intercambio de calor 152 alineados en paralelo, extendiéndose cada canal de intercambio de calor 152 horizontalmente a lo largo de la

anchura de la capa de microcanales 150 desde el extremo 154 hasta el extremo 156, extendiéndose los canales de intercambio de calor 152 a lo largo de la longitud de la capa de canales 150 desde el extremo 158 hasta el extremo 160 de la capa de canales 150. Los canales de intercambio de calor 152 pueden ser microcanales. Las tiras de unión 162 y 164 pueden estar situadas en los extremos 154 y 156, respectivamente, de la capa de canales 150 para permitir la unión de la capa de canales 150 a la siguiente capa de microcanales de proceso 130 adyacente o segunda capa de canales de corriente de reactante. Alternativamente, el reactor de microcanales puede ser fabricado por métodos que no requieren tiras de unión. Por ejemplo, el reactor de microcanales puede ser fabricado usando hojas con características grabadas. El fluido de intercambio de calor puede circular en los canales de intercambio de calor 152 en la dirección indicada por las flechas 166 y 168. El flujo de fluido de intercambio de calor en la dirección indicada por las flechas 166 y 168 es en corriente cruzada al flujo de reactante y producto que atraviesa los microcanales de proceso 132 como se indica por las flechas 146 y 148. Alternativamente, los canales de intercambio de calor 152 pueden estar orientados para hacer circular el fluido de intercambio de calor a lo largo de la anchura de la capa de canales 150 desde el extremo 158 hasta el extremo 160 o desde el extremo 160 hasta el extremo 158. Esto daría como resultado el flujo de fluido de intercambio de calor en una dirección que sería en paralelo o en contracorriente al flujo de fluido de proceso en los microcanales de proceso 132. Cada uno de los canales de intercambio de calor 152 puede tener una sección transversal que tiene cualquier forma, por ejemplo, un cuadrado, rectángulo, círculo, semicírculo, etc. La altura interna o hueco de cada canal de intercambio de calor 152 se puede considerar que es la distancia vertical u horizontal o el hueco entre la capa de microcanales de intercambio de calor 150 y la siguiente capa adyacente, es decir, la capa de microcanales de proceso 130 o la segunda capa de corriente de reactante.

Los microcanales de proceso 132 y los canales de intercambio de calor 152 se pueden alinear como se proporciona en la unidad repetida 170a. La unidad repetida 170a se ilustra en la Fig. 5. Con referencia a la Fig. 5, el microcanal de proceso 132 está situado adyacente a la capa de microcanales 150 que contiene canales de intercambio de calor 152. Una pared 171 común separa el microcanal de proceso 132 de la capa de canales de intercambio de calor 150. Esta pared común se puede denominar una pared de transferencia de calor. Un catalizador 172 está situado en el microcanal de proceso 132. El catalizador 172, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador 172 puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. El catalizador 172 está situado en la zona de reacción 173. La zona de reacción 173 puede comprender la segunda zona de procesamiento 174. La zona de procesamiento 175 está situada aguas arriba de la zona de reacción 173. En una realización, la zona de procesamiento 175 puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) para potenciar la mezcla de los reactantes. En una realización, la zona de procesamiento 175 se puede denominar una primera zona de procesamiento. La zona adicional 176 está situada aguas abajo de la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 puede tener un área en sección transversal abierta más pequeña que la zona de procesamiento 175 como resultado del catalizador 172 que está situado en la segunda zona de procesamiento 174. El área en sección transversal de la zona adicional 176 puede ser el mismo que el área en sección transversal de la zona de reacción 173. Los reactantes circulan en el microcanal de proceso 132 en la dirección indicada por la flecha 146, se ponen en contacto con el catalizador 172 y reaccionan formando el producto deseado. Los reactantes pueden atravesar la zona de procesamiento 175 y luego atravesar la segunda zona de procesamiento 174, que puede dar como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Se puede formar una capa de película de líquido sobre el catalizador 172. Sin embargo, la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de reducir el espesor de la capa de película de líquido. El producto, y en una realización los reactantes sin reaccionar y/o diluyentes, pueden salir del microcanal de proceso 132 como se indica por la flecha 148. La capa de canales 150 puede formar una o más zonas de intercambio de calor. El fluido de intercambio de calor puede atravesar los canales de intercambio de calor 152 en una dirección que es en corriente cruzada al flujo del fluido de proceso en el microcanal de proceso 132.

Los microcanales de proceso y los canales de intercambio de calor se pueden alinear como se proporciona en la unidad repetida 170b. La unidad repetida 170b, que se ilustra en la Fig. 6, es idéntica a la unidad repetida 170a ilustrada en la Fig. 5, con la excepción de que la capa de canales de intercambio de calor 150 en la Fig. 6 está girada 90 grados de la posición mostrada en la Fig. 5 y el fluido de intercambio de calor que entra en el canal de intercambio de calor 152 circula en la dirección indicada por las flechas 166a y 168a, que es en contracorriente al flujo de fluido de proceso en el microcanal de proceso 132. Alternativamente, el fluido de intercambio de calor puede circular en la dirección opuesta a la indicada por las flechas de dirección 166a y 168a y así proporcionar el flujo de fluido de intercambio de calor a través del canal de intercambio de calor 152 en una dirección que sería en paralelo con respecto a la dirección del fluido de proceso en el microcanal de proceso 132.

Los microcanales de proceso y los canales de intercambio de calor se pueden alinear como se proporciona en la unidad repetida 170c. La unidad repetida 170c se ilustra en la Fig. 7. Con referencia a la Fig. 7, el microcanal de proceso 132a está situado adyacente a la zona de intercambio de calor 151. La zona de intercambio de calor 151 contiene una pluralidad de canales de intercambio de calor 152 alineados en paralelo los unos con respecto a los otros, extendiéndose cada canal de intercambio de calor 152 longitudinalmente en un ángulo recto con respecto a la dirección longitudinal del microcanal de proceso 132a. La zona de intercambio de calor 151 puede ser más corta en longitud que el microcanal de proceso 132a. La zona de intercambio de calor 151 se puede extender longitudinalmente desde o cerca de la entrada 134a al microcanal de proceso 132a hasta un punto a lo largo de la

longitud del microcanal de proceso 132a cerca de la salida 136a hacia el microcanal de proceso 132a. En una realización, la longitud de la zona de intercambio de calor 151 puede ser de hasta aproximadamente el 100 % de la longitud del microcanal de proceso 132a, y en una realización la longitud de la zona de intercambio de calor 151 puede ser desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 100 % de la longitud del microcanal de proceso 132a, y en una realización la longitud de la zona de intercambio de calor 151 puede ser desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 50 % de la longitud del microcanal de proceso 132a, y en una realización la longitud de la zona de intercambio de calor 151 puede ser desde aproximadamente el 50 % hasta aproximadamente el 100 % de la longitud del microcanal de proceso 132a. La anchura del microcanal de proceso 132a puede expandirse o extenderse en el área aguas abajo del extremo 153 de la zona de intercambio de calor 151. Esta disposición puede proporcionar la ventaja de intercambio de calor (es decir, refrigeración o calentamiento) en o cerca de la entrada 134a al microcanal de proceso 132a, así como a partes del microcanal de proceso 132a aguas abajo de la entrada. Un catalizador 172 está situado en el microcanal de proceso 132a. El catalizador 172, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador 172 puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. El catalizador 172 está situado en la zona de reacción 173. La zona de reacción 173 comprende la segunda zona de procesamiento 174. La zona de procesamiento 175 está situada aguas arriba de la zona de reacción 173. La zona de procesamiento 175 puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) para potenciar la mezcla de los reactantes. La zona de procesamiento 175 se puede denominar una primera zona de procesamiento. La zona adicional 176 está situada aguas abajo de la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 puede tener un área en sección transversal abierta más pequeña que la zona de procesamiento 175 como resultado de que el catalizador 172 esté situado en la segunda zona de procesamiento 174. El área en sección transversal de la zona adicional 176 puede ser el mismo que el área en sección transversal de la zona de reacción 173. Los reactantes entran en el microcanal de proceso 132a en la dirección indicada por la flecha 146, se ponen en contacto con el catalizador 172 y reaccionan formando el producto. Los reactantes pueden atravesar la zona de procesamiento 175 y luego travesar la segunda zona de procesamiento 174 que puede dar como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película de líquido se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de reducir el espesor de la capa de película. El producto, y en una realización los reactantes sin reaccionar y/o diluyentes, pueden salir del microcanal de proceso 132a, como se indica por la flecha 148. El fluido de intercambio de calor atraviesa los canales de intercambio de calor 152 en una dirección que es en corriente cruzada al flujo de fluido de proceso en el microcanal de proceso 132a.

Los microcanales de proceso y los canales de intercambio de calor se pueden alinear como se proporciona en la unidad repetida 170d. La unidad repetida 170d, que se ilustra en la Fig. 8, es idéntica a la unidad repetida 170c ilustrada en la Fig. 7, con la excepción de que la unidad repetida 170d incluye la zona de intercambio de calor 151a adyacente al microcanal de proceso 132a en el lado opuesto del microcanal de proceso 132a de la zona de intercambio de calor 151. La zona de intercambio de calor 151a contiene una pluralidad de canales de intercambio de calor paralelos 152a que son los mismos o similares en tamaño y diseño a los canales de intercambio de calor 152 tratados anteriormente. La zona de intercambio de calor 151a se puede extender longitudinalmente desde o cerca de la entrada 134a al microcanal de proceso 132a hasta un punto a lo largo de la longitud del microcanal de proceso 132a cerca del extremo 153 de la zona de intercambio de calor 151. La longitud de la zona de intercambio de calor 151a puede ser la misma o más corta que la longitud de la zona de intercambio de calor 151. En una realización, la longitud de la zona de intercambio de calor 151a puede ser de hasta aproximadamente el 100 % de la longitud del microcanal de proceso 132a, y en una realización la longitud de la zona de intercambio de calor 151a puede ser desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 100 % de la longitud del microcanal de proceso 132a, y en una realización la longitud de la zona de intercambio de calor 151a puede ser desde aproximadamente el 5 hasta aproximadamente el 50 % de la longitud del microcanal de proceso 132a, y en una realización la longitud de la zona de intercambio de calor 151a puede ser desde aproximadamente el 50 % hasta aproximadamente el 100 % de la longitud del microcanal de proceso 132a. La anchura del microcanal de proceso 132a puede expandirse en las áreas aguas abajo de los extremos 153 y 153a de las zonas de intercambio de calor 151 y 151a, respectivamente. Esta disposición puede proporcionar la ventaja de intercambio de calor (es decir, refrigeración o calentamiento) en o cerca de la entrada 134a al microcanal de proceso 132a, además de partes del microcanal de proceso 132a aguas abajo de la entrada 134a. El uso de las dos zonas de intercambio de calor 151 y 151a de diferentes longitudes puede permitir un nivel de intercambio de calor relativamente alto en el área del microcanal de proceso 132a cerca de su entrada, y un intercambio de calor relativamente moderado en el microcanal de proceso aguas abajo desde aproximadamente el extremo 153a de la zona de intercambio de calor 151a. El catalizador 172 está situado en el microcanal de proceso 132a. El catalizador 172, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador 172 puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrado en los dibujos. El catalizador 172 está situada en la zona de reacción 173. La zona de reacción 173 comprende la segunda zona de procesamiento 174. La zona de procesamiento 175 está situada aguas arriba de la zona de reacción 173. La zona de procesamiento 175 puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) para potenciar la mezcla de los reactantes. La zona de procesamiento 175 se puede denominar una primera zona de procesamiento. La zona adicional 176 está situada aguas abajo de la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 puede tener un área en sección transversal abierta más pequeña que la primera zona de procesamiento 175 como resultado de que el catalizador 172 esté situado en la segunda zona de procesamiento 174. El área en sección transversal de la zona adicional 176 puede ser la misma

que el área en sección transversal de la zona de reacción 173. Los reactantes pueden circular en el microcanal de proceso 132a en la dirección indicada por la flecha 146, se ponen en contacto con el catalizador 172 y reaccionan formando el producto deseado. Los reactantes pueden atravesar la zona de procesamiento 175 y entonces atravesar la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Se puede formar una capa de película líquida sobre el catalizador 172. Sin embargo, la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de reducir el espesor de la capa de película.

El producto, y en una realización los reactantes sin reaccionar y/o diluyente, pueden salir del microcanal de proceso 132a, como se indica por la flecha de dirección 148. El fluido de intercambio de calor atraviesa los canales de intercambio de calor 152 y 152a en una dirección que es en corriente cruzada al flujo de fluido del proceso de reactante en el microcanal de proceso 132a.

La reducción en el área en sección transversal abierta se puede proporcionar por convergencia de las paredes laterales del microcanal de proceso desde el área en sección transversal abierta relativamente grande de la primera zona de procesamiento hasta el área en sección transversal relativamente pequeña de la segunda zona de procesamiento. También se puede lograr proporcionando obstrucciones internas (por ejemplo, objetos esféricos, características superficiales, catalizador, soportes de catalizador, etc.) en la segunda zona de procesamiento que puede tener el efecto de reducir el área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento. La segunda zona de procesamiento puede contener depresiones y proyecciones sinusoidales en las paredes interiores opuestas del microcanal de proceso para proporcionar el área en sección transversal abierta reducida. El cambio en el área en sección transversal abierta de la primera zona de procesamiento a la segunda zona de procesamiento puede ser abrupto o gradual. Puede haber un cambio en el área en sección transversal abierta de la primera zona de procesamiento a la segunda zona de procesamiento o puede haber una pluralidad de cambios. La disminución en el área en sección transversal abierta en la segunda zona de procesamiento puede ir seguida de un aumento en el área en sección transversal en una zona adicional aguas abajo de la zona de reacción. El uso de características superficiales puede ser eficaz cuando se separan lo suficientemente como para reiniciar la capa límite después del último cambio en sección transversal.

El cambio en el área en sección transversal abierta desde un valor relativamente grande en la primera zona de procesamiento hasta un valor relativamente pequeño en la segunda zona de procesamiento puede ser un cambio continuo y suave en la dirección de flujo neto. Esto puede permitir que una corriente gaseosa continúe ejerciendo esfuerzo de cizallamiento sobre la película de líquido con menos preocupación sobre el flujo de gas que se desprende o que pierde una cantidad significativa de esfuerzo de cizallamiento sobre la interface por el desprendimiento de un vórtex de recirculación. Este cambio puede prevenir el desprendimiento de la fase gaseosa, pero puede ayudar a evitarlo durante un intervalo de caudales relativamente amplio. El cambio en el área en sección transversal abierta puede ser continuo con puntos donde el cambio puede no ser diferenciable. El cambio en el área en sección transversal puede ser discontinuo o un cambio escalonado. Esto puede ser vencido en las características superficiales y microranuras usando características angulares en la dirección de flujo para permitir que la capa límite no sea arrastrada en el flujo de líquido y gas.

Las Fig. 9-14 son ilustraciones esquemáticas de los microcanales de proceso 132b-132g que se pueden usar en el núcleo de reactor de microcanales 102 del reactor de microcanales 100 ilustrado en la Fig. 2. Cada uno de estos microcanales de proceso contiene una primera zona de procesamiento y una segunda zona de procesamiento en donde el área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento es más pequeña que el área en sección transversal abierta de la primera zona de procesamiento. La Fig. 9 ilustra un microcanal de proceso 132b que comprende una zona de reacción 173, una primera zona de procesamiento 175 y una segunda zona de procesamiento 174. La zona de reacción 173 comprende la segunda zona de procesamiento 174. La primera zona de procesamiento 175 está aguas arriba de la zona de reacción 173. La zona de reacción 173 tiene un área en sección transversal más pequeña que la primera zona de procesamiento 175. Los reactantes atraviesan la primera zona de procesamiento 175 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película líquida se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, el aumento en la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de proporcionar un espesor reducido de la capa de película. Los reactantes reaccionan en presencia del catalizador para formar el producto. El producto sale del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

La Fig. 10 ilustra el microcanal de proceso 132c que comprende la zona de reacción 173, una primera zona de procesamiento 175 y una segunda zona de procesamiento 174. La primera zona de procesamiento 175 está aguas arriba de la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 está situada entre la primera zona de procesamiento 175 y la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 tiene un área en sección transversal más pequeña que la primera zona de procesamiento 175. Los reactantes atraviesan la primera zona de procesamiento 175 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película de líquido se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, el aumento en la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de proporcionar un espesor reducido de la

capa de película. Los reactantes reaccionan en presencia del catalizador para formar el producto. El producto sale del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

La Fig. 11 ilustra el microcanal de proceso 132d que comprende una zona de reacción 173, una primera zona de procesamiento 175, una segunda zona de procesamiento 174 y una zona adicional 176. La zona de reacción 173 comprende la segunda zona de procesamiento 174. La primera zona de procesamiento 175 está aguas arriba de la zona de reacción 173. La zona adicional 176 está aguas abajo de la zona de reacción 173. La zona de reacción 173 tiene un área en sección transversal más pequeña que la primera zona de procesamiento 175 y la zona adicional 176. Los reactantes atraviesan la primera zona de procesamiento 175 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película líquida se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, el aumento en la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de proporcionar un espesor reducido de la capa de película. Los reactantes reaccionan en presencia del catalizador para formar el producto. El producto sale del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

La Fig. 12 ilustra el microcanal de proceso 132e que comprende una zona de reacción 173, una primera zona de procesamiento 175 y una segunda zona de procesamiento 174. La segunda zona de procesamiento 174 comprende obstrucciones internas 178 que están en forma de objetos esféricos. La segunda zona de procesamiento 174 está situada entre la zona de reacción 173 y la primera zona de procesamiento 175. Como resultado de la presencia de las obstrucciones internas 178 en la segunda zona de procesamiento 174, la segunda zona de procesamiento 174 tiene un área en sección transversal abierta más pequeña que la primera zona de procesamiento 175. Los reactantes atraviesan la primera zona de procesamiento 175 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película líquida se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, el aumento en la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de proporcionar un espesor reducido de la capa de película. Los reactantes reaccionan en presencia del catalizador para formar el producto. El producto sale del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

La Fig. 13 ilustra el microcanal de proceso 132f que comprende una zona de reacción 173, una primera zona de procesamiento 175 aguas arriba de la zona de reacción 173 y una segunda zona de procesamiento 174 situada entre la primera zona de procesamiento 175 y la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 comprende características superficiales 179 sobre las paredes interiores del canal. Las características superficiales 179 proporcionan la reducción del área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento y la modificación del flujo de fluido en la segunda zona de procesamiento 174. Los reactantes atraviesan la primera zona de procesamiento 175 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película líquida se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, el aumento en la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de proporcionar un espesor reducido de la capa de película. Los reactantes reaccionan en presencia del catalizador para formar el producto. El producto sale del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

La Fig. 14 ilustra un microcanal de proceso 132g que comprende una zona de reacción 173, una primera zona de procesamiento 175 aguas arriba de la zona de reacción 173 y una segunda zona de procesamiento 174 situada entre la zona de reacción 173 y la primera zona de procesamiento 175. La primera zona de procesamiento 175 y la segunda zona de procesamiento 174 tienen áreas en sección transversal que son más anchas que el área en sección transversal de la zona de reacción 173. La segunda zona de procesamiento 174 contiene obstrucciones internas 178 en forma de objetos esféricos. La presencia de estas obstrucciones internas tiene el efecto de reducir el área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento 174. Por lo tanto, la segunda zona de procesamiento 174 tiene un área en sección transversal abierta más pequeña que la primera zona de procesamiento 175. Los reactantes atraviesan la primera zona de procesamiento 175 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Una capa de película líquida se forma sobre el catalizador 172. Sin embargo, el aumento en la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 tiene el efecto de proporcionar un espesor reducido de la capa de película. Los reactantes reaccionan en presencia del catalizador para formar el producto. El producto sale del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

La Fig. 15 ilustra la unidad repetida 200 que se puede usar en el núcleo de reactor 102. La unidad repetida 200 está en forma de una unidad repetida de adición escalonada. La unidad repetida 200 comprende el microcanal de proceso 210, el canal de intercambio de calor 220, el segundo canal de corriente de reactante 240 y la sección con aberturas 250. Una pared común 241 separa el microcanal de proceso 210 y el segundo canal de corriente de reactante 240. La sección con aberturas 250, que contiene las aberturas 252 formadas en hoja o placa 256, está situada en la pared común 241. El microcanal de proceso 210 tiene una zona de mezcla 211 y una zona de reacción 212. Un catalizador 215 está situado en la zona de reacción 212. La zona de mezcla 211 está aguas arriba de la zona de reacción 212.

La zona de procesamiento 213 está aguas arriba de la zona de reacción 212 e incluye la zona de mezcla 211. La

zona de procesamiento 213 puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) para potenciar la mezcla de los reactantes. La zona de procesamiento 213 se puede denominar una primera zona de procesamiento. La segunda zona de procesamiento 217 también puede ser la zona de reacción 212. El área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento 217 puede ser más pequeña que el área en sección transversal abierta de la primera zona de procesamiento 213 como resultado de la presencia del catalizador 215 en la segunda zona de procesamiento. El catalizador 215, como se ilustra, está en forma de un lecho de partículas sólidas. Sin embargo, el catalizador 215 puede estar en forma de cualquiera de los catalizadores desvelados en la memoria descriptiva y/o ilustrados en los dibujos. El reactante líquido o primer reactante atraviesa la cabeza de corriente de alimentación 104 y desde aquí entra en el microcanal de proceso 210, como se indica por la flecha 214, y en la zona de mezcla 211. El reactante gaseoso o segundo reactante atraviesa la cabeza de corriente de alimentación 104 y desde aquí entra en el segundo canal de corriente de reactante 240, como se indica por la flecha 242. El reactante gaseoso o segundo reactante circula desde el segundo canal de corriente de reactante 240 a través de la sección con aberturas 250 en la zona de mezcla 211, como se indica por las flechas 254. La dirección de flujo del reactante gaseoso o segundo reactante en el segundo canal de corriente de reactante 240, como se indica por la flecha 242, es en paralelo a la dirección de flujo del reactante líquido o primer reactante en el microcanal de proceso 210, como se indica por la flecha 214. Alternativamente, el flujo del segundo reactante en el segundo canal de corriente de reactante 240 puede ser en contracorriente o en corriente cruzada con respecto al flujo del primer reactante en el microcanal de proceso 210. El reactante líquido o primer reactante y el reactante gaseoso o segundo reactante se ponen en contacto entre sí en la zona de mezcla 211 y forman una mezcla de reactantes. La mezcla de reactantes circula de la zona de mezcla 211 en la zona de reacción 212, se pone en contacto con el catalizador 215 y reacciona formando el producto. Los reactantes atraviesan la zona de procesamiento 213 y entonces atraviesan la segunda zona de procesamiento 217 que da como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 217. Una capa de película líquida se puede formar sobre el catalizador 215. Sin embargo, la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 217 puede tener el efecto de proporcionar un espesor reducido de la capa de película. El producto, y cualquier reactante sin reaccionar y/o diluyente, salen del microcanal de proceso 210, como se indica por la flecha 216. El producto que sale del microcanal de proceso 210 puede atravesar la cola de producto 106 y sale del reactor de microcanales 100, como se indica por la flecha 114. El fluido de intercambio de calor circula desde la cabeza de intercambio de calor 108 a través del canal de intercambio de calor 220 y luego a la cola de intercambio de calor 110. El flujo del fluido de intercambio de calor a través del canal de intercambio de calor 220 puede ser paralelo o en contracorriente al flujo del fluido de proceso que circula en el microcanal de proceso 210. Alternativamente, el canal de intercambio de calor 220 puede estar orientado para proporcionar el flujo del fluido de intercambio de calor en una dirección que es en contracorriente al flujo del fluido de proceso en el microcanal de proceso 210.

En una realización alternativa de la unidad repetida 200 ilustrada en la Fig. 15, se puede proporcionar una zona de mezcla complementaria en el microcanal de proceso 210 entre la zona de mezcla 211 y la zona de reacción 212. Esta zona de mezcla complementaria comprende parte de la primera zona de procesamiento 213. El tiempo de residencia para la mezcla en la zona de mezcla complementaria se puede definir usando la suma del total del flujo a través de la sección con aberturas 250 y el flujo de la primera corriente de alimentación de reactante en el microcanal de proceso 210, en condiciones normales de temperatura (es decir, 0 °C) y presión (es decir, presión atmosférica), y el volumen definido por el microcanal de proceso 210 entre el extremo de la zona de mezcla 211 y el comienzo de la zona de reacción 212. Este tiempo de residencia para la mezcla en la zona de mezcla complementaria puede estar en el intervalo de hasta aproximadamente 500 milisegundos (ms), y en una realización desde aproximadamente 0,25 ms hasta aproximadamente 500 ms, y en una realización desde aproximadamente 0,25 ms hasta aproximadamente 250 ms, y en una realización desde aproximadamente 0,25 hasta aproximadamente 50 ms, y en una realización desde aproximadamente 0,25 hasta aproximadamente 2,5 ms. La unidad repetida 200A ilustrada en la Fig. 16 es idéntica a la unidad repetida 200 ilustrada en la Fig. 15, con la excepción de que la unidad repetida 200A no contiene la zona de mezcla separada 211. Con la unidad repetida 200A, el segundo reactante atraviesa la sección con aberturas 250 en la zona de reacción 212 donde se pone en contacto con el primer reactante y el catalizador, y reacciona formando el producto. El producto, y cualquiera de los reactantes sin reaccionar y/o diluyentes, salen entonces del microcanal de proceso 210, como se indica por la flecha 216.

La unidad repetida 200B ilustrada en la Fig. 17 es idéntica a la unidad repetida 200 ilustrada en la Fig. 15, con la excepción de que parte del segundo reactante se mezcla con el primer reactante en la zona de mezcla 211, y el resto del segundo reactante se mezcla con el primer reactante en la zona de reacción 212. La cantidad del segundo reactante que se mezcla con el primer reactante en la zona de mezcla 211 puede estar en el intervalo desde aproximadamente el 1 % hasta aproximadamente 99 % en volumen del segundo reactante, y en una realización desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 95 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 10 % hasta aproximadamente el 90 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 20 % hasta aproximadamente el 80 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 30 % hasta aproximadamente el 70 % en volumen, y en una realización desde aproximadamente el 40 % hasta aproximadamente el 60 % en volumen del segundo reactante. El resto del segundo reactante se mezcla con el primer reactante en la zona de reacción 212. La adición del reactante gaseoso o segundo reactante en la zona de reacción puede proporcionar el beneficio adicional de aumentar la velocidad superficial del

gas en la zona de reacción. Esto puede dar como resultado la fluidización adicional de la capa de película líquida que se puede formar sobre el catalizador.

- 5 El número de microcanales en cada una de las capas de microcanales 130 y 150 puede ser cualquier número deseado, por ejemplo, uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, ocho, diez, cientos, miles, decenas de miles, cientos de miles, millones, etc. Similarmente, el número de unidades repetidas 170 (o 170a a 170d) o 200 (o 200A o 200B) en el núcleo de reactor de microcanales 102 puede ser cualquier número deseado, por ejemplo, uno, dos, tres, cuatro, seis, ocho, diez, cientos, miles, etc.
- 10 Los microcanales de proceso 132-132g y 210 son microcanales. Los segundos canales de corriente de reactante 240 pueden ser microcanales, aunque pueden tener dimensiones mayores que no los caracterizaría como microcanales. Los microcanales de proceso 132-132g y 210, y los segundos canales de corriente de reactante 240, pueden tener al menos una dimensión interna de altura o anchura de hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización hasta aproximadamente 2 mm, a lo largo de toda o
- 15 solo parte de la longitud de los canales, por ejemplo, a lo largo de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 100 % de la longitud de los canales, y en una realización a lo largo de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 100 % de la longitud, y en una realización a lo largo de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 80 % de la longitud. En una realización, la altura o anchura puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 5 mm, y en una
- 20 una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 1,5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 0,5 mm. La altura o anchura puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,15 hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización desde
- 25 aproximadamente 0,3 hasta aproximadamente 10 mm. La altura o anchura puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 3 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,3 hasta aproximadamente 2 mm. La otra dimensión interna de altura o anchura puede ser de cualquier valor, por ejemplo, puede variar hasta aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 cm, y en una
- 30 una realización desde aproximadamente 0,1 cm hasta aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 75 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 50 cm, y en una realización aproximadamente 0,2 cm a aproximadamente 25 cm. La longitud de los microcanales de proceso y segundos canales de corriente de reactante puede ser de cualquier valor, aunque, como se indica por los dibujos, la longitud de los segundos canales de corriente de reactante puede ser inferior a la
- 35 longitud de los siguientes microcanales de proceso adyacentes. Las longitudes de cada uno de estos canales puede estar en el intervalo de hasta aproximadamente 15 metros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 5 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 2,5 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1 metros, y en una realización desde
- 40 aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 0,5 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 0,25 metros. La longitud puede estar en el intervalo desde aproximadamente 15 cm hasta aproximadamente 15 m.
- 45 Los canales de intercambio de calor 152, 152a y 220 pueden ser microcanales o pueden tener dimensiones mayores. Cada uno de los canales de intercambio de calor 152, 152a y 220 puede tener una sección transversal que tiene cualquier forma, por ejemplo, un cuadrado, rectángulo, círculo, semicírculo, etc. Cada uno de los canales de intercambio de calor 152, 152a y 220 puede tener una altura interna o hueco de hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,05
- 50 hasta aproximadamente 2 mm. La anchura de cada uno de estos canales puede ser de cualquier dimensión, por ejemplo, hasta aproximadamente 3 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 3 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 3 metros. La longitud de cada uno de los canales de intercambio de calor 152 y 220 puede ser de cualquier dimensión, por ejemplo, hasta aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta
- 55 aproximadamente 10 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 5 metros, y en una realización desde 0,01 hasta aproximadamente 2,5 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1 metro, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 0,5 metros, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 0,25 metros. La longitud puede estar en el intervalo desde aproximadamente 15 cm hasta aproximadamente 15 m.
- 60 El microcanal de proceso 132-132g o 210, segundo canal de corriente de reactante 240, y/o canales de intercambio de calor 152, 152a o 220, puede tener secciones transversales que son rectangulares, o alternativamente puede tener secciones transversales que tienen cualquier forma, por ejemplo, un cuadrado, círculo, semicírculo, trapecio, etc. La forma y/o tamaño de la sección transversal del microcanal de proceso 132-132g o 210, segundo canal de
- 65 corriente de reactante 240, y/o canal de intercambio de calor 152, 152a o 220, puede variar a lo largo de su longitud. Por ejemplo, la altura o anchura puede reducirse desde una dimensión relativamente grande hasta una dimensión

relativamente pequeña, o viceversa, a lo largo de la longitud del microcanal.

