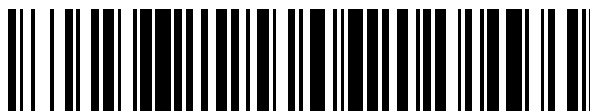


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 852**

51 Int. Cl.:

<b>B01J 3/08</b>	(2006.01) <b>B01J 19/00</b>	(2006.01)
<b>B01J 19/18</b>	(2006.01) <b>F02C 6/10</b>	(2006.01)
<b>F01D 5/12</b>	(2006.01) <b>F01D 1/12</b>	(2006.01)
<b>F01D 5/02</b>	(2006.01)	
<b>F02C 3/16</b>	(2006.01)	
<b>F01D 5/14</b>	(2006.01)	
<b>F02C 6/18</b>	(2006.01)	
<b>F01D 25/24</b>	(2006.01)	
<b>F01D 1/16</b>	(2006.01)	
<b>B01J 6/00</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2009 PCT/RU2009/000339**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.09.2010 WO10110691**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2009 E 09842387 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 2412430**

54 Título: **Reactor con álabes para la pirólisis de hidrocarburos**

30 Prioridad:

**23.03.2009 RU 2009110240**

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

**23.04.2020**

73 Titular/es:

**COOLBROOK OY (100.0%)  
PL 607  
00101 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**BUSHUEV, VLADIMIR ANDREEVICH**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 755 852 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Reactor con álabes para la pirólisis de hidrocarburos

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere a aparatos de pirólisis térmica de hidrocarburos para producir olefinas inferiores. En la esencia de la solución técnica, la invención en su otro aspecto se refiere a las máquinas con álabes giratorios.

**Técnica anterior**

10 Las olefinas inferiores - etileno, propileno y butilenos, son productos básicos de la química del petróleo y sirven como materias primas para la producción comercial de plásticos, cauchos, fibras y recubrimientos. En la industria, las olefinas inferiores son producidas mediante la pirólisis de hidrocarburos, tales como etano, propano, butano, nafta o gasóleo.

15 Según la tecnología aceptada actualmente, la pirólisis es realizada en instalaciones que consisten en un horno tubular y en un aparato de enfriamiento. Una materia prima evaporada y mezclada con vapor es suministrada a un tubo de reacción incluido dentro de una cámara radiante del horno. El chorro craqueado que tiene una temperatura de 750 a 930°C es dirigido a través de una tubería de transferencia al aparato de enfriamiento donde es enfriado rápidamente para detener las reacciones y a continuación es llevado a una planta donde es separado en los productos y subproductos deseados. Los subproductos no deseados son hidrógeno, metano y especialmente carbono parte del cual en la forma de partículas de hollín es arrastrado por un chorro de gas, pero otra parte forma depósitos de coque en las paredes de los tubos de reacción y de los aparatos de aguas abajo.

20 Dos procesos tienen lugar simultáneamente en la zona de reacción: las reacciones primarias de pirólisis que dan como resultado la formación de las olefinas inferiores y las secundarias, durante las que las olefinas inferiores formadas son usadas para formar subproductos. En consecuencia, existe un tiempo óptimo de permanencia para cada tipo de materia prima y cada combinación de temperatura y presión en una zona de reacción, dicho tiempo se corresponde con el máximo rendimiento de los productos deseados en el chorro de productos. La velocidad de las reacciones primarias no depende de la presión y crece rápidamente con un aumento de temperatura, mientras que la velocidad de las reacciones secundarias crece más lentamente con un aumento de temperatura y es proporcional a la presión parcial de las olefinas formadas. Así con el aumento de la temperatura del proceso el tiempo óptimo de permanencia disminuye rápidamente. Por tanto, cuando la nafta es pirolizada, el tiempo de permanencia óptimo disminuye el doble cuando la temperatura del proceso aumenta por cada 30 a 35 K.

30 La dilución de la materia prima de partida por vapor disminuye la presión del hidrocarburo, lo que conduce a una disminución de la velocidad de las reacciones secundarias y al aumento del rendimiento de los productos de la pirólisis deseados. Sin embargo, en relación con la necesidad de consumo de energía, este método tiene restricciones. Para el etano o el propano, la alimentación de vapor suele ser: del 20 al 40 % de la masa de la materia prima; del 25 al 50 % para el butano; del 45 - 50 % para la nafta; y para los gasóleos, la alimentación de vapor puede ser de hasta el 80 al 100 % de la masa de la materia prima.

35 Otro método para aumentar el rendimiento de los productos deseados de la pirólisis es disminuir el tiempo de permanencia con el aumento apropiado de la temperatura del proceso para que el calor necesario para pirolizar cada porción de materia prima sea transferido a esta porción durante un tiempo más corto. El aumento necesario de la velocidad de transferencia del calor puede ser conseguido reduciendo el diámetro del tubo de reacción y aumentando la diferencia de temperaturas entre la pared del tubo de reacción y el flujo. Las estructuras de los hornos de pirólisis tubulares progresaron en esta dirección aproximadamente hasta 1985. Los hornos tubulares "Millisecond" de la M. W. Kellogg Company se convirtieron en el punto final de dicho desarrollo, se consiguió una velocidad máxima de transferencia de calor a una zona de reacción para hornos tubulares en dichos hornos. El proceso en estos hornos es ejecutado en tubos de 28 a 35 mm de diámetro, a temperaturas del chorro de salida de aproximadamente 900 a 930°C y con un tiempo de permanencia de aproximadamente 0,05 a 0,1 segundos, en donde la diferencia entre las temperaturas de la pared y del núcleo del flujo alcanzan los 120 a 310°C.

