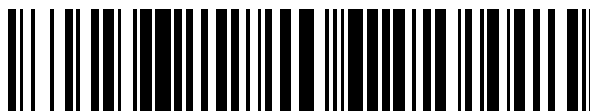


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 712 625**

51 Int. Cl.:

B01J 19/18	(2006.01)
C10G 3/00	(2006.01)
C10G 9/00	(2006.01)
B01J 3/08	(2006.01)
B06B 1/16	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2014 PCT/FI2014/050552**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16001476**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2014 E 14896525 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3164207**

54 Título: **Proceso y reactor del tipo de máquina rotatoria**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.05.2019

73 Titular/es:
**COOLBROOK OY (100.0%)
PL 607
00101 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:
**SEPPÄLÄ, JUKKA;
HILTUNEN, JYRKI y
PUROLA, VELI-MATTI**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 712 625 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 y reactor del tipo de máquina rotatoria

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de refinado de petróleo y petroquímico y, en particular, a los reactores para el craqueo térmico de compuestos que contienen hidrocarburos.

Antecedentes

10 Se han utilizado históricamente procesos de craqueo en refinerías de petróleo y plantas petroquímicas para convertir corrientes de hidrocarburos pesados en fracciones de hidrocarburos más ligeros. Aunque el campo del refino de petróleo y petroquímico se refiere como una de las áreas tecnológicas bien establecidas y profundamente enraizada, una de las tendencias, emergente en la industria del petróleo y petroquímica, requiere que cualquier tecnología de desarrollo cumpla dos requerimientos principales. Esos requerimientos se pueden formular brevemente como ahorro de energía y consumo reducido de materias primas extraída de fuentes no-renovables de materias primas. Esas son también cuestiones a considerar para el desarrollo de uno de los procesos petroquímicos principales - producción a gran escala de olefinas inferiores (bajo peso molecular).

15 Las olefinas de bajo peso molecular, tales como etileno, propileno y butilenos, son los productos básicos de la industria petroquímica y sirven como materias primas en la producción comercial de plásticos, cauchos, polímeros, elastómeros y otros materiales sintéticos, además de fibras y revestimientos. La tecnología de producción existente para olefinas inferiores, que comprende pirolisis de hidrocarburos de peso medio, tales como nafta o gasoil e hidrocarburos ligeros como pentanos, butanos, propano y etano, hasta componentes polimerizables de peso ligero sustancialmente insaturados en el horno tubular, fue creada hace más de medio siglo y difícilmente satisface requerimientos modernos de utilización rentable de materias primas. Los hornos tubulares tienen restricciones para el proceso de pirolisis: la temperatura de reacción no se puede incrementar debido a la durabilidad del material del tubo así como la transmisión de calor desde las paredes hasta el gas de proceso tiene límites físicos. Esto conduce a tiempo de residencia de la materia prima que no es óptimo para el proceso. La tasa de calentamiento insuficiente de la materia prima en hornos de craqueo tubulares conduce a duración incrementada del proceso de pirolisis. Este hecho da como resultado la situación, en la que olefinas formadas en etapas iniciales residen en el horno de reacción durante tiempo suficiente para comenzar a entrar en reacciones secundarias, siendo la consecuencia natural una pérdida de un producto objetivo. El producto secundario incluye también coque, que causa problemas de transmisión de calor en tubos y contaminación en equipo localizado curso abajo. La tecnología tradicional no ofrece una solución razonable para eliminar el problema mencionado anteriormente, puesto que las tasas de transferencia de calor en secciones radiantes de hornos de pirolisis convencionales han alcanzado ya límites técnicos. En reactores tubulares convencionales, el calor es suministrado de esta manera a la zona de reacción a través de paredes del reactor.

35 Se conocen soluciones distintas a hornos tubulares para equipo de pirolisis. Esas incluyen reactores rotatorios con disposición complicada de las palas de rotor. Los costes para la construcción y mantenimiento de tal equipo son más altos que los beneficios se podrían obtener alguna vez por medio del mismo.

40 El proceso tradicional para producir hidrocarburos de bajo peso molecular por degradación térmica encuentra, por lo tanto, los siguientes problemas: 1. factor de rendimiento pobre para reactores de hornos tubulares; 2. pérdida de materia prima valiosa; 3. tiempos de reacción largos; 4. tasas altas de reacciones secundarias; 4. alto consumo de energía; 5. rendimiento del producto no-óptimo (menor que el posible) y el documento EP-A-2 412 430 describe un reactor de palas para la pirolisis de hidrocarburos.

Compendio de la invención

45 El objetivo de la invención es al menos aliviar problemas mencionados anteriormente implementando un método nuevo de procesamiento térmico, termo-químico o termo-químico catalítico, tal como craqueo térmico de compuestos que contienen hidrocarburos.

Este objetivo se obtiene se consigue proporcionando un reactor de ondas de choque de acuerdo con la reivindicación 1.

Realizaciones del reactor de ondas de choque están de acuerdo con las reivindicaciones 2 a 18.

50 En varias realizaciones, el reactor está adaptado para procesar materia prima fluida, preferiblemente materia prima gaseosa.

En algunas realizaciones, el reactor está adaptado para procesar materia prima que contiene oxígeno, tal como materia prima basada en carbohidratos y glicéridos (tal como, por ejemplo, triglicéridos).

Todavía en otra realización, el reactor está adaptado para procesar materia prima basada en biomasa, preferiblemente derivada de celulosa o, en particular, derivada de lignocelulosa proporcionada al reactor en forma gaseosa.

5 En otro aspecto de la invención se proporciona un conjunto de reactor, que comprende un reactor de la presente invención, conectado al motor de accionamiento, una unidad de recuperación de calor y una unidad de enfriamiento rápido.

Todavía en otro aspecto de la invención, se proporciona una disposición en forma de una planta de pirolisis, dicha disposición comprende al menos dos reactores de la presente invención conectados en serie o en paralelo.

10 En otro aspecto de la invención, se proporciona un método para craqueo térmico de materia prima que contiene hidrocarburos utilizando una realización de un reactor descrito en la presente memoria.

Todavía en otro aspecto de la invención, se proporciona un método de importar energía para reacción química endotérmica rápida por medio de ondas de choque, producidas a partir de energía mecánica de cascadas de palas rotatorias del reactor descrito aquí.

15 La utilidad de la presente invención resulta de una variedad de razones dependiendo de cada realización particular de la misma. En primer lugar, el reactor de tipo de máquina rotatoria implementado de acuerdo con algunas realizaciones permite conducir un proceso de craqueo nuevo en condiciones próximas a un modo de funcionamiento de un reactor de desplazamiento de flujo perfecto. El reactor del tipo de máquina rotatoria proporciona de esta manera un método nuevo para una pirolisis de compuestos que contienen hidrocarburos, en particular adecuados para obtener compuestos que contienen hidrocarburos de bajo peso molecular. El diseño del reactor se basa en un rotor de alta velocidad que transforma la energía mecánica en la alta energía térmica dentro del reactor, y el proceso de pirolisis proporcionado aquí difiere de una técnica de craqueo térmico convencional por un método de suministro de calor a la mezcla de reacción. Mientras que en el horno de pirolisis tubular convencional el calor para pirolisis se transfiere a través de pared de bobina tubular, el reactor descrito aquí está configurado para permitir la generación de calor directamente dentro de la mezcla de reacción.

25 Las reacciones de descomposición en el reactor tienen lugar debido al calor generado directamente en la corriente de proceso que contiene materia prima cuando pasa a través de series de ondas de choque estacionarias de alta intensidad. Tal método de suministro de calor permite un incremento significativo en la temperatura de las paredes que confinan la zona de reacción, proporcionando de esta manera una oportunidad para superar limitaciones en velocidad de suministro de calor, típicas de otra manera del horno tubular. El tiempo que el gas de materia prima consume en la zona de reacción, que consiste en el espacio limitado por cascadas estacionarias y de rotor y espacio sin palas, es muy corto (aproximadamente 0,01 segundo o menos), que es aproximadamente 10 veces más corto en comparación con un horno de pirolisis convencional. El proceso se vuelve de esta manera más controlable que el craqueo térmico convencional, aunque las reacciones químicas permanecen sustancialmente las mismas. El rendimiento de productos de pirolisis deseados se incrementa debido a que es posible disminuir la presión y reducir el tiempo de residencia del gas de materia prima en la zona de reacción así como debido a un perfil de temperatura más uniforme en una sección transversal de la corriente de proceso. Puesto que el proceso mencionado anteriormente se caracteriza por rendimiento extremadamente alto de productos principales, tales como olefinas, por ejemplo, la tecnología proporcionada de esta manera representa en primer lugar una etapa siguiente en el desarrollo de procesos de craqueo para producir valor adicional a partir de una cantidad menor de materia prima, tal como petróleo y gas. La utilización de dichos reactores en la industria permite el procesamiento más rentable de materia prima, que afecta de esta manera positivamente a la eficiencia y a la rentabilidad de plantas de refino de petróleo.

45 En segundo lugar, la provisión de reactor del tipo de máquina rotatoria hace posible solucionar un problema de formación de coque. La razón para la tasa reducida de formación de coque en comparación con la tecnología convencional es un tiempo de residencia más corto de materia prima gaseosa en la zona de reacción combinada con temperaturas más bajas de partes estáticas del reactor (paredes). Además, los tiempos de residencia más cortos favorecen la selectividad de la reacción hacia productos deseados.

50 El reactor de la invención permite también el procesamiento de materias primas que contienen oxígeno derivadas, por ejemplo, de materia prima de base biológica. Otras áreas de aplicación posibles para dicho reactor incluyen, por lo tanto, refino de biomasa o materia derivada de biomasa para producir combustibles renovables en procesos tales como hidrogenación catalítica directa de aceites vegetales (por ejemplo, aceite de pino) o grasas animales en alcanos correspondientes, por ejemplo. Todavía adicionalmente, la valorización de gas de pirolisis de base biológica puede implementarse por medio del presente reactor, en donde el término "valorización" es refiere en el presente documento para indicar mejora o refinamiento de materia gaseosa.

55 Alternativa o adicionalmente, el reactor de la invención puede estar provisto con superficie(s) catalítica(s) para permitir reacciones catalíticas.

5 Con especial atención a varias realizaciones de un reactor del tipo de compresor - o turbina - axial de la presente invención, se puede obtener un llamado modelo de flujo de tapón. Al mismo tiempo, se pueden evitar reacciones secundarias no-deseables, que tienen lugar en la cámara del rotor como un resultado de mezcla de producto y materia prima y que conducen a coquización con la disposición propuesta. Las cascadas de paletas estacionarias utilizadas con ello pueden ser del mismo tipo o al menos de un tipo similar, en comparación con otras soluciones de reactor rotatorio propuestas anteriormente, en las que palas de dos cascadas de estator distintas tienen diferente estructura y ángulo de posición.

10 Los términos "pirolisis" y "craqueo" se utilizan en la presente memoria en gran medida como sinónimos con respecto al proceso de degradación térmica de compuestos que contienen hidrocarburos más pesados en compuestos que contienen hidrocarburos más ligeros.

La expresión "un número de" se refiere en la presente memoria a cualquier entero positivo a partir de uno (1), por ejemplo uno, dos, tres, etc.

15 La expresión "una pluralidad de" se refiere en la presente memoria a cualquier entero positivo a partir de dos (2), por ejemplo dos, tres, cuatro, etc.