La separación entre microcanales de proceso adyacentes, segundos canales de corriente de reactante y/o canales de intercambio de calor puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,05 mm hasta aproximadamente 50 mm, y en una realización aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 mm, y en una realización aproximadamente 0,2 mm a aproximadamente 2 mm.

El flujo y/o mezcla dentro de los microcanales de proceso 132-132g o 210, segundos canales de corriente de reactante 240, y/o canales de intercambio de calor 152, 152a o 220, se puede modificar usando características superficiales formadas en una, dos o más paredes interiores de dichos canales. Las obstrucciones internas en la zona de procesamiento de los microcanales de proceso pueden estar en forma de dichas características superficiales. Las estructuras para el contacto y/o soporte del catalizador en las zonas de reacción pueden estar en forma de dichas características superficiales. Los submicrocanales usados en la zona de reacción pueden contener dichas características superficiales. Las características superficiales pueden estar en forma de depresiones en y/o proyecciones de una o más de las paredes del canal. Estas características superficiales pueden estar orientadas en ángulos con respecto a la dirección de flujo a través de los canales. Las características superficiales se pueden alinear en un ángulo desde aproximadamente 1° hasta aproximadamente 89°, y en una realización desde aproximadamente 30° hasta aproximadamente 75°, con respecto a la dirección de flujo. El ángulo de orientación puede ser un ángulo oblicuo. Las características superficiales angulares se pueden alinear hacia la dirección de flujo o contra la dirección de flujo. El flujo de fluidos en contacto con las características superficiales puede forzar a uno o más de los fluidos dentro de depresiones en las características superficiales, mientras que otros fluidos pueden circular por encima de las características superficiales. El flujo dentro de las características superficiales se puede adaptar a la característica superficial y estar a un ángulo con respecto a la dirección del flujo neto en el canal. A medida que sale el fluido, las características superficiales pueden ejercer un momento en la dirección x e y para un sistema de coordenadas x,y,z en donde el flujo neto está en la dirección z. Esto puede dar como resultado una agitación o rotación en el flujo de los fluidos. Este patrón puede ser útil para mezclar un flujo bifásico ya que los gradientes de velocidad conferidos pueden crear cizallamiento de fluido que rompe una de las fases en gotitas pequeñas y bien dispersadas.

Se pueden colocar en serie dos o más regiones de características superficiales dentro de los microcanales de proceso 132-132g o 210 de forma que la mezcla de los fluidos de proceso se pueda llevar a cabo usando una primera región de características superficiales, seguida de al menos una segunda región de características superficiales, donde se puede usar un patrón de flujo diferente. El segundo patrón de flujo se puede usar para separar uno o más líquidos o gases de la mezcla de fluidos.

En la segunda región de características superficiales, se puede usar un patrón de flujo que crea una fuerza centrífuga que lleva a un líquido hacia las paredes interiores de los microcanales de proceso mientras que otro líquido queda en el núcleo de fluido. Un patrón de características superficiales que puede crear un fuerte vórtex central puede comprender un par de ranuras angulares en la parte superior e inferior del microcanal de proceso. Este patrón de características superficiales se puede usar para crear un patrón de flujo en remolino central.

La sección con aberturas 250 puede comprender una porción interior que forma parte de una o más de las paredes interiores del microcanal de proceso 210. Una hoja de características superficiales puede recubrir esta porción interior de la sección con aberturas. Las características superficiales se pueden formar en y/o sobre la hoja de características superficiales. La segunda corriente de reactante puede atravesar la sección con aberturas y la hoja de características superficiales en el microcanal de proceso. Parte de la segunda corriente de reactante se puede desprender de la superficie de la hoja de características superficiales, mientras que parte puede circular dentro de las características superficiales de la hoja de características superficiales. La hoja de características superficiales puede contener características superficiales angulares que tienen anchuras o alcances relativamente pequeños con respecto a la longitud de flujo global. La hoja de características superficiales puede proporcionar soporte mecánico para la sección con aberturas. Las características superficiales pueden conferir un patrón de flujo vorticial a los fluidos en el microcanal de proceso y promover la buena mezcla y/o promover la formación de gotitas pequeñas. El patrón de flujo vorticial puede conferir cizallamiento a la segunda corriente de reactante que atraviesa la sección con aberturas y así reducir el tamaño de burbujas de gas y/o las gotitas de fluido en la trayectoria de flujo neto.

Los ejemplos de las características superficiales incluyen los ilustrados en las Fig. 36-37. Las características superficiales pueden tener dos o más capas apiladas las unas encima de las otras o entrelazadas en un patrón tridimensional. El patrón en cada capa discreta puede ser igual o diferente. El flujo puede girar o adveccionar en cada capa o solo en una capa. Se pueden usar subcapas, que pueden no ser adyacentes a la trayectoria de flujo neto del canal, para crear el área superficial adicional. El flujo puede girar en el primer nivel de características superficiales y difundir molecularmente dentro de la segunda o más subcapas para promover la reacción. Las características superficiales tridimensionales se pueden hacer por colada metálica, mecanizado fotoquímico, corte con láser, grabado, ablación, u otros procesos donde patrones variables se pueden romper en planos discretos como si se apilaran los unos encima de los otros. Las características superficiales tridimensionales se pueden proporcionar adyacentes a la trayectoria de flujo neto dentro del microcanal donde las características superficiales tienen profundidades, formas y/o localizaciones diferentes, acompañadas de subcaracterísticas con patrones de

profundidades, formas y/o localizaciones variables.

El uso de las características superficiales o placas completamente grabadas con patrones puede ser ventajoso para proporcionar soporte estructural para placas u hojas con aberturas delgadas o débiles usadas para formar la sección con aberturas 250. En una realización, la sección con aberturas 250 se puede hacer de un material polimérico que tiene diámetros medios de poro muy pequeños (inferiores a 1 micrómetro), pero puede resistir un elevado diferencial de presión (superior a aproximadamente 70 KPa (10 psi), o superior a aproximadamente 350 KPa (50 psi), o superior a aproximadamente 690 (100 psi), o mayor) que se puede requerir para forzar la segunda corriente de reactante a través de la sección con aberturas 250 en el microcanal de proceso 210. El tramo abierto requerido para el soporte estructural se puede reducir de la sección transversal del microcanal de proceso 210 al tramo abierto y ejecutar la longitud de la característica superficial. El tramo de la característica superficial se puede hacer más pequeño según se requiera si la hoja o placa con aberturas tiene integridad mecánica reducida. Una ventaja de las características superficiales puede ser que el flujo convectivo, que puede ocurrir dentro de las características superficiales, puede crear un esfuerzo de cizallamiento significativo en la pared de la sección con aberturas 250 para ayudar con el desprendimiento de pequeñas burbujas de gas y/o gotitas de líquido.

Un ejemplo de una estructura tridimensional de características superficiales puede comprender ángulos oblicuos empotrados o chevrones en la interfase adyacente a la trayectoria de flujo neto del microcanal. Debajo de los chevrones puede haber una serie de estructuras tridimensionales que conectan con las características superficiales adyacentes a la trayectoria de flujo neto, pero están hechas de estructuras de formas, profundidades y/o localizaciones variadas. Puede ser además ventajoso proporcionar caminos de subcapas que no se encuentran directamente debajo de una característica superficial abierta que es adyacente a la trayectoria de flujo neto dentro del microcanal, sino que más bien conectan a través de uno o más caminos tortuosos bidimensionales o tridimensionales. Este enfoque puede ser ventajoso para crear distribuciones adaptadas del tiempo de residencia en los microcanales, donde se puede desear tener una distribución del tiempo de residencia más ancha frente a más estrecha.

La longitud y la anchura de una característica superficial se pueden definir de la misma forma que la longitud y la anchura de un microcanal. La profundidad puede ser la distancia que la característica superficial se hunde o eleva por encima de la superficie del microcanal. La profundidad de las características superficiales puede corresponder a la dirección de apilamiento de un dispositivo de microcanales apilado y unido con características superficiales formadas sobre o en las superficies de las hojas. Las dimensiones para las características superficiales se pueden referir a la máxima dimensión de una característica superficial; por ejemplo, la profundidad de una ranura redondeada se puede referir a la máxima profundidad, es decir, la profundidad en la parte inferior de la ranura.

Las características superficiales pueden tener profundidades que son hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 mm hasta aproximadamente 1 mm. La anchura de las características superficiales puede ser suficiente para casi abarcar la anchura del microcanal (por ejemplo, diseños de espina de pescado), pero en una realización (tal como las características de llenado) puede abarcar aproximadamente el 60 % o menos de la anchura del microcanal, y en una realización aproximadamente el 50 % o menos, y en una realización aproximadamente el 40 % o menos, y en una realización desde aproximadamente el 0,1 % hasta aproximadamente el 60 % de la anchura del microcanal, y en una realización desde aproximadamente el 0,1 % hasta aproximadamente el 50 % de la anchura del microcanal, y en una realización desde aproximadamente el 0,1 % hasta aproximadamente el 40 % de la anchura del microcanal. La anchura de las características superficiales puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,05 mm hasta aproximadamente 100 cm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 mm hasta aproximadamente 5 cm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 2 cm.

Se pueden incluir múltiples características superficiales o regiones de características superficiales dentro de un microcanal, que incluyen características superficiales que se empotran diferentes profundidades en una o más paredes del microcanal. La separación entre las cavidades puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,01 mm hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1 mm. Las características superficiales pueden estar presentes a través de la longitud entera de un microcanal o en porciones o regiones del microcanal. La porción o región que tiene características superficiales puede ser intermitente para promover una mezcla u operación unitaria deseada (por ejemplo, separación, refrigeración, etc.) en zonas adaptadas. Por ejemplo, una sección de un centímetro de un microcanal puede tener una matriz de características superficiales muy separada, seguido de cuatro centímetros de un canal plano sin características superficiales, seguido de una sección de dos centímetros de características superficiales muy separadas. El término "características superficiales muy separadas" se puede usar para referirse a características superficiales con un paso o distancia de característica a característica que es superior a aproximadamente cinco veces la anchura de la característica superficial.

Las características superficiales puede estar situadas en una o más regiones de características superficiales que se

extienden sustancialmente a lo largo de toda la longitud axial de un canal. En una realización, un canal puede tener características superficiales que se extienden a lo largo de aproximadamente el 50 % o menos de su longitud axial, y en una realización a lo largo de aproximadamente el 20 % o menos de su longitud axial. En una realización, las características superficiales se pueden extender a lo largo de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 100 % de la longitud axial del canal, y en una realización desde aproximadamente el 20 % hasta aproximadamente el 90 %, y en una realización desde aproximadamente el 30 % hasta aproximadamente el 80 %, y en una realización desde aproximadamente el 40 % hasta aproximadamente el 60 % de la longitud axial de un canal.

Las Fig. 36 y 37 muestran varios patrones diferentes que se pueden usar para características superficiales. Se pueden usar otros patrones. Estos patrones se pueden usar en diferentes secciones axiales o laterales de un microcanal.

Los microcanales de proceso 132-132g y 210, segundos canales de corriente de reactante 240 y/o canales de intercambio de calor 152, 152a y 220 pueden tener sus paredes interiores recubiertas con un recubrimiento lipófilo (el mismo recubrimiento también puede proporcionar propiedades hidrófobas) para reducir la energía superficial. El teflón puede ser un ejemplo de un material de recubrimiento que puede presentar tanto tendencias lipófilas como hidrófobas. La superficie de la sección con aberturas 240 que da al interior del microcanal de proceso 210 se puede recubrir con un recubrimiento lipófilo para reducir el arrastre de gotitas y promover la formación de gotitas más pequeñas. El recubrimiento sobre la sección con aberturas puede reducir la energía requerida para desprender una gotita de la superficie de la sección con aberturas. Además, el arrastre ejercido sobre la segunda corriente de reactante puede ser más bajo durante el desprendimiento de las gotitas y mientras circula más allá de la sección con aberturas aguas abajo en el microcanal de proceso. En una realización, se puede aplicar un recubrimiento hidrófilo a la sección con aberturas para ayudar en el desprendimiento de gotitas. En una realización, los fluidos pueden no humedecer las superficies recubiertas con el recubrimiento lipófilo. Como tales, los fluidos pueden deslizarse más allá de la superficie y así invalidar o reducir la condición límite de no deslizamiento usual de fluidos contra una pared. Como los fluidos se deslizan, el factor de fricción local puede disminuir como resultado del arrastre reducido y la caída de presión correspondiente se puede reducir por unidad de longitud de los canales. La tasa de transferencia de calor local puede aumentar como resultado de la convección forzada sobre una superficie recubierta en contraposición a la transferencia de calor conductora a través de una película estacionaria. El efecto del recubrimiento puede tener un impacto diferente sobre diferentes tipos de fluidos no newtonianos. Para el caso de fluido pseudoplástico (ley de potencia) sin fluencia, puede parecer newtoniano por encima de las velocidades de cizallamiento que son dependientes del fluido. La viscosidad del fluido puede ser más alta cuando la velocidad de cizallamiento está por debajo de un cierto valor. Si la velocidad de cizallamiento es localmente mayor debido a la pared recubierta, entonces el fluido puede ser capaz de cizallar las gotitas más fácilmente, moverse con menos energía (menores requisitos de bombeo) y tener mejores propiedades de transferencia de calor que si el recubrimiento no se usara. Para el caso de fluido pseudoplástico (ley de potencia) con fluencia, todavía puede tener un esfuerzo de fluencia, en la pared el esfuerzo de fluencia puede ser enormemente reducido con el uso del recubrimiento lipófilo. La transferencia de calor y las propiedades de fricción se pueden potenciar si el rendimiento aparente es bajo cuando el recubrimiento se usa en comparación con cuando el recubrimiento no se usa. Los efectos relacionados con el cizallamiento pueden ser más pronunciados para los fluidos no newtonianos que para los fluidos newtonianos.

El reactor de microcanales 100, que incluye el núcleo de reactor de microcanales 102, se puede construir de cualquier material que proporcione características suficientes de resistencia, estabilidad dimensional y transferencia de calor para llevar a cabo el proceso. Los ejemplos de materiales adecuados pueden incluir acero (por ejemplo, acero inoxidable, acero al carbono y similares), aluminio, titanio, níquel y aleaciones de cualquiera de los metales anteriores, plásticos (por ejemplo, resinas epoxi, resinas curadas con UV, resinas termoestables y similares), monel, inconel, cerámicos, vidrio, materiales compuestos, cuarzo, silicio, o una combinación de dos o más de los mismos. El reactor de microcanales puede ser fabricado usando técnicas conocidas que incluyen mecanizado por electroerosión por hilo, mecanizado convencional, corte con láser, mecanizado fotoquímico, mecanizado electroquímico, moldeo, chorro de agua, estampado, grabado (por ejemplo, grabado químico, fotoquímico o con plasma) y combinaciones de los mismos. El reactor de microcanales se puede construir formando capas u hojas con porciones retiradas que permiten el paso del flujo. Una pila de hojas se puede ensamblar a través de unión por difusión, soldadura láser, soldadura por difusión con latón y métodos similares para formar un dispositivo integrado. El reactor de microcanales puede tener colectores, válvulas, líneas de conductos, etc., apropiados. Para controlar el flujo de los reactantes y el producto, y el flujo de fluido de intercambio de calor. Estos no se muestran en los dibujos, pero pueden ser fácilmente proporcionados por los expertos en la técnica.

El núcleo de reactor de microcanales 102 se puede preparar por el proceso ilustrado en la Fig. 4. Este proceso incluye laminar o unir por difusión hojas delgadas de cualquiera de los materiales indicados anteriormente (por ejemplo, metal, plástico o cerámico) de manera que cada capa tenga una geometría definida de canales y aberturas a través de las que se transportan los fluidos. Después de crearse las capas individuales, se pueden apilar en un orden prescrito para formar la laminación. Las capas se pueden apilar las unas al lado de las otras o las unas encima de las otras. La pila completa se puede unir entonces por difusión para prevenir la fuga de fluidos dentro o fuera del reactor de microcanales o entre corrientes. Después de la unión, se puede cortar el dispositivo a su tamaño final y prepararse para la unión de tuberías y colectores. Una etapa adicional para los microcanales de proceso que

contienen el catalizador puede ser integrar el catalizador en el dispositivo antes del ensamblaje final.

Los métodos de creación de características pueden incluir grabado fotoquímico, pulverización, perforación, mecanizado por descarga eléctrica, corte con láser y estampado. Un método útil para la fabricación industrial es el
 5 estampado. En el estampado se debe tener cuidado para minimizar la distorsión del material y mantener estrechas tolerancias de las geometrías de los canales, por ejemplo, menos de aproximadamente $\pm 0,5$ mm de desplazamiento de localización de características. La prevención de la distorsión, el mantenimiento del alineamiento de las laminillas y el aseguramiento de que las capas se apilen en el orden apropiado son factores que deben ser controlados durante el proceso de apilado.

10 La pila se puede unir a través de un proceso de difusión. En este proceso, la pila se puede someter a temperaturas y presiones elevadas durante un preciso periodo de tiempo para lograr la calidad de unión deseada. La selección de estos parámetros puede requerir modelado y validación experimental para encontrar las condiciones de unión que permiten el crecimiento de grano suficiente entre las capas de metal.

15 La siguiente etapa, después de la unión, puede ser mecanizar el dispositivo. Se pueden usar varios procesos, que incluyen la molienda convencional con cortadoras de alta velocidad, así como técnicas de mecanizado por descarga eléctrica altamente modificadas. Una unidad o subunidad de reactor de microcanales unidos de tamaño completo que se ha sometido a operaciones de mecanizado posteriores a la unión puede comprender, por ejemplo, decenas,
 20 cientos o miles de laminillas.

Los microcanales de proceso 132-132g o 210, segundos canales de corriente de reactante 240 y canales de intercambio de calor 152, 152a o 220 que se pueden usar en el núcleo de reactor de microcanales 102 pueden tener
 25 secciones transversales rectangulares y se alinean en planos verticalmente orientados lado a lado o planos apilados horizontalmente orientados. Estos planos pueden estar inclinados con un ángulo inclinado desde la horizontal. Estas configuraciones se pueden denominar configuraciones de placas paralelas. Se pueden emplear diversas combinaciones de microcanales de proceso, segundos canales de corriente de reactante y canales de intercambio de calor. Las combinaciones de estos canales rectangulares se pueden disponer en unidades repetidas compactas en módulos para su aumento de escala.

30 La forma y el tamaño en sección transversal de los microcanales de proceso 132-132g y 210 pueden variar a lo largo de su longitud axial para acomodar la hidrodinámica cambiante dentro del canal. Por ejemplo, si se realiza una reacción y uno de los reactantes está en exceso, las propiedades fluidicas de la mezcla de reacción pueden cambiar durante el transcurso de la reacción. Las características superficiales se pueden usar para proporcionar una
 35 geometría, patrón, ángulo, profundidad o relación de tamaño diferente con respecto a la sección transversal del microcanal de proceso a lo largo de su longitud axial para acomodar estos cambios hidrodinámicos.

Los microcanales de proceso 210 y los segundos canales de corriente de reactante 240 se pueden formar a partir de
 40 hojas y/o placas separadas paralelas, siendo los segundos canales de corriente de reactante adyacentes a los microcanales de proceso. Los canales de intercambio de calor 220 se pueden formar a partir de hojas y/o placas separadas paralelas. Los canales de intercambio de calor pueden ser adyacentes a los microcanales de proceso, los segundos canales de corriente de reactante, o tanto a los microcanales de proceso como a los segundos canales de corriente de reactante. Los microcanales de proceso y los segundos canales de corriente de reactante se pueden alinear en planos entrelazados lado a lado o planos entrelazados apilados uno encima del otro.

45 El microcanal de proceso 210 y el segundo canal de corriente de reactante 240 pueden comprender tubos circulares alineados concéntricamente. El microcanal de proceso puede estar en un espacio anular y el segundo canal de corriente de reactante puede estar en el espacio central o un espacio anular adyacente. El microcanal de proceso puede estar en el espacio central y el segundo canal de corriente de reactante puede estar en un espacio anular
 50 adyacente.

Las aberturas 252 en la sección con aberturas 250 pueden ser de tamaño suficiente para permitir el flujo de la
 55 segunda corriente de reactante a través de la sección con aberturas. Las aberturas se pueden denominar poros. Las secciones con aberturas 250 pueden tener espesores en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 50 mm, y en una realización aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 mm, y en una realización aproximadamente 0,1 a aproximadamente 2 mm. Las aberturas 252 pueden tener diámetros promedio en el intervalo de hasta aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización hasta aproximadamente 250 micrómetros, y en una realización hasta aproximadamente 50 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,001 hasta aproximadamente 50 micrómetros, y en una realización desde
 60 aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 50 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 50 micrómetros. En una realización, las aberturas pueden tener diámetros promedio en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 10 nanómetros (nm), y en una realización aproximadamente 1 a aproximadamente 10 nm, y en una realización aproximadamente 5 a aproximadamente 10 nm. El número de aberturas 252 en las secciones con aberturas 250 puede estar en el intervalo desde
 65 aproximadamente 1 hasta aproximadamente 5×10^8 aberturas por centímetro cuadrado, y en una realización aproximadamente 1 a aproximadamente 1×10^6 aberturas por centímetro cuadrado. Las aberturas pueden o

pueden no estar aisladas entre sí. Una porción o todas las aberturas pueden estar en comunicación fluida con otras aberturas dentro de la sección con aberturas; es decir, un fluido puede circular desde una abertura a otra abertura. La relación del espesor entre las secciones con aberturas 250 y la longitud de las secciones con aberturas a lo largo de la trayectoria de flujo del proceso de los fluidos que circulan en los microcanales de proceso 210 puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,001 hasta aproximadamente 1, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1, y en una realización aproximadamente 0,03 a aproximadamente 1, y en una realización aproximadamente 0,05 a aproximadamente 1, y en una realización aproximadamente 0,08 a aproximadamente 1, y en una realización aproximadamente 0,1 a aproximadamente 1.

Las secciones con aberturas 250 se pueden construir de cualquier material que proporcione resistencia y estabilidad dimensional suficientes para permitir la operación del proceso. Estos materiales pueden incluir: acero (por ejemplo, acero inoxidable, acero al carbono y similares); monel; inconel; aluminio; titanio; níquel; platino; rodio; cobre; cromo; latón; aleaciones de cualquiera de los metales anteriores; polímeros (por ejemplo, resinas termoestables); cerámicos; vidrio; materiales compuestos que comprenden uno o más polímeros (por ejemplo, resinas termoestables) y fibra de vidrio; cuarzo; silicio; carbono microporoso, que incluye nanotubos de carbono o tamices moleculares de carbono; zeolitas; o una combinación de dos o más de los mismos. Las aberturas se pueden formar usando técnicas conocidas, tales como perforación con láser, sistema de microelectromecanizado (MEMS), litografía, electrodeposición y moldeo (LIGA), chispas eléctricas o grabado electroquímico o fotoquímico. Las aberturas se pueden formar usando técnicas usadas para producir plásticos estructurados, tales como extrusión, o membranas, tales como membranas de nanotubos de carbono alineados (CNT). Las aberturas se pueden formar usando técnicas tales como sinterizado, o comprimiendo polvo metálico o partículas para formar capilares con canales interconectados tortuosos y las técnicas de fabricación de membranas. Las aberturas se pueden reducir en tamaño desde el tamaño proporcionado por cualquiera de estos métodos por la aplicación de recubrimientos sobre las aberturas de las paredes laterales internas para llenar parcialmente las aberturas. Los recubrimientos selectivos también pueden formar una delgada capa exterior al cuerpo poroso que proporciona el tamaño de poro pequeño adyacente a la trayectoria de flujo continua. La abertura de poro promedio más pequeña puede estar en el intervalo desde aproximadamente un nanómetro hasta aproximadamente varios cientos de micrómetros dependiendo del tamaño de gotita deseado para la emulsión. Las aberturas se pueden reducir en tamaño por tratamiento térmico, así como por métodos que forman una cascarilla o recubrimiento de óxido sobre las paredes laterales internas de las aberturas. Estas técnicas se pueden usar para ocluir parcialmente las aberturas para reducir el tamaño de las aberturas para flujo. Las Fig. 28 y 29 muestran una comparación de estructuras de superficie de SEM de un sustrato poroso de acero inoxidable antes y después del tratamiento térmico al mismo aumento y la misma localización. La Fig. 28 muestra la superficie antes del tratamiento térmico y la Fig. 29 muestra la superficie después del tratamiento térmico. La superficie del material poroso después del tratamiento térmico tiene un hueco y tamaño de abertura significativamente más pequeño. La distancia promedio entre las aberturas aumenta correspondientemente.

Las secciones con aberturas 250 se pueden fabricar de un material poroso metálico o no metálico que tiene interconectados canales o poros de un tamaño de poro promedio en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 200 micrómetros. Estos poros pueden servir de aberturas 252. El material poroso se puede preparar a partir de polvo o partículas de manera que la distancia promedio entre los poros sea similar al tamaño de poro promedio. Cuando se usan tamaños de poro muy pequeños, la distancia entre los poros también puede ser muy pequeña. El material poroso puede ser adaptado por oxidación a una alta temperatura en el intervalo desde aproximadamente 300 °C hasta aproximadamente 1000 °C durante una duración de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 20 días, o recubriendo una delgada capa de otro material, tal como alúmina por recubrimiento sol o níquel usando deposición química de vapor sobre la superficie y el interior de poros para bloquear los poros más pequeños, disminuyendo el tamaño de poro de poros más grandes y a su vez aumentando la distancia entre poros. Una imagen de SEM de un sustrato adaptado o sección con aberturas se muestra en la Fig. 30.

La preparación de sustratos para su uso como secciones con aberturas 250 con aberturas o poros 252 suficientemente pequeños para proporcionar reactantes que tienen tamaños de burbujas de gas más pequeños de aproximadamente un micrómetro puede ser problemática, pero se puede llevar a cabo como se indica a continuación. Un motivo del problema puede radicar en el hecho de que la rugosidad superficial relativamente alta puede ocurrir con materiales porosos regulares no tratados, tales como sustratos porosos metálicos fabricados de polvo/partículas por compresión y/o sinterización. Estos sustratos porosos metálicos pueden no tener el tamaño de poro requerido en la región superficial cuando un tamaño de poro nominal dado es inferior a un cierto valor. Mientras que la mayor parte del material poroso puede tener el tamaño de poro nominal especificado, la región superficial se puede caracterizar por poros fusionados y cavidades de tamaños mucho mayores. Este problema puede ser vencido adaptando estos sustratos para proporcionar el tamaño de poro deseado y la distancia entre poros en la región superficial. Esto se puede hacer retirando una capa superficial del sustrato poroso y añadiendo una nueva superficie lisa con aberturas más pequeñas. El tamaño de las burbujas de gas en la mezcla de reactantes que se puede formar usando estos sustratos adaptados se puede reducir sin aumentar la caída de presión a través del sustrato. Puesto que el moldeo o mecanizado directo de la superficie porosa puede causar el desprendimiento de la estructura superficial y el bloqueo de los poros, la estructura porosa se puede llenar de una carga líquida, seguido de solidificación y molienda/pulido mecánico. La carga se puede retirar entonces para recuperar la estructura porosa del material. La carga puede ser un metal con un bajo punto de fusión, tal como cinc o estaño, o el precursor de un polímero tal como un epoxi. Las etapas de llenado y retirada de líquido pueden ser ayudadas por el uso de un vacío.

El esmerilado/pulido se pueden efectuar usando una máquina de esmerilado y un polvo de esmerilado. La retirada de carga metálica se puede efectuar por fusión y aspiración a vacío, o por grabado con ácido. Se pueden retirar epoxis u otros polímeros por disolución con disolvente o por combustión en el aire.