45 Una reducción adicional del tiempo de permanencia en los hornos tubulares de pirólisis no fue rentable por la razón siguiente. Debido a la variación significativa de la temperatura en la capa límite adyacente a la pared del tubo de reacción, el tiempo de permanencia óptimo de las partículas de materia prima que se mueven a varias distancias de esta pared es sustancialmente diferente, por lo que la pirólisis de una parte considerable de las materias primas es inevitablemente realizada en condiciones que están lejos de ser las óptimas. En condiciones de operación típicas en los hornos "Millisecond", las pérdidas de los productos deseados debidas a la diferencia de temperaturas en la sección transversal del flujo alcanzan tal valor que una reducción adicional del tiempo de permanencia se torna desaconsejable.

55 Los rendimientos de las olefinas inferiores en la pirólisis industrial han sido prácticamente invariables durante los últimos 20 años, y los rendimientos del etano por pasada son: entre el 50 y el 52 % en la pirólisis del etano; del 32 al 37 % en la pirólisis del propano y butano; del 29 a 36 %, en la pirólisis de la nafta; y del 23 al 28 % en la pirólisis del

- gasóleo. Al mismo tiempo, debido al aumento de la demanda de materias primas de hidrocarburos, un aumento de los rendimientos de los productos de pirólisis deseados se hace más y más real. Dado que las causas que obstaculizan el aumento de los rendimientos de los productos de pirólisis deseados en hornos tubulares tienen una naturaleza fundamental, un estado de estancamiento tecnológico en el que esta rama de la petroquímica se encuentra actualmente puede ser únicamente superado desistiendo del uso de los hornos de pirólisis tubulares.
- 5 Se han propuesto métodos para la pirólisis de hidrocarburos en aparatos donde un chorro del proceso es calentado mezclándolo con un medio portador de calor calentado sin el uso de transferencia de calor a través de paredes limítrofes a una zona de reacción.
- 10 Las patentes de los E.E. U.U. US 5.389.232, 6.538.169 y 7.312.370 describen aparatos para la pirólisis de hidrocarburos mezclándolos con un chorro fluidizado de partículas catalizadoras calentadas. Sin embargo, estos aparatos solamente logran rendimientos relativamente bajos para el etileno debido a la imposibilidad de conseguir un corto tiempo de permanencia en ellos.
- 15 Las patentes de los E.E. U.U. US 4.134.824, 4.724.272 y 4.832.822 describen aparatos para la pirólisis mediante el uso de un medio portador de calor gaseoso a temperatura elevada. Las desventajas de estos reactores son el alto contenido de CO, CO<sub>2</sub> y hollín en el chorro de los productos. La causa de esto se debe a una gran diferencia de temperaturas respecto a la sección transversal del chorro del proceso. Este método no es utilizado en la producción industrial de olefinas
- 20 Se han propuesto métodos de pirólisis en donde un chorro de un medio de reacción gaseoso es calentado mediante la conversión de la energía cinética de este chorro en calor.
- 25 La patente de los E.E. U.U. US 5.300.216 describe un aparato para la pirólisis de hidrocarburos con la presencia de vapor en una onda de choque estacionaria de alta intensidad. El vapor sobrecalentado en un horno tubular a una temperatura de aproximadamente 1000°C es suministrado a una presión de 27 bar abs. a través de una tobera supersónica a un reactor que comprende zonas de mezcla y pirólisis situadas en serie. La alimentación de hidrocarburos – etano - precalentados hasta aproximadamente 627°C es suministrada a través de mezcladores a un chorro supersónico de vapor. La mezcla resultante forma un chorro supersónico que tiene una temperatura más baja de la necesaria para iniciar las reacciones de pirólisis. Una descarga (shock) de compresión recta - una onda de choque estacionaria está situada entre las zonas de mezcla y pirólisis. Al pasar a través de esta descarga de compresión, la energía cinética del chorro supersónico se convierte en calor. Aguas abajo de la descarga de compresión la mezcla pasa a una velocidad subsónica y a una temperatura de aproximadamente 1000°C a una presión de 9 bar abs. La mezcla de reacción pasa la zona de pirólisis durante 0,005 a 0,05 s, mientras que su temperatura disminuye a unos 863°C debido a la absorción de calor por las reacciones de pirólisis. Se consigue un 70 % de conversión del etano en etileno. El chorro de productos pasa por los intercambiadores de calor y, a continuación, pasa a la separación del gas. En este aparato una diferencia de temperaturas respecto a la sección transversal del chorro de reacción es insignificante y los historiales de la temperatura (variación de la temperatura en función del tiempo) del paso de todas las partículas de materia prima a través del reactor son idénticos. Sin embargo, el suministro de vapor con respecto a una masa de hidrocarburos debe ser aproximadamente del 500 al 667 %. En este aspecto, los consumos de energía con respecto al etileno producido son excesivamente altos. Esto hace que el método no sea adecuado para el uso comercial según la interrelación actual de los costos de energía con los costos del etileno.
- 30 La patente de los E.E. U.U. US 4.265.732 describe un reactor con álabes para la pirólisis de hidrocarburos, que comprende un rotor con varias hileras de álabes que forman cascadas de álabes de flujo axial, y un alojamiento que tiene puertos de entrada y salida para un medio y que encierran los álabes del rotor y los estacionarios. El calor requerido para la pirólisis es generado directamente dentro del chorro del proceso debido a la resistencia hidrodinámica de los álabes. Los productos de la pirólisis son enfriados y dirigidos más adelante para separar los gases. Una diferencia de temperaturas respecto a la sección transversal del chorro del proceso es insignificante, y los historiales de temperatura del paso de todas las partículas a través del reactor son idénticos. Para implementar la invención, sin embargo, es necesario construir una máquina con álabes de flujo axial que tenga un gran número de etapas (hasta 43 etapas) con una alta velocidad circunferencial de los álabes (450 m/s), en donde la temperatura del chorro que fluye alrededor de una mayoría de los álabes iguala la temperatura máxima de pirólisis (hasta 1050°C). Las dificultades que deben ser superadas al diseñar una máquina de este tipo son tan grandes que dicha máquina no ha sido fabricada.
- 35 La patente de los E.E. U.U. US 7.232.937 describe un reactor con álabes para la pirólisis de hidrocarburos, que comprende un alojamiento con racores de entrada y de salida, una cavidad de dicho alojamiento tiene álabes estacionarios de direccionamiento y un rotor con álabes de trabajo situados de manera que se genera un vórtex anular en la cavidad cuando el rotor gira. El calor requerido para la pirólisis es generado directamente dentro de un volumen del medio de reacción debido a la resistencia hidrodinámica de los álabes. Las reacciones de la pirólisis continúan en el tubo de transferencia que conecta el reactor con un aparato de enfriamiento. Como resultado de una mezcla intensa, todas las partículas del flujo en la cavidad del reactor tienen prácticamente la misma temperatura; sin embargo, la duración del tiempo de permanencia en esta cavidad es diferente para las partículas individuales. En consecuencia, los historiales de temperatura de las partículas difieren en la duración del tiempo de permanencia en la cavidad del reactor. La diferencia de los historiales de temperatura se traduce en una reducción de la eficiencia del
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