Los términos "primero" y "segundo" no denotan en la presente memoria ninguna prioridad u orden particular, a no ser que se indique expresamente otra cosa. En su lugar, se utilizan para distinguir una entidad, tal como un elemento físico, de otra entidad.

20 El término "fluido" se refiere en la presente memoria en gran medida a una materia gaseosa, tal como por ejemplo una fase gaseosa de corriente de proceso o bien en presencia o ausencia de diluyente de vapor.

El término "cuerda" se refiere en la presente memoria a indicar una línea recta, que conecta puntos extremos del arco, aquí una pala/paleta curvada.

El término "gasificado" se utiliza en la presente memoria para indicar materia que se convierte en una forma gaseosa por cualquier medio posible.

25 El término "hidrodinámico" se utiliza en la presente memoria para indicar la dinámica de fluidos, que están representados, en esta descripción, en gran medida por gases. Por lo tanto, dicho término se utiliza en esta descripción como un sinónimo del término "aerodinámico".

Diferentes realizaciones de la presente invención serán evidentes por consideración de la descripción detallada y de los dibujos que se acompañan.

30 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 ilustra una realización de un reactor de acuerdo con la presente invención para pirolisis de materia prima que contiene hidrocarburos.

La figura 2A ilustra una disposición interna del reactor de la figura 1.

La figura 2B ilustra una disposición de paletas y un flujo de corriente en el reactor de la figura 2A con más detalle.

35 La figura 2C ilustra parámetros geométricos y condiciones operativas para el reactor de las figuras 1 y 2A, B.

La figura 3A es un diagrama histórico de la temperatura de gas de corriente dentro del reactor de las figuras 1-2.

La figura 3B ilustra la distribución de las paletas dentro del reactor de las figuras 1-2.

La figura 4A ilustra otra forma de realización del reactor, aquí configurado como una turbo-máquina axial.

La figura 4B ilustra una conexión secuencial de dos reactores axiales de la figura 4A.

40 La figura 5 es un diagrama de bloques de un conjunto de reactor basado en el reactor de la presente invención y proceso de craqueo relacionado.

Descripción detallada de las realizaciones

Realizaciones detalladas de la presente invención se describen en la presente memoria

45 con referencia a dibujos que se acompañan. Los mismos caracteres de referencia se utilizan en todos los dibujos para referirse a los mismos miembros. Se utilizan las siguientes citas para los miembros:

ES 2 712 625 T3

- 1 - un árbol de rotor;
- 1a - un disco de rotor;
- 2 - una cascada de flujo axial con palas de rotor;
- 3 - un borde de dirección;
- 5 4 - una carcasa;
- 5 - particiones divisorias;
- 6 - un orificio de entrada de alimentación;
- 6a - un segundo orificio de entrada de alimentación u orificio de inyección de vapor
- 7 - un orificio de salida de producto;
- 10 8 - una primera cascada estacionaria con paletas de toberas;
- 9 - una segunda cascada estacionaria con paletas de difusión;
- 10 - un conducto con un espacio sin paletas;
- 11a - un reactor del tipo de máquina rotatoria de acuerdo con la primera realización;
- 11b - un reactor del tipo de máquina rotatoria de acuerdo con la segunda realización;
- 15 11c - un módulo operativo que comprende al menos dos reactores interconectados de acuerdo con una realización factible
- 12 - elemento catalítico;
- 13 - orificio de inyección de medios de refrigeración;
- 14 - orificio de refrigeración o calefacción;
- 20 101 - un motor de accionamiento;
- 102 - un reactor del tipo de máquina rotatoria;
- 103 - una unidad de recuperación de calor;
- 104 - una unidad de enfriamiento rápido;
- 105 - un filtro de aire.

25 Una ilustración en sección (ver la sección A-A' como se indica en el bosquejo en miniatura incrustado de una vista superior del reactor, casilla de trazos) de un reactor de trayectoria helicoidal 11a para una pirolisis de materia prima que contiene hidrocarburos de acuerdo con una forma de realización de la presente invención se muestra en la figura 1. El reactor comprende un rotor provisto con un árbol de rotor 1, al que está asegurado un disco de rotor 1a. El disco de rotor 1a está provisto, a su vez, con una pluralidad de palas de rotor que forman cascada de rotor 2 de flujo axial. Las palas de rotor de la cascada de rotor de flujo axial tienen con preferencia un perfil de pala de turbina de impulso supersónico actico; están dirigidas radialmente e instaladas por su lado cóncavo en una dirección de rotación del rotor. La velocidad circunferencial de las palas de rotor está adaptada para que sea al menos 250 m/s. El reactor 11a comprende, además, un borde 3 en forma de anillo estacionario interno, que une las puntas de las palas de rotor de flujo axial, y una superficie interior de carcasa 4. La carcasa exterior 4 incluye una periferia del rotor 1 y el borde 3 para definir un conducto anular 10 para permanecer entre una superficie exterior del borde 3 y una superficie interior de la carcasa 4. Una sección transversal meridiana del conducto 10 forma de esta manera un perfil en forma de anillo. El reactor 11a comprende, además, al menos un orificio de entrada 6 para corriente de materia prima y al menos un orificio de salida 7 para corriente de producto. Donde sea apropiado, el reactor 11a puede estar configurado para tener dos orificios de entrada y dos orificios de salida.

40 El reactor 11a provisto con esta forma de realización está implementado sustancialmente en una forma de un toro anular. La figura 2A proporciona de esta manera una sección transversal poloidal de un reactor de forma toroidal para mostrar posiciones espaciales de orificios de entrada y de salida con respecto a una estructura de forma sustancialmente anular.

Un interior del conducto 10 puede implementarse no dividido. En forma de realización alternativa, el conducto 10 puede comprender varias particiones divisorias 5 dispuestas allí para formar al menos dos cámaras operativas (figura 2A). El tamaño de dichas cámaras es con preferencia el mismo, pero no se excluyen otras implementaciones técnicas, donde sea apropiado. El orificio de entrada 6 está dispuesto con preferencia después de cada partición divisoria 5 en la dirección de la rotación del rotor y el orificio de salida 7 está dispuesto preferiblemente delante de cada partición divisoria 5. Los orificios de entrada y de salida pueden estar integrados dentro del conducto.

A continuación se hará referencia a las figuras 2A-C, creadas sobre la base de modelos de simulación CFD (Computational Fluid Dynamics) del reactor 11a. La representación de la figura 2B corresponde aquí a un dominio de cálculo individual, utilizado para cálculos CFD.

El reactor 11a en forma toroidal anular está provisto, además, con al menos dos cascadas de palas (de estator) estacionarias 8, 9. Una primera cascada de palas estacionarias 8 está dispuesta, por lo tanto, curso arriba de la cascada de palas de rotor 2 de flujo axial y comprende una pluralidad de palas que tienen preferiblemente un perfil curvado y que están dispuestas por sus lados convexos en la dirección de la rotación del rotor. Las palas de la primera carcasa estacionaria 8 están configuradas preferiblemente como palas de tobera, por lo que, para fines de claridad, la primera cascada se referirá, además, como una "cascada de tobera".

Una segunda cascada de palas estacionarias 9 está dispuesta preferiblemente curso abajo de la cascada de rotor de flujo axial 2 y comprende una pluralidad de palas que tienen preferiblemente un perfil de compresor supersónico curvado y que está dispuesto también por sus lados convexos en la dirección de rotación del rotor. Las palas de la segunda cascada estacionaria 9 están configuradas preferiblemente como palas de difusión, por lo que, para fines de claridad, la segunda cascada se referirá, además, como una "cascada de difusión".

Palas provistas con ambas cascadas de palas estacionarias (8, 9) pueden implementarse para que tengan un mismo perfil curvado para ambas cascadas.

Cascadas de palas estacionarias 8, 9 pueden proveerse con el borde de dirección 3 (figuras 1, 2A) o sobre la pared que define el conducto de la superficie interior de la carcasa 4, como es evidente sobre la base de la figura (ver la casilla en la figura 2A). Las cascadas de palas estacionarias 8 y 9 están dispuestas preferiblemente de tal manera que se forma un espacio sin palas entre una salida desde la cascada de difusión 9 y una entrada en la cascada de tobera 8.

De acuerdo con algunas realizaciones, el reactor 11a está configurado para tener las dos cascadas 2, 8 y 9 sustancialmente adyacentes dentro del conducto 10.

La figura 2C ilustra parámetros geométricos para el reactor 11a y un conjunto de condiciones operativas.

El principio de funcionamiento del reactor se basa en una conversión de energía cinética de una corriente de proceso en calor. La provisión del reactor 11a de tal manera que el calor para procesar moléculas de materia prima no es transferido a través de las paredes del reactor, sino que se calienta una mezcla de materia prima evaporada y vapor que entre en el reactor por calor generado directamente dentro de la mezcla de reacción debido a la resistencia aerodinámica de las palas provistas con cascadas de palas.

El reactor 11a funciona sustancialmente de la siguiente manera. La rotación del rotor 1 fuerza el gas en cada cámara operativa a ser transferido desde el orificio de entrada 6 hasta el orificio de salida 7. La corriente de proceso que contiene materia prima, que comprende, por ejemplo, materia prima basada en hidrocarburos y un diluyente de vapor (proporcionado bajo presión desde fuentes periféricas, no mostradas) en relaciones ajustables, es suministrado al orificio de entrada del reactor 6. La relación de materia prima a diluyente depende en gran medida de la presión formada dentro del conducto del reactor; la reducción de la presión da como resultado, por lo tanto, una cantidad reducida de diluyente de vapor que es suministrada al reactor con corriente de proceso. La corriente de proceso que contiene materia prima se dirige, además, pasa pasar repetidas veces a través de la cascada de tobera 8, cascada de flujo axial 2, cascada de difusión 9 y el espacio sin palas de acuerdo con la trayectoria helicoidal mientras circula dentro del conducto 10 entre los orificios de entrada y salida. La provisión de cascadas 2, 8 y 9 y palas localizadas allí es tal que permite que una velocidad de flujo de la corriente de proceso sea supersónica en todas las cascadas, mientras que la velocidad en espacio sin palas dentro del conducto 10 permanece subsónica. Puesto que la corriente de proceso que contiene materia prima es forzada continuamente a pasar a través de cascadas de estator-rotor-estator siguiendo la trayectoria helicoidal, el reactor se refiere ocasionalmente en la presente descripción como un reactor de trayectoria helicoidal.