5 Con referencia a las Fig. 31-33, la sección con aberturas 250, en una realización, se puede construir de una hoja 340 relativamente delgada que contiene aberturas 342 relativamente pequeñas y una hoja o placa 344 relativamente gruesa que contiene aberturas 346 relativamente grandes. Las aberturas 342 se pueden alinear con o conectar con las aberturas 346. La hoja 340 relativamente delgada cubre y está unida con la hoja o placa relativamente gruesa 344, estando orientada la hoja relativamente delgada 340 al interior del microcanal de proceso 210 y estando orientada la hoja relativamente gruesa 344 al interior del segundo canal de corriente de reactante 240. La hoja relativamente delgada 340 se puede unir a la hoja relativamente gruesa 344 usando cualquier procedimiento adecuado (por ejemplo, unión por difusión) para proporcionar una construcción de material compuesto 348 con potenciada resistencia mecánica. La hoja relativamente delgada 340 puede tener un espesor en el intervalo desde aproximadamente 0,001 hasta aproximadamente 0,5 mm, y en una realización aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,2 mm. Las aberturas relativamente pequeñas 342 pueden tener cualquier forma, por ejemplo, circular, triangular o rectangular. Las aberturas relativamente pequeñas 342 pueden tener un diámetro promedio en el intervalo desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 50 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,05 a aproximadamente 20 micrómetros. La hoja o placa relativamente gruesa 344 puede tener un espesor en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización aproximadamente 0,1 a aproximadamente 2 mm. Las aberturas relativamente grandes 346 pueden tener cualquier forma, por ejemplo, circular, triangular o rectangular. Las aberturas relativamente grandes 346 pueden tener un diámetro promedio en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 4000 micrómetros, y en una realización aproximadamente 1 a aproximadamente 2000 micrómetros, y en una realización aproximadamente 10 a aproximadamente 1000 micrómetro. El número total de aberturas 342 en la hoja 340 y el número total de aberturas 346 en la hoja o placa 344 pueden estar en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10000 aberturas por centímetro cuadrado, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 1000 aberturas por centímetro cuadrado. La hoja 340 y la hoja o placa 344 se pueden construir de cualquiera de los materiales descritos anteriormente por ser útiles para construir la sección con aberturas 250. Las aberturas 342 y 346 se pueden alinear o conectar de tal manera que el fluido que atraviesa la sección con aberturas 250 circule inicialmente a través de las aberturas 346, luego a través de las aberturas 342. El pasadizo relativamente corto para que el fluido atraviese las aberturas relativamente pequeñas 342 permite que el fluido atraviese las aberturas 342 con una caída de presión relativamente baja en comparación con la caída de presión que ocurriría si el pasadizo en las aberturas tuviera una profundidad igual a la profundidad combinada de las aberturas 342 y 346.

35 En la realización ilustrada en la Fig. 34, la construcción de material compuesto 348a tiene el mismo diseño que se ilustra en la Fig. 33, con la excepción de que se proporciona la porción convexa 343 de la hoja relativamente delgada 340 que cubre la abertura 346. La porción convexa 343 proporciona una elevada fuerza de cizallamiento local en el canal adyacente. La segunda corriente de reactante de alimentación atraviesa las aberturas 346 y 342 en la dirección indicada por la flecha 352. Las flechas de dirección 350 en la Fig. 34 muestran el flujo de la primera corriente de alimentación de reactante en el microcanal de proceso adyacente a la abertura 342. El aumento de la fuerza de cizallamiento local puede conducir a una burbuja de gas más pequeña o tamaño de gotita de líquido para el fluido que atraviesa la abertura 342.

45 En la realización ilustrada en la Fig. 35, un recubrimiento superficial 360 se deposita sobre la superficie de la hoja o placa 362 y sobre las paredes laterales internas 364 de la abertura 366.

50 Este recubrimiento proporciona una forma facilitada de reducir el diámetro de las aberturas. El material de recubrimiento usado para formar el recubrimiento 360 puede ser alúmina, níquel, oro, o un material polimérico (por ejemplo, teflón). El recubrimiento 360 se puede aplicar a la hoja o placa 332 usando técnicas conocidas que incluyen deposición química de vapor, pulverización metálica, chapado metálico, sinterización, recubrimiento sol y similares. El diámetro de las aberturas se puede controlar controlando el espesor del recubrimiento 360.

55 La sección con aberturas 250 se puede formar a partir de un material poroso asimétrico, por ejemplo, un material poroso que tiene múltiples capas de partículas sinterizadas. El número de capas puede ser dos, tres, o más. Una ventaja de estos sustratos multicapa es que pueden proporcionar durabilidad y adherencia potenciadas.

60 Los ejemplos pueden incluir cerámicos sinterizados que tienen poros relativamente grandes en una cara y poros relativamente pequeños en la otra cara. Los poros relativamente pequeños pueden tener diámetros en el intervalo desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 10 nanómetros (nm). Los poros relativamente pequeños pueden estar situados en una capa relativamente delgada del sustrato multicapa. La capa relativamente delgada puede tener un espesor en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10 micrómetros. La cara con los poros relativamente pequeños se puede colocar orientada hacia el interior del microcanal de proceso 210 para aprovechar las fuerzas de cizallamiento relativamente altas para retirar las burbujas de gas relativamente pequeñas de reactante a medida que se forman. La sección con aberturas 250 se puede extender a lo largo de al menos aproximadamente el 5 % de la longitud axial del microcanal de proceso 210, y en una realización al menos aproximadamente el 20 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización al menos

aproximadamente el 35 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización al menos aproximadamente el 50 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización al menos aproximadamente el 65 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización al menos aproximadamente el 80 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización al menos
 5 aproximadamente el 95 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 100 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización desde aproximadamente el 10 % hasta aproximadamente el 95 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización desde aproximadamente el 25 % hasta aproximadamente el 75 % de la longitud axial del microcanal de proceso, y en una realización desde aproximadamente el 40 % hasta aproximadamente el 60 %
 10 de la longitud axial del microcanal de proceso 210.

El (Los) reactante(s) gaseoso(s) en los microcanales de proceso pueden estar en forma de burbujas de gas en una mezcla de reactantes. Las burbujas de gas pueden tener diámetros medios basados en volumen en el intervalo de hasta aproximadamente 200 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 200 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 50 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 25 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 10 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 5 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 2 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 1 micrómetro, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,5 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,2 micrómetro, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,1 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,08 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,05 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,03 micrómetros. Una ventaja del proceso es que al menos en una realización las burbujas de gas se pueden caracterizar por tener una distribución relativamente estrecha de diámetros promedio.

"Alcance relativo" se denomina frecuentemente "alcance". Es un parámetro adimensional calculado a partir de la distribución de volumen. La mediana del diámetro del volumen (VMD), $D[v,0,1]$ y $D[v,0,9]$ son diámetros que representan los puntos a los que el 10 % y 90 %, respectivamente, del volumen de burbujas dispersado está en burbujas de diámetro más pequeño. El alcance se puede definir como $D[v,0,9]$ menos $D[v,0,1]$ que entonces se divide entre VMD ($D[v,0,5]$). En una realización, el alcance de las burbujas de reactante en la mezcla de reacción puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1,3 hasta aproximadamente 5, y en una realización aproximadamente 1,8 a aproximadamente 2,5. En una realización, el proceso se puede realizar en un único microcanal de proceso y el alcance puede estar en el intervalo de desde aproximadamente 1,3 hasta aproximadamente 2,5. En una realización, el proceso se puede realizar en un proceso de aumento de escala empleando múltiples microcanales de proceso y el alcance puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1,3 hasta aproximadamente 5.

El diámetro medio basado en volumen para las burbujas en la mezcla de reactantes puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 25 micrómetros, y el alcance puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 5. En una realización, el diámetro medio basado en volumen puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10 micrómetros, y el alcance puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1,8 hasta aproximadamente 2,5. En una realización, las burbujas pueden tener un diámetro medio basado en volumen en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 25 micrómetros, y un alcance en el intervalo desde aproximadamente 1,9 hasta aproximadamente 2,5.

Una ventaja del proceso, al menos en una realización, es que las distancias de los huecos entre los microcanales de proceso, segundos canales de corriente de reactante y canales de intercambio de calor pueden ser las mismas si el proceso está previsto para una escala de laboratorio o de planta piloto o para escala de producción completa. Como resultado, la distribución del tamaño de burbujas del segundo reactante en la mezcla de reactantes que se puede usar en el proceso puede ser sustancialmente la misma si el reactor de microcanales está construido en una escala de laboratorio o de planta piloto o como una unidad de planta a escala completa.

El catalizador puede estar situado en una única zona de reacción o puede estar situado en más de una zona de reacción en los microcanales de proceso. Se puede usar el mismo catalizador o diferentes en cada zona de reacción. El catalizador puede ser un catalizador graduado. En cada zona de reacción, la longitud de una o más zona(s) de intercambio de calor adyacente(s) a o en contacto térmico con la zona de reacción puede variar en sus dimensiones. Por ejemplo, en una realización, la longitud de la una o más zonas de intercambio de calor adyacentes puede ser inferior a aproximadamente el 50 % de la longitud de cada zona de reacción. Alternativamente, la una o más zonas de intercambio de calor puede tener longitudes que son superiores a aproximadamente el 50 % de la longitud de cada zona de reacción hasta aproximadamente el 100 % de la longitud de cada zona de reacción.

El catalizador puede estar en forma de un lecho de partículas que puede estar graduado en la composición o graduado con un material inerte térmicamente conductor. El material inerte térmicamente conductor puede estar intercalado con el catalizador activo. Los ejemplos de materiales inertes térmicamente conductores que se pueden

5 usar incluyen polvo de diamante, carburo de silicio, aluminio, alúmina, cobre, grafito y similares. La fracción de lecho de catalizador puede variar desde aproximadamente el 100 % en peso de catalizador activo hasta menos de aproximadamente el 50 % en peso de catalizador activo. La fracción de lecho de catalizador puede variar desde aproximadamente el 10 % hasta aproximadamente el 90 % en peso de catalizador activo, y en una realización desde aproximadamente el 25 % hasta aproximadamente el 75 % en peso. En una realización alternativa, el material inerte térmicamente conductor puede ser desplegado en el centro del catalizador o dentro de las partículas de catalizador.

10 El catalizador activo se puede depositar sobre el exterior, en el interior o intermitente dentro de una estructura de material compuesto que incluye el inerte térmicamente conductor. La estructura de material compuesto de catalizador resultante puede tener una conductividad térmica eficaz cuando se pone en un microcanal de proceso que es al menos aproximadamente 0,3 W/m/K, y en una realización al menos aproximadamente 1 W/m/K, y en una realización al menos aproximadamente 2 W/m/K.

15 El lecho de catalizador puede ser graduado solo localmente dentro del microcanal de proceso. Por ejemplo, un microcanal de proceso puede contener un lecho de catalizador con una primera zona de reacción y una segunda zona de reacción. La parte superior o inferior (o delantera o trasera) del lecho de catalizador puede ser de composición graduada, por lo que se emplea un catalizador más o menos activo en toda o parte de la primera o segunda zona de reacción. La composición que se reduce en una zona de reacción puede generar menos calor por unidad volumen y así reducir los puntos calientes y las posibilidades de producción de subproductos no deseables, tales como metano en una reacción de Fischer-Tropsch. El catalizador puede ser graduado con un material inerte en la primera y/o segunda zona de reacción, por completo o en parte.

20 La primera zona de reacción puede contener una primera composición de catalizador o material inerte, mientras que la segunda zona de reacción puede contener una segunda composición de catalizador o material inerte.

25 Se pueden usar diferentes tamaños de partículas en diferentes regiones axiales de los microcanales de proceso para proporcionar lechos de catalizadores graduados. Por ejemplo, se pueden usar partículas muy pequeñas en una primera zona de reacción mientras que se pueden usar partículas más grandes en una segunda zona de reacción. Los diámetros promedio de partículas pueden ser inferiores a la mitad de la altura o el hueco de los microcanales de proceso. Las partículas muy pequeñas pueden ser inferiores a un cuarto de la altura o hueco del microcanal de proceso. Partículas más grandes pueden provocar menores caídas de presión por unidad de longitud de los microcanales de proceso y también pueden reducir la eficacia del catalizador. La conductividad térmica eficaz de un lecho de catalizador puede ser más baja para partículas de mayor tamaño. Se pueden usar partículas más pequeñas en regiones donde se busca la transferencia de calor mejorada durante todo el lecho de catalizador o alternativamente se pueden usar partículas más grandes para reducir la tasa local de generación de calor.

30 Se pueden lograr tiempos de contacto relativamente cortos, alta selectividad hacia el producto deseado y tasas de desactivación del catalizador relativamente bajas limitando la trayectoria de difusión requerida para el catalizador. Esto se puede lograr cuando el catalizador está en forma de una capa delgada sobre un soporte manipulado, tal como una espuma metálica o sobre la pared del microcanal de proceso. Esto puede permitir elevadas velocidades espaciales.

35 La delgada capa de catalizador se puede producir usando deposición química de vapor. Esta delgada capa puede tener un espesor en el intervalo hasta aproximadamente 1 micrómetro, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1 micrómetro, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 0,5 micrómetros, y en una realización aproximadamente 0,25 micrómetros. Estas delgadas capas pueden reducir el tiempo que los reactantes están dentro de la estructura de catalizador activo, reduciendo la trayectoria de difusión. Esto puede disminuir el tiempo que los reactantes pasan en la porción activa del catalizador. El resultado puede aumentar la selectividad hacia el producto y reducir los subproductos no deseados. Una ventaja de este modo de utilización de catalizador puede ser que, a diferencia de los catalizadores convencionales en los que la porción activa del catalizador puede estar unida a un aglutinante inerte de baja conductividad térmica, la película de catalizador activo puede estar en contacto íntimo con o una estructura manipulada o una pared del microcanal de proceso. Esto puede aprovechar las altas tasas de transferencia de calor obtenibles en el reactor de microcanales y permitir el estrecho control de la temperatura. Esto puede dar como resultado la capacidad de operar a elevada temperatura (cinética más rápida) sin promover la formación de subproductos no deseados, por lo que se produce una mayor productividad y rendimiento y se prolonga la vida del catalizador.

40 La configuración del reactor de microcanales puede ser adaptada para corresponder a la reacción cinética. Cerca de la entrada o parte superior de una primera zona de reacción de un microcanal de proceso, la altura o hueco del microcanal puede ser más pequeño que en una segunda zona de reacción cerca de la salida o parte inferior del microcanal de proceso. Alternativamente, las zonas de reacción pueden ser más pequeñas que la mitad de la longitud del microcanal de proceso. Por ejemplo, se puede usar una primera altura o hueco del microcanal de proceso para el primer 25 %, 50 %, 75 % o 90 % de la longitud del microcanal de proceso para una primera zona de reacción, mientras que una segunda altura o hueco se puede usar en una segunda zona de reacción aguas abajo de la primera zona de reacción. Esta configuración puede ser adecuada para realizar las reacciones de la síntesis de

Fischer-Tropsch. Para otras reacciones, se pueden usar configuraciones alternativas. Por ejemplo, para una reacción, tal como la reacción de desplazamiento de agua-gas o una reacción de síntesis de metanol en donde se pueden usar temperaturas más altas cerca de la entrada del reactor que cerca de la salida del reactor, se puede usar una mayor altura o hueco del microcanal de proceso cerca de la entrada de los microcanales de proceso y se puede usar una altura o hueco de microcanal de proceso más pequeño cerca de la salida del reactor. Se pueden realizar otras gradaciones en la altura o hueco del microcanal de proceso. Por ejemplo, se puede usar una primera altura o hueco cerca de la entrada del microcanal para proporcionar una primera zona de reacción, se puede usar una segunda altura o hueco aguas abajo de la primera zona de reacción para proporcionar una segunda zona de reacción, y se puede usar una tercera altura o hueco para proporcionar una tercera zona de reacción cerca de la salida del microcanal. La primera y tercera alturas o huecos pueden ser iguales o diferentes. La primera y tercera alturas o huecos pueden ser mayores o más pequeñas que la segunda altura o hueco. La tercera altura o hueco puede ser más pequeña o más grande que la segunda altura o hueco. La segunda altura o hueco puede ser mayor o menor que la tercer altura o hueco.

El catalizador es un catalizador sólido o un catalizador homogéneo inmovilizado sobre un soporte sólido. El catalizador puede ser un catalizador graduado. El catalizador puede tener cualquier tamaño y configuración geométrica que se ajuste dentro de los microcanales de proceso. El catalizador puede estar en forma de sólidos en partículas (por ejemplo, pellas, polvo, fibras y similares) que tiene una mediana de diámetro de partículas de aproximadamente 1 a aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización aproximadamente 10 a aproximadamente 500 micrómetros, y en una realización aproximadamente 25 a aproximadamente 250 micrómetros. En una realización, los sólidos en partículas pueden tener diámetros de al menos aproximadamente 225 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 225 hasta aproximadamente 1000 micrómetros. En una realización, el catalizador puede estar en forma de un lecho fijo de sólidos en partículas.

El catalizador puede estar en forma de un lecho fijo de sólidos en partículas, en donde la mediana del diámetro de partículas de los sólidos en partículas de catalizadores es relativamente pequeña, y la longitud de cada microcanal de proceso es relativamente corta. La mediana del diámetro de partículas puede estar en el intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización aproximadamente 10 a aproximadamente 500 micrómetros, y la longitud de cada microcanal de proceso puede estar en el intervalo de hasta aproximadamente 500 cm, y en una realización aproximadamente 10 a aproximadamente 500 cm, y en una realización aproximadamente 50 a aproximadamente 300 cm.

El catalizador puede estar soportado sobre una estructura de soporte poroso, tal como una espuma, un fieltro, una guata o una combinación de los mismos. El término "espuma" se usa en el presente documento para referirse a una estructura con paredes continuas que definen poros a través de la estructura. El término "fieltro" se usa en el presente documento para referirse a una estructura de fibras con espacios intersticiales entremedias. El término "guata" se usa en el presente documento para referirse a una estructura de cadenas enmarañadas, como lana de acero. El catalizador puede estar soportado sobre una estructura de panal de abeja.

El catalizador puede estar situado sobre una pared de un microcanal y se pueden formar características superficiales sobre una pared opuesta al catalizador. Las características superficiales se pueden usar para mejorar la mezcla de los reactantes y potenciar el contacto con el catalizador.

El catalizador puede estar soportado sobre una estructura de flujo por soporte, tal como un fieltro con un hueco adyacente, una espuma con un hueco adyacente, una estructura de aleta con huecos, una capa de lavado sobre cualquier sustrato insertado, o una gasa que es paralela a la dirección de flujo con un hueco correspondiente para el flujo. Un ejemplo de una estructura de flujo perpendicular se ilustra en la Fig. 18. En la Fig. 18, el catalizador 300 está contenido dentro del microcanal de proceso 302. Una vía de paso abierta 304 permite el flujo de fluido a través del microcanal de proceso 302 en contacto con el catalizador 300 como se indica por las flechas 306 y 308.

El catalizador puede estar soportado sobre una estructura de soporte de flujo paralelo, tal como una espuma, guata, pella, polvo o gasa. Un ejemplo de una estructura de flujo paralelo se ilustra en la Fig. 19. En la Fig. 19, el catalizador de flujo paralelo 310 está contenido dentro del microcanal de proceso 312 y el fluido atraviesa el catalizador 310 como se indica por las flechas 314 y 316.

La estructura de soporte para un catalizador de flujo paralelo se puede formar de un material que comprende gel de sílice, cobre espumado, fibra de acero inoxidable sinterizado, lana de acero, alúmina, poli(metacrilato de metilo), polisulfonato, poli(tetrafluoroetileno), hierro, esponja de níquel, nailon, poli(difluoruro de vinilideno), polipropileno, polietileno, polietilenetilcetona, poli(alcohol vinílico), poli(acetato de vinilo), poli(acrilato), poli(metacrilato de metilo), poliestireno, poli(sulfuro de fenileno), polisulfona, polibutileno, o una combinación de dos o más de los mismos. En una realización, la estructura de soporte se puede fabricar de un material conductor del calor, tal como un metal, para potenciar la transferencia de calor lejos del catalizador.

El catalizador puede ser directamente recubierto por lavado sobre las paredes interiores de los microcanales de proceso o submicrocanales, crecido sobre las paredes a partir de la disolución, o recubiertos *in situ* sobre una estructura de aleta u otra estructura de soporte. El espesor de la capa catalítica puede ser al menos

aproximadamente 110 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 110 hasta aproximadamente 1000 micrómetros. El catalizador puede estar en forma de un único trozo de material contiguo poroso, o muchos trozos en contacto físico. En una realización, el catalizador puede estar comprendido de un material contiguo y tiene una porosidad contigua de forma que las moléculas puedan difundir a través del catalizador. En esta realización, los fluidos atraviesan el catalizador en vez de rodearlo. En una realización, el área en sección transversal del catalizador ocupa aproximadamente 1 a aproximadamente 99 %, y en una realización aproximadamente 10 a aproximadamente 95 % del área en sección transversal de los microcanales de proceso. El catalizador puede tener un área superficial, como se mide por BET, de más de aproximadamente 0,5 m²/g, y en una realización más de aproximadamente 2 m²/g.

El catalizador puede comprender un soporte poroso, una capa interfacial sobre el soporte poroso y un material de catalizador sobre la capa interfacial. La capa interfacial puede ser depositada de disolución sobre el soporte o se puede depositar por deposición química de vapor o deposición física de vapor. En una realización, el catalizador tiene un soporte poroso, una capa amortiguadora, una capa interfacial y un material de catalizador. Cualquiera de las capas anteriores puede ser continua o discontinua, como en forma de manchas o puntos, o en forma de una capa con huecos u orificios.

El soporte poroso puede tener una porosidad de al menos aproximadamente el 5 % como se mide por porosimetría de mercurio y un tamaño de poro promedio (suma de los diámetros de poros dividida entre el número de poros) de aproximadamente 1 a aproximadamente 1000 µm. El soporte poroso puede ser un cerámico poroso o una espuma metálica. Otros soportes porosos que se pueden usar incluyen carburos, nitruros y materiales compuestos. El soporte poroso puede tener una porosidad de aproximadamente el 30 % a aproximadamente el 99 %, y en una realización aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 98 %. El soporte poroso puede estar en forma de una espuma, fieltro, guata, o una combinación de los mismos. Las células abiertas de la espuma metálica pueden variar desde aproximadamente 20 poros por pulgada (ppi) hasta aproximadamente 3000 ppi, y en una realización aproximadamente 20 a aproximadamente 1000 ppi, y en una realización aproximadamente 40 a aproximadamente 120 ppi. El término "ppi" se refiere al mayor número de poros por pulgada (en materiales isotrópicos la dirección de la medición es irrelevante; sin embargo, en materiales anisotrópicos, la medición se hace en la dirección que maximiza el número de poros).

La capa amortiguadora, cuando está presente, puede tener una composición y/o densidad diferente de tanto la del soporte poroso como las capas interfaciales, y en una realización tiene un coeficiente de expansión térmica que es intermedio de los coeficientes de expansión térmica del soporte poroso y la capa interfacial. La capa amortiguadora puede ser un óxido metálico o carburo metálico. La capa amortiguadora puede estar comprendida de Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, ZrO₂, o combinación de los mismos. El Al₂O₃ puede ser α-Al₂O₃, γ-Al₂O₃ o una combinación de los mismos. El α-Al₂O₃ proporciona la ventaja de excelente resistencia a la difusión de oxígeno. La capa amortiguadora se puede formar de dos o más subcapas de composición diferente. Por ejemplo, cuando el soporte poroso es metal, por ejemplo una espuma de acero inoxidable, se puede usar una capa amortiguadora formada de dos subcapas de composición diferente. La primera subcapa (en contacto con el soporte poroso) puede ser TiO₂. La segunda subcapa puede ser α-Al₂O₃ que se pone sobre TiO₂. En una realización, la subcapa de α-Al₂O₃ es una capa densa que proporciona protección de la superficie metálica subyacente. Entonces se puede depositar una capa interfacial de elevada área superficial y menos densa, tal como alúmina, como soporte para una capa catalíticamente activa.

El soporte poroso puede tener un coeficiente de expansión térmica diferente de aquél de la capa interfacial. En dicho caso se puede necesitar una capa amortiguadora para la transición entre los dos coeficientes de expansión térmica. El coeficiente de expansión térmica de la capa amortiguadora puede ser adaptado controlando su composición para obtener un coeficiente de expansión que es compatible con los coeficientes de expansión del soporte poroso y las capas interfaciales. La capa amortiguadora debe estar libre de aberturas y orificios para proporcionar protección superior del soporte subyacente. La capa amortiguadora puede ser no porosa. La capa amortiguadora puede tener un espesor que es inferior a la mitad del tamaño promedio de poro del soporte poroso. La capa amortiguadora puede tener un espesor de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 10 µm, y en una realización aproximadamente 0,05 a aproximadamente 5 µm.

Se pueden obtener adherencia y estabilidad química adecuadas sin una capa amortiguadora. En esta realización, la capa amortiguadora puede ser omitida.

La capa interfacial puede comprender nitruros, carburos, sulfuros, haluros, óxidos metálicos, carbono, o una combinación de los mismos. La capa interfacial proporciona elevada área superficial y/o proporciona una interacción catalizador-soporte deseable para catalizadores soportados. La capa interfacial puede estar comprendida de cualquier material que se use convencionalmente como soporte de catalizador. La capa interfacial puede estar comprendida de un óxido metálico. Los ejemplos de óxidos metálicos que se pueden usar incluyen Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, TiO₂, óxido de tungsteno, óxido de magnesio, óxido de vanadio, óxido de cromo, óxido de manganeso, óxido de hierro, óxido de níquel, óxido de cobalto, óxido de cobre, óxido de cinc, óxido de molibdeno, óxido de estaño, óxido de calcio, óxido de aluminio, óxido(s) de la serie del lantano, zeolita(s) y combinaciones de los mismos. La capa interfacial puede servir de capa catalíticamente activa sin material catalíticamente activo adicional depositado encima. Normalmente, sin embargo, la capa interfacial se usa en combinación con una capa catalíticamente activa.

La capa interfacial también se puede formar de dos o más subcapas de composición diferente. La capa interfacial puede tener un espesor que es inferior a la mitad del tamaño de poro promedio del soporte poroso. El espesor de la capa interfacial puede variar desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 100 μm , y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 15 μm . La capa interfacial puede ser o cristalina o amorfa. La capa interfacial puede tener un área superficial BET de al menos aproximadamente 1 m^2/g .

El catalizador puede ser depositado sobre la capa interfacial. Alternativamente, el material de catalizador puede ser depositado simultáneamente con la capa interfacial. La capa de catalizador puede estar íntimamente dispersada sobre la capa interfacial. Que la capa de catalizador esté "dispersada sobre" o "depositada sobre" la capa interfacial incluye el entendimiento convencional de que partículas microscópicas de catalizador se dispersan: sobre la superficie de la capa de soporte (es decir, capa interfacial), en grietas en la capa de soporte y en poros abiertos en la capa de soporte.

El catalizador puede ser soportado sobre un ensamblaje de una o más aletas u otras estructuras situadas dentro de los microcanales de proceso. Los ejemplos se ilustran en las Fig. 20-22. Con referencia a la Fig. 20, el ensamblaje de aletas 320 incluye aletas 322 que están montadas sobre el soporte de aleta 324 que recubre la pared de base 326 del microcanal de proceso 328. Las aletas 322 se proyectan desde el soporte de aleta 324 hacia el interior del microcanal de proceso 328. Las aletas 322 se extienden hasta y pueden ponerse en contacto con la superficie interior de la pared superior 330 del microcanal de proceso 328. Los canales de aletas 332 entre las aletas 322 proporcionan vías de paso para que el fluido atraviese el microcanal de proceso 328 paralelo a su longitud. Cada una de las aletas 322 tiene una superficie exterior sobre cada uno de sus lados, esta superficie exterior proporciona una base de soporte para el catalizador. La composición de reactante atraviesa los canales de aletas 332, se pone en contacto con el catalizador soportado sobre la superficie exterior de las aletas 322 y reacciona formando el producto. El ensamblaje de aletas 320a ilustrado en la Fig. 21 es similar al ensamblaje de aletas 320 ilustrado en la Fig. 20, excepto que las aletas 322 no se extienden totalmente hacia la superficie interior de la pared superior 330 del microcanal 328. El ensamblaje de aletas 320b ilustrado en la Fig. 22 es similar al ensamblaje de aletas 320 ilustrado en la Fig. 20, excepto que las aletas 322b en el ensamblaje de aletas 320b tienen formas en sección transversal en forma de trapecios. Cada una de las aletas puede tener una altura que varía desde aproximadamente 0,02 mm hasta la altura del microcanal de proceso 328, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 10 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 2 mm. La anchura de cada aleta puede variar desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 2 mm y en una realización aproximadamente 0,02 a aproximadamente 1 mm. La longitud de cada aleta puede ser de cualquier longitud hasta la longitud del microcanal de proceso 328, y en una realización hasta aproximadamente 10 m, y en una realización aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10 m, y en una realización aproximadamente 0,5 a aproximadamente 6 m, y en una realización aproximadamente 0,5 a aproximadamente 3 m. El hueco entre cada una de las aletas puede ser de cualquier valor y puede variar desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 5 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 2 mm, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 1 mm. El número de aletas en el microcanal de proceso 328 puede variar desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 50 aletas por centímetro de anchura del microcanal de proceso 328, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 30 aletas por centímetro, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10 aletas por centímetro, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 5 aletas por centímetro, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 3 aletas por centímetro. Cada una de las aletas puede tener una sección transversal en forma de un rectángulo o cuadrado como se ilustra en las Fig. 20 o 21, o un trapecio como se ilustra en la Fig. 22. Cuando se ve a lo largo de su longitud, cada aleta puede ser recta, cónica, o tener una configuración en serpentin. El ensamblaje de aletas se puede hacer de cualquier material que proporcione resistencia suficiente, estabilidad dimensional y características de transferencia de calor para permitir la operación para la que está prevista el microcanal de proceso. Estos materiales incluyen: acero (por ejemplo, acero inoxidable, acero al carbono y similares); monel; inconel; aluminio; titanio; níquel; platino; rodio; cobre; cromo; latón; aleaciones de cualquiera de los metales anteriores; polímeros (por ejemplo, resinas termoestables); cerámicos; vidrio; materiales compuestos que comprenden uno o más polímeros (por ejemplo, resinas termoestables) y fibra de vidrio; cuarzo; silicio; o una combinación de dos o más de los mismos. El ensamblaje de aletas se puede hacer de un material formador de Al_2O_3 , tal como una aleación que comprende Fe, Cr, Al e Y, o un material formador de Cr_2O_3 , tal como una aleación de Ni, Cr y Fe.