proceso en comparación con la teóricamente posible. Este reactor tiene una construcción simple; sin embargo, no resulta tan sencillo que el reactor tenga una alta fiabilidad ya que el chorro que fluye alrededor de los álabes de trabajo tiene una temperatura que equivale a la temperatura máxima de la pirólisis.

5 La patente del Reino Unido GB 1237363 describe un compresor de flujo circunferencial que tiene un rotor 3, con álabes dispuestos dentro de un paso toroidal que contiene una guía toroidal y comunicación con la entrada y la salida. Una partición entre la entrada y la salida tiene dispuesta una guía de onda acústica con la que es dirigido el fluido de alta presión atrapado entre los álabes del rotor por la partición. La guía de onda está sintonizada para resonar a la frecuencia a la que los sucesivos o alternativos álabes se mueven más allá de la entrada de la guía de onda para una velocidad del rotor predeterminada, para producir una onda de presión estática en la guía de onda. La guía de onda se comunica, por medio de un conducto, con el paso toroidal en una posición de preferencia diametralmente opuesta a la partición para devolver el fluido al paso aproximadamente a la presión media en él. El paso puede tener un área de flujo transversal que disminuye desde la entrada hasta la salida y puede contener álabes estáticos. Los álabes del rotor y los álabes del estator pueden tener la forma de un perfil aerodinámico.

15 La patente de los E.E. U.U. US 42795 70A describe una máquina de transferencia de energía que incluye un anillo de estator dispuesto en un alojamiento que forma un camino de fluido toroidal entre una entrada de fluido y una salida de fluido. Un rotor tiene dispuesta una cascada de álabes que actúa conjuntamente con el fluido a lo largo del camino para transferir energía entre ellos. Se describen aparatos y métodos para descargar de manera controlable el intercambio de energía entre el rotor y el fluido.

20 Por tanto, el problema del desarrollo de un aparato adecuado para uso comercial en la pirólisis de hidrocarburos, que proporciona un rendimiento para las olefinas inferiores sustancialmente mayor que en hornos de pirólisis tubular, está todavía sin resolver. En consecuencia, las personas expertas en la técnica de la petroquímica opinan que cualquier intento de mejorar significativamente la tecnología moderna de pirólisis es inútil.

### Descripción de la invención

25 Es un objeto de la invención proporcionar un reactor con álabes simple y fiable para la pirólisis de hidrocarburos, en el que el rendimiento para las olefinas inferiores es mayor que el de los hornos de pirólisis tubular debido a que los historiales de temperatura de paso de casi todas las partículas del flujo a través del reactor son idénticos. Otros objetos y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la descripción que sigue a continuación.