La cascada de rotor de flujo axial 2 está configurada adicionalmente para proporcionar energía cinética a corriente de proceso que contiene materia prima, añadiendo de esta manera velocidad de flujo a ésta, mientras que la cascada de difusión 9 está configurada para reducir la velocidad de flujo de la corriente de proceso que pasa a través de ella. Durante el tiempo de residencia dentro de la zona de reacción, la corriente de proceso que contiene

materia prima pasa a través de las cascadas 8, 2 y 9, respectivamente, varias veces y cada vez que pasa a través de la cascada de rotor de flujo axial 2, se acelera la corriente de proceso, recibiendo de esta manera energía cinética convertida además en calor después de la reducción de la velocidad de flujo en la cascada de difusión 9. El movimiento establecido genera de esta manera ondas de choque estacionarias, que calientan materia prima gaseosa dentro del reactor. En efecto, la corriente de proceso se calienta en impulsos secuenciales durante el tiempo en que dicha corriente está afectada por ondas de choque estacionarias de alta intensidad. La figura 3A ilustra una curva de la temperatura dependiente del tiempo generada por una corriente de proceso durante el tiempo de residencia dentro del reactor de modelo ejemplar 11a. Líneas de trazos indican los momentos en que la corriente de proceso pasa a través de las cascadas de estator-rotor-estator 8, 2, 9 y círculos de trazos definen etapas del proceso (I-V). La curva de la temperatura de la figura 3A tiene, por lo tanto, una configuración de diente de sierra con temperatura general incrementada desde aproximadamente 500 hasta casi 1000 °C. La materia prima es dirigida dentro del reactor a aproximadamente 600 °C y se calienta adicionalmente, pasando posteriormente a través de cascadas de palas y espacio sin palas. Tal disposición da como resultado el hecho de que todas las partículas de la corriente de proceso poseen esencialmente los mismos históricos de temperatura. El último hecho lleva el reactor de trayectoria helicoidal, en términos de sus características técnicas, próximo a un reactor del tipo de flujo de tapón perfecto. El diagrama histórico de la temperatura ejemplar, mostrado en la figura 3A, se obtuvo por modelado de simulación del reactor de forma toroidal anular, suponiendo que una suma de energías cinéticas de movimiento ordenado (flujo de partículas) y movimiento caótico de moléculas separadas es constante cuando flujo de materia prima gaseosa pasa a través de cascadas (simulación de flujo constante).

Para un reactor de modelo ejemplar 11a (figura 3A), tardó cinco etapas (I-V) hasta alcanzar la temperatura de 900 °C, a cuya temperatura las reacciones endotérmicas consumen la mayor parte de la entrada de calor, puesto que la entrada de calor posteriormente se utilizará puramente para craqueo en lugar de elevar adicionalmente la temperatura. El proceso de craqueo térmico se puede realizar, por lo tanto, en el reactor de esta realización durante transiciones múltiples de corriente de proceso de materia prima a través de ondas de choque estacionarias de alta intensidad a velocidad supersónica. Se produce un salto de temperatura apreciable cuando aparecen ondas de choque estacionarias en una entrada de canales entre palas de cascada de difusión 9.

La figura 3B ilustra una distribución de paletas/palas dentro del reactor ejemplar 11a. Debido al incremento de la temperatura durante el proceso de compresión regenerativa / adición de energía, la densidad del gas de proceso es variable a lo largo del reactor 11a desde el orificio de entrada 6 hasta el orificio de salida 7. Por lo tanto, la distribución de palas de estator y de paso entre ellas es no-uniforme. La figura 3B ilustra, por lo tanto, una disposición ejemplar de cinco etapas, como se ha descrito anteriormente. Para el rotor, no se puede cambiar la relación de paso/cuerda y se fija para 80 palas en total (ver la figura 2C) en un valor de 0,75, con tal que cada pala tenga un parámetro de cuerda axial de 16 mm (0,016 m) y radio medio de 0,151 m. Parámetros de paso/cuerda para cascadas estacionarias se proporcionan en la Tabla 1.

Tabla 1 Parámetros geométricos para cascadas de palas de estator

Cascada de toberas, 8 (Cuerda Axial = 0,02m)			Cascada de difusión, 9 (Cuerda Axial = 0,024m)	
Fase	Nº de palas	Paso/Axial	Nº de palas	Paso/Axial
		Cuerda		Cuerda
I	66	0,7200	45	0,8783
II	60	0,7905	44	0,8983
III	53	0,8950	42	0,9413
IV	44	1,0780	40	0,9883
V	36	1,3175	36	1,0980

Aunque se realizan reacciones de pirólisis comunes dentro del presente reactor a 500-1000 °C, la temperatura de "arranque" mínima requerida se puede ajustar hasta 200 °C. Para algunas aplicaciones biotécnicas, la temperatura mínima se puede ajustar a valores extremadamente bajos, tales como temperatura ambiente, por ejemplo. Tales aplicaciones biotécnicas incluyen procesamiento de carbohidratos, tales como azúcares, por ejemplo.

La presión en el conducto del reactor durante el funcionamiento es ajustable ajustando las presiones de entrada y de salida. Para hidrocarburos pesados utilizados como una materia prima gaseosa, la presión en el conducto

puede ser aproximadamente 2 bares abs (0,2 MPa); en otro caso pueden ser preferibles ajustes de presión más baja.

5 Los parámetros del reactor se pueden ajustar para que el tiempo en que la materia prima gaseosa se agota en la zona de reacción (tiempo de residencia) varíe desde algunos segundos hasta algunos milisegundos, preferiblemente hasta aproximadamente 10 mseg. El tiempo de residencia absoluto puede depender de un número de etapas de proceso y del volumen de espacio sin palas, como se ha indicado anteriormente (figura 3A).

10 Con referencia a la figura 4A, se ilustra una realización alternativa de otro reactor rotatorio. De acuerdo con esta realización, el reactor 11b está configurado como un reactor del tipo de compresor axial o una turbina. El reactor 11b de esta realización comprende un rotor extendido (alargado) 1, a lo largo del cual está dispuesta una pluralidad de palas de rotor en un número de hileras secuenciales para formar cascada(s) de rotor de flujo axial 2.

15 El rotor 1 está encerrado dentro de la carcasa 4, cuya superficie interior está provista con la primera y segunda cascadas de palas 8 y 9 estacionarias (de estator), respectivamente, dispuestas de tal manera que paletas/palas de cascadas de rotor y de estator 2, 8 y 9 alternan a lo largo del rotor 1 en la dirección longitudinal (a lo largo de la longitud del rotor). Las palas de cascada de estator (8, 9) están dispuestas preferiblemente sobre los lados opuestos de la superficie interior, que define la pared del conducto, de la carcasa 4. De esta manera, puede considerarse que palas de la cascada de rotor 2 en cierta posición a lo largo del rotor 1 en la dirección longitudinal forman una llamada unidad de cascada, o una "etapa", con parejas adyacentes de palas de estator (cascadas 8 y 9), que se ilustran en la figura 4A por un círculo de trazos. Las etapas siguientes tiene espacio libre de paletas/palas entre ellas. Otras configuraciones de etapas son, naturalmente, posibles, cuando sea apropiado.

20 El volumen proporcionado entre el rotor 1 y una superficie interior de la carcasa 4 se define como el conducto 10 que comprende de esta manera cascadas de paletas de rotor 2 y cascadas de palas de estator 8, 9. El reactor 11b comprende, además, al menos un orificio de entrada 6 para corriente de materia prima y al menos un orificio de salida 7 para corriente de producto. El reactor 11b puede comprender al menos un orificio adicional 13 para inyección de medios de refrigeración, por ejemplo. Adicionalmente, el reactor 11b puede comprender elementos catalíticos o huecos catalíticos 12 (espacios catalíticos intermedios), como se describe, además, con más detalle. Pero paletas y/o palas seleccionadas pueden proveerse con material catalítico, por ejemplo en forma de un revestimiento catalítico.

25 Lo descrito para la realización anterior de la distribución no-uniforme de palas de estator se puede adaptar también para el reactor axial 11b.

30 La configuración mencionada anteriormente permite realizar procesos químicos altamente adaptados, en donde el tiempo de reacción, la temperatura y/o el tiempo de residencia de la materia prima gaseosa en la zona de reacción pueden adaptarse para conseguir las mejores relaciones de selectividad/conversión. Para controlar la temperatura y/o las tasas de dilución, el reactor de esta realización puede comprender un orificio adicional de inyección de vapor para componente reactivo y/o diluyente de alimentación. La provisión del reactor de acuerdo con esta realización es tal que cuando la corriente de gas de materia prima entra en la cámara de reacción, es afectada por calor producido por ondas de choque originadas desde trabajo mecánico cooperativo de cascadas de palas estacionarias 8, 9 y la cascada de paletas de rotor 2. Las configuraciones de paletas/palas proporcionadas dentro de las cascadas de rotor-estator pueden ser iguales que para la realización anterior; no obstante, una implementación del tipo de turbina axial permite flexibilidad adicional ajustando parámetros de reacción por variación de parámetros estructurales de paletas/palas de cascadas de rotor y de estator, incluso dentro de las hileras, es decir, que el diseño puede alternar dentro de hileras secuenciales de la carcasa particular.

35 Una realización de un módulo operativo 11c, que comprende al menos dos reactores del tipo de turbina axial 11b de la realización mencionada anteriormente conectados secuencialmente o en serie, se muestra en la figura 4B. La configuración de la figura 4B muestra dos unidades de reactor 11b interconectadas, entre las cuales está localizado un elemento de motor de accionamiento 101. La configuración "en serie" puede proveerse con un orificio de entrada adicional 6a que puede utilizarse inyección de alimentación extra o para inyección de vapor, por ejemplo. Un orificio adicional 14 para introducir medios de refrigeración o de calefacción puede disponerse en el tubo de conexión previsto entre dos unidades de reactor 11b. No obstante, debe entenderse que una disposición final de un módulo operativo 11c depende en gran medida del tamaño y de las finalidades de la línea de producción así como del número de unidades de reactor separadas dispuestas allí.

40 Como se ha aludido aquí anteriormente, los reactores 11a, 11b de acuerdo con diferentes realizaciones de la presente invención pueden proveerse, en general, con superficie(s) catalítica(s) u otro(s) elemento(s) catalítico(s) para permitir reacciones catalíticas. Las superficies catalíticas se forman preferiblemente por revestimiento catalítico de al menos algunas de las paletas o palas individuales de al menos una cascada de paleta/pala dentro de la zona de reacción. Palas provistas con las cascadas de palas y localizadas dentro de la zona de reacción pueden revestirse catalíticamente cuando sea apropiado. Alternativa o adicionalmente, se puede aplicar revestimiento catalítico a la superficie interior que define la pared del conducto de la carcasa dentro de la zona de reacción, por

ejemplo. Alternativa o adicionalmente, se puede(n) disponer elemento(s) catalítico(s) o hueco(s) catalítico(s) dentro de la zona de reacción, formado(s) por o provisto(s) con sustrato(s) cerámico(s) o metálico(s) o soporte(s) con revestimiento activo. Alternativamente, se pueden utilizar catalizadores monolíticos de panal de abejas. Los elementos catalíticos se indican por el número 12 en las figuras 4A y 4B.

5 Los reactores de acuerdo con varias realizaciones factibles como las descritas anteriormente se adaptan típicamente para procesar material de alimentación gaseoso y, en efecto, el reactor rotatorio puede estar configurado para procesar materia de alimentación que contiene oxígeno, por ejemplo. Por lo tanto, la selección del material de alimentación se puede extender, naturalmente, más allá de los límites definidos por materias primas a base de hidrocarburos. En una realización, el reactor puede adaptarse para refinado de biomasa para producir combustibles renovables en procesos tales como hidrogenación catalítica directa de petróleo de planta en alcanos correspondientes o deshidrogenación catalítica de hidrocarburos gaseosos como una de las etapas del proceso de Fischer-Tropsch, por ejemplo. El reactor, adaptado para biorrefino, se puede adaptar para utilizar materias primas pre-procesadas a base de biomasa gaseosa. Con el reactor ajustado para procesamiento de biomasa gasificada, especialmente en combinación con superficies recubiertas catalíticamente descritas en otra parte en este documento, se puede desarrollar un método nuevo rentable para la producción de combustibles renovables. Otro ejemplo de aplicación relacionada con biorrefino es una dimerización catalítica a alta temperatura (aproximadamente 900 °C) de metano, ampliamente estudiado como un proceso prometedor para licuación de gas natural.