El catalizador puede estar soportado por la tira de soporte microranurada ilustrada en la Fig. 23. Con referencia a la Fig. 23, la tira de soporte microranurada 400 comprende la tira de soporte 410 que es de forma rectangular y tiene una longitud (l), anchura (w) y espesor (t). La tira de soporte 410 tiene una primera superficie o superficie superior 412, una segunda superficie o superficie inferior 414, un primer borde lateral 416, un segundo borde lateral 418, un borde delantero 420 y un borde trasero 422. La tira de soporte 410 tiene un eje central 424 que se extiende a lo largo de la longitud (l) de la tira de soporte. Se forman una pluralidad de microranuras paralelas 430 en la primera superficie 412. Las microranuras 430 se extienden entre el primer borde lateral 416 de la tira de soporte 410 y el segundo borde lateral 418, pero no se proyectan a través de los bordes laterales. La tira de soporte microranurada 400 incluye secciones no ranuradas 434 y 436 que proporcionan a la tira de soporte microranurada 400 un borde

delantero 420 y un borde trasero 422 que están cerrados. Es decir, el borde delantero 420 y el borde trasero 422 de la tira de soporte microranurada 400 están bloqueados suficientemente para prevenir que el fluido circule a través del borde delantero 420 y el borde trasero 422. Las microranuras 430 están orientadas en un ángulo 425 con respecto al eje central 424 que es suficiente para permitir que el fluido circule en las microranuras 430 en una dirección general desde el borde delantero 420 hacia el borde trasero 422, o desde el borde trasero 422 hacia el borde delantero 420. El borde delantero 420, el borde trasero 422 y los bordes laterales 416 y 418 de la tira de soporte microranurada 400 están cerrados. Estos bordes cerrados no permiten el flujo de fluido a través del borde delantero, el borde trasero y los bordes laterales.

Las microranuras 430 ilustradas en la Fig. 23 tienen secciones transversales en forma de cuadrados. Alternativamente, cada una de las microranuras 430 puede tener una sección transversal rectangular, una sección transversal den forma de V, una sección transversal semicircular, una sección transversal en forma de cola de milano, o una sección transversal en forma de trapecio. Los expertos en la técnica reconocerán que se pueden usar microranuras con otras formas en sección transversal. Cada una de las microranuras 430 tiene una profundidad, anchura y longitud. La profundidad de cada una de las microranuras 430 puede estar en el intervalo hasta aproximadamente 5000 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 5000 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 2000 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 1000 micrómetros. La anchura, que sería la anchura en su dimensión más ancha, para cada una de las microranuras 430 puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 500 micrómetros. La longitud de cada una de las microranuras 430 puede ser de cualquier dimensión que depende de la anchura (w) de la tira de soporte 410. La longitud de cada microranura 430 puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 cm. La separación entre las microranuras 430 puede estar en el intervalo hasta aproximadamente 1000 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1000 micrómetros. Cada una de las microranuras 430 puede estar orientada hacia el borde trasero 422 y el primer borde lateral 416 y forma un ángulo 425 con el eje central 424 que es suficiente para permitir que el fluido circule en las microranuras en una dirección general hacia el segundo borde lateral 418 y el borde trasero 422, o hacia el primer borde lateral 416 y el borde delantero 420. El ángulo 425 puede ser superior a aproximadamente 0° e inferior a 90°. El ángulo 425 puede estar en el intervalo desde aproximadamente 50° hasta aproximadamente 80°, y en una realización desde aproximadamente 60° hasta aproximadamente 75°. Las microranuras 430 se pueden formar en la primera superficie 412 de la tira de soporte 410 por cualquier técnica adecuada, que incluye mecanizado fotoquímico, grabado con láser, mecanizado por chorro de agua y similares.

La tira de soporte 410 puede tener un espesor (t) en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 5000 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 1000 micrómetros. La tira de soporte 410 puede tener cualquier anchura (w) y cualquier longitud (l), dependiendo la anchura y la longitud de las dimensiones del microcanal para el que se va a usar la tira de soporte 410. La tira de soporte 410 puede tener una anchura (w) en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 cm. La longitud (l) de la tira de soporte 410 puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 100 cm, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 cm. La tira de soporte 410 como se ilustra en la Fig. 30 está en forma de un rectángulo. Sin embargo, se debe entender que la tira de soporte 410 puede tener cualquier configuración, por ejemplo, cuadrado, círculo, óvalo, etc., para conformarse al diseño del microcanal para el que se va a usar.

La tira de soporte 410 se puede fabricar de cualquier material que proporcione resistencia, estabilidad dimensional y características de transferencia de calor suficientes para permitir el uso de la tira de soporte microranurada 400 en un microcanal para soportar un catalizador. La tira de soporte 410 se puede fabricar de metal, carburo de silicio, grafito, o una combinación de dos o más de los mismos. El metal puede comprender acero, aluminio, titanio, níquel, platino, rodio, cobre, cromo, latón, o una aleación de cualquiera de los metales anteriores. La estructura de soporte 410 se puede fabricar de acero inoxidable o una aleación que comprende hierro, cromo, aluminio e itrio.

La tira de soporte microranurada 400 se puede usar como una estructura de soporte de flujo transversal en un microcanal.

Una pluralidad de tiras de soporte microranuradas se pueden apilar una encima de la otra o situar una al lado de la otra para formar una estructura de soporte de material compuesto que se puede usar para soportar un catalizador para su uso en el proceso inventivo. La estructura de soporte de material compuesto, en una realización, se ilustra en las Fig. 26 y 27. Las tiras de soporte 400A y 400B ilustradas en las Fig. 26 y 27 tienen bordes delantero 420 y trasero 422 abiertos, bordes laterales 416 y 418 cerrados, y microranuras 430 que penetran totalmente a través de la tira de soporte 410 desde la superficie superior 412 hasta la superficie inferior 414. Los bordes delanteros abiertos 420, los bordes traseros 422 y las microranuras 430 permiten que el fluido circule a través de las tiras de soporte microranuradas desde una tira de soporte hasta otra tira de soporte dentro de la estructura de soporte de material compuesto a medida que el fluido atraviesa la estructura de soporte de material compuesto. El número de tiras de soporte microranuradas empleado en dicha estructura de soporte de material compuesto puede ser de cualquier

número, por ejemplo hasta aproximadamente 50, y en una realización hasta aproximadamente 30, y en una realización hasta aproximadamente 15, y en una realización hasta aproximadamente 10. La estructura de soporte de material compuesto también incluye placas terminales para prevenir que el fluido circule fuera de las caras de la construcción de material compuesto.

5 La estructura de soporte de material compuesto 402 ilustrada en las Fig. 26 y 27 puede comprender ocho (8) tiras de soporte microranuradas, estando cuatro de cada una de las tiras de soporte microranuradas 400A y 400B situadas una al lado de la otra en secuencia alterna y dos placas terminales 405 (solo se muestra una placa terminal en las Fig. 26 y 27). Las tiras de soporte microranuradas 400A y 400B comprenden cada una una tira de soporte 410 que es de forma rectangular y tiene una longitud, una anchura y un espesor. La tira de soporte 410 tiene un eje central que se extienden a lo largo de la longitud de la tira de soporte. Se forma una pluralidad de microranuras paralelas 430 en la tira de soporte 410 y se proyectan a través de la tira de soporte desde la superficie superior 412 hasta la superficie inferior 414. Los bordes delantero 420 y trasero 422 abiertos y las microranuras abiertas 430 permiten que el fluido circule desde una tira de soporte microranurada hasta otra dentro de la estructura de soporte de material compuesto 402. Un primer grupo de microranuras paralelas se extiende desde el primer borde lateral 416 de la tira de soporte 410 hasta el segundo borde lateral 418. Un segundo grupo de las microranuras 430 se extiende desde el borde delantero 420 hasta el segundo borde lateral 418. Un tercer grupo de las microranuras 430 se extiende desde el primer borde lateral 416 de la tira de soporte 410 hasta el borde trasero 422. Las microranuras 430 se extienden hasta los bordes laterales 416 y 418, pero no se proyectan a través de estos bordes laterales. Las placas terminales 405 previenen que el fluido salga de los lados de la estructura de soporte de material compuesto 402. La segunda placa terminal 405 que no se muestra en los dibujos estaría situada adyacente a la primera tira de soporte microranurada 400A en el lado izquierdo de las Fig. 26 y 27. Las microranuras 430 en la tira de soporte 400A están orientadas en un primer ángulo con respecto al eje central de la tira de soporte y el borde lateral 416 que puede ser superior a aproximadamente 90° e inferior a aproximadamente 180°, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 100° o aproximadamente 150°. Las microranuras 430 en la tira de soporte 400B pueden estar orientadas en un segundo ángulo con respecto al eje central de la tira de soporte y el borde lateral 116 que puede ser superior a aproximadamente 0° e inferior a aproximadamente 90°, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 50° hasta aproximadamente 80°. El primer ángulo y el segundo ángulo pueden ser suficientemente diferentes para proporcionar cruces de las microranuras 430 en la tira de soporte 400A con microranuras en la tira de soporte 400B. Los cruces de las microranuras pueden proporcionar una pluralidad de aberturas u orificios pasantes suficientes para permitir que el fluido circule desde una tira de soporte hasta otra tira de soporte. El fluido puede atravesar la estructura de material compuesto 402 entrando en el borde delantero 420 de las tiras de soporte 400A y 400B, entrando dentro y atravesando las microranuras 430 y transfiriendo desde las microranuras 430 en una tira de soporte (400A o 400B) hasta las microranuras 430 en otra tira de soporte (400A o 400B) hasta que el fluido llegue al borde trasero 422 de las tiras de soporte y luego salga de la estructura de soporte de material compuesto 402. La Fig. 27 muestra un ejemplo de una trayectoria de flujo a través de la estructura de soporte de material compuesto 402 para un fluido que entra en la abertura 'A' de la estructura de soporte de material compuesto ilustrada en la Fig. 26. El flujo de fluido a través de la estructura de soporte de material compuesto 402 se puede describir como que permea, difunde y advecta desde una tira de soporte o capa hasta otra hasta que el fluido pase desde el extremo delantero de la estructura de soporte de material compuesto hasta el extremo trasero. El catalizador se puede depositar sobre las tiras de soporte microranuradas (400, 400A, 400B) usando técnicas convencionales. Éstas pueden incluir recubrimiento por lavado del catalizador sobre las tiras de soporte microranuradas, crecimiento del catalizador sobre las tiras de soporte microranuradas, o deposición del catalizador sobre las tiras de soporte microranurado usando deposición de vapor. La deposición de vapor puede ser deposición química de vapor o deposición física de vapor. El catalizador se puede depositar por recubrimiento por suspensión, recubrimiento sol o recubrimiento por disolución. En una realización, el catalizador puede estar en forma de partículas de tamaño de micrómetros depositadas en y adheridas a las microranuras 430 de la tira de soporte o estructura de soporte de material compuesto. La carga de catalizador puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 100 miligramos (mg) por centímetro cuadrado de tira de soporte microranurada, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10 mg de catalizador por centímetro cuadrado de tira de soporte microranurada. Las partículas de tamaño de micrómetros pueden tener tamaños de partículas promedio en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 50 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 7 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 5 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 3 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 2 micrómetros, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 1 micrómetro, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 0,5 micrómetros.

60 Una ventaja de proporcionar las microranuras en una orientación angular con respecto al centro del eje de las tiras de soporte microranuradas es que el flujo de fluido sobre las tiras de soporte microranuradas y en las microranuras se puede facilitar en comparación con proporcionar las ranuras rectas a través de la estructura de soporte microranurado donde el flujo en la región de flujo neto puede ser alterado por las microranuras y el flujo aguas abajo del fluido en las microranuras no sería posible.

Otra ventaja de las microranuras en ángulo pueden ser que se pueden eliminar los problemas de alineamiento que pueden ocurrir usando aletas y similares que se extienden longitudinalmente a lo largo del eje central del microcanal.

5 Una ventaja de las tiras de soporte microranuradas y las estructuras de material compuesto se puede referir al hecho de que las partículas de tamaño de micrómetros de catalizador pueden estar situadas en y ancladas a las microranuras, reduciéndose así la tendencia de las partículas a ser barridas por el flujo de fluidos de proceso a través de los microcanales.

10 Los microcanales de proceso que se pueden usar en el núcleo de reactor de microcanales 102 empleando la tira de soporte microranurada 400 para soportar un catalizador se ilustran en las Fig. 24 y 25. El número de estos microcanales de proceso que se puede usar en el núcleo de reactor de microcanales 102 puede ser cualquier número, por ejemplo, uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis, ocho, diez, cientos, miles, etc. Con referencia a la Fig. 24, el microcanal de proceso 132 contiene la tira de soporte microranurada 400 montada sobre la pared interior 181 del microcanal de proceso 132. El soporte microranurado 400 está situado en la zona de reacción 173. El catalizador 15 172 está situado en las microranuras 430 del soporte microranurado 400. La zona de reacción 173 comprende la segunda zona de procesamiento 174. La zona de procesamiento 175 está situada aguas arriba de la zona de reacción 173. La zona de procesamiento puede contener obstrucciones internas (por ejemplo, características superficiales) para potenciar la mezcla de los reactantes. La zona de procesamiento 175 se puede denominar una primera zona de procesamiento. La zona adicional 176 está situada aguas abajo de la zona de reacción 173. La 20 segunda zona de procesamiento 174 puede tener un área en sección transversal abierta más pequeña que la primera zona de procesamiento 175 como resultado de que el soporte microranurado 400 está situado en la segunda zona de procesamiento 174. El área en sección transversal de la zona adicional 176 es la misma que el área en sección transversal de la zona de reacción 173. La región de flujo neto 183 se define por el espacio dentro del microcanal de proceso 132 por encima de la tira de soporte microranurada 400. El fluido de proceso circula en el 25 microcanal de proceso 132 como se indica por las flechas 146 y 148. Al circular en el microcanal de proceso 132, el fluido de proceso atraviesa la región de flujo neto 183 en contacto con el catalizador 172 soportado por la tira de soporte microranurada 400. La tira de soporte microranurada 400 es una tira de soporte de flujo transversal. Sin embargo, algo del fluido de proceso puede circular en las microranuras 430 en contacto con el catalizador. El flujo de fluido de proceso en las microranuras 430 puede estar en la dirección general desde el borde lateral 418 hacia el 30 borde lateral 416 y el borde trasero 422. Los reactantes pueden atravesar la zona de procesamiento 175 y luego atravesar la segunda zona de procesamiento 174, que puede dar como resultado un aumento de la velocidad local para los reactantes en la segunda zona de procesamiento 174. Se puede formar una capa de película líquida sobre el catalizador 172. Sin embargo, la velocidad local de los reactantes que atraviesan la segunda zona de procesamiento 174 puede tener el efecto de reducir el espesor de la capa de película. Los reactantes pueden 35 reaccionar en presencia del catalizador para formar el producto. El producto puede salir del microcanal de proceso a través de la zona adicional 176.

40 El microcanal de proceso 132 ilustrado en la Fig. 25 es similar al microcanal de proceso 132 ilustrado en la Fig. 24, con la excepción de que el microcanal de proceso 132 ilustrado en la Fig. 25 contiene paredes interiores opuestas 181 y 182 y una tira de soporte microranurada 400 que soporta el catalizador está montada sobre cada una de las paredes interiores opuestas.

45 La(s) zona(s) de reacción en los microcanales de proceso 132-132g o 210 se pueden caracterizar por tener una trayectoria de flujo neto. Una región de flujo neto contigua puede permitir el rápido flujo de fluidos en los microcanales de proceso sin grandes caídas de presión. En una realización, el flujo de fluido en la región de flujo neto es laminar. Las regiones de flujo neto dentro de cada microcanal de proceso 132-132g o 210 pueden tener un área en sección transversal en el intervalo desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 10.000 mm², y en una realización desde aproximadamente 0,05 hasta aproximadamente 5000 mm², y en una realización desde 50 aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 2500 mm². Las regiones de flujo neto pueden comprender desde aproximadamente el 5 % hasta aproximadamente el 95 %, y en una realización desde aproximadamente el 30 % hasta aproximadamente el 80 % de la sección transversal de los microcanales de proceso.

55 El catalizador se puede regenerar. Esto se puede hacer haciendo circular un fluido regenerador a través de los microcanales de proceso en contacto con el catalizador. El fluido regenerador puede comprender hidrógeno o una corriente de hidrógeno diluido. El diluyente puede comprender nitrógeno, argón, helio, metano, dióxido de carbono, vapor de agua o una mezcla de dos o más de los mismos. El fluido regenerador puede circular desde la cabeza 104 a través de los microcanales de proceso y hasta la cola 106, o en la dirección opuesta desde la cola 106 a través de los microcanales de proceso hasta la cabeza 104.

60 La temperatura del fluido regenerador puede ser desde aproximadamente 50 hasta aproximadamente 400 °C, y en una realización aproximadamente 200 a aproximadamente 350 °C. La presión dentro de los microcanales de proceso durante esta etapa de regeneración puede variar desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 40 atmósferas, y en una realización aproximadamente 1 a aproximadamente 20 atmósferas, y en una realización 65 aproximadamente 1 a aproximadamente 5 atmósferas. El tiempo de residencia para el fluido regenerador en los microcanales de proceso puede variar desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1000 segundos, y en una realización aproximadamente 0,1 segundos a aproximadamente 100 segundos.

5 Cuando el catalizador es un catalizador FT, se puede regenerar aumentando la relación molar entre H₂ y CO en la composición de reactante hasta al menos aproximadamente 2,5:1, y en una realización al menos aproximadamente 3:1, y haciendo circular la composición de alimentación ajustada resultante a través de los microcanales de proceso en contacto con el catalizador a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 150 °C hasta aproximadamente 300 °C, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 180 °C hasta aproximadamente 250 °C, durante un periodo de tiempo en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 100 horas, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 20 horas, para proporcionar el catalizador regenerado. La composición de alimentación se puede ajustar interrumpiendo el flujo de todos los gases de alimentación, excepto el hidrógeno, y haciendo circular el hidrógeno a través de los microcanales de proceso en contacto con el catalizador. El flujo de H₂ se puede aumentar para proporcionar el mismo tiempo de contacto usado para la composición de reactante que comprende H₂ y CO. La composición de alimentación ajustada puede comprender H₂ y se caracteriza por la ausencia de CO. Una vez el catalizador se regenera, se puede continuar el proceso de Fischer-Tropsch poniendo en contacto el catalizador regenerado con la composición original de reactante que comprende H₂ y CO.

20 El fluido de intercambio de calor puede ser cualquier fluido. Éstos puede incluir aire, vapor de agua, agua líquida, vapor de agua, nitrógeno gaseoso, otros gases que incluyen gases inertes, monóxido de carbono, sal fundida, aceites tales como aceite mineral, y fluidos de intercambio de calor, tales como Dowtherm A y Therminol que están disponibles de Dow-Union Carbide.

El fluido de intercambio de calor puede comprender una corriente del primer y/o segundo reactante. Esto puede proporcionar calor previo al proceso y aumentar la eficiencia térmica global del proceso.

25 Los canales de intercambio de calor pueden comprender canales de proceso en donde se realiza un proceso endotérmico o un proceso exotérmico. Estos canales de proceso de intercambio de calor pueden ser microcanales. Los ejemplos de procesos endotérmicos que se pueden realizar en los canales de intercambio de calor incluyen reformado con vapor de agua y reacciones de deshidrogenación. El reformado con vapor de agua de un alcohol que ocurre a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente 200 °C hasta aproximadamente 300 °C es un ejemplo de un proceso endotérmico apto para una reacción exotérmica, tal como una reacción de síntesis de FT en el mismo intervalo de temperatura. La incorporación de una reacción endotérmica simultánea para proporcionar un sumidero de calor mejorado puede permitir un flujo de calor típico de aproximadamente un orden de magnitud por encima del flujo de calor de refrigeración convectivo. Los ejemplos de procesos exotérmicos que se pueden realizar en los canales de intercambio de calor incluyen reacciones de desplazamiento agua-gas, reacciones de síntesis de metanol y reacciones de síntesis de amoníaco. El uso de reacciones exotérmicas y endotérmicas simultáneas para el intercambio de calor en un reactor de microcanales se desvela en la solicitud de patente de EE. UU. N.º de serie 10/222.196.

40 El fluido de intercambio de calor puede experimentar un cambio de fase parcial o completo a medida que circula en los canales de intercambio de calor. Este cambio de fase puede proporcionar retirada de calor adicional desde los microcanales de proceso más allá del proporcionado por refrigeración convectiva. Para que un fluido de intercambio de calor sea vaporizado, el calor adicional que se transfiere de los microcanales de proceso puede resultar del calor latente de vaporización requerido por el fluido de intercambio de calor. Un ejemplo de dicho cambio de fase puede ser un aceite o agua que hierve o hierve parcialmente. En una realización, aproximadamente el 50 % en peso del fluido de intercambio de calor puede ser vaporizado, y en una realización aproximadamente el 35 % en peso puede ser vaporizado, y en una realización aproximadamente el 20 % en peso puede ser vaporizado y en una realización aproximadamente el 10 % en peso puede ser vaporizado. En una realización, desde aproximadamente el 10 % hasta aproximadamente el 50 % en peso puede ser vaporizado.

50 El flujo de calor para el intercambio de calor en el reactor de microcanales puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 500 vatios por centímetro cuadrado de área superficial del uno o más microcanales de proceso (W/cm²) en el reactor de microcanales, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 125 W/cm². El flujo de calor para el intercambio de calor convectivo en el reactor de microcanales puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 250 W/cm², y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 50 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 25 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10 W/cm². El flujo de calor para el cambio de fase y/o una reacción exotérmica o endotérmica del fluido de intercambio de calor puede estar en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 500 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 250 W/cm², y en una realización, desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 50 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 25 W/cm², y en una realización desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 10 W/cm².

65 Puede ser ventajosa la refrigeración y/o el calentamiento de los microcanales de proceso durante el proceso de reacción, en una realización, para controlar la selectividad hacia el producto principal o deseado debido al hecho de

que dicha refrigeración y/o calentamiento añadido puede reducir o eliminar la formación de subproductos no deseados desde reacciones paralelas no deseadas con mayores energías de activación. Como resultado de dicha refrigeración y/o calentamiento añadido, en una realización, la temperatura de los reactantes (o mezcla de reactantes y diluyentes) que entran en los microcanales de proceso puede ser en aproximadamente 200 °C, y en una realización en aproximadamente 150 °C, y en una realización en aproximadamente 100 °C, y en una realización en aproximadamente 50 °C, y en una realización en aproximadamente 25 °C, y en una realización en aproximadamente 10 °C, de la temperatura del producto (o mezcla de producto y los reactantes sin reaccionar y/o diluyentes) que salen de los microcanales de proceso.

- 10 La fuerza o esfuerzo de cizallamiento sobre un elemento de control de líquido en la dirección de velocidad u se puede calcular por la fórmula $F_x = \mu \cdot du/dy$, donde μ es la viscosidad y du/dy es el gradiente de velocidad para el flujo de líquido normal a la sección con aberturas. Sin embargo, como en una localización de fluido (representada por un elemento de control) la velocidad puede tener tres componentes, y la fuerza de cizallamiento también puede tener tres componentes. Para un flujo de canal cerca de y en la superficie, se puede hacer una suposición dimensional y F_x se puede aproximar al esfuerzo de cizallamiento neto en una superficie de elemento del líquido. El uso de dinámica de fluidos computacional, que incluye paquetes de software comerciales, tales como Fluent o FEMLAB, puede resolver las ecuaciones de transporte requeridas de forma que se pueda calcular la fuerza de cizallamiento superficial. La fuerza o esfuerzo de cizallamiento superficial se puede calcular a lo largo de la longitud del canal, paralela a la dirección de flujo. La fuerza o esfuerzo de cizallamiento también se puede calcular entre canales paralelos, donde los efectos de la distribución de flujo están incluidos para determinar el flujo másico en cada canal paralelo en función del canal detallado y la geometría del colector. Se pueden encontrar métodos de cálculo adicionales, por ejemplo, en "Fundamentals of Fluid Mechanics", 3ª Ed., B.R. Munson, D.F. Young y T.H. Okiishi, John Wiley & Son, Inc., Weinheim, 1998.
- 25 El factor de desviación de la fuerza de cizallamiento (SFDF) para un proceso empleando un único microcanal de proceso puede estar dentro de aproximadamente el 50 % de SFDF para un proceso de aumento de escala que implica múltiples microcanales de proceso. El SFDF se puede calcular usando la fórmula

$$SFDF = (F_{\text{máx}} - F_{\text{mín}}) / (2F_{\text{media}})$$

- 30 en donde: $F_{\text{máx}}$ es la máxima fuerza de esfuerzo de cizallamiento en un microcanal de proceso para un líquido específico; $F_{\text{mín}}$ es la mínima fuerza de esfuerzo de cizallamiento en el microcanal de proceso para el líquido; y F_{media} es la fuerza de cizallamiento promedio aritmética para el fluido en la superficie de la sección con aberturas dentro del microcanal de proceso. Dentro de un único microcanal de proceso, operado según el proceso inventivo, el SFDF puede ser inferior a aproximadamente 2, y en una realización inferior a aproximadamente 1, y en una realización inferior a aproximadamente 0,5, y en una realización inferior a aproximadamente 0,2.

- El proceso puede proporcionar una fuerza de esfuerzo de cizallamiento relativamente uniforme mientras se emplean múltiples microcanales de proceso. Para medir la uniformidad de la fuerza de cizallamiento entre múltiples microcanales de proceso, la fuerza de cizallamiento promedio se calcula para cada canal y se compara. $F_{\text{máx}}$ es el mayor valor de la fuerza de cizallamiento promedio del canal, y $F_{\text{mín}}$ es el valor más pequeño de la fuerza de cizallamiento promedio. F_{media} es la media de las fuerzas de cizallamiento promedio de todos los canales. SFDF se puede calcular a partir de estos valores. Entre múltiples microcanales de proceso, al menos en una realización del proceso, SFDF puede ser inferior a aproximadamente 2, y en una realización inferior a aproximadamente 1, y en una realización inferior a aproximadamente 0,5, y en una realización inferior a aproximadamente 0,2.

La desviación en la fuerza de cizallamiento dentro de un microcanal de proceso también se puede definir como:

$$SFDF' = \frac{F_{\text{máx}} - F_{\text{mín}}}{F_{\text{máx}}}$$

- 50 en donde $F_{\text{máx}}$, $F_{\text{mín}}$ son como se han definido anteriormente. En una realización, $SFDF'$ puede ser inferior a aproximadamente 0,9, y en una realización inferior a aproximadamente 0,5, y en una realización inferior a aproximadamente 0,1.

- 55 Para un canal de proceso múltiple, la desviación en la fuerza de cizallamiento se puede definir como:

$$SFDF'' = \frac{F'_{\text{máx}} - F'_{\text{mín}}}{F'_{\text{máx}}}$$

- 60 en donde $F'_{\text{máx}}$ se define como la máxima fuerza de cizallamiento en una localización axial dada para múltiples microcanales de proceso, y $F'_{\text{mín}}$ se define como la fuerza de cizallamiento mínima en la misma localización axial

para los múltiples microcanales de proceso. En una realización, SFDF" puede ser inferior a aproximadamente 0,9, y en una realización inferior a aproximadamente 0,5, y en una realización inferior a aproximadamente 0,1.

5 En un dispositivo de aumento de escala, para ciertas aplicaciones, se puede requerir que la masa del fluido de proceso se distribuya uniformemente entre los microcanales. Dicha aplicación puede ser cuando se requiera que el fluido de proceso sea calentado o enfriado con canales de canales de intercambio de calor adyacentes. La distribución de flujo neto uniforme se puede obtener cambiando el área en sección transversal desde un microcanal paralelo a otro microcanal. La uniformidad de la distribución de flujo neto se puede definir por el factor del índice de calidad (factor Q) como se indica a continuación. Un factor Q del 0 % significa distribución uniforme absoluta.

$$Q = \frac{m_{\text{máx}} - m_{\text{mín}}}{m_{\text{máx}}} \times 100$$

10 Un cambio en el área en sección transversal puede dar como resultado una diferencia en el esfuerzo de cizallamiento sobre la pared. En una realización, el factor Q para los microcanales de proceso puede ser inferior a aproximadamente el 50 %, y en una realización inferior a aproximadamente el 20 %, y en una realización inferior a aproximadamente el 5 %, y en una realización inferior a aproximadamente el 1 %.

15 En una realización, el factor Q para el microcanal de proceso puede ser inferior a aproximadamente el 50 % y SFDF" puede ser inferior a aproximadamente 0,8. En una realización, el factor Q puede ser inferior a aproximadamente el 5 %, y SFDF" inferior a aproximadamente 0,5. En una realización, el factor Q puede ser inferior a aproximadamente el 1 %, y SFDF" puede ser inferior a aproximadamente 0,1.

20 La velocidad superficial para el fluido en fase líquida que circula en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,01 metros por segundo (m/s), y en una realización al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100 m/s. La velocidad superficial para el flujo de fase gaseosa que circula en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 1 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 10 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 5 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 20 ms, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 250 m/s. En una realización, la velocidad superficial para la fase líquida puede ser al menos aproximadamente 0,01 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 m/s, mientras que la velocidad superficial para la fase gaseosa puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 m/s. La velocidad de corriente libre para el flujo de fase líquida que circula en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,001 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 0,01 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,001 hasta aproximadamente 200 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 200 m/s. La velocidad de corriente libre para el flujo de fase gaseosa que circula en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 100 m/s. En una realización, la velocidad de corriente libre para la fase líquida puede ser al menos aproximadamente 0,001 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,001 hasta aproximadamente 200 m/s, mientras que la velocidad de corriente libre para la fase gaseosa puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 m/s.

50 La velocidad local para el fluido de fase líquida que circula en la zona de procesamiento (por ejemplo, la primera zona de procesamiento) de los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,01 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100 m/s.