En un aspecto, se proporciona un reactor con álabes para la pirólisis de los hidrocarburos, según se define en la reivindicación adjunta 1.

30 Un reactor para la pirólisis de hidrocarburos está configurado como una máquina con álabes giratoria que incluye un rotor con álabes de trabajo que forman una cascada de álabes de flujo axial, y un alojamiento que tiene puertos de entrada y de salida, dicho alojamiento encierra este rotor y los álabes estacionarios.

35 Según la invención, hay dispuesto un aro de guía fijo con forma toroidal instalado en el alojamiento y en las puntas adyacentes de los álabes de trabajo. El alojamiento encierra la periferia del rotor y al aro de manera que forma un paso cuya sección meridiana tiene forma de anillo. Una o varias particiones están montadas simétricamente en el paso respecto al eje del rotor, dicha(s) partición(es) define(n) los límites de una o de varias cavidades de trabajo idénticas. Un puerto de entrada está situado directamente detrás de cada partición en la dirección de giro del rotor mientras que el puerto de salida está directamente situado delante de cada partición. Los álabes estacionarios de cada cavidad de trabajo incluyen álabes estáticos de tobera que forman una cascada de toberas y álabes estáticos de difusión que forman una cascada de difusión, dicha tobera y dicho difusor en cascada están situados aguas arriba y aguas abajo de la cascada de álabes, respectivamente. Hay un espacio sin álabes estáticos entre la salida de la cascada de difusión y la entrada de la cascada de toberas. Cuando el rotor gira, el fluido de cada cavidad de trabajo es impulsado a moverse desde el puerto de entrada al puerto de salida a lo largo de una trayectoria helicoidal, para que filamentos de flujo atraviesen repetida y consecutivamente la cascada de toberas, la cascada de álabes, la cascada de difusión y el espacio sin álabes estáticos. Las distancias entre el alojamiento y el aro de guía en este espacio sin álabes estáticos son suficientes para hacer que las velocidades del flujo sean pequeñas en todos los puntos del espacio sin álabes estáticos, y por tanto para proporcionar la misma presión en la salida de la cascada del difusor a lo largo de la longitud de dicha cascada.

40 Cuando el fluido pasa a través de la cascada de álabes, obtiene energía cinética que a continuación se convierte en calor en la cascada del difusor, de manera que la temperatura del fluido en todos los puntos similares de la trayectoria helicoidal, incluyendo la de la salida de la cascada de toberas, aumenta en la dirección que va desde el puerto de entrada hasta el puerto de salida. Cuando cada álabe del rotor se mueve a lo largo de la cascada de toberas, fluye alrededor de él un chorro que tiene una temperatura que crece gradualmente y luego cae dando un salto en un momento en que el álabe pasa una partición y entra en la siguiente cavidad de trabajo. El modo de temperatura de los álabes está definido por una temperatura media a lo largo del tiempo del chorro que fluye alrededor de ellos. Esta temperatura es notablemente inferior a la temperatura máxima del chorro del proceso en el reactor. Ésta es una ventaja esencial del reactor de la invención en comparación con los reactores según las patentes de los E.E. U.U. US 4.265.732 y 7.232.937, en las que la temperatura del chorro que ha fluido alrededor de todos o de la mayoría de los

álabes es igual a la temperatura máxima del chorro del proceso. A partir de esto, el reactor de la invención puede tener la mayor fiabilidad y el diseño más simple.

5 La ecualización de presión en el espacio sin álabes estáticos elimina la diferencia de presión a través de una partición, por lo que disminuyen las fugas alrededor de la partición y se reduce una parte de las partículas de materia prima que tienen historiales de temperatura diferentes de los historiales de temperatura de las partículas del chorro principal. Como resultado, es posible obtener un rendimiento para las olefinas inferiores superior al de los hornos de pirólisis tubulares.

10 Según una primera realización preferible, los álabes tienen un perfil de un álabe de turbina de impulso y son instalados con el lado cóncavo en la dirección de giro del rotor, mientras que cada cavidad de trabajo tiene un mamparo montado en ella para separar un grupo de álabes estáticos de la tobera que está dispuesto directamente después de una partición en la dirección del giro del rotor desde el resto de los álabes estáticos de la tobera en esta cavidad de trabajo. El mamparo está montado de manera que hay formado un canal que conecta el puerto de entrada con dicho grupo separado de álabes estáticos de la tobera. Dicha realización proporciona la operación de este grupo separado de álabes estáticos de la tobera en un modo gasodinámico nominal al arrancar el reactor, mientras que los regímenes de flujo no estacionario se producen todavía en la otra parte de la cavidad de trabajo, y por tanto proporciona un arranque fiable del reactor.