20 Puede proporcionarse un conjunto de reactor que comprende una realización del reactor o del módulo operativo de la presente invención, conectado al motor de accionamiento, una unidad de recuperación de calor y una unidad de enfriamiento rápido. Una instalación meramente ejemplar se muestra en la figura 5, que ilustra un diagrama de bloques de alto nivel de un conjunto de reactor basado en el/los reactor(es) de acuerdo con cualquier realización de la presente invención y que comprende un motor 101, al menos un reactor del tipo de máquina rotatoria 102, una unidad de recuperación de calor 103, tal como una caldera de vapor, un aparato de enfriamiento rápido 104 y un silenciador de filtro de aire 105. Aunque dicha instalación anterior puede funcionar con un reactor rotatorio 102, la figura 5 ilustra dos disposiciones ejemplares, en donde tres reactores 102 pueden estar conectados o bien en paralelo (casilla de línea discontinua) o "en serie" (casilla de línea continua). La conexión funcional entre reactores 102 se indica por líneas onduladas. El número de los reactores 102 y su disposición en la figura 5 son meramente ejemplares y, en la práctica, dependerían en gran medida del tamaño/capacidad de la instalación y de los volúmenes de producción. El reactor proporcionado hasta ahora es preferiblemente una unidad de craqueo; no obstante, no se excluye su utilización en otras aplicaciones distintas a craqueo.

35 El conjunto puede utilizar varios motores de accionamiento, tales como motores eléctricos, motores de pistón de gas, motores de turbinas de gas y turbinas de vapor. No obstante, se ha probado que un motor de turbina de gas o un motor de pistón de gas es uno de los motores de accionamiento más fiable para el reactor rotatorio actualmente. El conjunto de reactor rotatorio puede requerir sustancialmente las mismas unidades de calefacción y/o de refrigeración que una instalación de horno de pirolisis convencional. El reactor rotatorio puede estar configurado, por lo tanto, para sustituir convenientemente bobinas de sección radiante en un modo de funcionamiento que no afecta al craqueo convencional de toda la unidad de otra manera. Además, se puede reducir el tamaño del equipo curso abajo del proceso, en comparación con plantas convencionales, debido a rendimientos menores de sub-productos.

40 Además, se proporciona un ejemplo de un accionamiento de prueba para un modelo operativo del conjunto de reactor de trayectoria helicoidal.

Ejemplo 1. Accionamiento de prueba para un conjunto de reactor de trayectoria helicoidal ejemplar en comparación con hornos de pirolisis tubulares convencionales de diferentes fabricantes.

45 El modelo de pequeña capacidad del reactor de trayectoria helicoidal fue desarrollado y fabricado para evaluar la factibilidad técnica de un proceso de pirolisis nuevo en condiciones de accionamiento de prueba. Para realizar experimentos, se construyó un banco de pruebas. El objetivo principal de la serie de ensayos era obtener datos sobre rendimiento y composición de producto de pirolisis. El reactor modelo fue equipado de esta manera con un motor eléctrico de 90 kW con un engranaje elevador para accionar el rotor. Las características técnicas del reactor modelo eran las siguientes: volumen de una zona de reacción: $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$; velocidad rotatoria del rotor: 18.000-20.000 rpm.

50 Los ajustes de las condiciones del proceso durante accionamientos de prueba del reactor modelo fueron similares a las utilizadas normalmente en reactores de escala comercial: la temperatura de la reacción de pirolisis era aproximadamente 900 °C; el tiempo de residencia de la materia prima en la zona de reacción era 0,025-0,030 segundos; y la presión de salida era aproximadamente 1,2 bares abs. Se utilizó nafta con punto de ebullición final de 170°C como una materia prima. El caudal de flujo de la corriente de proceso que contiene materia prima era aproximadamente 40 kg/h y dilución de nafta con vapor comprendía 50%. El procedimiento de muestreo, el análisis de la materia prima y de los productos de reacción de pirolisis así como el cálculo del rendimiento del producto

fueron inspeccionados por expertos en el campo. El análisis de gas craqueado se realizó por dos grupos de expertos independientes en equipo diferente (Varian CP-3800 y LHM-8MD).

5 Durante las pruebas de accionamiento mencionadas anteriormente, se realizó por primera vez un procedimiento de craqueo térmico (pirólisis) de material que contiene hidrocarburos en un reactor de trayectoria helicoidal. Los resultados de ensayo confirmaron que se obtuvieron rendimientos de producto principal considerablemente más altos en un reactor de trayectoria helicoidal comparados con los obtenidos en hornos de craqueo tubulares convencionales más avanzados. Los datos sobre rendimiento de producto principal por proceso durante la pirólisis de nafta se resumen en la Tabla 2. Por lo tanto, la Tabla 2 proporciona datos comparativos obtenidos de
10 accionamientos de prueba del reactor modelo de trayectoria helicoidal y de la realización de reacciones paralelas en hornos de craqueo tubulares convencionales desarrollados por compañías líderes, tales como ABB Lummus, Technip and Kellogg, Brown and Root (KBR). Los resultados muestran que la realización de pirólisis en el reactor de trayectoria helicoidal da como resultado una mejora del rendimiento total en más del 20%.

15 Tabla 2.- Rendimiento de productos principales por proceso durante la realización de reacciones de pirólisis en el modelo de reactor de trayectoria helicoidal y en hornos de craqueo tubulares convencionales

Producto	Diseñador, tipo de reactor, temperatura de salida del gas craqueado (°C)						
	ABB Lummus	Technip		KBR	Reactor de trayectoria helicoidal		
	SRT-VI	GK-4	GK-5	Milisegundos			
	862	848	835	900	882	891	902
Etileno	30,30	29,03	30,50	34,40	42,06	42,64	43,32
Propileno	13,90	11,59	15,50	16,60	13,53	13,10	12,34
Suma	44,20	40,62	46,00	51,00	55,59	55,74	55,66

20 Los datos confirman que pirólisis de la misma materia prima en una instalación equipada con reactores de trayectoria helicoidal da como resultado incrementos de 1,5 veces el rendimiento último de etileno, mientras que la suma de rendimientos últimos de etileno y propileno se puede incrementar en 1,25 – 1,3 veces en comparación con instalaciones equipadas con hornos tubulares que funcionan por tecnologías convencionales.

25 Aunque etileno y propileno son los productos principales del proceso de craqueo de nafta como se ha descrito anteriormente, se pueden obtener otros sub-productos valiosos y útiles a partir de aquél. Por ejemplo metano (e hidrógeno no separado), que se utilizan como un gas combustible en hornos de tecnología convencional, pueden utilizarse para accionar motores de reactores de trayectoria helicoidal. También se pueden producir sub-productos valiosos más pesados, como gasolina y mezcla de C4, en el proceso de craqueo térmico. En la tecnología convencional, la relación de estos productos con respecto a gas craqueado que abandona la unidad de pirólisis es aproximadamente de 20 a 30 %. Con el reactor de trayectoria helicoidal, esta relación es < 20%. En la práctica, esto
30 significa que aunque el margen de material del proceso se reducirá significativamente, sin embargo, con los rendimientos menores de los sub-productos, se pueden reducir los tamaños del equipo curso abajo y es probable que se reduzcan los costes de la operación de separación.

35 En varios aspectos y realizaciones de la presente invención, a través del ajuste de la presión interior del reactor por medio del incremento o reducción de la velocidad de rotación del rotor, por ejemplo, se puede controlar la propia reacción y parámetros relacionados. Además, se puede elevar la presión de la corriente de entrada por medio de un compresor, por ejemplo.

El reactor proporcionado aquí está configurado como un dispositivo para realizar procesos a alta temperatura. Una mayoría de las reacciones, realizadas aquí, sin endotérmicas, debido a los tiempos de residencia cortos que la materia prima permanece en la cámara de reacción. Sin embargo, no se excluye la realización de reacciones acompañadas con liberación de calor (es decir, exotérmicas).

40 El reactor proporcionado en varios aspectos y realizaciones de la presente invención está configurado como un dispositivo destinado principalmente para realizar procesos de craqueo. No obstante, el reactor se puede ajustar

para craqueo de vapor y para craqueo catalítico de varias materias primas, incluyendo materia de alimentación pre-procesada basada en carbohidratos y/o glicéridos. Por lo tanto, la materia de alimentación que contiene ácido graso puede estar representada por aceite de pino.

5 El reactor puede ser adaptado, por lo tanto, para aplicaciones nuevas, tales como craqueo de ácidos grasos libres, obtenidos, por ejemplo, desintegrando triglicéridos contenidos en aceites vegetales y/o grasas animales. La descomposición directa y/o escalonada de los productos que contienen triglicéridos mencionados anteriormente se puede realizar por medio de cualquier proceso adecuado.

10 Además, el reactor descrito de esta manera se puede adaptar, por ejemplo, para mitigación de emisiones o de otra manera para neutralización de cualquier materia gaseosa tóxica / venenosa. La temperatura de reacción está en este caso próxima a la utilizada para reacciones de pirolisis.

15 Para los expertos en la técnica está claro que parámetros técnicos comunes del reactor descrito, tales como velocidad del rotor, temperatura de la cámara de reacción, historial de los tiempos de residencia y similares, se configuran para que sean ajustable dentro de ciertos límites establecidos por la naturaleza de la materia prima, parámetros internos de reacción y/o implementación técnica del dispositivo (motor, diámetro del anillo, distancia toroidal, etc.).

20 Todavía en otro aspecto de la invención, se proporciona una disposición en la forma de una planta de pirolisis, en donde dicha disposición comprende al menos dos reactores rotatorios conectados en serie o en paralelo. La provisión de una unidad de reactor rotatorio soporta de esta manera una disposición modular. Una unidad de planta de etileno ejemplar de 1000 kt/a puede equiparse con 40 reactores de trayectoria helicoidal 32 reactores de los cuales están funcionando y 8 están en modo de espera. Dichos reactores pueden construirse en paralelo. Un reactor de trayectoria helicoidal a escala industrial se puede proveer preferiblemente con un motor de accionamiento de velocidad variable con un eje de aproximadamente 10 MW para suministrar potencia a un reactor. La velocidad de funcionamiento puede ser aproximadamente 3600 rpm, por ejemplo. La energía para el motor de accionamiento puede ser suministrada preferiblemente de gas combustible, producido durante el proceso de craqueo. El gas combustible se obtiene, a su vez, de unidades de separación de metano e hidrógeno. En la tecnología proporcionada por la utilización del reactor de trayectoria helicoidal, es probable que se utilice gas combustible para accionar motores de reactor, mientras que en la tecnología convencional, el calor de gas combustible quemado se utiliza para calentar la corriente de materia prima / dilución, agua de alimentación de la caldera y para sobrecalentar vapor a alta presión en la sección de convección.