60 La velocidad local para el fluido de fase gaseosa que circula en la zona de procesamiento (por ejemplo, la primera zona de procesamiento) de los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 5 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 20 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 250 m/s. En una realización, la

- 5 velocidad local para la fase líquida en la zona de procesamiento (por ejemplo, la primera zona de procesamiento) puede ser al menos aproximadamente 0,01 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 100 m/s, mientras que la velocidad local para la fase gaseosa puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 250 m/s.
- 10 La velocidad local para el fluido de fase líquida que circula en la segunda zona de procesamiento de los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,01 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 200 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 25 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 10 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 100 m/s. La velocidad local para el fluido de fase gaseosa que circula en la segunda zona de procesamiento de los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 1 m/s, y en una realización al menos aproximadamente 10 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 500 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 25 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1 hasta aproximadamente 50 ms, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 250 m/s. En una realización, la velocidad local para la fase líquida en la segunda zona de procesamiento puede ser al menos aproximadamente 0,01 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 200 m/s, mientras que la velocidad local para la fase gaseosa puede ser al menos aproximadamente 0,1 m/s, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 500 m/s.
- 15 20
- 25 La relación entre la velocidad local de los reactantes en fase líquida en la segunda zona de procesamiento y la velocidad local de los reactantes en fase líquida en la primera zona de procesamiento puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1,2 hasta aproximadamente 100, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1,3 hasta aproximadamente 10.
- 30 La relación entre la velocidad local de los reactantes en fase gaseosa en la segunda zona de procesamiento y la velocidad local de los reactantes en fase gaseosa en la primera zona de procesamiento puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1,2 hasta aproximadamente 100, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1,3 hasta aproximadamente 10.
- 35 La relación entre el área en sección transversal abierta de la segunda zona de procesamiento y el área en sección transversal abierta de la primera zona de procesamiento puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1,2 hasta aproximadamente 25, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 1,2 hasta aproximadamente 10.
- 40 La presión dinámica para el líquido en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,1 Pa ($9,87 \times 10^{-7}$ atm), y en una realización al menos aproximadamente 5 Pa ($4,93 \times 10^{-5}$ atm), y en una realización al menos aproximadamente 25 Pa (0,000248 atm), y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 100 Pa ($9,87 \times 10^{-7}$ a 0,000987 atm). La presión dinámica para el gas en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,5 Pa ($4,93 \times 10^{-6}$ atm), y en una realización al menos aproximadamente 5 Pa ($4,93 \times 10^{-5}$ atm), y en una realización al menos aproximadamente 10 Pa ($9,87 \times 10^{-5}$ atm), y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 200 Pa ($4,93 \times 10^{-6}$ a 0,00197 atm).
- 45
- 50 El espesor de la capa de película líquida sobre el catalizador puede estar en el intervalo desde aproximadamente 10 nm hasta aproximadamente 100 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 micrómetros hasta aproximadamente 20 micrómetros, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,5 hasta aproximadamente 5 micrómetros.
- 55 El reactante de fase líquida puede tener una viscosidad en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1000 centipoise, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 500 centipoise. El reactante de fase gaseosa puede tener una viscosidad en el intervalo desde aproximadamente 0,001 hasta aproximadamente 0,1 centipoise, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 0,1 centipoise. El producto puede tener una viscosidad en el intervalo desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 1000 centipoise, y en una realización desde aproximadamente 0,1 hasta aproximadamente 500 centipoise.
- 60
- 65 El número alfa para el fluido de proceso que circula en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 0,6, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,75 hasta aproximadamente 0,98, y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 0,85 hasta aproximadamente 0,95.
- El tiempo de contacto de los reactantes con el catalizador dentro de los microcanales de proceso puede variar hasta aproximadamente 2000 milisegundos (ms), y en una realización desde aproximadamente 10 ms hasta

ES 2 925 730 T3

aproximadamente 1000 ms, y en una realización aproximadamente ms a aproximadamente 500 ms. En una realización, el tiempo de contacto puede variar hasta aproximadamente 300 ms, y en una realización desde aproximadamente 20 hasta aproximadamente 300 ms, y en una realización desde aproximadamente 50 hasta aproximadamente 150 ms, y en una realización aproximadamente 75 a aproximadamente 125 ms, y en una realización aproximadamente 100 ms.

La velocidad espacial (o velocidad espacial horaria del gas (GHSV)) para el flujo del fluido de proceso en los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 1000 h/l (litros normales de alimentación/hora/litro de volumen dentro de los microcanales de proceso) o al menos aproximadamente 800 ml de alimentación/(g de catalizador) (h). La velocidad espacial puede estar en el intervalo desde aproximadamente 1000 hasta aproximadamente 1.000.000 h/l, o desde aproximadamente 800 hasta aproximadamente 800.000 ml de alimentación/(g de catalizador) (h). En una realización, la velocidad espacial puede estar en el intervalo desde aproximadamente 10.000 hasta aproximadamente 100.000 h/l, o aproximadamente 8.000 a aproximadamente 80.000 ml de alimentación/(g de catalizador) (h).

La temperatura de los reactantes que entran en los microcanales de proceso puede estar en el intervalo desde aproximadamente -40°C hasta aproximadamente 950°C , y en una realización aproximadamente 0°C a aproximadamente 600°C , y en una realización aproximadamente 20°C a aproximadamente 300°C , y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 150°C hasta aproximadamente 270°C .

La temperatura del fluido de proceso, es decir, reactantes y producto, dentro de los microcanales de proceso puede variar desde aproximadamente -40°C hasta aproximadamente 950°C , y en una realización desde aproximadamente 0°C hasta aproximadamente 600°C , y en una realización desde aproximadamente 20°C hasta aproximadamente 300°C , y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 150°C hasta aproximadamente 270°C .

La temperatura del producto que sale de los microcanales de proceso puede estar en el intervalo desde aproximadamente -40°C hasta aproximadamente 950°C , y en una realización aproximadamente 0°C a aproximadamente 600°C , y en una realización desde aproximadamente 20°C hasta aproximadamente 300°C , y en una realización en el intervalo desde aproximadamente 150°C hasta aproximadamente 270°C .

La presión dentro de los microcanales de proceso puede ser al menos aproximadamente 5 atmósferas, y en una realización al menos aproximadamente 10 atmósferas, y en una realización al menos aproximadamente 15 atmósferas, y en una realización al menos aproximadamente 20 atmósferas, y en una realización al menos aproximadamente 25 atmósferas, y en una realización al menos aproximadamente 30 atmósferas. En una realización, la presión puede variar desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente 75 atmósferas, y en una realización desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 50 atmósferas, y en una realización desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 30 atmósferas, y en una realización desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 25 atmósferas, y en una realización desde aproximadamente 15 hasta aproximadamente 25 atmósferas.

La caída de presión del fluido de proceso, es decir, reactantes y producto, a medida que entra en los microcanales de proceso puede variar hasta aproximadamente 15 atmósferas por metro de longitud del microcanal de proceso (atm/m), y en una realización hasta aproximadamente 10 atm/m, y en una realización hasta aproximadamente 5 atm/m.

El número de Reynolds para el flujo de vapor en los microcanales de proceso puede estar en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 4000, y en una realización desde aproximadamente 100 hasta aproximadamente 2000. El número de Reynolds para el flujo de líquido en los microcanales de proceso puede estar en el intervalo desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 4000, y en una realización desde aproximadamente 100 hasta aproximadamente 2000.

La conversión del primer reactante puede ser al menos aproximadamente el 10 % por ciclo, y en una realización al menos aproximadamente el 30 % por ciclo. La conversión del segundo reactante puede ser al menos aproximadamente el 10 % por ciclo, y en una realización al menos aproximadamente el 30 % por ciclo.

El rendimiento de producto puede ser al menos aproximadamente el 20 % por ciclo, y en una realización al menos aproximadamente el 40 % por ciclo.

El fluido de intercambio de calor que entra en los canales de intercambio de calor puede estar a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente -40°C hasta aproximadamente 950°C , y en una realización desde aproximadamente 0°C hasta aproximadamente 600°C . El fluido de intercambio de calor que sale de los canales de intercambio de calor puede estar a una temperatura en el intervalo desde aproximadamente -40°C hasta aproximadamente 950°C , y en una realización aproximadamente 0°C a aproximadamente 600°C . El tiempo de residencia del fluido de intercambio de calor en los canales de intercambio de calor puede estar en el intervalo desde aproximadamente 50 hasta aproximadamente 5000 ms, y en una realización desde aproximadamente 100 hasta

aproximadamente 1000 ms. La caída de presión para el fluido de intercambio de calor a medida que entra en los canales de intercambio de calor puede variar hasta aproximadamente 10 atm/m, y en una realización desde aproximadamente 0,01 hasta aproximadamente 10 atm/m, y en una realización desde aproximadamente 0,02 hasta aproximadamente 5 atm/m. El fluido de intercambio de calor puede estar en forma de un vapor, un líquido o una mezcla de vapor y líquido. El número de Reynolds para el flujo de vapor en los canales de intercambio de calor puede ser desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 4000, y en una realización desde aproximadamente 100 hasta aproximadamente 2000. El número de Reynolds para el flujo de fluido en los canales de intercambio de calor puede ser desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 4000, y en una realización aproximadamente 100 a aproximadamente 2000.

Ejemplo 1

Se usa un primer reactor de microcanales (Reactor A) en forma de un tubo de acero inoxidable 316 con un diámetro interno de 0,055 pulgadas (1,4 mm) y longitud de flujo de 36 pulgadas (91,4 cm) para probar un catalizador soportado sobre alúmina de 30 % en peso de Co-4,5 % en peso de Re (Catalizador A) en una reacción de síntesis de Fischer-Tropsch. El catalizador está en forma de sólidos en partículas, teniendo los sólidos un intervalo de tamaños de partícula de 50 a 80 de malla y un tamaño de partículas promedio de aproximadamente 275 micrómetros. La mezcla de reactantes está constituida por hidrógeno y monóxido de carbono en una relación molar 1,65:1 y contiene 9 % en volumen de nitrógeno diluyente. Se coloca una camisa concéntrica con un diámetro interno de 2 mm alrededor del reactor. El reactor se mantiene en un estado casi isoterma por la circulación de un aceite de intercambio de calor en la camisa. La temperatura se monitoriza usando 6 termopares situados sobre la piel del tubo del reactor y separados a lo largo de la longitud del tubo del reactor. Se realizan tres series de pruebas. Estas series de pruebas se identifican en la Tabla 1 como A-1, A-2 y A-3. La temperatura del reactor se mantiene a 223,5 °C (serie de pruebas A-1), 223,6 °C (serie de pruebas A-2) o 233 °C (serie de pruebas A-3) en la entrada del reactor. La presión de entrada es 2210 kPa ((321 psig) (22,8 atm de presión absoluta)) (serie de pruebas A-1), 2190 kPa ((318 psig) (22,6 atm de presión absoluta)) (serie de pruebas A-2) o 2200 kPa ((319 psig) (22,7 atm de presión absoluta)) (serie de pruebas A-3). Se mide que la caída de presión para la serie A-1 es 320 kPa (46,4 psig). Se mide que la caída de presión para la serie A-2 es 316 kPa (45,9 psig). Se mide que la caída de presión para la serie A-3 es 341 kPa (49,5 psig). La productividad del catalizador para la serie A-1 es 8,8 gmol de CO/gramo de catalizador/s. La productividad del catalizador para la serie A-2 es 8,8 gmol de CO/gramo de catalizador/s (similar a en la serie A-1).

La productividad del catalizador para la serie A-3 es 9,8 gmol de CO/gramo de catalizador/s.

Para este reactor (Reactor A), cuando la tasa de alimentación total es 355 seem y la temperatura promedio es 224 °C y la presión de entrada es 2410 kPa (350 psig), la caída de presión es 480 kPa (70 psig). En estas condiciones la conversión de CO es del 60,7 % y la selectividad hacia el metano es del 7,8 %.

Para este reactor (Reactor A), cuando la tasa de alimentación total es 538 seem y la temperatura promedio es 229 °C y la presión de entrada es 2110 kPa (306 psig), la caída de presión es 890 kPa (128,9 psig). La conversión de CO es del 38,9 % y la selectividad hacia el metano es del 12,9 %.

El tiempo de contacto es 237 ms (serie de pruebas A-1), 327 ms (serie de pruebas A-2) o 282 ms (serie de pruebas A-3). La prueba se realiza continuamente durante un periodo de 650 horas. Se toman periódicamente muestras de líquido de hidrocarburo y se caracterizan evaluando el número alfa. El número alfa es superior a 0,90. La velocidad superficial (U_0) es 0,266 m/s. La velocidad de corriente libre (U) se estima que es 8,73 pies por 25 segundos (ft/s) (2,66 metros por segundo (m/s)). Los valores para la serie de pruebas A-1 se muestran en la Tabla 2.

La mediana de tamaño de partículas para esta muestra de catalizador (Catalizador A) es aproximadamente 275 micrómetros. Ésta es suficientemente grande, de forma que cabría esperar una selectividad hacia el metano superior a aproximadamente el 15 % basándose en la mayor difusión del hidrógeno en la porción de catalizador llena y cubierta de líquido. Se pueden usar catalizadores de 'borde' o de 'cáscara de huevo' en donde el metal se impregna hasta una profundidad de tan solo 100 micrómetros o catalizadores esféricos 'completos' con un diámetro tan pequeño como 200 micrómetros para producir una selectividad hacia el metano inferior a aproximadamente el 10 %, y en una realización inferior a aproximadamente el 10 %. (Iglesia, E., Design, "Synthesis and Use of Cobalt Based Fischer-Tropsch Synthesis Catalysts," Applied Catalysis A: General, v. 161, p. 59-78, 1997).

Un segundo reactor de microcanales (Reactor B) tiene una sección transversal rectangular con una altura o hueco de 0,02 pulgadas (0,508 mm) y una anchura de 0,485 pulgadas (1,23 cm).

La longitud es 0,96 pulgadas (2,44 cm). Este reactor se usa para probar un catalizador de Co-Re soportado sobre alúmina con una carga de Co del 30 % en peso y una carga de Re del 4,5 % en peso (Catalizador B) en una reacción de síntesis de Fischer-Tropsch. El catalizador está en forma de sólidos en partículas que tienen un intervalo de tamaños de partícula de tamaño de malla de 50 a 70 con un tamaño de partículas promedio de aproximadamente 180 micrómetros. La longitud de la zona del catalizador en el reactor de microcanales es 2,44 cm. Inicialmente, la mezcla de reactantes tiene una relación molar entre hidrógeno y monóxido de carbono de 2:1. Esta relación se

ajusta durante la serie a un valor de a 1,7:1. Esto se muestra en la Fig. 39 que es un gráfico de datos de prueba de tiempo en corriente (TOS) para el Catalizador B en el Reactor B. En cada caso, el gas contiene 4 % en volumen de nitrógeno. Se coloca una camisa concéntrica alrededor del reactor y el reactor se mantiene en un estado isoterma por circulación de un aceite de intercambio de calor en la camisa. La temperatura se monitoriza usando 5 termopares situados sobre la pared que separa el reactor de microcanales y la camisa concéntrica. El reactor se mantiene a 224,5 °C en la entrada y la presión de salida se mantiene a 2170 kPa ((315 psig) (22,4 atm de presión absoluta)). El tiempo de contacto es 228 ms. La prueba se realiza durante un periodo de 1400 horas. El catalizador se regenera ajustando el contenido de alimentación a una relación molar de 9:1 entre hidrógeno y monóxido de carbono. Se toma una muestra de líquido de hidrocarburo a aproximadamente 700 horas de tiempo en corriente y se caracteriza evaluando el número alfa. El número alfa es 0,898. La velocidad superficial es 0,009 m/s. La velocidad de corriente libre es 0,29 ft/s (0,087 m/s).

El Reactor C es un reactor de lecho fijo de un solo pase descrito en la patente de EE. UU. 4.738.948. Este reactor tiene un tubo de 0,95 cm (3/8") de diámetro cargado con entre 5 y 10 cm³ de un catalizador de síntesis de Fischer-Tropsch. Este reactor no es un reactor de microcanales. Los tiempos de contacto están en el intervalo desde 2 segundos hasta 8 segundos. Las presiones de entrada están en el intervalo desde 560 kPa hasta 2050 kPa (5,53 a 20,23 atm). La velocidad superficial (U₀) para este reactor se estima que es 0,022 m/s. La velocidad de corriente libre es 0,73 ft/s (0,224 m/s).

Un tercer reactor de microcanales (Reactor D) tiene una sección transversal rectangular con una altura o un hueco de 0,06 pulgadas (1,52 mm) y una anchura de 1 pulgada (2,54 cm). La longitud es 1,97 pulgadas (5,00 cm). Un catalizador (Catalizador D) en forma de sólidos en partículas rellena el canal. El catalizador es un catalizador de Co-Re soportado con alúmina con una carga de Co del 30 % en peso y una carga de Re del 4,5 % en peso. Los sólidos catalíticos tienen un intervalo de tamaño de malla de 100 a 140 con un tamaño de partículas promedio de aproximadamente 127 micrómetros. La mezcla de reactantes está constituida por hidrógeno y monóxido de carbono en una relación molar 1,65:1 y contiene 9,7 % en volumen de nitrógeno. Una camisa concéntrica se coloca alrededor del reactor. El reactor se mantiene en un estado sustancialmente isoterma por circulación de un aceite de intercambio de calor en la camisa. La temperatura se monitoriza usando 5 termopares sobre la pared del reactor de microcanales que separa el microcanal de proceso y la camisa concéntrica. La temperatura en la entrada del reactor se mantiene a 230,4 °C. La presión de salida se mantiene en 2160 kPa ((313 psig) (22,3 atm de presión absoluta)). El tiempo de contacto es 327 ms. La prueba se realiza continuamente durante un periodo de 576 horas. La velocidad superficial (U₀) se estima que es 0,013 m/s. La velocidad de corriente libre es 0,42 ft/s (0,126 m/s).

Un cuarto reactor de microcanales (Reactor E) tiene un microcanal de proceso con una sección transversal rectangular. El microcanal de proceso tiene una altura o hueco de 0,06 pulgadas (1,52 mm) y una anchura de 1 pulgada (2,54 cm). La longitud es 1,42 pulgadas (3,61 cm). Un catalizador (Catalizador E), que está en forma de sólidos en partículas, se rellena en el microcanal de proceso. El catalizador es un catalizador de Co-Re soportado con alúmina con una carga de Co del 30 % en peso y una carga de Re del 4,5 % en peso. El catalizador tiene un intervalo de tamaños de partícula de malla 100 a 140 y un tamaño de partículas promedio de 127 micrómetros. La mezcla de reactantes está constituida por hidrógeno y monóxido de carbono en una relación molar 1,65:1, y contiene 9,7 % en volumen de nitrógeno. Se coloca una camisa concéntrica alrededor del reactor y el reactor se mantiene en un estado sustancialmente isoterma por la circulación del aceite de intercambio de calor en la camisa. La temperatura se monitoriza usando 5 termopares sobre la pared que separa el microcanal de proceso y la camisa concéntrica. La temperatura del reactor se mantiene a 230,4 °C. La presión de salida se mantiene en 2190 kPa (317 psig) (22,6 atm de presión absoluta)). El tiempo de contacto es 289 ms. La prueba se realiza continuamente durante un periodo de 600 horas. La velocidad superficial (U₀) se estima que es 0,009 m/s. La velocidad de corriente libre es 0,30 ft/s (0,090 m/s).

Los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla 1 y tabla 2.

Tabla 1

Reactor		B	A-1	A-2	D	A-3	E
Temperatura	(°C)	224,5	223,5	223,6	230,4	233,6	231
Presión	kPa (psig)	2170 (315)	2210 (321)	2190 (318)	2160 (313)	2200 (319)	2190 (317)
Tiempo de contacto	(ms)	228	237	327	326	282	289
Relación H ₂ :CO	(mol:mol)	1,7:1	1,65:1	1,65:1	1,65:1	1,65	1,63
Conversión en CO	(%)	57,5	66,9	70,6	64,5	67,6	69,8
Selectividad hacia CH ₄	(%)	8,5	8,2	7,4	11,4	7,6	12,8
Tamaño de partículas, intervalo	(malla)	70-100	50-80	50-80	100-140	50-80	70-100

Tabla 2

Configuración del reactor		A	B	C Tubo	D	E	Tubo TFBR
Hueco o diámetro	mm	1,4	0,508	0,305	1,52	1,52	2,5
	(in)	(0,055)	(0,02)	(0,012)	(0,06)	(0,06)	(0,098)
	cm	N/A	1,23	N/A	2,54	2,54	N/A
Anchura	(in)		(0,485)		(1)	(1)	
	cm	91,4	2,44	8,4	5,00	1,42	787
Longitud	(in)	(36)	(0,96)	(3,30)	(1,97)	(0,56)	(310)
	(atm)	22,8	22,4	5,5	22,3	22,6	50
P	(°C)	223,5	224,5	200	230,4	230,4	230
T							
Partícula aproximada							
Diámetro	(μm)	275	179	2200	127	127	3175
CT	(ms)	237	228	3000	327	289	8300
V _o a STP	(sm^3/s)	5,61 E-06	6,69E-07	3,35E-06	5,92E-06	4,27E-06	7,63E-03
Vact	(m^3/s)	4,08E-07	5,44E-08	1,06E-06	4,90E-07	3,50E-07	2,81 E-04
Velocidad superficial							
U _o	(m/s)	0,266	0,009	0,022	0,013	0,009	0,089
U _{corriente libre}	(m/s)	2,660	0,087	0,224	0,126	0,090	0,269
U _{corriente libre}	(ft/s)	8,73	0,29	0,73	0,42	0,30	0,88
A _{xs} /L	(m^2/m)	1,68E-06	2,57E-04	2,21 E-04	7,74E-04	1,07E-03	1,58E-04

Los datos para el Catalizador A indican que, aunque el tamaño de partículas es mayor y así la distancia de difusión es mayor, no se observa degradación en la selectividad. De hecho, el rendimiento como se caracteriza por conversión y selectividad hacia el metano se potencia cuando se compara con catalizadores producidos y activados, y probados de una manera similar y que tienen tamaños de partículas más pequeños como se muestra en la Tabla 1. Es importante la capacidad de usar partículas de catalizador relativamente grandes, en el intervalo de 200-700 micrómetros, sin pérdida de productividad y/o selectividad, ya que mayores partículas conducen a una menor caída de presión y la caída de presión reducida puede proporcionar una ventaja de costes de operación. Lo que diferencia al Reactor A de los otros es que la velocidad superficial (U_o) del gas es alta (véase la Tabla 2). De hecho, es más de 10 veces superior a la normalmente desarrollada en los reactores de prueba, sean reactores de prueba de microcanales (Reactores B, D y E) o tubulares de dimensión convencional (Reactor C). También es tres veces superior a la desarrollada en TFBR convencionales. Además de la diferencia en la velocidad superficial, los reactores en sí tienen relaciones variables de áreas en sección transversal para flujo con respecto a la longitud de flujo (a través de zonas de reacción que contienen catalizador). El Reactor A se diferencia de los otros reactores en las relaciones de áreas en sección transversal para flujo con respecto a longitud de flujo de aproximadamente dos órdenes de magnitud. Esto se muestra en la Tabla 2 donde la relación es A_{xs}/L.

Ejemplo 2

El rendimiento mejorado para el Reactor A puede ser el resultado del efecto que la elevada velocidad superficial tiene sobre la fluidización por cizallamiento de la película de líquido externa sobre el catalizador. Para las condiciones descritas en la Tabla 2, la velocidad de corriente libre (U) desarrollada por el gas que circula entre las partículas de catalizador puede ser tan grande como 10 veces la velocidad superficial (U_o). El efecto de fluidización por cizallamiento se modela para el gas que circula por una placa plana (placa alineada con la fuerza de la gravedad tal que el líquido circularía por la placa bajo la influencia de la gravedad solo) que genera fluido sobre su superficie a una tasa de 2,64 g/cm²-s. El líquido tiene las propiedades del tetradecano (C₁₄). El gas tiene las propiedades de las de una mezcla de H₂ y CO en una relación molar de 1,65:1. El modelado y las propiedades físicas se evalúan a una temperatura de 225 °C y presión de 25 atm. Los resultados se muestran en la Tabla 3 y se presentan gráficamente en la Fig. 38. La Fig. 38 también contiene líneas que marcan las condiciones de operación relativas de los Reactores A, B, C y TFBR. La Fig. 38 muestra t* (espesor de película en cualquier punto dado dividido entre el máximo espesor de película) frente a la velocidad de corriente libre (U) representada para diversas longitudes de la placa plana.

Tabla 3

	x*(m/m)	0,033	0,167	0,333	0,667	1,000
U _{corriente libre}	(ft/s)	t* (m/m)				
	(m/s)					
0,01	0,003	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,1	0,030	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
1	0,305	0,965	0,995	0,995	0,998	1,000
10	3,048	0,504	0,859	0,859	0,915	0,940
100	30,480	0,096	0,250	0,250	0,330	0,387

Ejemplo 3

Se utiliza una metodología por ordenador para investigar la física detrás de la fluidización por cizallamiento en donde un gas de velocidad relativamente alta puede aplicar cizallamiento a un líquido sobre una superficie para fluidizar la película de líquido. El lado de gas se modela matemáticamente usando la ecuación de Blasius para calcular el esfuerzo de cizallamiento. El esfuerzo de cizallamiento del lado del gas puede sustituir el flujo de gas en el exterior de la película de líquido con un cálculo para el esfuerzo de cizallamiento. Se desarrolla una herramienta computacional que resuelve la formulación de la capa límite de las ecuaciones de Navier-Stokes para evaluar el efecto del esfuerzo de cizallamiento del lado del gas y la gravedad sobre el líquido. Las ecuaciones de diferencias finitas para la conservación de masa y el momento se resuelven usando esquemas numéricos convencionales. Este código de capa límite se valida frente a datos experimentales conocidos tomados de la bibliografía.

Las condiciones límite para estos cálculos numéricos incluyen condiciones de "no deslizamiento" habituales en la pared y una condición interfacial líquido-gas. La película de líquido que "llora" o la transpiración de masa se manipula por este código de capa límite. Resolviendo estas ecuaciones para el movimiento de fluido, se predice el espesor de película, el perfil de velocidad de la película y la aceleración de la película. Los resultados de este cálculo se presentan en la Fig. 38.

Ejemplo 4

La simulación usada en el Ejemplo 2 y el Ejemplo 3 se modifica para acomodar efectos del flujo de gas a través de un lecho relleno de esferas aplicando condiciones límite para el esfuerzo de cizallamiento, el gradiente de presión y la fuerza de la gravedad que se aproximan a los de un gas que atraviesa un lecho de partículas con relleno romboédrico. Estas condiciones límite se calculan como valores promedio derivados de simulaciones tridimensionales realizadas para lechos rellenos de partículas esféricas con un diámetro de 275 micrómetros. Las condiciones límite para las simulaciones se determinan para dos velocidades de aproximación superficial, concretamente, 0,24 m/s y 0,009 m/s. Se supone que el gas tiene las propiedades de una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono en una relación molar 2:1, una temperatura de 225 °C y una presión de 22,8 atm. La densidad usada para el gas es 5,9 kg/m³ (0,3705 lb_m/ft³) y la viscosidad usada para el gas es 1,7×10⁻⁵ Pa·s (1,142×10⁻⁵ lb_m/ft·s). El resultado de la simulación del caso de 0,24 m/s para el esfuerzo de cizallamiento se puede observar en la Fig. 41 y el resultado para la presión estática en la Fig. 42. Se toma el flujo neto de gas para ser paralelo con la gravedad (es decir, flujo descendente). Se hacen trazos a través de la superficie de la partículas y se determinan el esfuerzo de cizallamiento promedio de la pared y la presión estática. El resultado de este análisis para el caso de 0,24 m/s se da en la Fig. 43. Además, el efecto gravitacional se corrige para tener en cuenta los cambios direccionales de la capa de película a medida que atraviesa la superficie curvada esférica. La forma general de las curvas para esfuerzo de cizallamiento y presión estática son la misma para ambas velocidades superficiales.

Se llevan a cabo simulaciones bidimensionales para diámetros de esfera de 275 micrómetros y una velocidad de aproximación de 0,24 m/s. Los resultados muestran que estas fuerzas aerodinámicas (esfuerzo de cizallamiento y gradiente de presión) tienen un gran efecto sobre el espesor de película. El espesor de película cambia en casi un orden de magnitud a medida que la película de líquido encuentra altos gradientes de presión y altos niveles de esfuerzo de cizallamiento. El gradiente de presión, los efectos del esfuerzo de cizallamiento, así como los efectos de la gravedad, son aditivos en la naturaleza y tienden a acelerar la película de líquido sobre una porción de la superficie esférica.

Para el caso de 0,24 m/s, el máximo de la curva de gradiente de presión promedio es aproximadamente 135,6 MPa/m (6000 psi/ft) y el máximo de la curva de esfuerzo de cizallamiento promedio es aproximadamente 0,28 KPa (0,004 psi). Para el caso de 0,009 m/s, el máximo de la curva de gradiente de presión promedio es aproximadamente 1,6 MPa/m (70 psi/ft) y el máximo de la curva de esfuerzo de cizallamiento promedio es aproximadamente 0,72 KPa (0,104 psi). La velocidad de la película de líquido también cambia en un orden de magnitud durante las aceleraciones, pero se relaja rápidamente hasta los niveles de equilibrio cuando las altas fuerzas aerodinámicas se retiran en los puntos de contacto de la esfera. El equilibrio para la película de líquido se determina por fuerzas motrices aerodinámicas y los efectos de la gravedad que son equilibrados por la resistencia dominada por la viscosidad al movimiento de la película.