20 Según una segunda realización preferente, los parámetros geométricos de la cascada de toberas varían en la dirección circunferencial de tal manera que prácticamente la presión a la entrada de la cascada de álabes y la presión a lo largo de la longitud de ella son prácticamente iguales y los parámetros geométricos de la cascada de difusión varían en la dirección circunferencial de tal manera que prácticamente la misma presión a la salida de la cascada de álabes a lo largo de la longitud de ella es prácticamente igual cuando el reactor opera bajo condiciones nominales. Los cambios requeridos de los parámetros de la tobera y las cascadas de difusión pueden ser calculados teniendo en cuenta la distribución de la temperatura y las propiedades termofísicas del flujo del proceso a lo largo de la longitud de la cavidad de trabajo o ser seleccionados experimentalmente. La ecualización de presión a la entrada de la cascada de álabes y la ecualización de presión a la salida de la cascada de álabes permite la reducción de fugas radiales a través de las separaciones situadas entre el alojamiento y las superficies de un disco de rotor. La reducción de las fugas radiales permite además la reducción de una parte de partículas de materia prima que, no moviéndose en el chorro principal, tienen historiales de temperatura diferentes de los historiales de temperatura de las partículas del flujo +principal. El resultado es la posibilidad de obtener un mayor rendimiento para las olefinas inferiores.

### 30 Descripción breve de los dibujos

La realización preferida del reactor según la invención será descrita a continuación haciendo referencia a los dibujos dados como ejemplo.

La Figura 1 muestra esquemáticamente una vista por delante de un reactor que tiene dos cavidades de trabajo.

La Figura 2 muestra una sección en la línea A - A de la Figura 1.

35 La Figura 3 muestra una sección cilíndrica en la línea B - B de la Figura 1.

La Figura 4 muestra un diagrama de una instalación de pirólisis que utiliza el reactor.

La Figura 5 muestra un gráfico que presenta un historial de temperatura de una partícula de materia prima pasando a través del reactor en un chorro principal.

La Figura 6 muestra un gráfico de un cambio en una masa molecular media de un fluido que pasa a través del reactor.

40 La Figura 7 muestra formas de perfiles y canales de cascadas de álabes y de álabes estáticos y triángulos de velocidades del reactor.

### Descripción de la realización preferida

Un reactor con álabes para la pirólisis de hidrocarburos (Figuras 1, 2 y 3) incluye un rotor que consta de un eje 1 y un disco 2 con álabes de trabajo 3 dispuestos a lo largo de la periferia del disco 2. Los álabes 3 tienen un perfil de un álabe de turbina de impulso supersónica, se dirigen radialmente y están instalados con el lado cóncavo en la dirección de giro del rotor, y estos álabes forman una cascada de álabes de flujo axial. El eje 1 está equipado con un acoplador 4 para estar conectado a una transmisión (no mostrada) y está montado en un alojamiento 5 sobre los apoyos 6 y 7 utilizando los sellos 8 y 9.

50 Un aro de guía fija con forma toroidal 10 que tiene una sección transversal constante colinda con las puntas de los álabes de trabajo 3. El alojamiento 5 encierra el aro 10 y el disco 2 de manera que forma un paso que tiene una sección transversal meridiana constante. Esta sección transversal tiene forma de anillo. El aro 10 es hueco y está fijado al alojamiento 5 por medio de pines radiales 11 fijados al aro 10 y que entran en los zócalos de guía 12 hechos en el alojamiento 5.