30 En otro aspecto de la invención, se proporciona un método para craqueo térmico de materia prima de hidrocarburos, que comprende al menos alguno de los siguientes elementos:

- a. obtener una realización de un reactor de onda de choque del tipo de máquina 11a (trayectoria helicoidal), 11b (axial) como se describe en la presente memoria, que tiene una carcasa 4, un rotor 1, cuya periferia contiene una cascada de palas de flujo axial 2, y particularmente en la realización de las figuras 1 y 2A, B - un borde de dirección 3, provisto con al menos dos cascadas de palas estacionarias 8, 9, contiguas a una cascada de rotor de flujo axial, en donde la carcasa 4 encierra sustancialmente la periferia del rotor 1 y el borde de dirección 3; en donde la carcasa 4 está provista con un orificio de entrada 6 y con un orificio de salida 7; en donde un conducto 10, que tiene un perfil de la sección transversal meridiana sustancialmente en forma de anillo está formado entre una superficie interior de la carcasa con orificios de entrada y de salida; y el rotor con el borde de dirección;
- b. incrementar la velocidad de rotación del rotor para alcanzar una velocidad o intervalo de velocidades predeterminados del proceso;
- c. alimentar la corriente de proceso que contiene materia prima dentro del orificio de entrada 6, después de lo cual ambas cascadas estacionarias 8, 9 y la cascada de rotor 2 comienzan a dirigir la corriente de proceso que contiene materia prima para pasar repetidas veces a través de dichas cascadas de acuerdo con la trayectoria helicoidal mientras se propaga dentro del conducto entre los orificios de entrada y salida, y generar secuencialmente ondas de choque estacionarias para calentar la corriente de materia prima dentro de la reacción, causando degradación térmica o pirolisis de ésta, y
- d. dirigir la corriente de producto pirolizada a través del orificio de salida hasta una unidad predeterminada, tal como un aparato de enfriamiento rápido.

Todavía en otro aspecto de la invención, se proporciona un método de importación de energía para reacción endotérmica rápida o exotérmica rápida, siendo esta última una reacción de hidrogenación catalítica, por ejemplo, por medio de ondas de choque, producidas a partir de energía mecánica de la rotación de cascadas de palas, comprendiendo dicho método:

- 5
- a. obtener una realización de un reactor de ondas de choque 11a, 11b como se describe en la presente memoria, y
 - b. pasar una fase gaseosa precalentada, que contiene materia prima de hidrocarburos o materia de alimentación basada en biomasa, dentro del reactor 11a, 11b, provisto con palas rotatorias que generan energía mecánica para establecer ondas de choque, que proporcionan calor para reacciones endotérmicas de fases gaseosa.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un reactor de ondas de choque (11a, 11b, 102) para craqueo térmico de materia prima que contiene hidrocarburos, que comprende:
- 5 una carcasa (4), en la que está formado un conducto (10) con entrada (6, 6a) y salida (7);
- un rotor (1, 1a), cuya periferia contiene una cascada de palas de flujo axial (2);
- un número de cascadas de palas estacionarias (8, 9) dispuestas sobre la superficie interior de la carcasa (4) que define la pared del conducto,
- 10 en donde la carcasa encierra sustancialmente la periferia del rotor (1a) y un número de cascadas de palas estacionarias (8, 9) dentro del conducto,
- 15 en donde las cascadas de palas estacionarias (8, 9) están dispuestas adyacentes con respecto a la cascada de palas de flujo axial (2), para formar una disposición de estator-rotor-estator, en la que las cascadas (2, 8, 9) están configuradas para dirigir la corriente de proceso que contiene materia prima para pasar repetidas veces por dichas cascadas dentro de dicha disposición de estator-rotor-estator de acuerdo con la trayectoria helicoidal, mientras se propaga dentro del conducto entre la entrada y la salida y para generar ondas de choque estacionarias para calentar la materia prima.
- 2.- El reactor de la reivindicación 1, en donde el conducto (10) tiene una sección meridiana sustancialmente en forma de anillo.
- 3.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde las cascadas de palas estacionarias (8, 9) comprenden al menos dos cascadas, estando configurada la primera cascada de palas estacionarias curso arriba y estando configurada la segunda cascada de palas estacionarias curso debajo de la cascada de palas de flujo axial (2), en donde las cascadas de palas estacionarias están dispuestas opcionalmente de tal manera que se crea un espacio sin palas entre el orificio de entrada de la primera cascada y el orificio de salida de la segunda cascada.
- 20 4.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, que comprende un borde de dirección estacionario (3) dentro de la carcasa, cuya superficie exterior del borde define sustancialmente el conducto (10), que permanece entre él y la superficie interior de la carcasa, en donde la superficie exterior del borde está provista opcionalmente con al menos alguna de las cascadas de palas estacionarias.
- 25 5.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde las cascadas (2, 8, 9) están sustancialmente adyacentes dentro del conducto.
- 6.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, provisto con dos orificios de entrada y dos orificios de salida.
- 30 7.- El reactor de la reivindicación 1, en donde (11b, 11c) el conducto está configurado para definir una cámara de forma sustancialmente cónica, de cono truncado o cilíndrica, comprendiendo dicho reactor opcionalmente, además, al menos un elemento seleccionado del grupo que consta de: paletas de cascada(s) de rotor de flujo axial configurada(s) para alternar con palas de cascadas de palas estacionarias correspondientes en dirección longitudinal del rotor (1) formando unidades de cascadas secuenciales, comprendiendo cada unidad paletas de rotor (2) localizadas espacialmente entre palas estacionarias (8, 9), y comprendiendo la primera cascada de palas estacionarias una pluralidad de palas de toberas y comprendiendo la segunda cascada de palas estacionarias una pluralidad de palas de difusión, estando configuradas las palas de difusión para alternar mutuamente en dirección longitudinal del rotor (1).
- 35 8.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde la cascada de paletas de flujo axial (2) está configurada para proporcionar energía cinética y para añadir velocidad a la corriente de proceso que contiene materia prima, y al menos una cascada de palas estacionarias (9) está configurada para reducir la velocidad de la corriente y convertir energía cinética en calor.
- 40 9.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde la velocidad de flujo de la corriente de proceso que contiene materia prima es supersónica en las cascadas y subsónica en el espacio sin palas dentro del conducto.
- 45 10.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde los orificios de entrada y salida están integrados dentro del conducto.
- 11.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde al menos dos particiones divisorias están dispuestas dentro del conducto simétricamente con relación a un eje del rotor para formar al menos dos cámaras operativas sustancialmente idénticas, estando cada una asociada con entrada y salida para la corriente de proceso.

- 12.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde la primera cascada de palas estacionarias (8) comprende una pluralidad de palas de toberas que tienen un perfil curvado y que está dispuesto preferiblemente por sus lados convexos en la dirección de rotación del rotor, y en donde la segunda cascada de palas estacionarias (9) comprende una pluralidad de palas de difusión que tienen un perfil de compresor supersónico curvado y que están dispuestas preferiblemente por lados convexos en la dirección de rotación del rotor.
- 13.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde la cascada de paletas de flujo axial (2) contiene una pluralidad de paletas que tienen un perfil de paleta de turbina activa, estando instaladas las paletas preferiblemente por su lado cóncavo en la dirección de rotación del rotor.
- 14.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, configurado para procesar al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en: materia de alimentación que contiene carbohidratos gasificados, materia de alimentación que contiene glicéridos gasificados y material de alimentación derivado de lignocelulosa.
- 15.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, configurado con un número de superficies catalíticas, comprendiendo dicho reactor opcionalmente al menos una característica seleccionada del grupo que consiste en: la(s) superficie(s) catalítica(s) se forma(n) por revestimiento catalítico de al menos varias de las paletas o palas individuales dentro de la zona de reacción y/o por revestimiento catalítico de la superficie interior de la carcasa que define la pared del conducto, y un número de módulos catalíticos definidos por sustrato(s) cerámico(s) o metálico(s) o soportes con un revestimiento activo realizado opcionalmente como estructuras monolíticas de panel de abejas.
- 16.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, en donde el reactor contiene elemento intermedio de refrigeración o calefacción.
- 17.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, donde el reactor está configurado para inyección intermedia de material diluyente o reactivo.
- 18.- El reactor de cualquier reivindicación precedente, configurado de tal manera que el tiempo en que la materia prima gaseosa permanece en la zona de reacción es sustancialmente igual o inferior a aproximadamente 10 milisegundos.
- 19.- Uso del reactor de cualquier reivindicación precedente en la ejecución de al menos un procedimiento seleccionado del grupo que consiste en: procesar materia prima de hidrocarburos que contienen preferiblemente fracciones de hidrocarburos de peso medio y ligero; procesar material de alimentación gaseoso, que contiene oxígeno, a base de ácido graso; procesar material de alimentación gaseoso, a base de ácido graso, cuyo material es aceite de pino pre-procesado; procesar material de alimentación gaseoso derivado de celulosa y, en particular derivado de lignocelulosa; y proceso de pirolisis rápida que comprende convertir material de alimentación derivado de biomasa en aceite.
- 20.- Un conjunto de reactor, que comprende al menos un reactor (102) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-18 y al menos otro elemento seleccionado del grupo que consiste en: un motor de accionamiento (101), una unidad de recuperación de calor (103), una unidad de enfriamiento rápido (104), un horno de pirolisis, un horno de pirolisis con calentamiento externo, un aparato de pre-calentamiento o un filtro de aire (105).
- 21.- Una disposición (11c), tal como una planta de pirolisis, que comprende al menos dos reactores de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-18, conectados funcionalmente en serie o en paralelo.
- 22.- Método para procesamiento térmico, termo-químico o termo-químico catalítico de materia de alimentación, opcionalmente específicamente craqueo de materia prima que contiene hidrocarburos, que comprende:
- obtener un reactor de onda de choque (11a, 11b, 102) que tiene una carcasa, en donde un conducto que tiene opcionalmente una sección meridiana sustancialmente en forma de anillo está formado con entrada y salida, que tiene, además, un rotor, cuya periferia contiene una cascada de palas de flujo axial, y un número de cascadas de palas estacionarias (8, 9) dispuestas sobre la superficie interior de la carcasa (4) que define la pared del conducto, estando dispuestas dichas cascadas de palas estacionarias (8, 9) adyacentes con respecto a la cascada de paletas de flujo axial (2), para formar una disposición de estator-rotor-estator, en donde la carcasa encierra sustancialmente la periferia del rotor y un número de cascadas de palas estacionarias dentro del conducto;
 - eleva la velocidad de rotación del rotor para alcanzar una velocidad o intervalo de velocidades predeterminados del proceso;
 - alimentar la corriente de proceso que contiene materia prima dentro del orificio de entrada, después de lo cual ambas cascadas estacionarias y la cascada del rotor comienzan a dirigir la corriente de proceso que contiene materia prima para pasar repetidas veces a través de dichas carcasas dentro de dicha disposición

de estator-rotor-estator de acuerdo con la trayectoria helicoidal, mientras se propaga dentro del conducto entre los orificios de entrada y salida, y generar secuencialmente ondas de choque estacionarias para calentar la corriente de materia prima dentro del reactor, causando degradación térmica o pirolisis de la misma, y

- 5 d. dirigir la corriente de producto pirolizado a través de un orificio de salida opcionalmente hasta una unidad de post-procesamiento predeterminado, tal como un aparato de enfriamiento rápido.

23.- Método de la reivindicación 22, en donde la materia primera comprende al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en: fracciones de hidrocarburos de peso medio o ligero, y biomasa pre-procesada derivada de celulosa o particularmente derivada de lignocelulosa suministrada a la reacción en forma sustancialmente gaseosa.