Se comparan dos casos usando las simulaciones bidimensionales: 1) una velocidad de aproximación de 0,009 m/s y 2) una velocidad de aproximación de 0,244 m/s. Estos dos casos se aproximan a los reactores de microcanales A y B descritos en los Ejemplos 1 y 2. La tasa de transpiración del líquido de la superficie de las partículas se establece en 2,64 g/cm²/s. Los efectos aerodinámicos del esfuerzo de cizallamiento y el gradiente de presión son similares, espacialmente sobre la superficie esférica (es decir, los picos en esfuerzo de cizallamiento ocurren en la misma localización sobre la superficie). Los niveles de estas fuerzas aerodinámicas se diferencian. La variación en la velocidad de aproximación del gas tiene un efecto sustancial sobre el espesor de película predicho durante todo el lecho relleno como se puede apreciar en la Fig. 45. El máximo espesor de película para el caso de 0,009 m/s es aproximadamente 44,1 micrómetros. Éste se reduce hasta aproximadamente 20,8 micrómetros para el caso de 0,24 m/s. Por lo tanto, un aumento de 32 veces en la velocidad superficial produce una reducción de 2 veces en el

espesor de película máximo. El espesor de película medio para el caso de 0,009 m/s es aproximadamente 18,5 micrómetros. Éste se reduce hasta aproximadamente 5,5 micrómetros para el caso de 0,24 m/s. Por lo tanto, un aumento de 32 veces en la velocidad superficial produce una reducción de 3,4 veces en el espesor de película medio. El espesor de película mínimo para el caso de 0,009 m/s es aproximadamente 8,3 micrómetros. Éste se reduce a aproximadamente 1,6 micrómetros para el caso de 0,24 m/s. Por lo tanto, un aumento de 32 veces en la velocidad superficial produce una reducción de 5,2 en el espesor de película mínimo.

Estos resultados son importantes en vista del estado de la técnica en donde se supone que la disminución de las distancias difusionales dentro de las pellas es clave para aumentar la selectividad hacia hidrocarburos C5+ en una síntesis de Fischer-Tropsch (FT), así como aumentar la productividad del catalizador. Esto se demuestra mediante la trituración de catalizadores "completos" grandes en partículas de 143 micrómetros y mediante la preparación de catalizadores de cáscara de huevo en los que el Co se deposita en 100 micrómetros de la superficie. El aumento en la tasa se atribuye a una reducción en la resistencia a la difusión, que reduce la longitud de la trayectoria de difusión. En ciertas condiciones se pueden desarrollar películas de al menos 44 micrómetros y así la película de líquido externo que se forma sobre la pella de catalizador de FT, ya sea formada por esa pella o arrastrada por las de arriba, puede ser casi la mitad de gruesa que el propio catalizador. La película externa puede convertirse, en ciertas circunstancias, en un contribuyente importante a la resistencia a la difusión. Por lo tanto, es probable que la reducción en los espesores de películas conduzcan a aumentos correspondientes en la actividad del catalizador. La selectividad hacia el metano también se ve afectada por la reducción en el espesor de película, ya que el hidrógeno difunde a una mayor tasa en hidrocarburos líquidos que el CO (por ejemplo, hasta 2,7 veces más rápido), y la combinación de reacción y difusión conduce a mayores relaciones molares H₂:CO cerca de los sitios de catalizador que conducen a mayor selectividad hacia el metano en la dirección normal a la interfase de flujo neto-soporte de catalizador. Sin embargo, cuando la fase líquida se fluidiza con mayores velocidades superficiales, la concentración de CO en la interfase flujo neto-catalizador y en el interior del catalizador es mayor, que da lugar a no solo mayores tasas de reacción, sino a menor selectividad hacia el metano. Una ventaja de las mayores velocidades superficiales en el microcanal es que el proceso puede ser capaz de realizarse a la misma selectividad hacia el metano que un sistema con velocidades superficiales más lentas con mayores relaciones molares de entrada H₂:CO debido a la mejora en la transferencia de masa en fase líquida. Para la misma masa de catalizador y tasa de alimentación de gas se puede diseñar un reactor de microcanales de FT para aprovechar la fluidización por cizallamiento y/o las diferencias de presión estática a través de las superficies del catalizador. Puede ser posible usar estas fuerzas para sacar líquido de producto del interior de la estructura de catalizador, sea una pella de catalizador u otra forma, reduciéndose así adicionalmente la resistencia a la difusión.

La siguiente tabla proporciona una comparación de los espesores de película para los casos de velocidad superficial de 0,24 m/s y 0,009 m/s.

	Velocidad superficial		
	0,24 m/s	0,009 m/s	Relación
Espesor medio de película (micrómetros)	5,5	18,5	3,4
Espesor máx. de película (micrómetros)	20,8	44,1	2,1
Espesor mínimo de película (micrómetros)	1,6	8,3	5,2
Tasa de transpiración 2,64 g/cm ² /s			

Mientras que la tecnología desvelada se ha explicado en relación con diversas realizaciones detalladas, se debe entender que diversas modificaciones de las mismas pueden llegar a ser evidentes para los expertos en la técnica tras la lectura de la memoria descriptiva. Por lo tanto, se debe entender que la invención desvelada en el presente documento pretende incluir dichas modificaciones, ya que pueden entrar dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Se proporciona un proceso de realización de una reacción química en un microcanal de proceso, conteniendo el microcanal de proceso al menos un catalizador, comprendiendo el catalizador un catalizador fase sólida o un catalizador homogéneo inmovilizado sobre un sólido, comprendiendo el proceso:

- hacer circular reactantes en el microcanal de proceso, comprendiendo los reactantes un líquido y un gas o reactantes gaseosos que reaccionan formando un producto líquido, comprendiendo uno de los reactantes H₂, siendo la velocidad superficial de entrada de los reactantes gaseosos al menos aproximadamente 0,1 m/s;
- poner en contacto el al menos un catalizador con los reactantes; y
- hacer reaccionar los reactantes en presencia del catalizador para formar al menos un producto, comprendiendo el producto una mezcla de dos o más hidrocarburos.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de realización de una reacción química en un microcanal de proceso, conteniendo el microcanal de proceso al menos un catalizador, comprendiendo el catalizador un catalizador en fase sólida o un catalizador homogéneo inmovilizado sobre un sólido, comprendiendo el proceso:
- 5 hacer circular reactantes en el microcanal de proceso, comprendiendo los reactantes un líquido y un gas o los reactantes gaseosos que reaccionan formando un producto líquido, siendo la velocidad superficial de entrada de los reactantes gaseosos de al menos 0,1 m/s;
- 10 poner en contacto el al menos un catalizador con los reactantes; y
hacer reaccionar los reactantes en presencia del catalizador formando al menos un producto, comprendiendo el producto una mezcla de dos o más hidrocarburos.
2. El proceso de la reivindicación 1, en donde uno de los reactantes comprende H₂.
- 15 3. El proceso de la reivindicación 1, en donde el producto comprende una mezcla de hidrocarburos en donde al menos el 10 % en peso de la mezcla hierve a una temperatura en el intervalo desde 25 °C hasta 350 °C a presión atmosférica, y al menos aproximadamente el 5 % en peso de la mezcla hierve a una temperatura por encima de 350 °C a presión atmosférica.
- 20 4. El proceso de la reivindicación 1, en donde el producto comprende una mezcla de hidrocarburos en donde al menos el 5 % en peso de la mezcla de hidrocarburos comprende hidrocarburos con un peso molecular medio numérico de al menos 500.
- 25 5. El proceso de la reivindicación 1, en donde se intercambia calor entre el microcanal de proceso y una fuente de calor y/o un sumidero de calor.
6. El proceso de la reivindicación 1, en donde la reacción química comprende una reacción de síntesis de Fischer-Tropsch, comprendiendo el proceso:
- 30 hacer circular reactantes que comprenden H₂ y CO en el microcanal de proceso, siendo la velocidad superficial de entrada de los reactantes al menos aproximadamente 0,1 m/s;
poner en contacto el catalizador de síntesis de Fischer-Tropsch con los reactantes; y
hacer reaccionar los reactantes en presencia del catalizador para formar al menos un producto.
- 35 7. El proceso de la reivindicación 6, en donde el producto comprende una mezcla de hidrocarburos que tiene el intervalo de puntos de ebullición de un destilado medio.
8. El proceso de la reivindicación 6, en donde el producto se procesa adicionalmente usando hidrocrqueo, hidroisomerización o descerado.
- 40 9. El proceso de la reivindicación 6, en donde el producto se procesa adicionalmente para formar un aceite de base lubricante o un combustible diésel.
- 45 10. El proceso de la reivindicación 6, en donde el catalizador comprende una capa de recubrimiento, siendo el espesor de la capa de recubrimiento al menos 110 micrómetros.
11. El proceso de la reivindicación 6, en donde el catalizador comprende sólidos en partículas, siendo el tamaño de partículas promedio de los sólidos en partículas al menos 225 micrómetros.
- 50 12. El proceso de la reivindicación 6, en donde el microcanal de proceso tiene una dimensión interna de anchura o altura de hasta 10 mm.
13. El proceso de la reivindicación 6, en donde se intercambia calor entre el microcanal de proceso, y una fuente de calor y/o sumidero de calor, y en donde la fuente de calor y/o sumidero de calor comprende al menos un canal de intercambio de calor.
- 55 14. El proceso de la reivindicación 13, en donde los reactantes circulan en el microcanal de proceso en una primera dirección, y un fluido de intercambio de calor entra en el canal de intercambio de calor en una segunda dirección, siendo la segunda dirección en corriente cruzada con respecto a la primera dirección.
- 60 15. El proceso de la reivindicación 6, en donde el catalizador está soportado por un soporte, y en donde el soporte comprende una aleación que comprende Ni, Cr y Fe, o una aleación que comprende Fe, Cr, Al e Y.