- 5 Dos particiones están montadas en dicho paso entre el aro 10 y el alojamiento 5 simétrico con relación al eje del rotor de manera que forman dos cavidades de trabajo idénticas. Cada partición consiste en una pared de separación 13, así como piezas traseras y delanteras 14 y 15 que están dispuestas aguas arriba y aguas abajo respecto a la cascada de álabes, respectivamente. Los bordes de las piezas de extremo 14 y 15 son afilados. Aquí y a continuación, los "bordes afilados" quiere decir bordes que tienen un espesor insignificamente pequeño en comparación con el paso de la cascada de álabes. Las piezas de extremo 14 y 15 están fijadas en los anillos 16 y 17, respectivamente. Los anillos 16 y 17 están fijados en el alojamiento 5 con la posibilidad de ajustar su posición en la dirección circunferencial relativa al eje del rotor. Un puerto de entrada 18 está dispuesto después de cada partición en la dirección de giro del rotor, mientras que un puerto de salida 19 está dispuesto delante de cada partición.
- 10 Los álabes estacionarios de la tobera 20 están dispuestos en cada cavidad de trabajo aguas arriba de la cascada del rotor, dichos álabes estáticos tienen un perfil curvo y están fijados al anillo 16 con sus lados convexos en la dirección de giro del rotor y forman una cascada de toberas. Los álabes de difusión estacionarios 21 están dispuestos aguas abajo de la cascada de álabes, dichos álabes estacionarios tienen un perfil supersónico curvo, están fijados al anillo 17 con sus lados convexos en la dirección de giro del rotor, y forman una cascada de difusión. Hay un espacio sin álabes estacionarios 22 entre la salida de la cascada de difusión y la entrada de la cascada de toberas.
- 15 Hay un mamparo montado en cada cavidad de trabajo y que consiste en una pared de separación 23 y una pieza de extremo 24 que tiene un borde afilado. Este mamparo separa un grupo de álabes estacionarios de la tobera dispuestos directamente después de una partición en la dirección de giro del rotor del resto de los álabes estacionarios de la tobera, de manera que forma un canal que conecta el puerto de entrada 18 con dicho grupo separado de álabes estacionarios de la tobera. La pieza de extremo 24 está fijada al anillo 16.
- 20 Durante la operación, el rotor es hecho girar en sentido contrario a las agujas del reloj según se muestra en la Figura 1. Ambas cavidades de trabajo operan de igual manera. Un flujo entra en el reactor a través del puerto de entrada 18 y se mueve en la cavidad de trabajo en una trayectoria helicoidal cuyo eje está dentro del aro 10, y dicha corriente repetida y consecutivamente atraviesa la cascada de toberas, la cascada de álabes, la cascada de difusión y el espacio sin álabes estáticos 22. Al pasar a través de la cascada de álabes, el chorro obtiene energía cinética que a continuación es convertida en calor en la cascada de difusión. Como consecuencia, la temperatura del medio en todos los puntos similares de la trayectoria helicoidal aumenta en la dirección que va desde el puerto de entrada 18 hasta el puerto de salida 19. Como resultado de las reacciones de pirólisis, una masa molecular media del flujo en la cavidad de trabajo disminuye en la dirección que va desde el puerto de entrada 18 hasta el puerto de salida 19.
- 25 Hay una mezcla parcial de corrientes salientes y entrantes en un espacio entre las piezas de extremo 14 y 15. La pieza de extremo trasera 14 y la pieza de extremo delantera 15 son desplazadas en la dirección circunferencial una respecto a otra para que la mezcla de estas corrientes sea mínima.
- 30 Las distancias entre el alojamiento 5 y el aro de guía 10 en el espacio sin álabes estáticos 22 son lo suficientemente grandes para hacer que las velocidades del flujo sean pequeñas en todos los puntos de este espacio, y prácticamente de esta manera proporcionan la misma presión a la salida de la cascada de difusión a lo largo de dicha cascada.
- 35 El modo de operación de los álabes estáticos de la tobera separados por el mamparo es independiente de los modos de operación de otros álabes estáticos de la tobera en esta cavidad de trabajo. Por tanto, siempre se puede proporcionar un modo de operación gasodinámico normal para dicho grupo de álabes estáticos de la tobera, incluyendo el momento de poner el reactor en operación cuando existen todavía regímenes de flujo no estacionarios en las otras partes de la cavidad de trabajo. De esta manera, se proporciona una puesta en marcha fiable del reactor.
- 40 Los parámetros geométricos de la tobera y las cascadas de difusión varían en la dirección circunferencial de manera que cuando el reactor opera en condiciones nominales, se proporciona prácticamente la misma presión a la entrada de la cascada de álabes a lo largo de su longitud y se proporciona prácticamente la misma presión a la salida de la cascada de álabes a lo largo de su longitud (véase en detalle más adelante). La ecualización de presión a la entrada de la cascada de álabes reduce las fugas radiales a través de una separación entre el disco del rotor 2 y el anillo 16. La ecualización de presión a la salida de la cascada de álabes reduce las fugas radiales a través de una separación entre el disco del rotor 2 y el anillo 17.
- 45 La Figura 4 muestra un diagrama de una instalación de pirólisis de nafta que incluye un reactor 25 descrito en el ejemplo, un motor estacionario de turbina de gas 26 con un engranaje de reducción 27, una cámara de combustión 28, una caldera de recuperación 29 y aparatos de enfriamiento y evaporación 30 y 31. Los gases de escape del motor de turbina de gas 26 son divididos en dos chorros, uno de ellos entra en una parte de baja temperatura de la caldera de recuperación 29 (en la parte superior del diagrama), mientras que otro chorro entra en la cámara de combustión 28 donde es calentado adicionalmente, y justo a partir de aquí entra en una parte de alta temperatura de la caldera de recuperación 29 (en la parte inferior del diagrama).
- 50 La nafta y un diluyente de vapor que entran bajo la presión de fuentes exteriores (no mostradas en el diagrama) son mezclados. La mezcla resultante de la materia prima-vapor es calentada en primer lugar en serpentines de la parte de baja temperatura de la caldera de recuperación 29 y a continuación es calentada adicionalmente en serpentines de la parte de alta temperatura de esta caldera y es suministrada al reactor 25 donde es realizada la pirólisis. El flujo del
- 55

producto es enfriado en los aparatos de enfriamiento 30 y 31 que tienen una estructura convencional, en donde es evaporada un agua de refrigeración que es suministrada a dichos aparatos bajo presión desde una fuente exterior (no mostrada en el diagrama). El chorro producido por los aparatos de enfriamiento 30 y 31 es suministrado a una planta de fraccionamiento de gas (no mostrada en el diagrama) donde es separado en los productos y subproductos deseados.

La materia prima es nafta con una masa molecular media de  $96,9 \cdot 10^{-3}$  kg/mol. Una cantidad de vapor-diluyente es un 50% de la masa de la materia prima. Una capacidad productiva de la instalación en condiciones normales de operación es de 15.260 kg de la materia prima por hora. El motor de turbina de gas de eje único 26 tiene una potencia de salida al eje de 15 MW con una eficiencia del 35,2 %.