- 10 24.- Método para importar energía para reacción endotérmica rápida o exotérmica rápida producida a partir de energía mecánica de cascadas de paletas de rotación, comprendiendo dicho método:

a. obtener un reactor de ondas de choque de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-18 (11a, 11b, 102) y

- 15 b. pasar una fase gaseosa precalentada, que contiene materia prima dentro del reactor para realizar reacciones endotérmicas o exotérmicas de fase gaseosa, en donde el calor es proporcionado por impulsos, generados por ondas de choque que resultan de energía mecánica derivada de rotación de paletas internas de rotor, que comprende opcionalmente, además, dirigir la corriente de producto reaccionado a través de una unidad de post-procesamiento, tal como un aparato de enfriamiento rápido, y en donde la materia prima comprende opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en:
20 hidrocarburos, preferiblemente fracciones de hidrocarburos de peso medio o ligero, y biomasa pre-procesada derivada de celulosa o, en particular, derivada de lignocelulosa suministrada en el reactor en forma sustancialmente gaseosa.

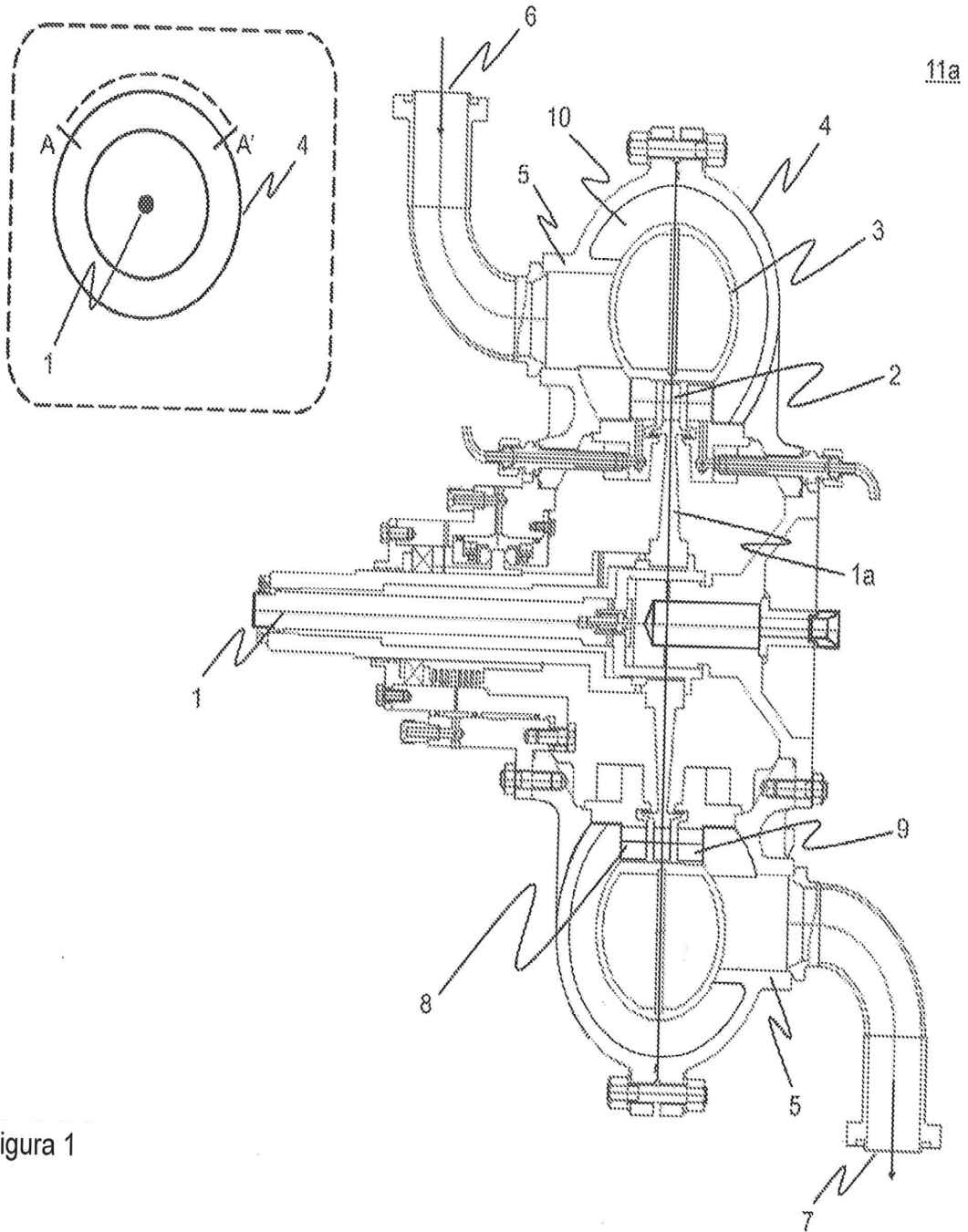


Figura 1

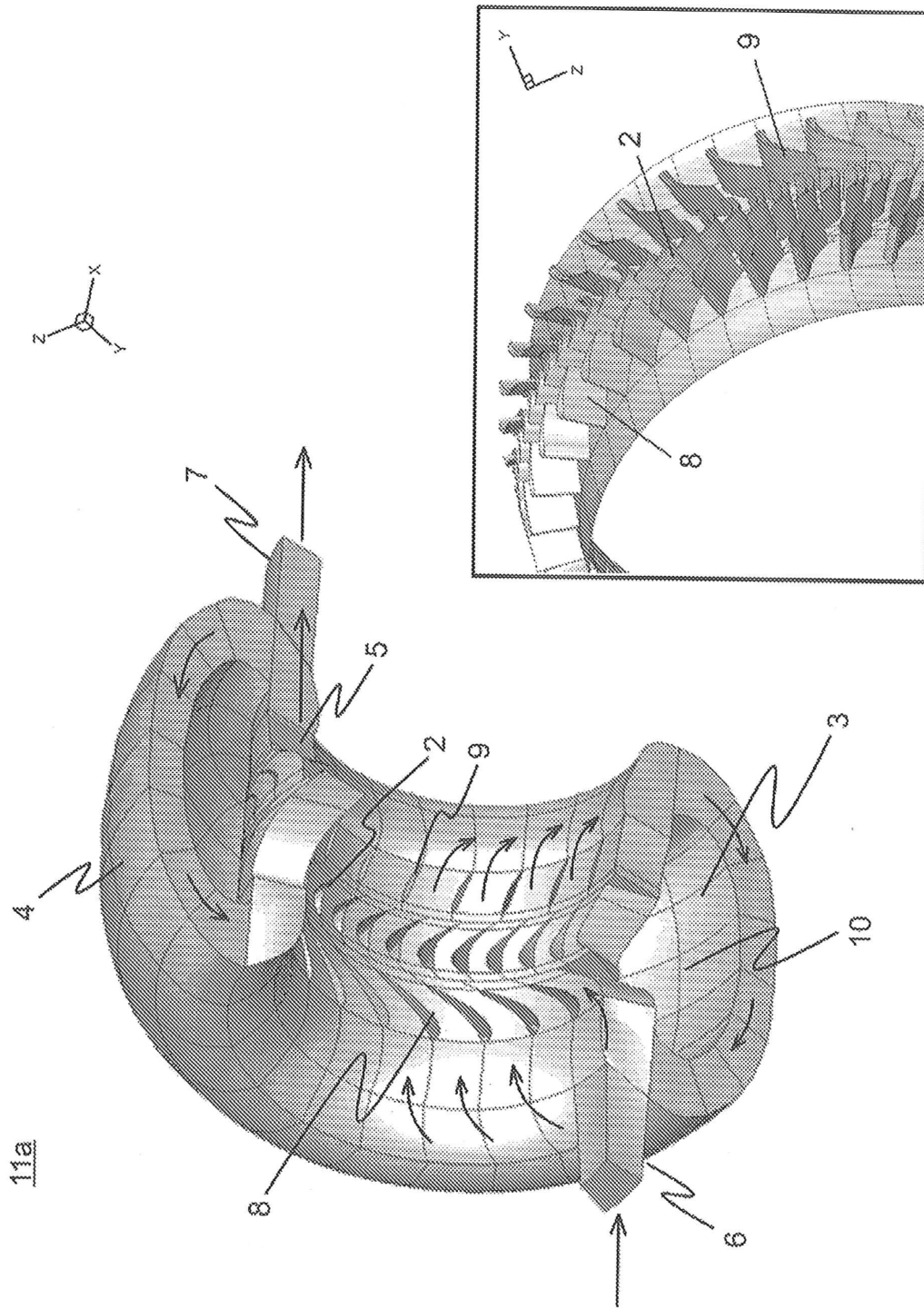


Figura 2A

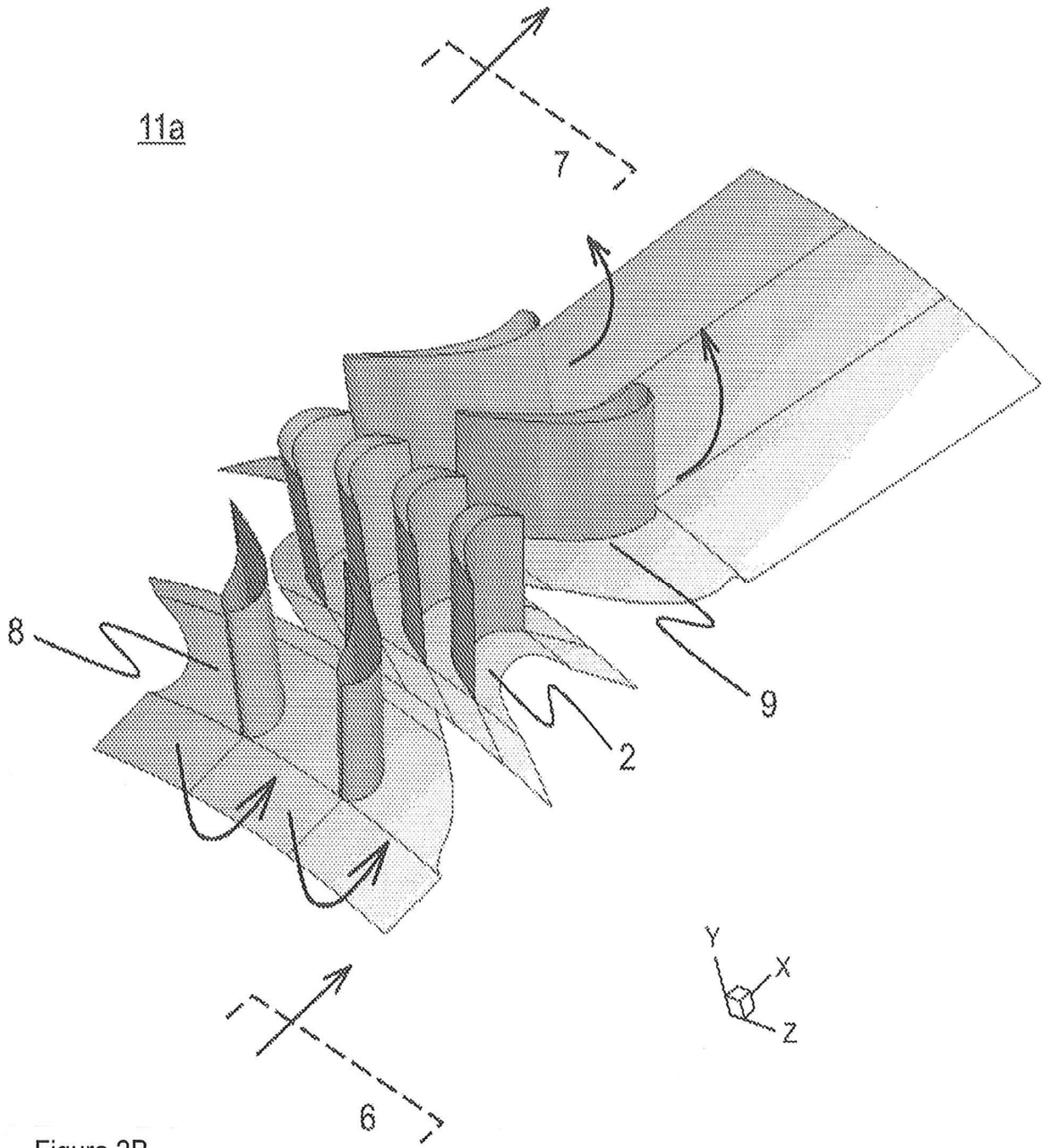


Figura 2B

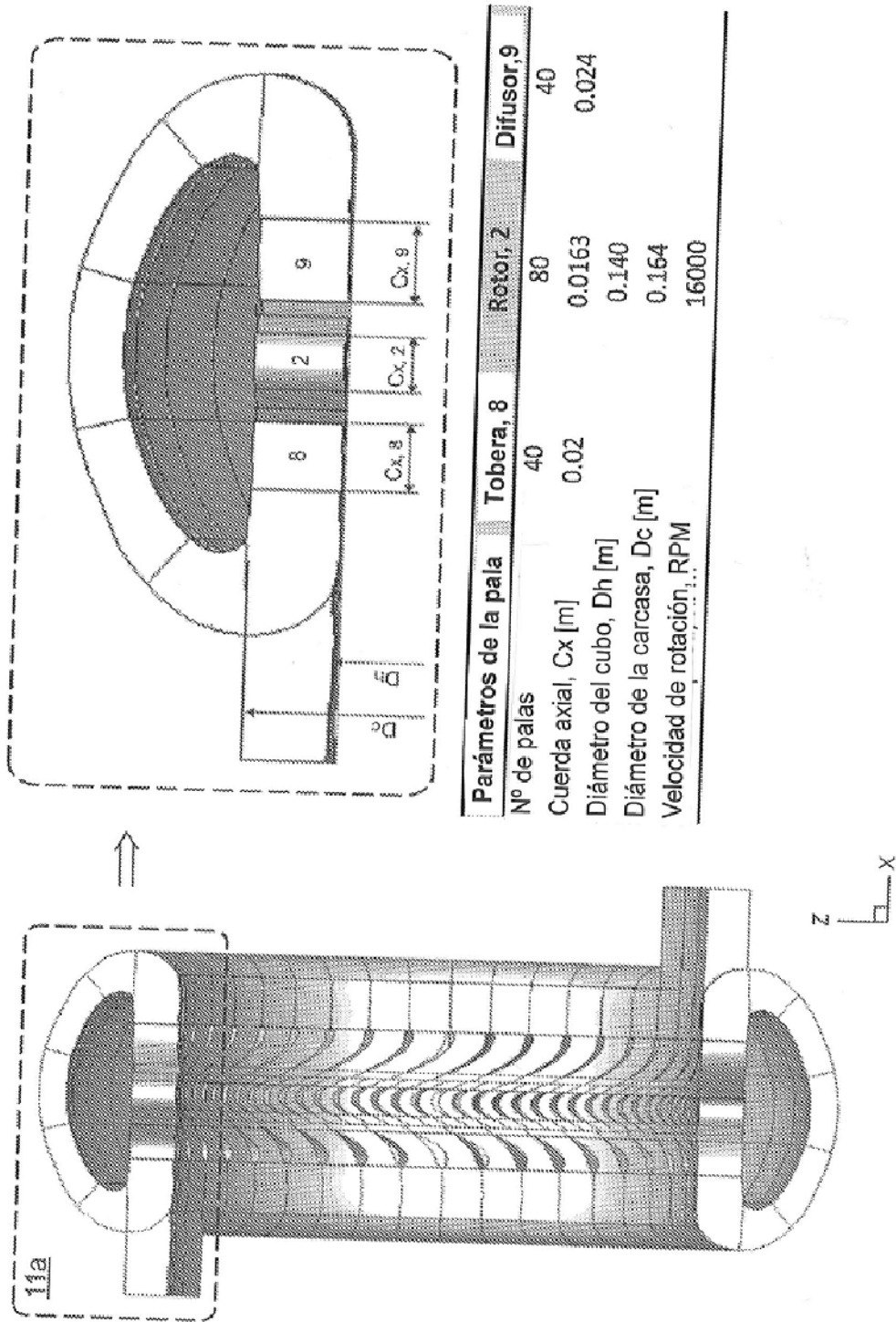


Figura 2C

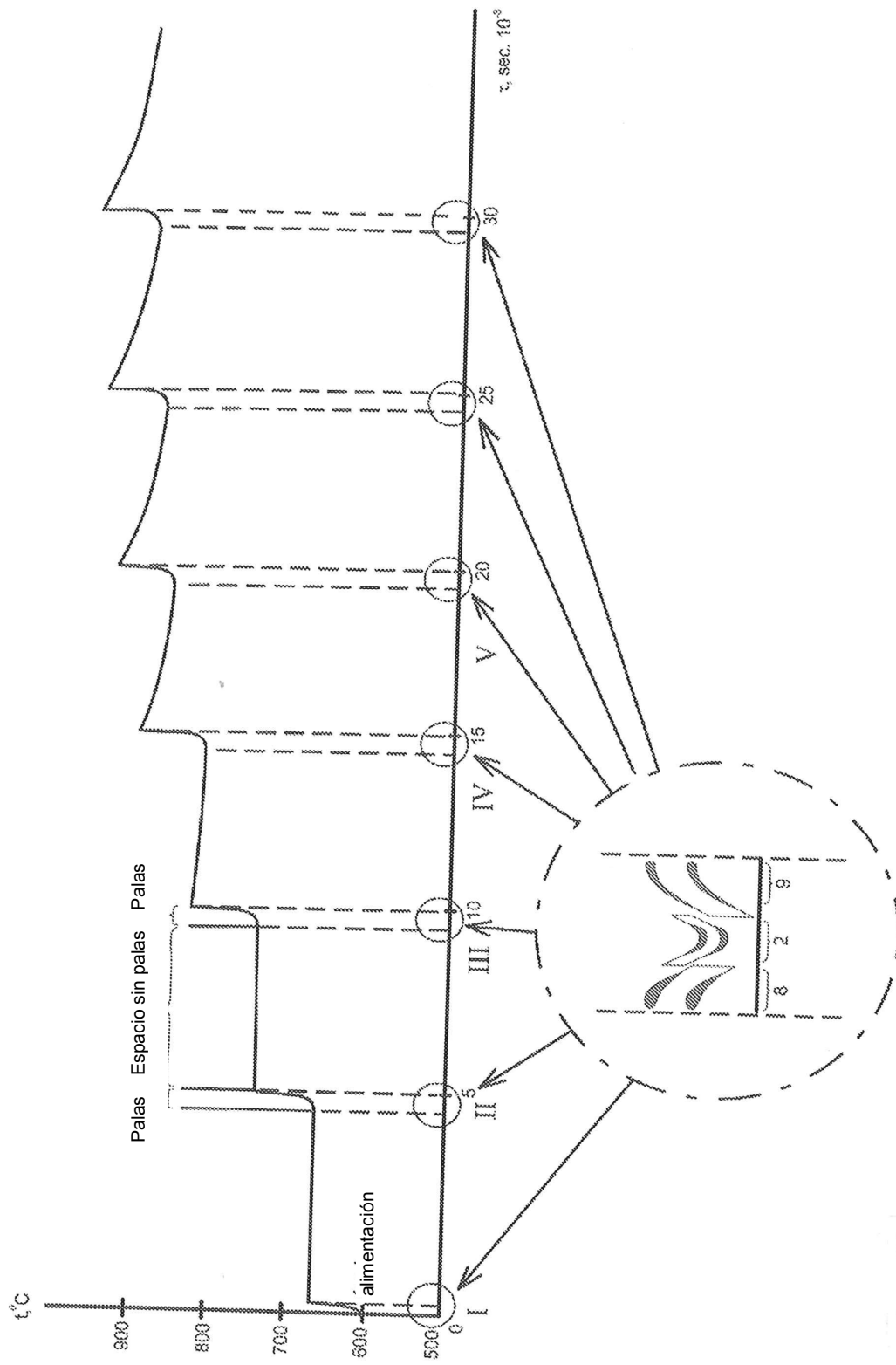


Figura 3A

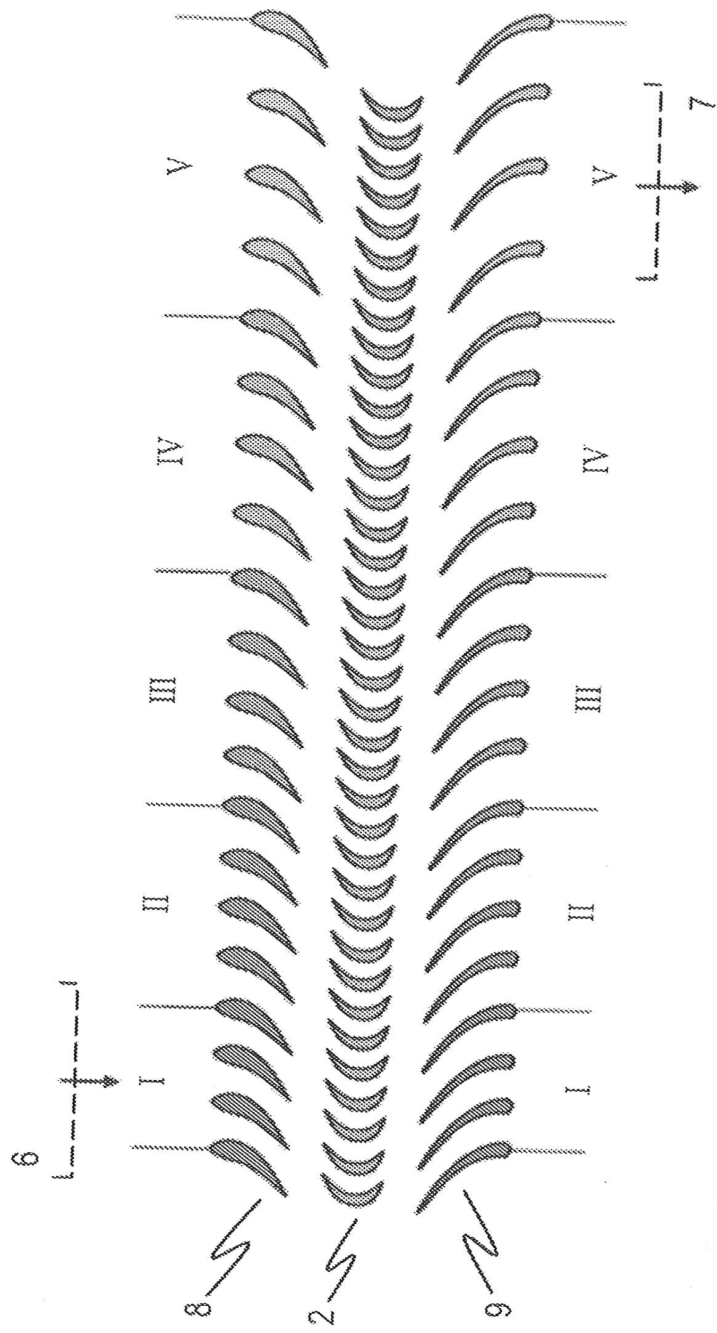


Figura 3B

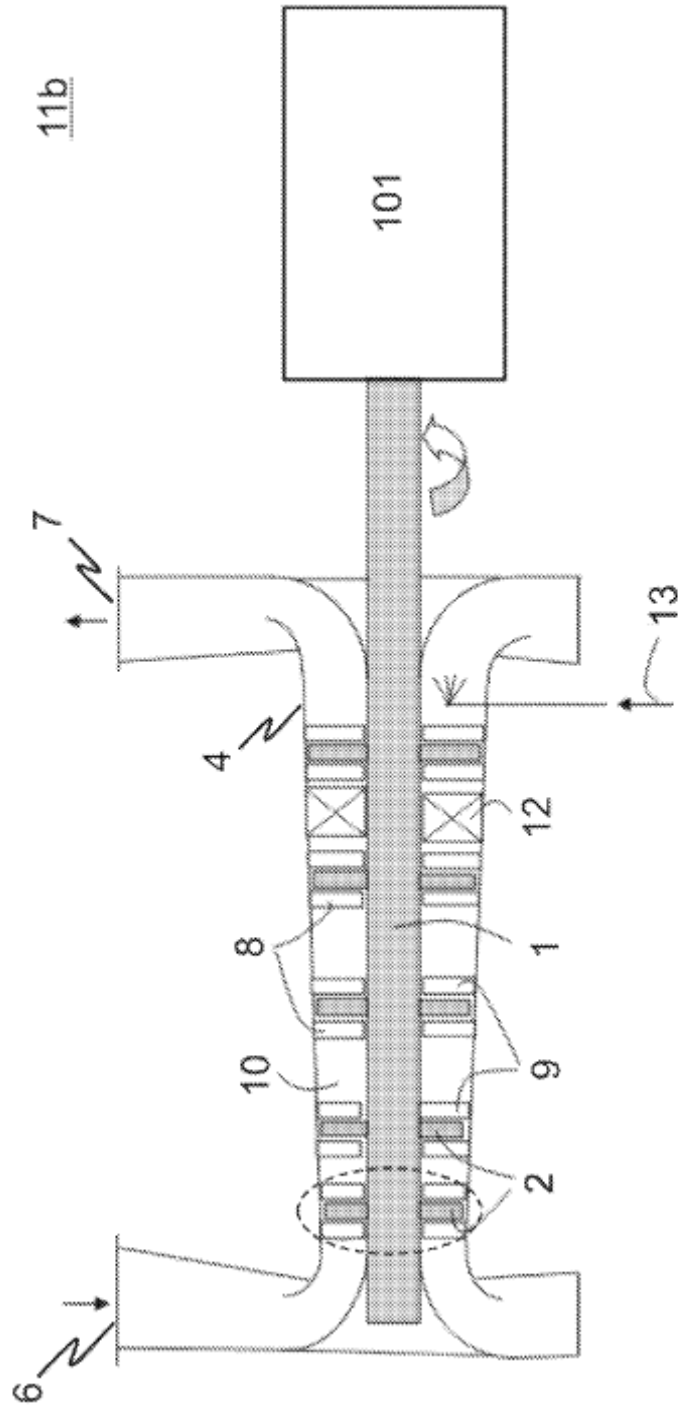


Figura 4A

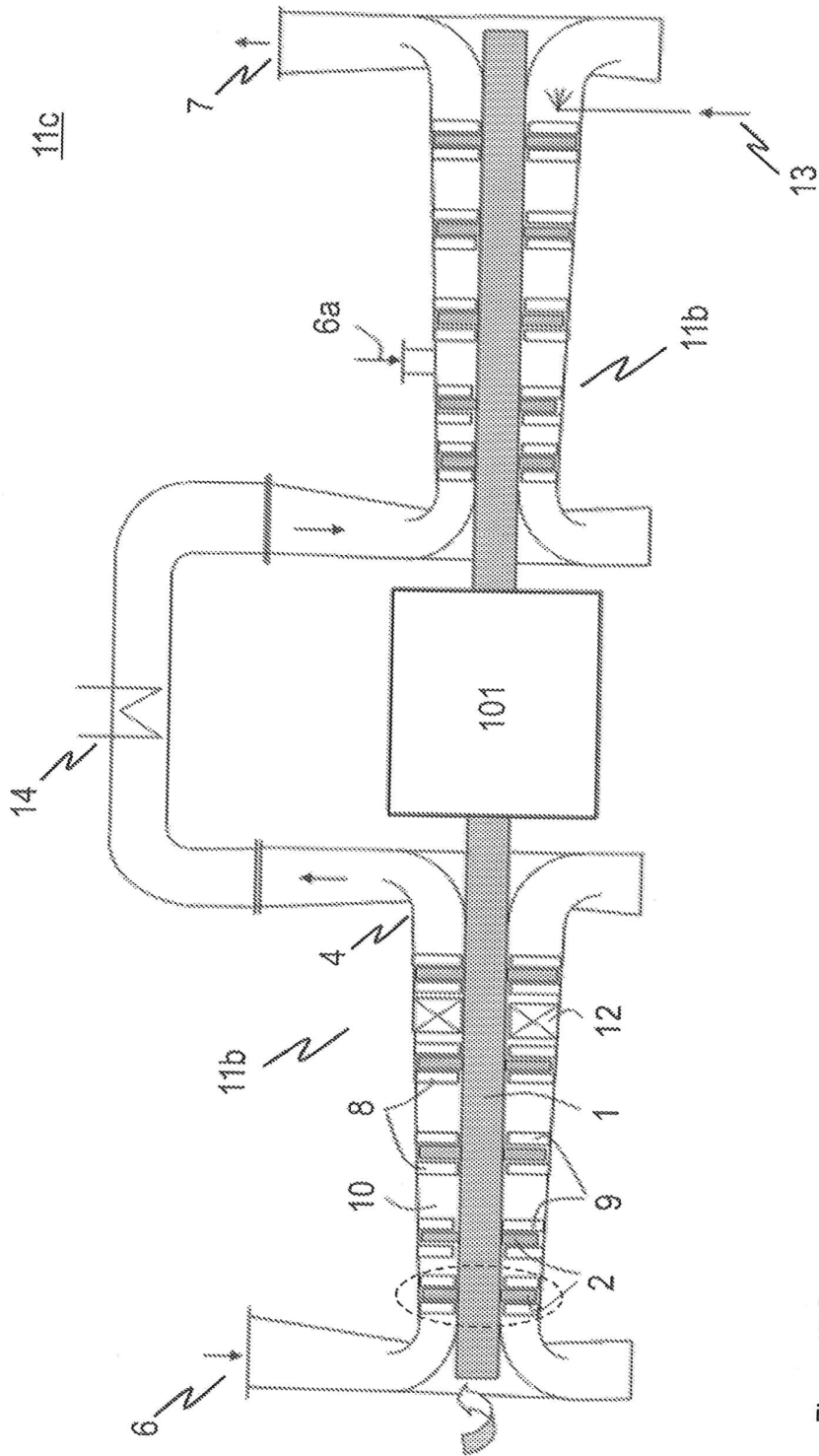


Figura 4B

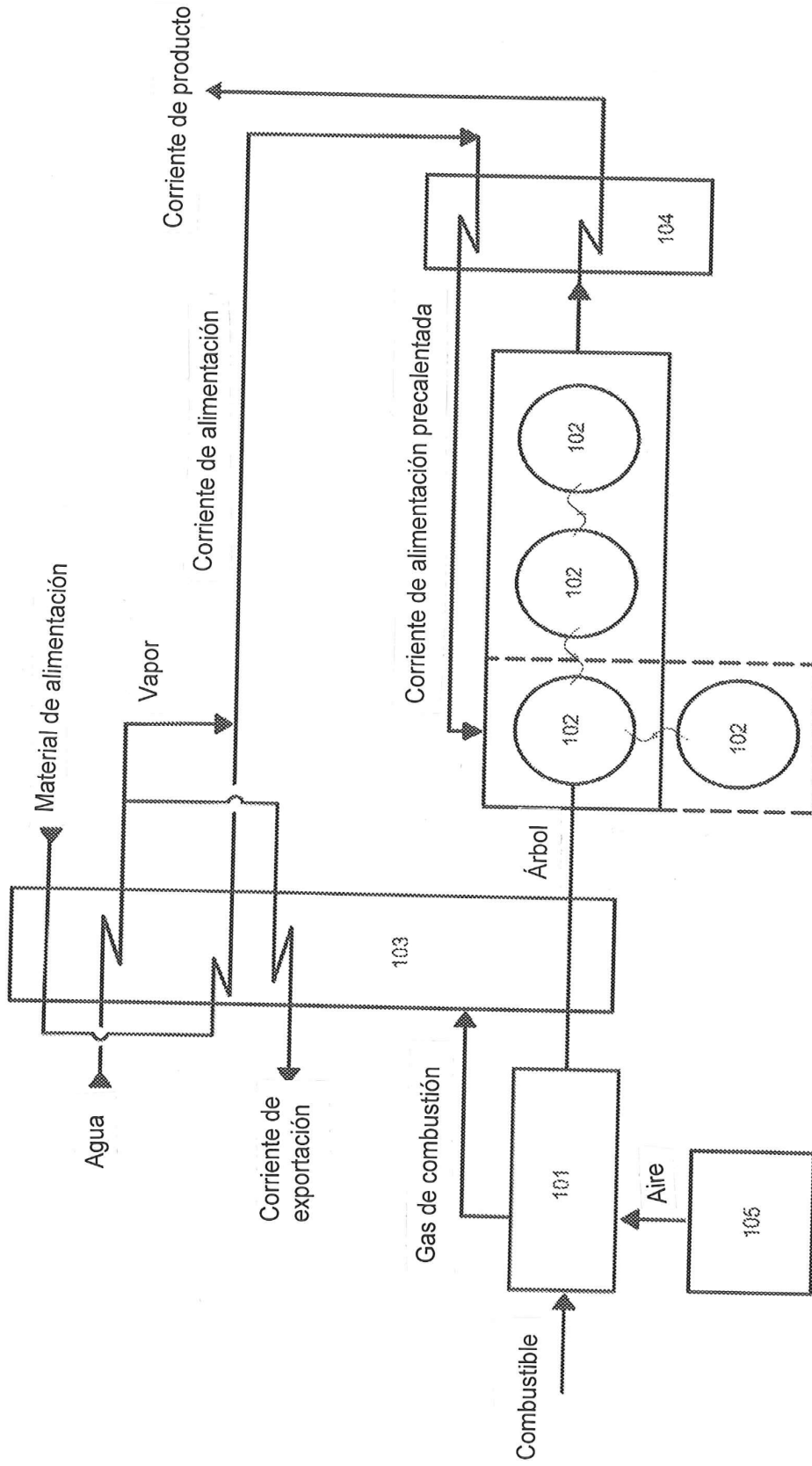


Figura 5