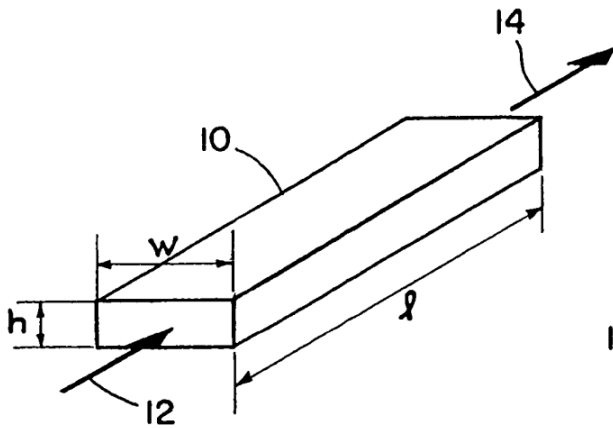


FIG. 1

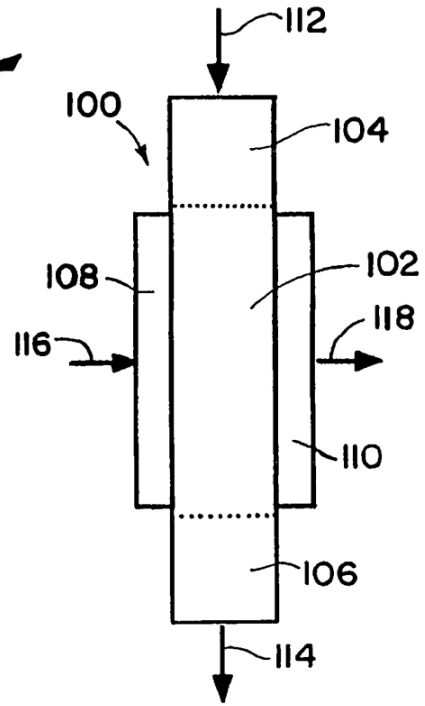


FIG. 2

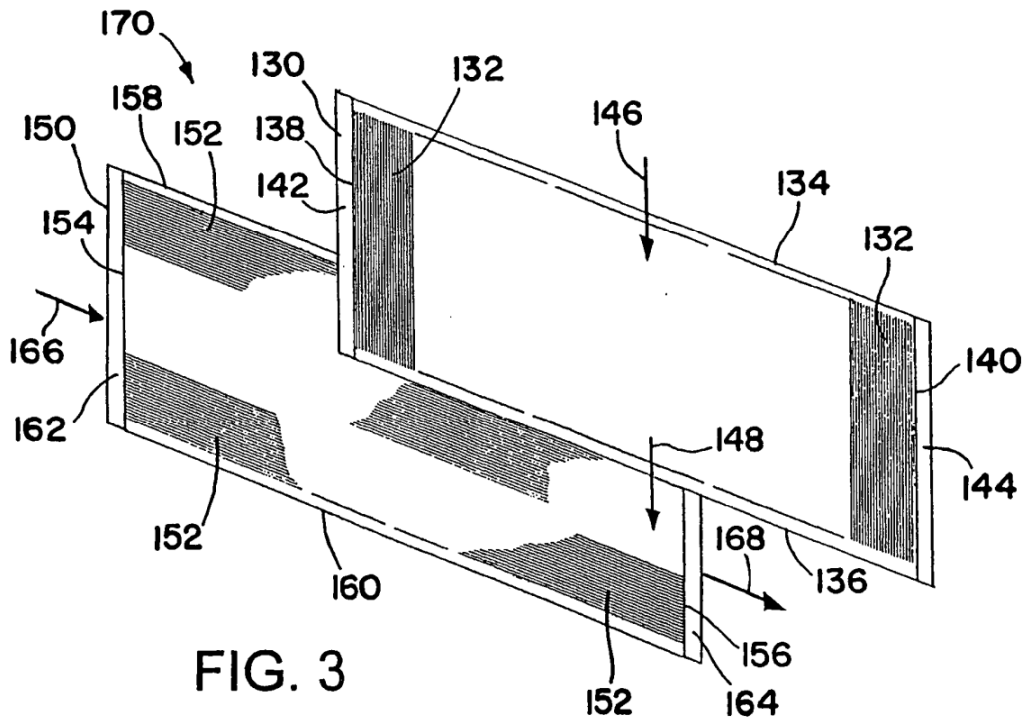


FIG. 3

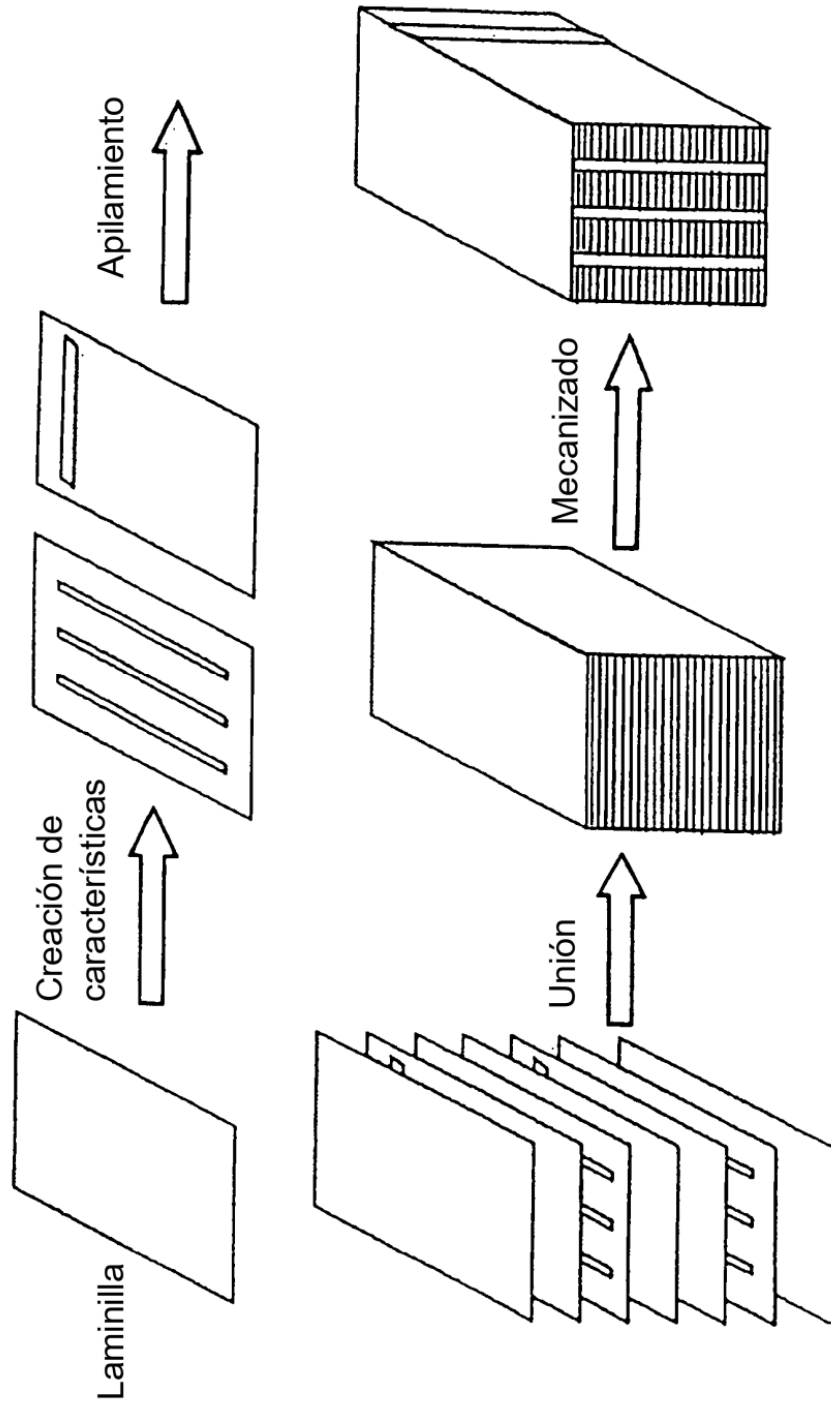


FIG. 4

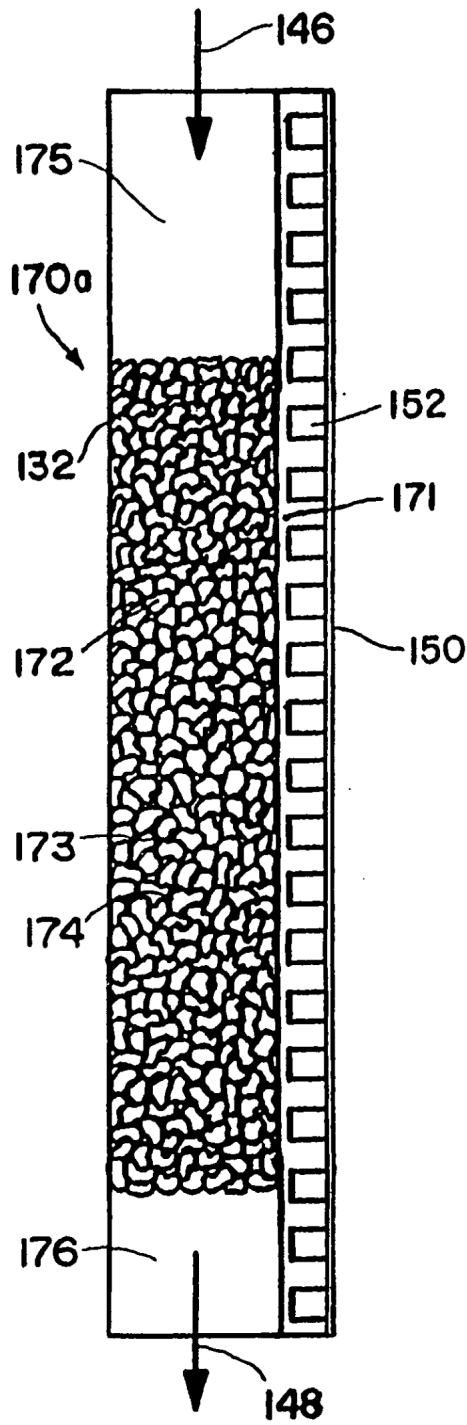


FIG. 5

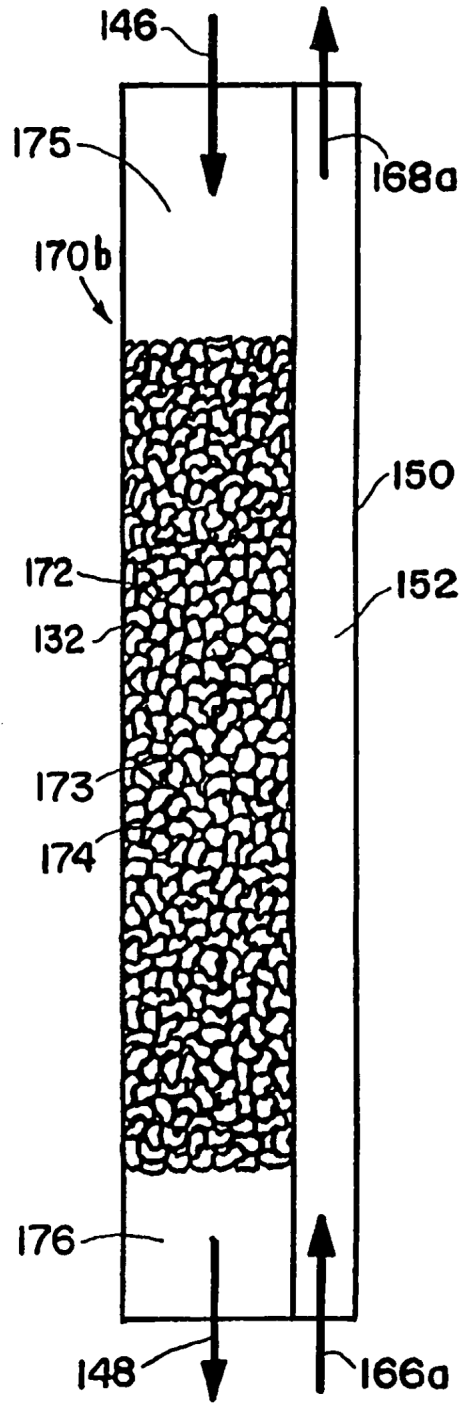


FIG. 6

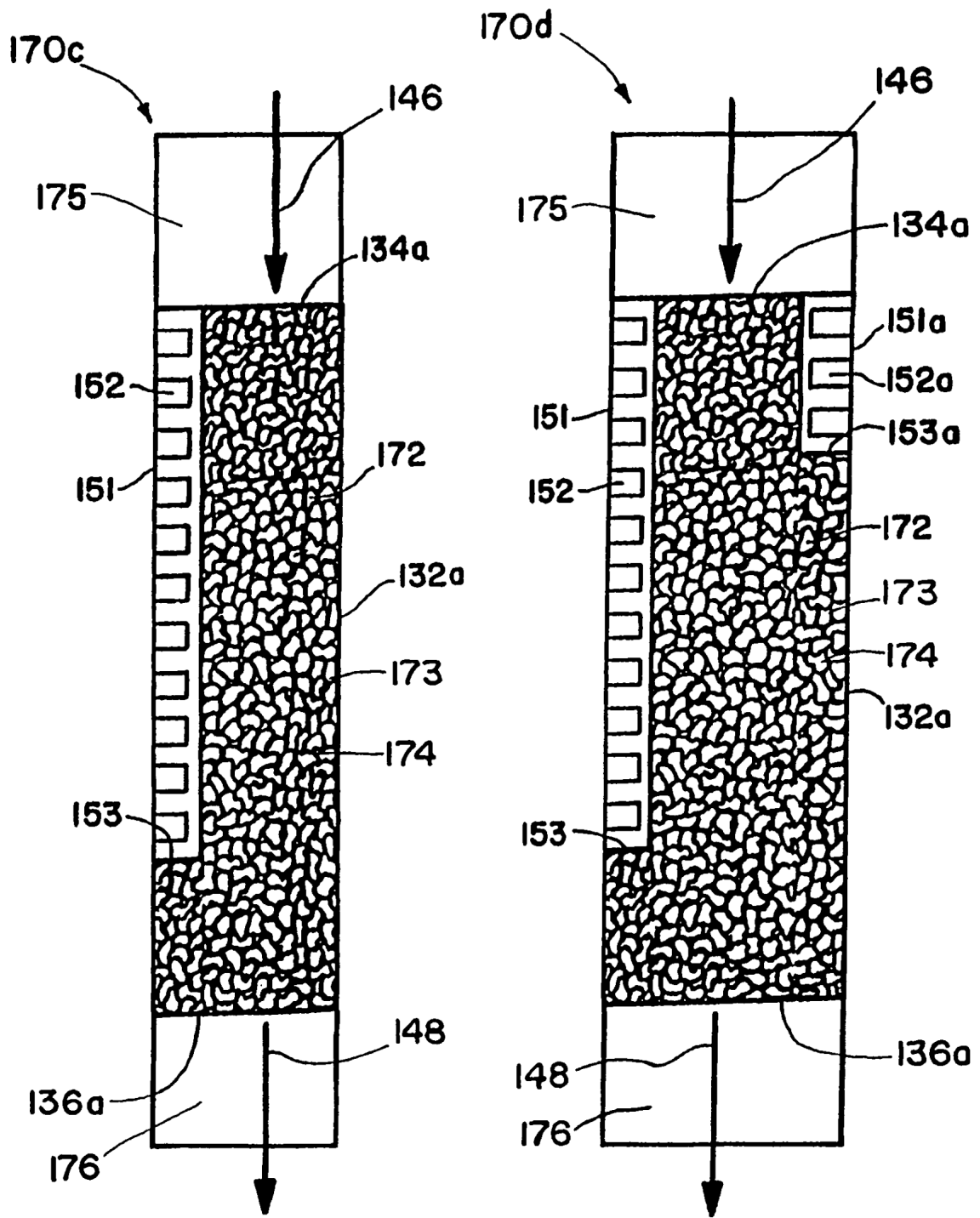


FIG. 7

FIG. 8

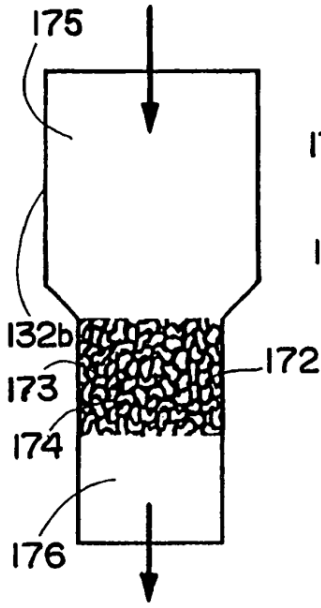


FIG. 9

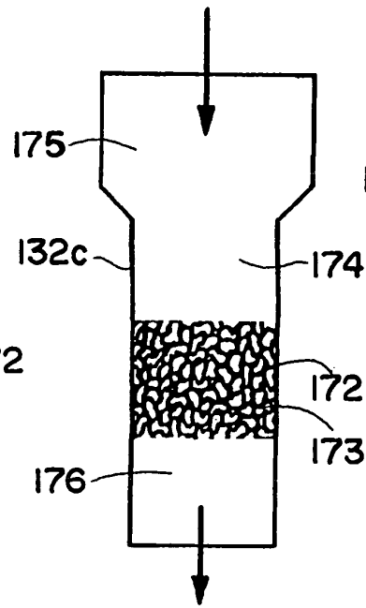


FIG. 10

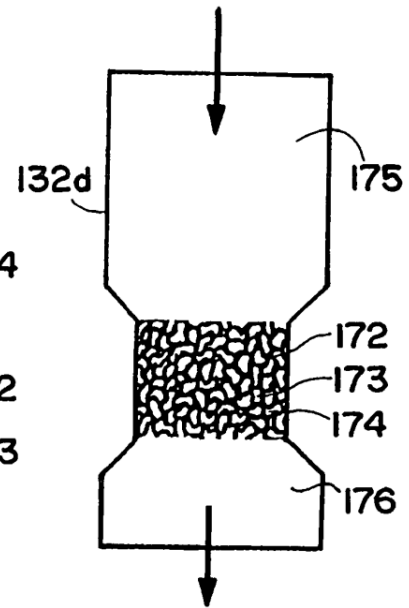


FIG. 11

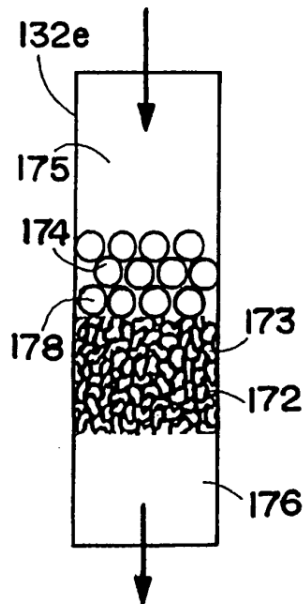


FIG. 12

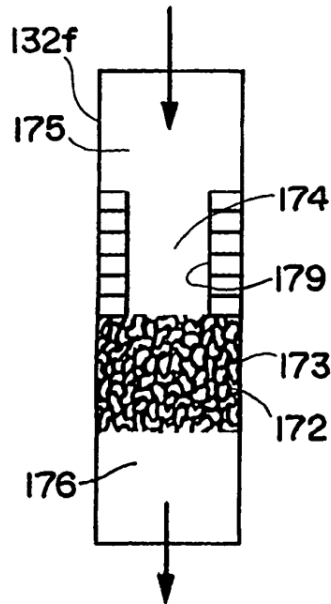


FIG. 13

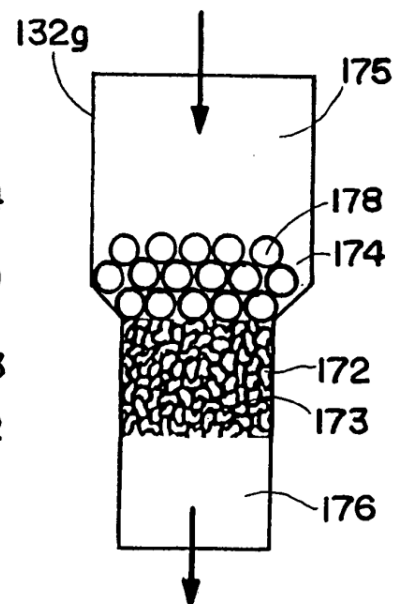


FIG. 14

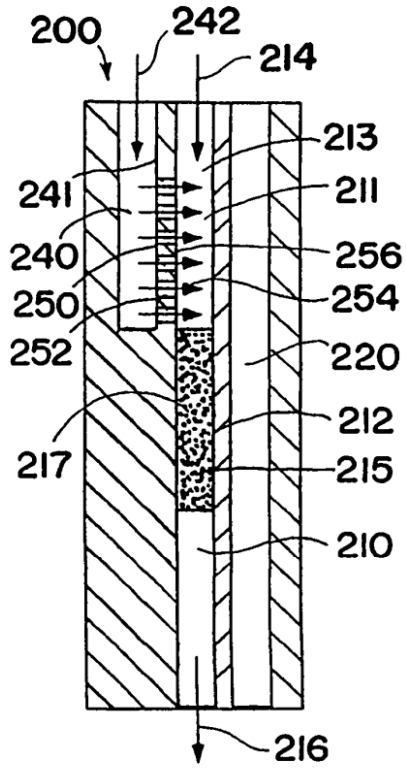


FIG. 15

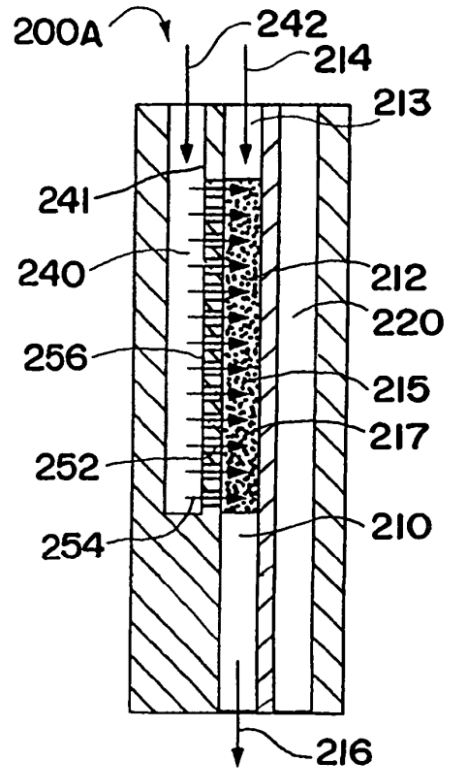


FIG. 16

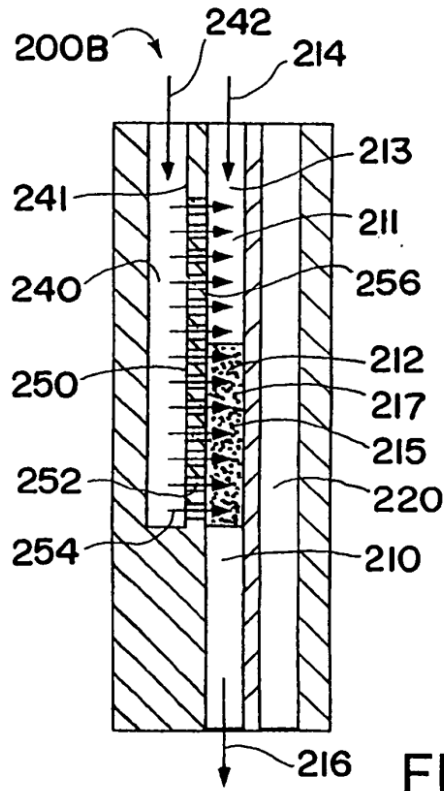
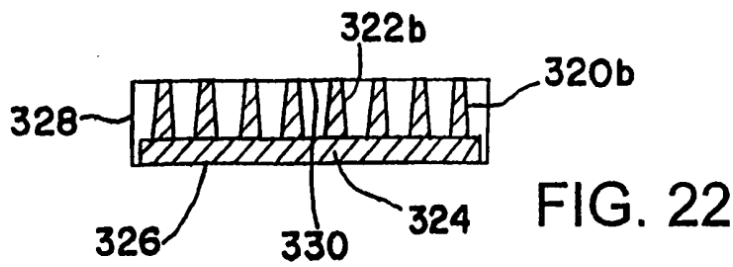
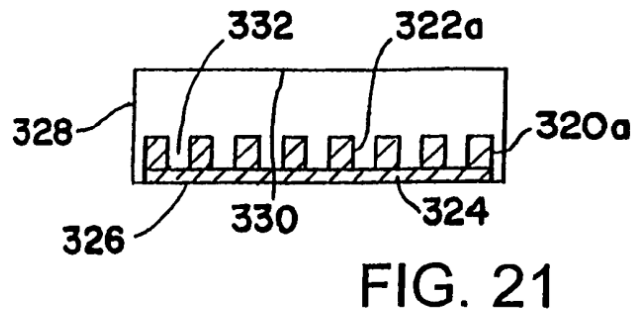
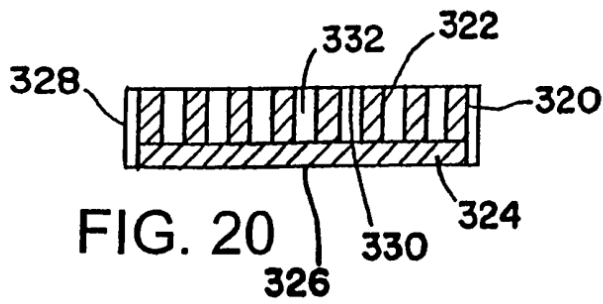
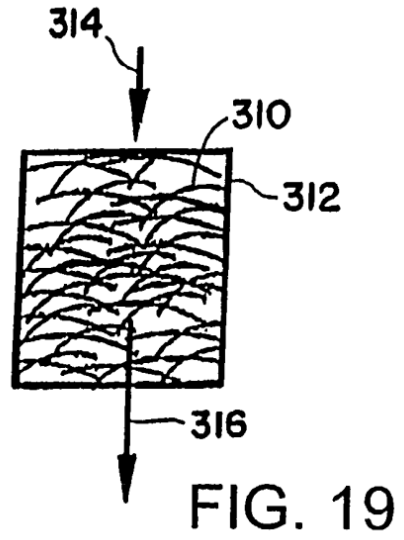
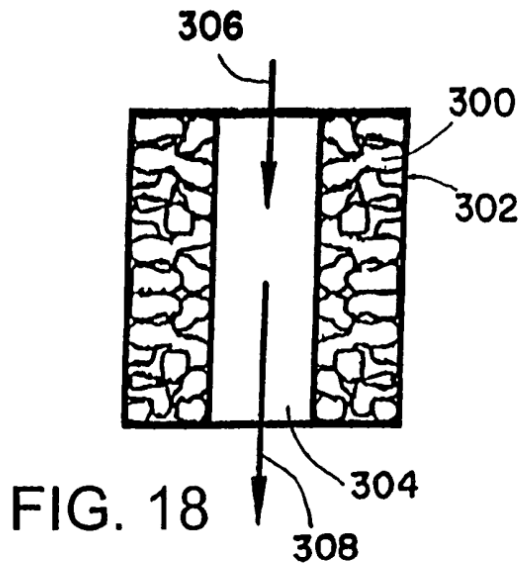


FIG. 17



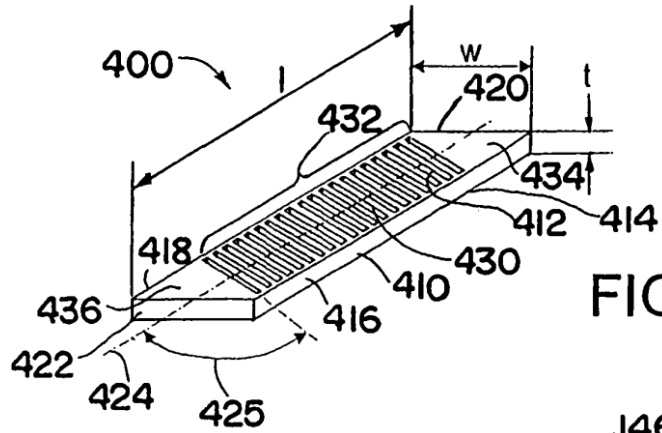
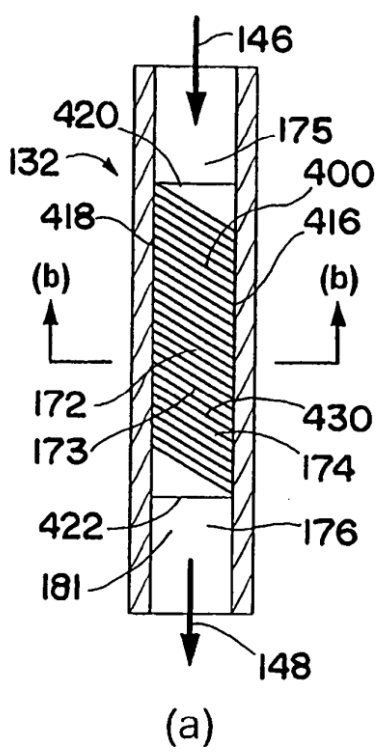
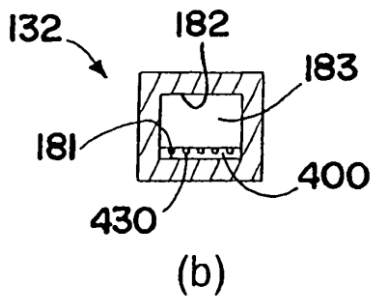


FIG. 23

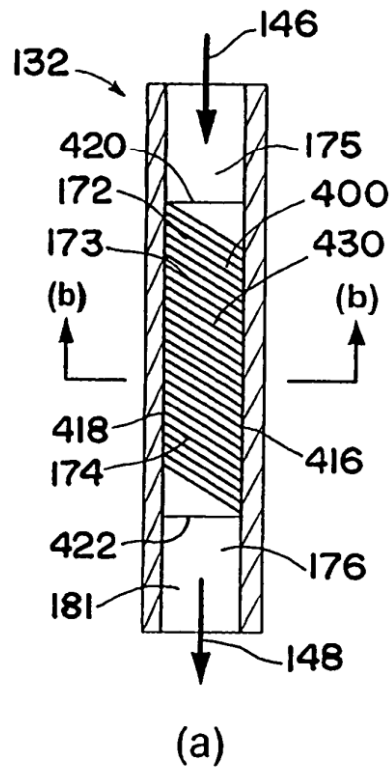


(a)

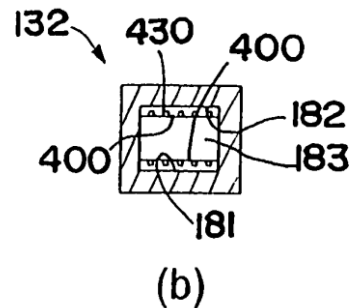


(b)

FIG. 24



(a)



(b)

FIG. 25

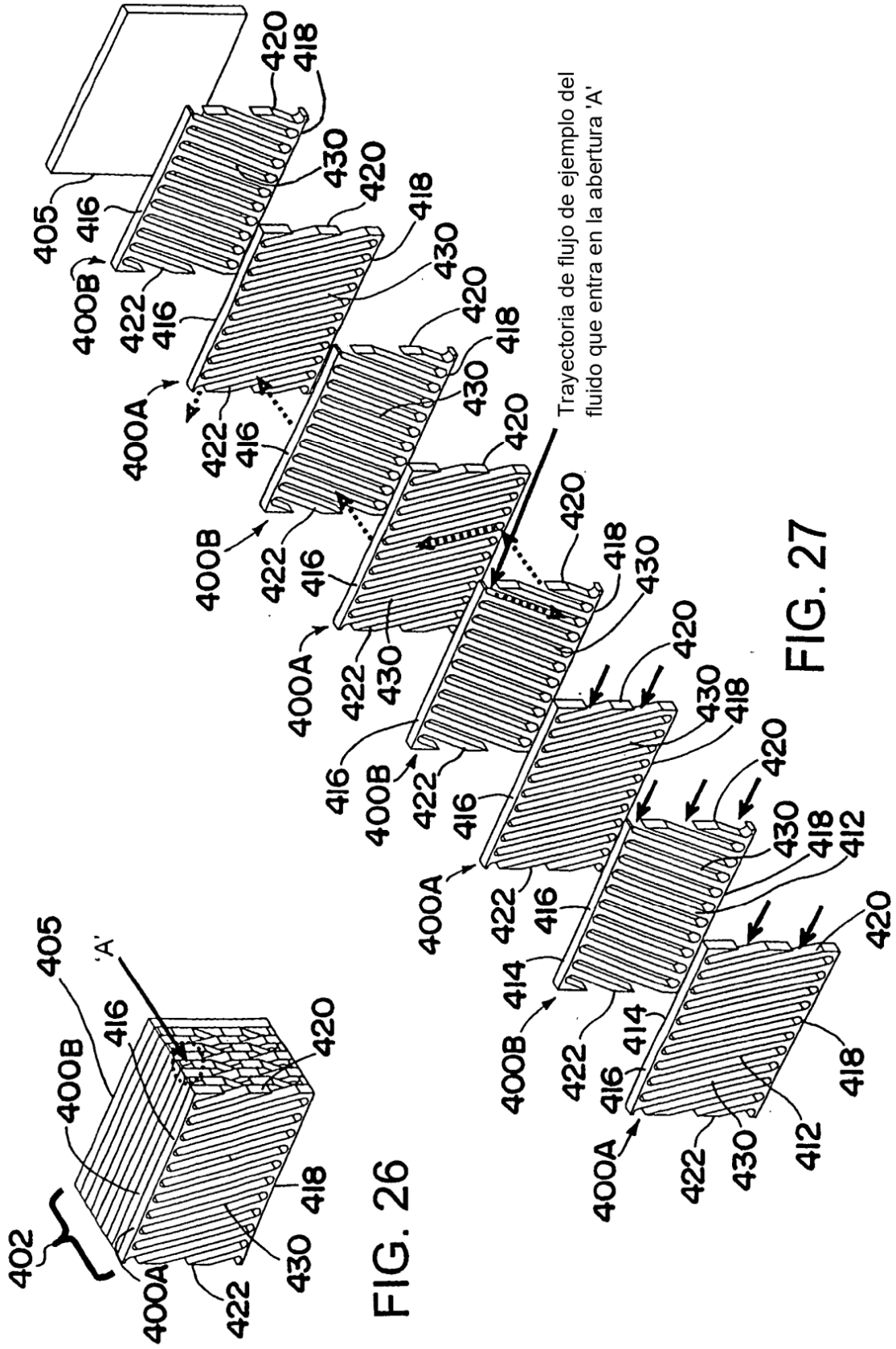


FIG. 26

FIG. 27

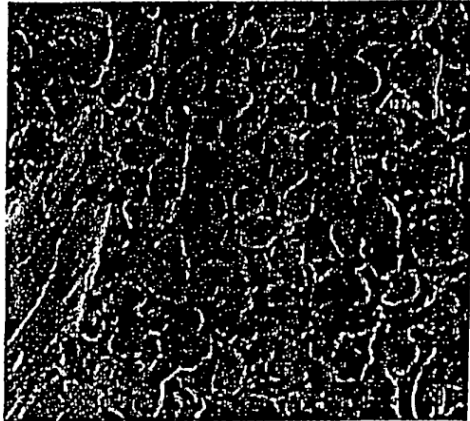


FIG. 28

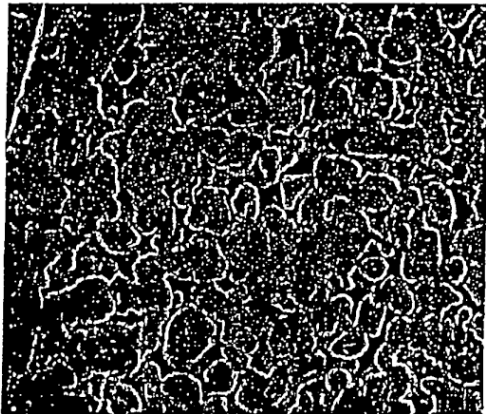
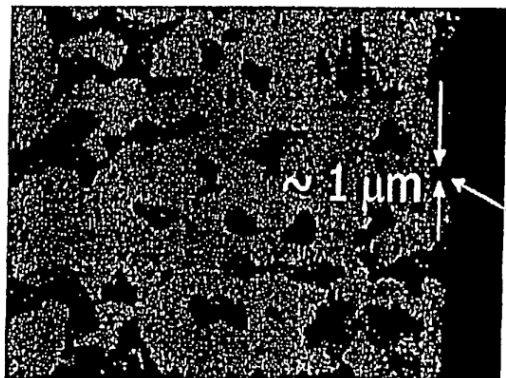
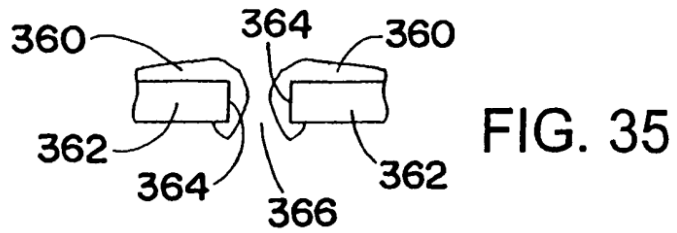
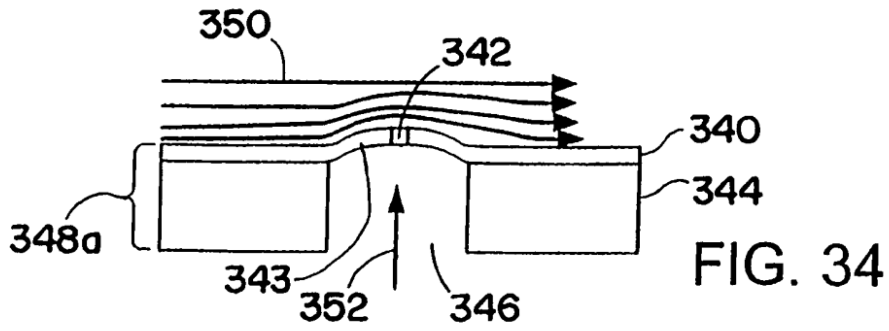
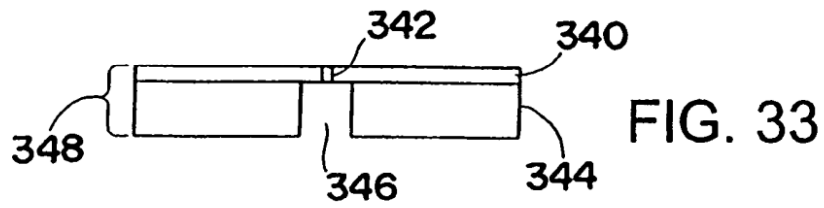
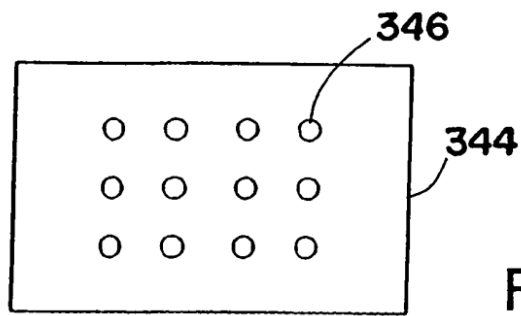
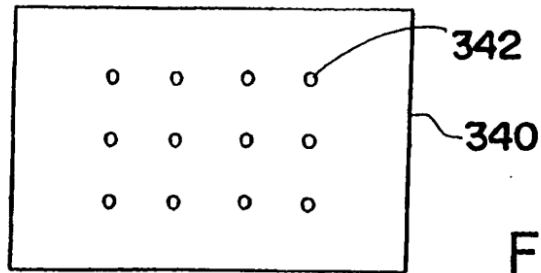