10 Los chorros de material de la instalación tienen las siguientes características:

Consumo de combustible (metano) del motor de turbina de gas (GTE) 26 3066 kg/hr

Caudal de gas de escape de GTE 26 49,9 kg/s

Temperatura de los gases de escape de GTE 26 495°C

Caudal de gases en la salida de la cámara de combustión 28 16,5 kg/s

15 Consumo de combustible (metano) en la cámara de combustión 28 194 kg/hr

Temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión 28 971°C

Caudal del flujo a través del reactor 25 6,36 kg/s

Presión a la entrada del reactor 25 0,215 MPa, abs

Temperatura del flujo a la entrada del reactor 25 574°C

20 Presión a las entradas de los aparatos de enfriamiento 30 y 31 0,215 MPa, abs.

Temperatura del flujo a las entradas de los aparatos de enfriamiento 30 y 31 868°C

Presión a las salidas de los aparatos de enfriamiento 30 y 31 0,160 MPa abs.

Temperatura del flujo a las salidas de los aparatos de enfriamiento 30 y 31 380°C

El reactor 25 tiene las siguientes características:

25 Número de cavidades de trabajo 2

Radio del rotor en la sección media de los álabes 0,502 m

Número de álabes 156

Frecuencia de giro del rotor 4.837 rpm

Velocidad circunferencial en la sección media de los álabes 254,3 m/s

30 Presión en los espacios sin álabes estáticos 0,200 MPa abs.

Presión a la entrada de la cascada del rotor 0,098 MPa abs.

Presión a la salida de la cascada del rotor 0,098 MPa abs.

La Figura 5 es un historial de temperatura de las partículas de flujo que se mueven dentro de un chorro principal.

35 Durante un tiempo de permanencia dentro del reactor, el chorro del proceso pasa siete veces a través de la cascada de álabes y es sometido al calentamiento del salto en cada pasada. La línea de puntos marca los momentos en el tiempo en los que el chorro pasa las cascadas (las duraciones de dichas pasas no se muestran en vista de sus pequeños valores). Los intervalos de tiempo entre los saltos de temperatura consecutivos se reducen gradualmente desde  $4,65 \cdot 10^{-3}$  s entre el primero y el segundo saltos hasta  $3,66 \cdot 10^{-3}$  s entre los saltos sexto y séptimo. El tiempo de permanencia, es decir, el tiempo de tránsito de las partículas de flujo que se mueven en el chorro principal desde el puerto de entrada 18 del reactor 25 hasta la entrada en el aparato de enfriamiento, es de  $36 \cdot 10^{-3}$  s.

40 Una elevación de la temperatura del flujo ocurre en descargas de compresión estacionarias de alta intensidad dentro de la cascada de difusión. Una reducción de la temperatura del flujo se produce debido a la absorción de calor por reacciones de pirólisis cuando el flujo atraviesa el espacio sin álabes estáticos. Un valor de saltos de temperatura aumenta gradualmente desde 79°C en la primera pasada hasta los 105°C en la séptima y última pasada. Una suma de saltos de temperatura

para las siete pasadas es de 637°C. A la salida de la cascada de difusión se alcanza la temperatura máxima del medio de reacción - 985°C – durante la séptima pasada.

5 El gráfico (Figura 6) muestra una variación de la masa molecular media del fluido durante el tiempo de su permanencia en el reactor. La línea de puntos marca los momentos en el tiempo cuando el flujo pasa las cascadas (las duraciones de dichas pasadas no se muestran en vista de sus pequeños valores). Durante el primer paso del flujo a través de las cascadas del álabe, la masa molecular media se reduce de  $38,29 \cdot 10^{-3}$  kg/mol, que se corresponde con la composición de la mezcla de materia de vapor a la entrada al reactor, a  $37,49 \cdot 10^{-3}$  kg/mol resultado de la mezcla con fugas, y después de esto se reduce uniformemente como resultado de las reacciones de pirólisis. La masa molecular media de los productos de la pirólisis en un momento de entrada al aparato de enfriamiento es de  $22,27 \cdot 10^{-3}$  kg/mol.

10 La tobera y las cascadas de difusión de cada cavidad de trabajo se componen de siete secciones para que cada pasada siguiente del medio se produzca en la sección siguiente. Como resultado, todos los filamentos de corriente que forman el flujo en cada sección tienen el mismo historial de temperatura precedente y, en consecuencia, la misma temperatura y la misma masa molecular media. Las temperaturas del flujo a la entrada a la cascada de toberas ( $t_0$ ) y a la entrada a la cascada del álabe ( $t_1$ ) están indicadas en la Tabla I.

15 **Tabla I**

Sección	1	2	3	4	5	6	7
$t_0$ , °C	574,0	664,8	745,2	819,5	854,8	868,1	881,2
$t_1$ °C	538,0	626,8	705,3	775,3	804,5	810,4	815,6

20 Por tanto, el flujo llega a los álabes del rotor con una temperatura menor que la temperatura del flujo en el espacio sin álabes estáticos donde se realizan las reacciones de la pirólisis. La temperatura del fluido que fluye alrededor de los álabes varía cíclicamente con una frecuencia de 161 Hz, por tanto, un modo de temperatura de los álabes está determinado por la temperatura media a lo largo del tiempo de dicho fluido, que es  $T_1 = 738^\circ\text{C}$ . Como resultado del calentamiento del gas de la capa límite, la temperatura de los álabes no refrigerados es de  $827^\circ\text{C}$  que es bastante permisible para los álabes fabricados con aleaciones de alta temperatura.