FIG. 29



Capa formada
por adaptación

FIG. 30



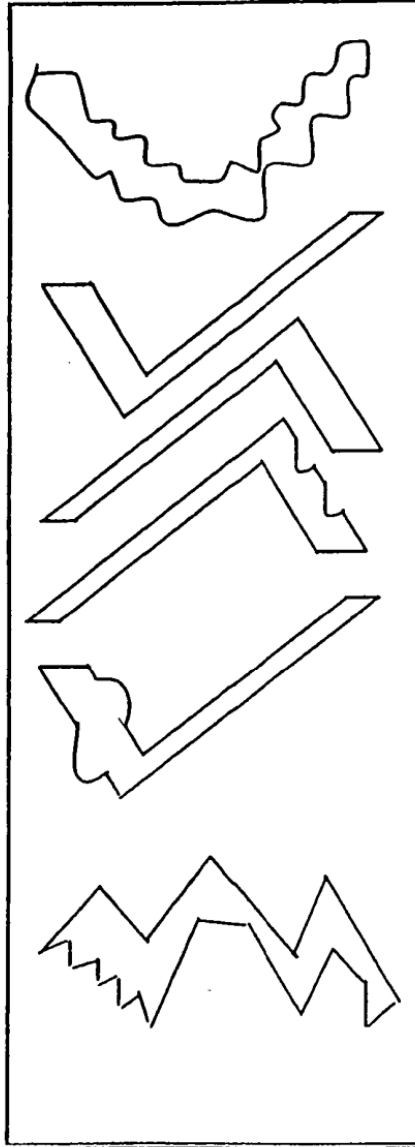


FIG. 36

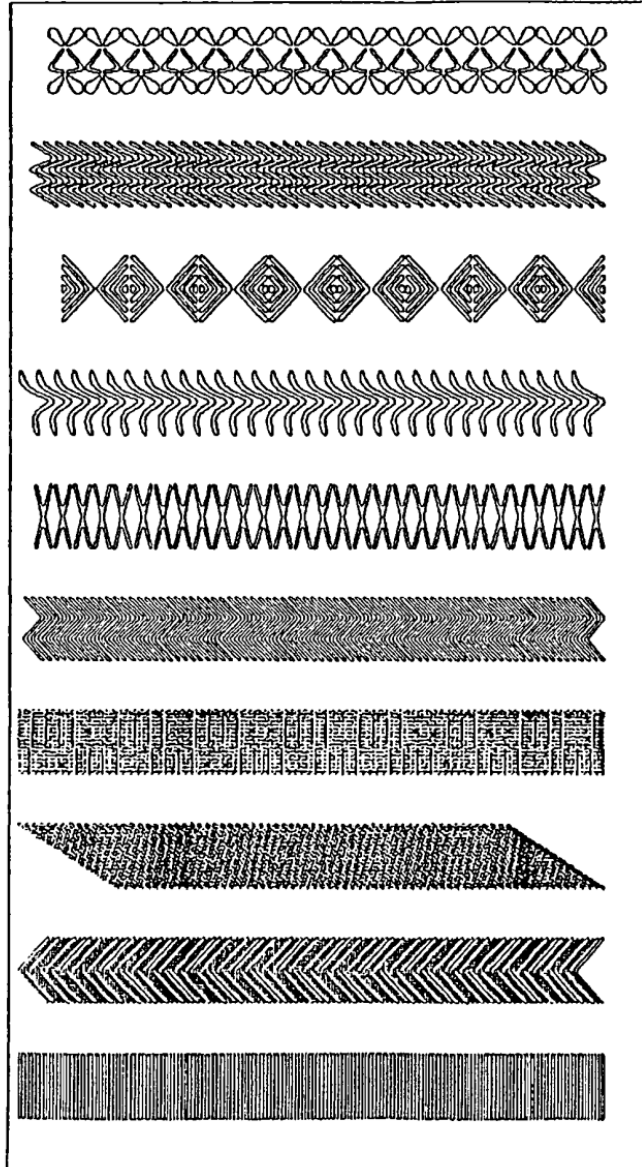


FIG. 37

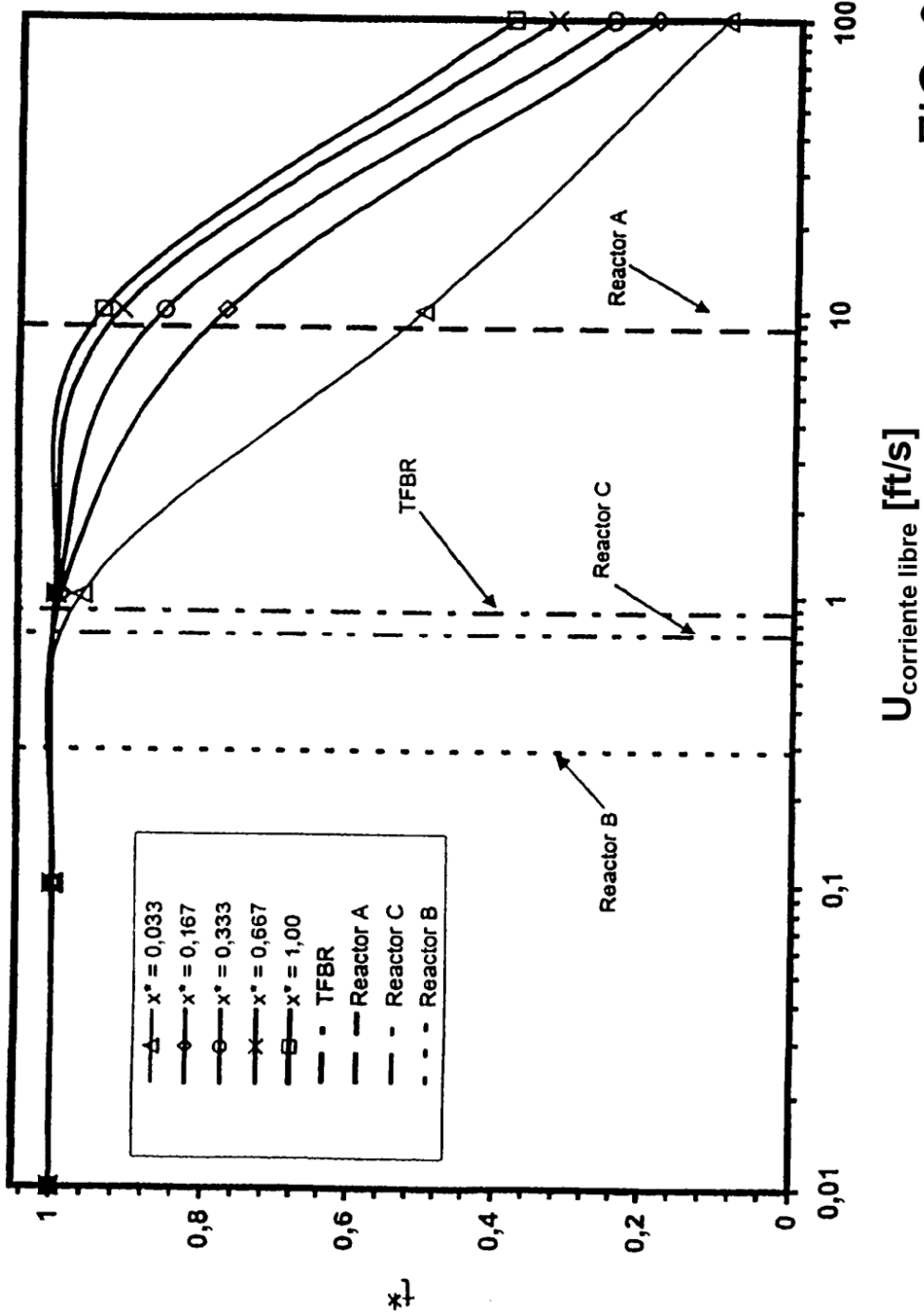


FIG. 38

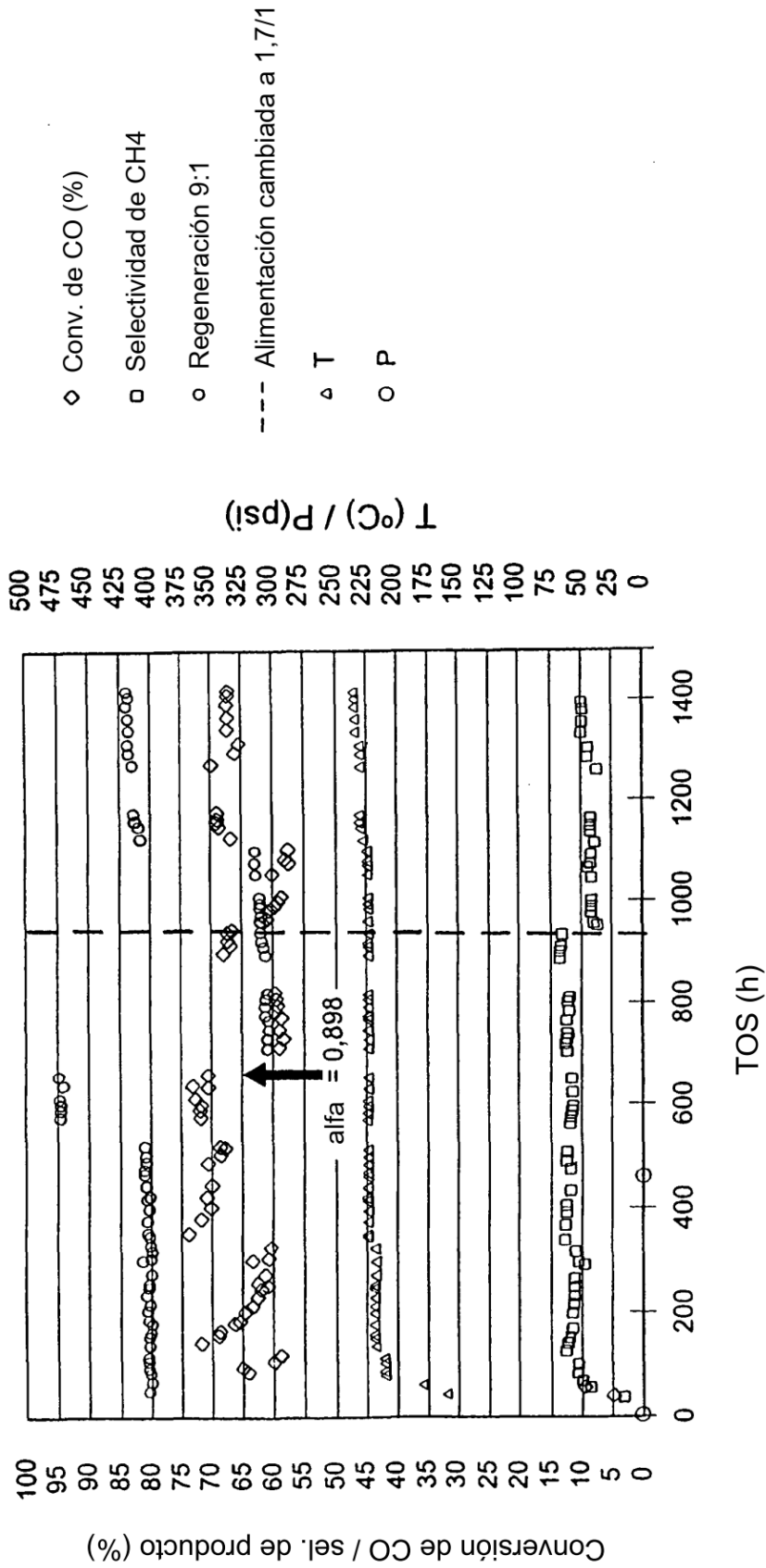


FIG. 39

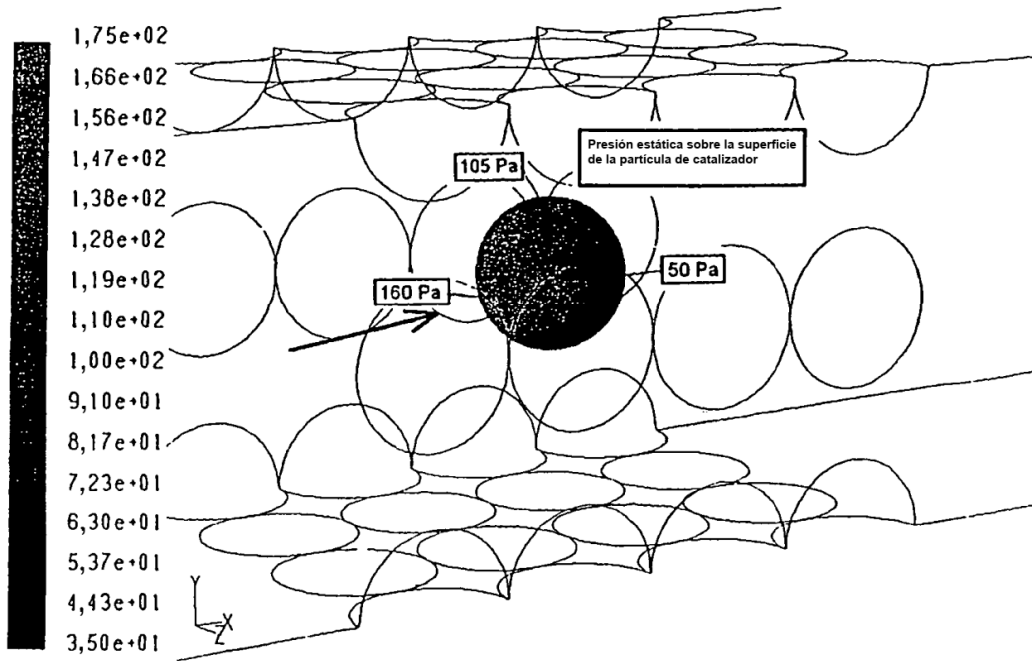
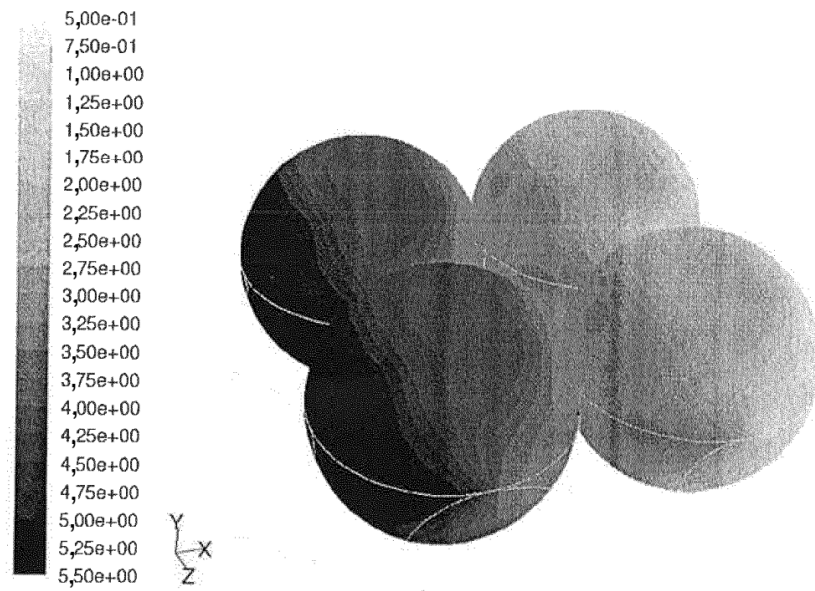
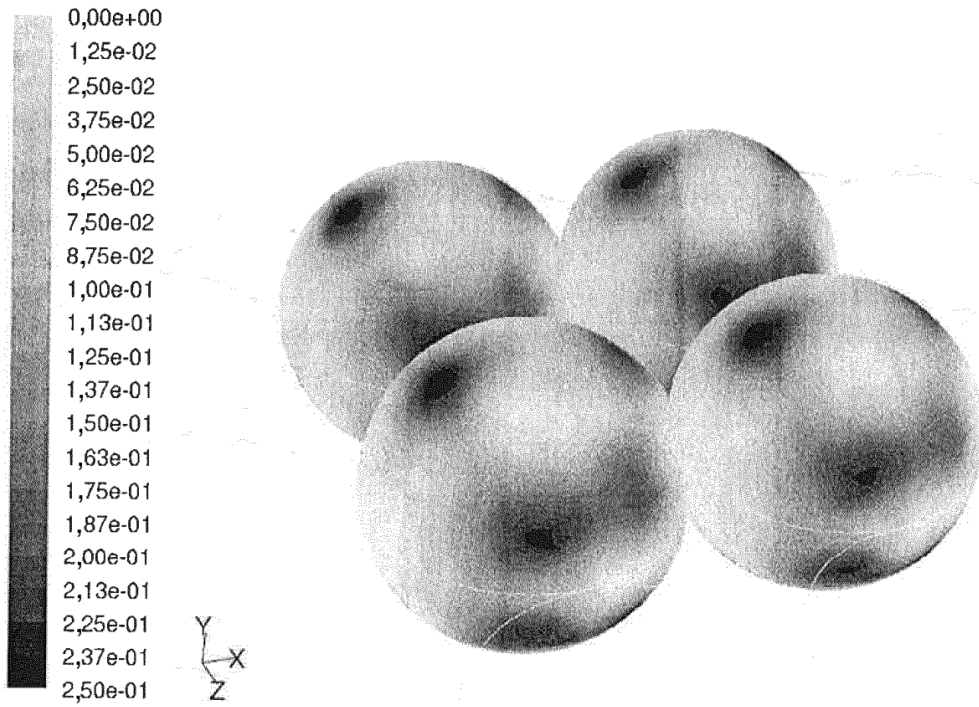


FIG. 40



Modelo 2D con cizallamiento promedio, gradiente de presión y gravedad tomados de la simulación CFD 3D

Aplicado como condiciones límite

$\dot{m}(L)=0,00045 \text{ lb/s-ft}$, Ugas (aproximación)=0,8 ft/s, 2:1 H2/CO

dPdX fuerza [lb/ft^3]

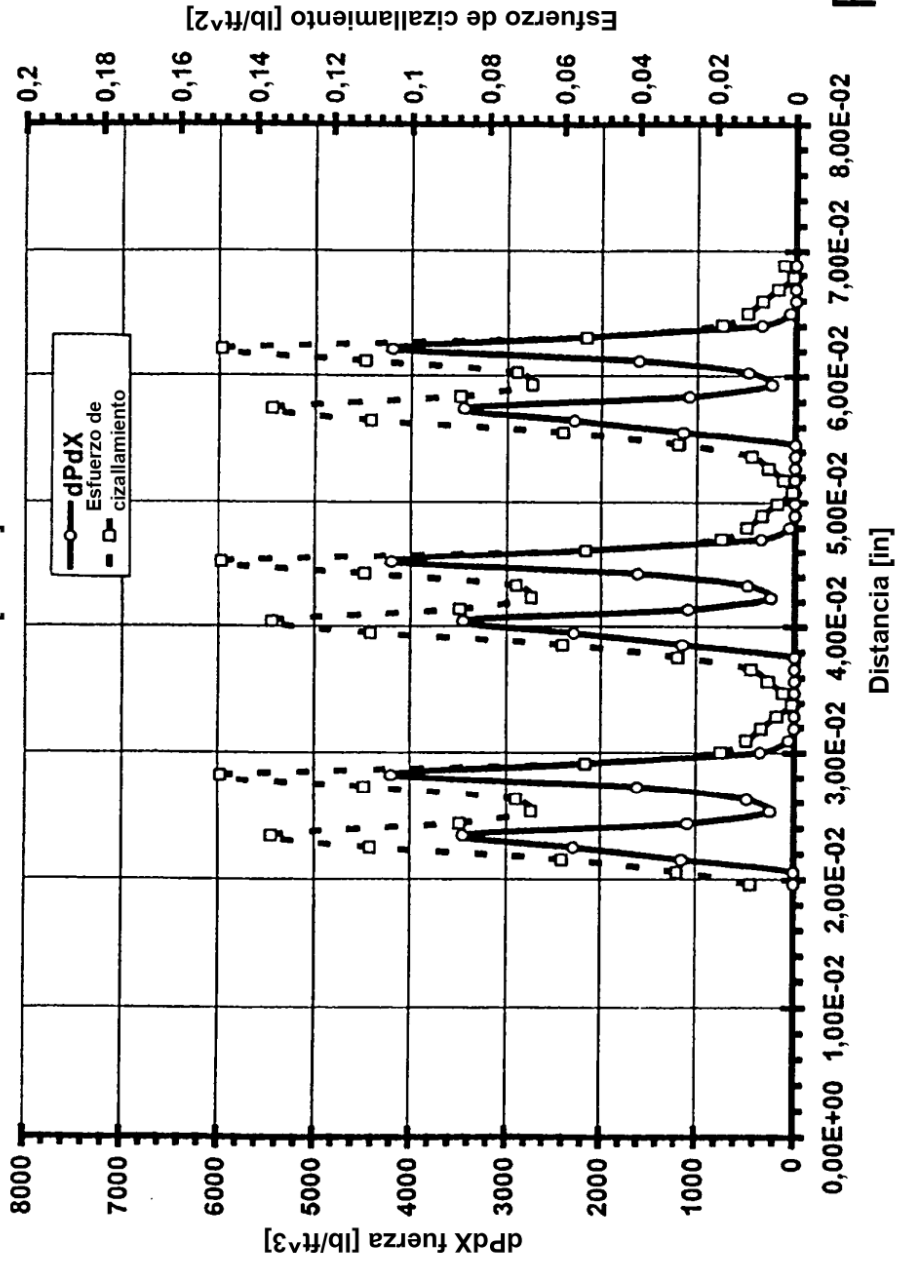


FIG. 43

Simulación 2D de la velocidad de película líquida y espesor de película
 Dos casos: 1) flujo de placa plana y 2) flujo en lecho relleno (perlas de
 275 micras de diámetro)

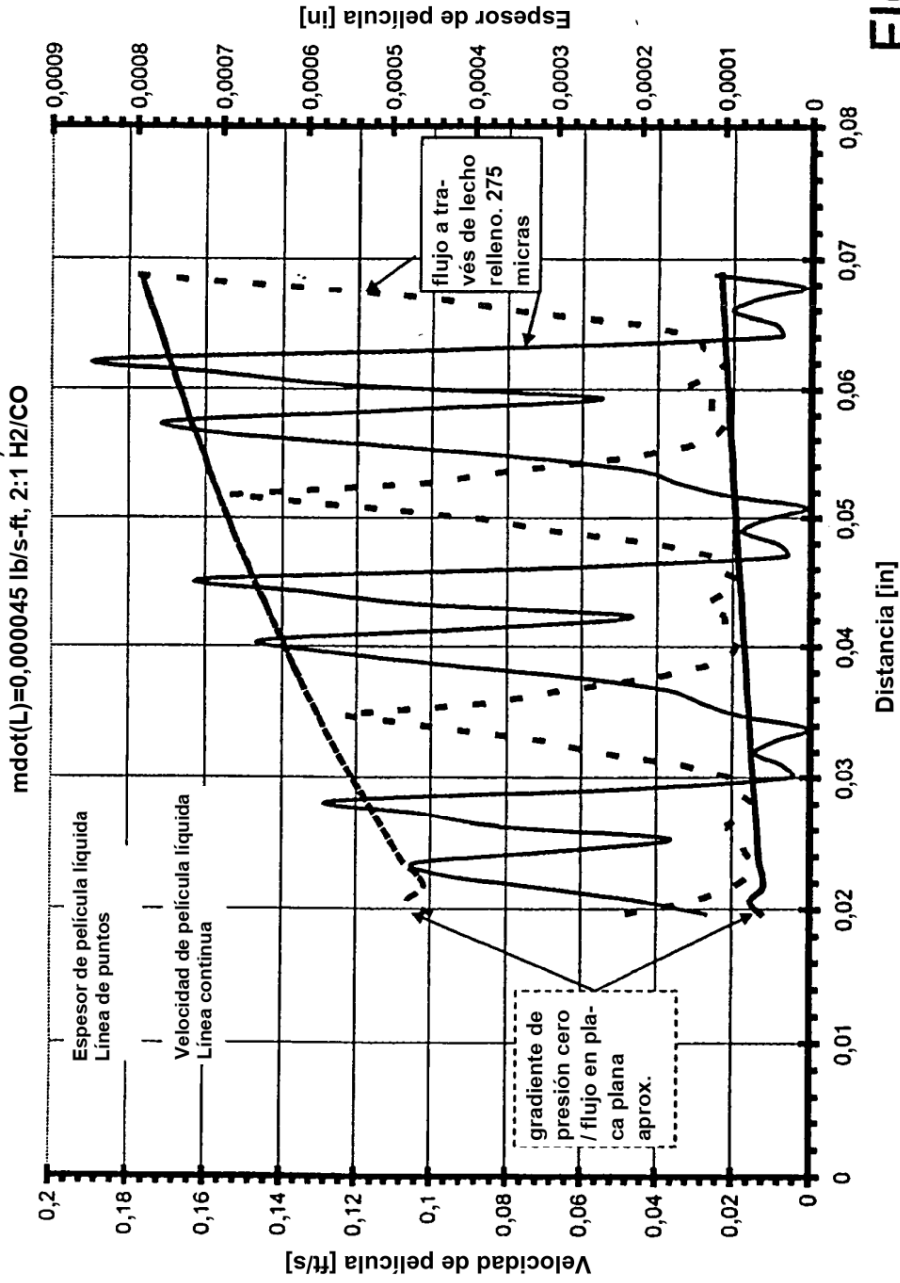


FIG. 44

Simulación 2D para flujo de lecho relleno (perlas de 275 micras de diámetro)
 Dos casos: 1) velocidad de aproximación=0,009 m/s y 2) velocidad de aproximación=0,244 m/s
 $\dot{m}(L)=0,000045 \text{ lb/s-ft}$, 2:1 H₂/CO

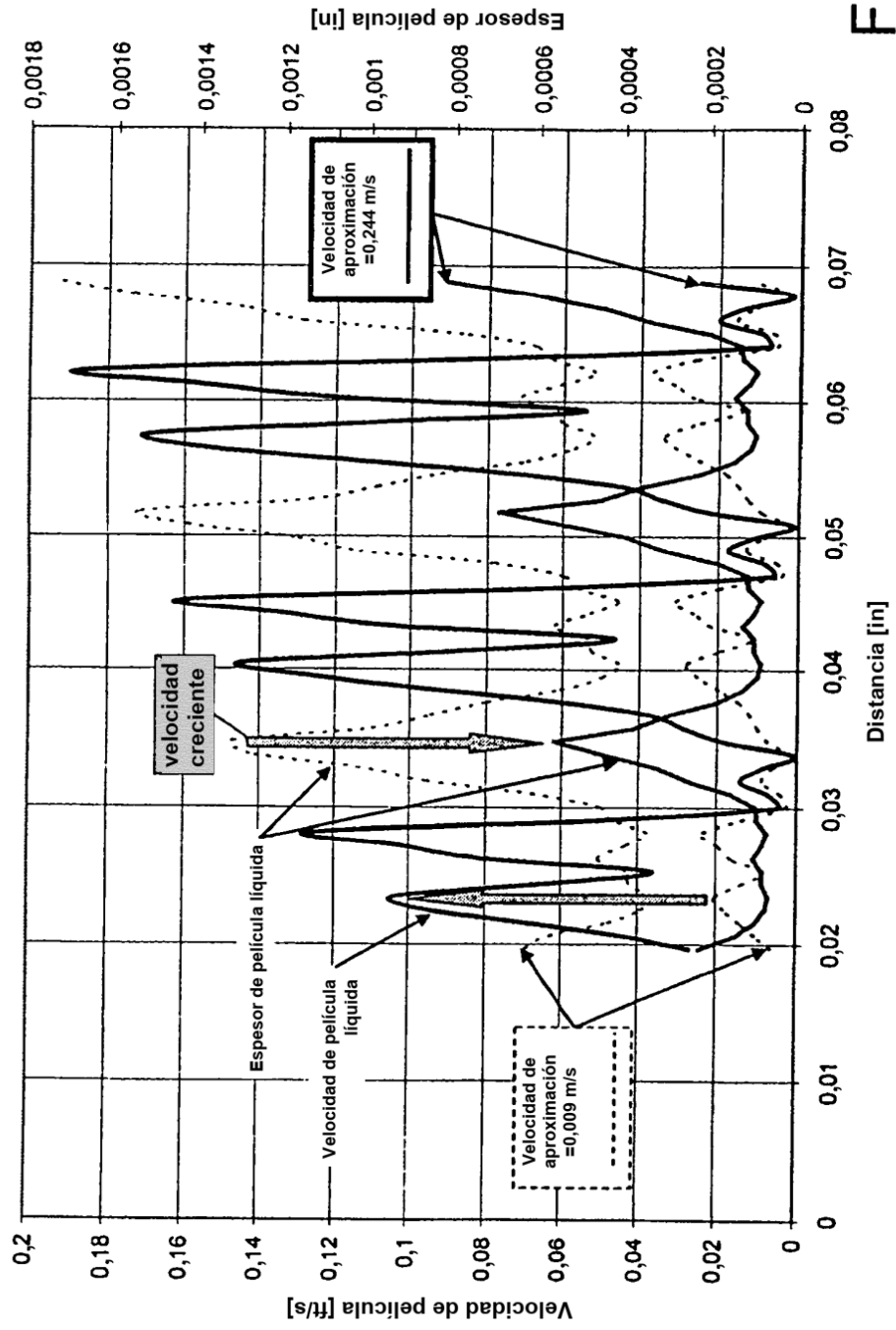


FIG. 45

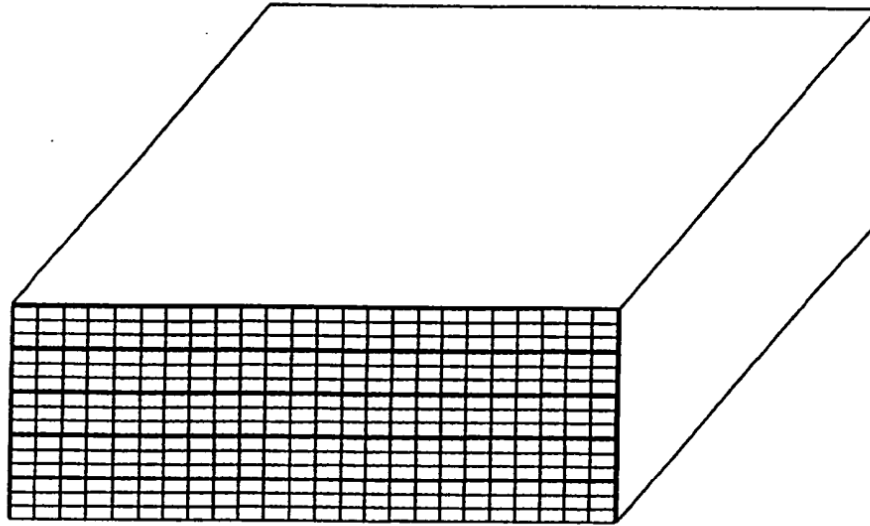


FIG. 46

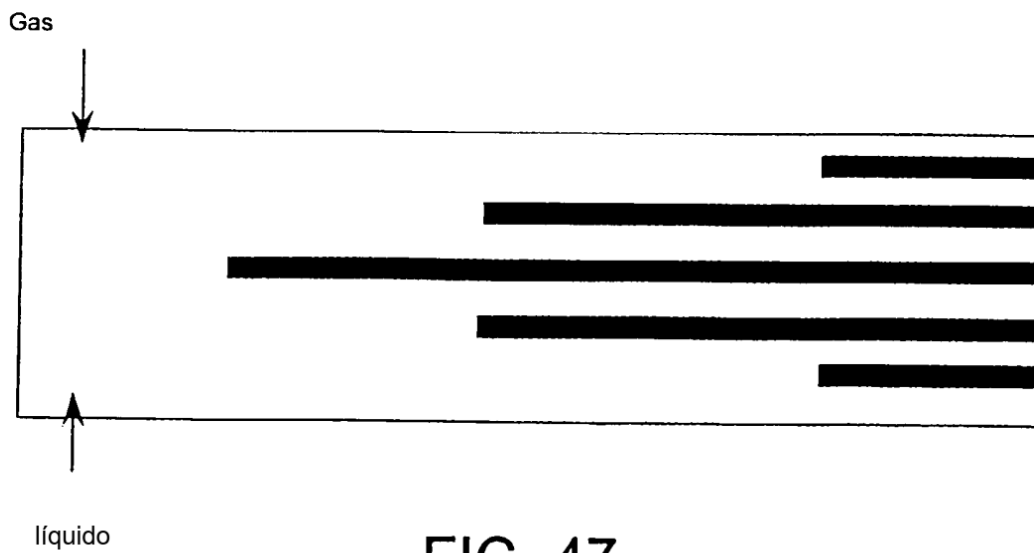


FIG. 47

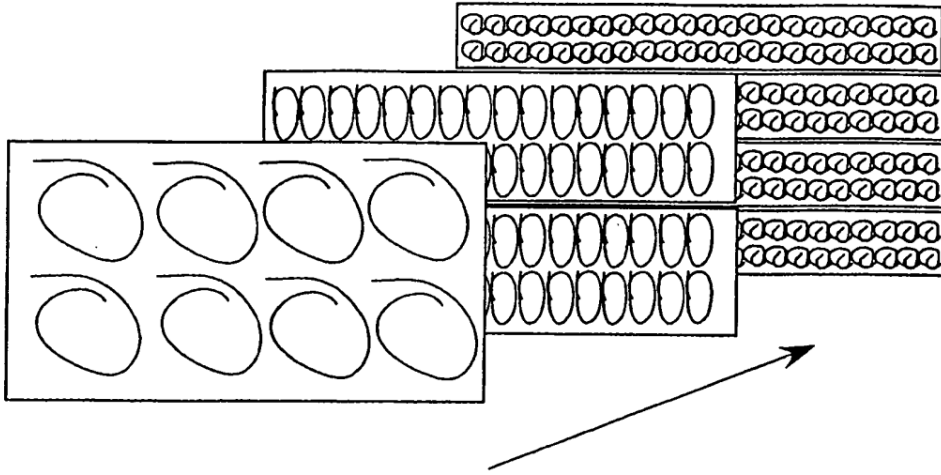


FIG. 48

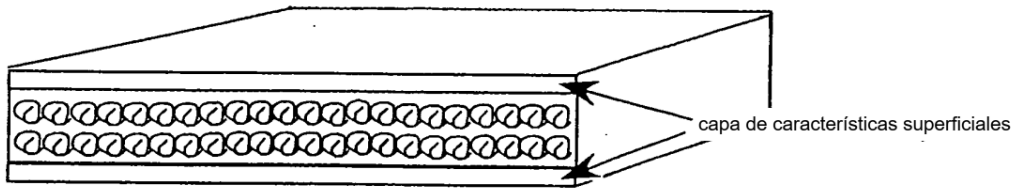


FIG. 49

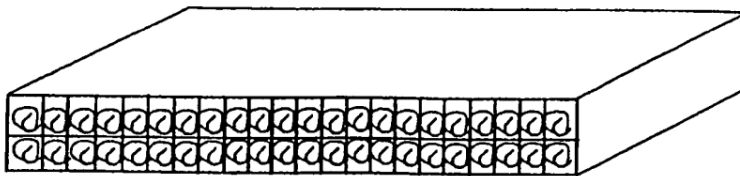


FIG. 50

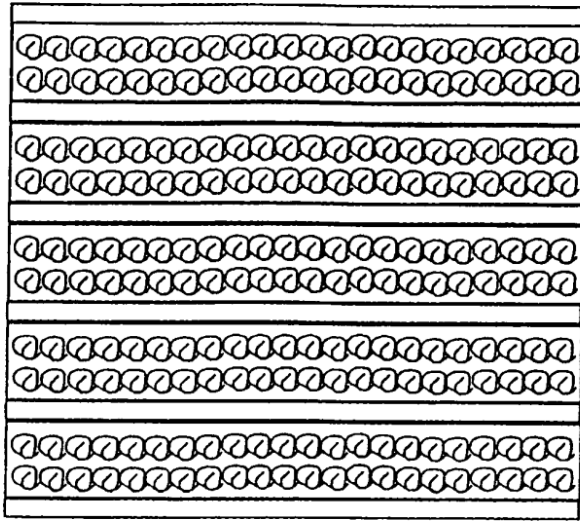


FIG. 51



FIG. 52

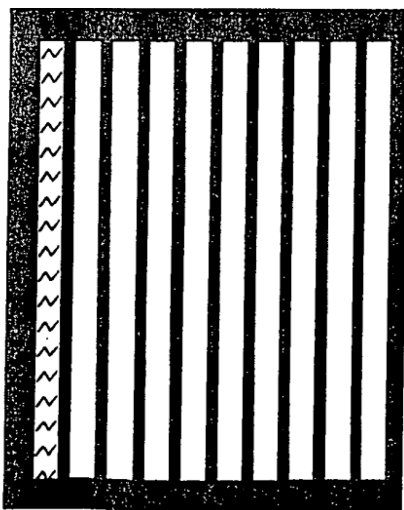


FIG. 53

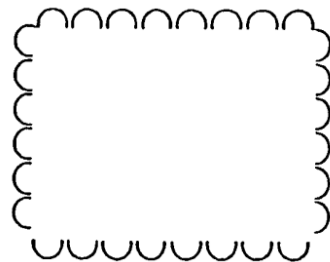


FIG. 54

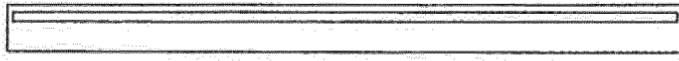


FIG. 55

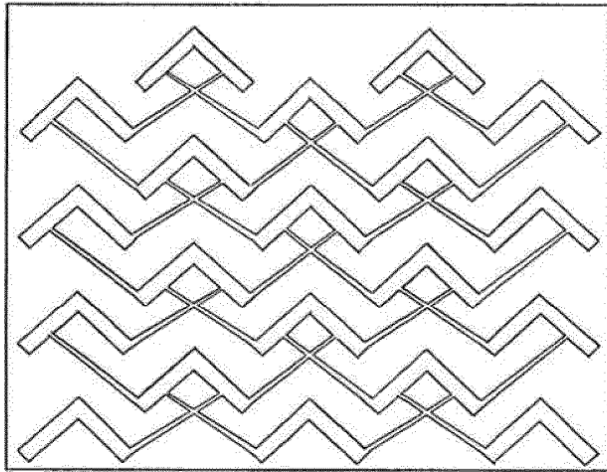
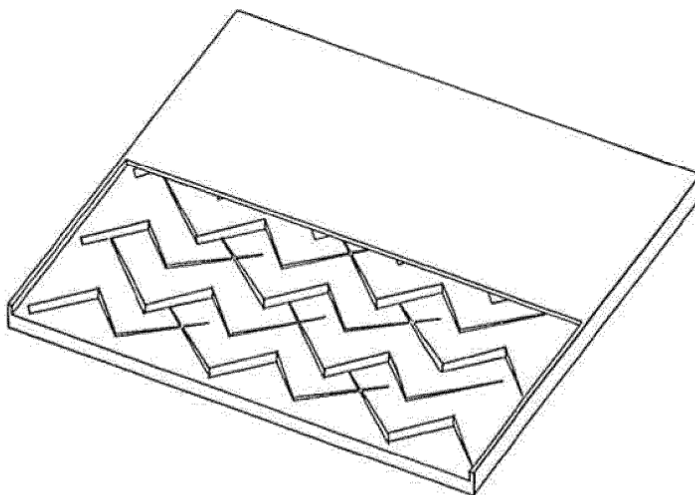


FIG. 56

↑ dirección de flujo axial



↗ dirección de flujo axial

FIG. 57