25 Los parámetros geométricos tanto de la cascada de toberas como de la cascada de difusión dentro de cada sección son constantes y difieren de los parámetros respectivos de dichas cascadas en otras secciones. La dimensión angular de la primera sección determina la posición del mamparo (valores (z) y ( $s_s$ )) en cada sección que son los mismos para la tobera y las cascadas de difusión). Las dimensiones angulares de las secciones ( $\Delta$ ), un número (z) de los canales de álabes y un paso circunferencial ( $s_s$ ) en una sección transversal media de los álabes estáticos están indicados en la Tabla II.

**Tabla II**

Sección	1	2	3	4	5	6	7
A, grados	20,24	22,72	23,83	25,14	27,12	29,34	31,61
Z	6	6	6	7	7	8	8
$s_s$ , mm	29,56	33,18	34,80	31,47	33,94	32,13	34,62

30 Tanto la cascada de toberas como la cascada de difusión tienen 48 canales de álabes en cada cavidad de trabajo.

La Figura 7 muestra formas de perfiles y canales de la cascada de toberas, de la cascada de álabes y de la cascada de difusión y los triángulos apropiados de las velocidades del flujo a la entrada y a la salida de la cascada de álabes del reactor en el ejemplo de la realización de la invención

35 Los álabes estáticos de la tobera tienen un perfil curvo, los álabes estáticos constriñen los canales, y la región de salida del lado de succión del perfil del álabe estático es recta hasta la garganta del canal de álabes estáticos. La altura de los álabes estáticos de las toberas en el borde de salida es de 83 mm.

40 La cascada de álabes consiste en álabes supersónicos del tipo de impulso. Los bordes de ataque y de salida de los álabes son afilados, la garganta del canal del álabe está situada en la parte media del canal, la región de ataque del lado de succión de los álabes es recta y tiene un ángulo de inclinación  $\beta_1 = 34^\circ$  (aquí y en adelante todos los ángulos se miden con respecto al plano normal al eje del rotor). La altura de los álabes en el borde de ataque es de 83 mm,



en el borde de salida es de 91 mm. El paso circunferencial de la cascada de álabes en una sección transversal media de los álabes es de  $s_r = 20,22$  mm. La anchura de la cascada de álabes es  $b = 38$  mm.

5 La cascada de difusión consiste en álabes de compresor supersónicos con un perfil curvo. Los bordes de ataque de los álabes estáticos de difusión son afilados, el lado de succión del perfil tiene una región de ataque recta. La altura de los álabes estáticos de difusión en el borde de ataque es de 91 mm y en el borde de salida es de 95 mm.

10 La velocidad relativa del flujo en la entrada en la cascada de álabes es supersónica, el componente axial de esta velocidad es subsónico. El ángulo del flujo de entrada al plano de la cascada de álabes es igual a la inclinación de la región de ataque del lado de succión de los álabes (es decir,  $34^\circ$ ). Los parámetros del flujo a la entrada de la cascada de álabes en cada sección están indicados en la Tabla III. En esta tabla:  $a_1$  es la velocidad del sonido;  $V_1$  es la velocidad absoluta del flujo;  $\alpha_1$  es el ángulo del flujo absoluto;  $W_1$  es la velocidad del flujo relativa al álabe;  $M_{V1} = V_1/a_1$ ,  $M_{W1} = W_1/a_1$  son números de Mach; y  $\bar{g} = g/s$  es la relación garganta-paso ( $g$  es la anchura de la garganta del canal de los álabes estáticos).

Tabla III

Sección	1	2	3	4	5	6	7
$a_1$ , m/s	433,1	461,4	481,4	504,3	538,3	578,2	618,7
$V_1$ , m/s	504,6	541,9	568,8	597,2	635,0	678,8	723,8
$M_{V1}$	1,165	1,175	1,181	1,184	1,180	1,174	1,170
$\alpha_1^\circ$	50,37	49,21	48,48	47,78	46,94	46,09	45,33
$W_1$ , m/s	695,0	733,8	761,5	790,9	829,7	874,6	920,5
$M_{W1}$	1,605	1,590	1,582	1,568	1,541	1,513	1,488
$\bar{g}$	0,7512	0,7364	0,7266	0,7181	0,7096	0,7011	0,6931

15 Por tanto, la equalización de la presión de entrada alrededor de la circunferencia de la cascada de álabes se consigue mediante la reducción de la relación garganta-paso para los canales de la cascada de toberas en cada sección siguiente.

20 La velocidad absoluta del flujo a la salida de la cascada de álabes es supersónico; el componente axial de dicha velocidad es subsónico. El ángulo del chorro de entrada al plano de la cascada de difusión es igual a un ángulo de inclinación de la región de ataque del lado de succión de los álabes de difusión en las secciones respectivas. Los parámetros del flujo a la salida de la cascada del álabe en cada sección están indicados en la Tabla IV. En esta tabla:  $a_2$  es la velocidad del sonido;  $W_2$  es la velocidad del flujo relativa al álabe;  $\beta_2$  es el ángulo de inclinación del flujo relativo de salida;  $V_2$  es la velocidad absoluta del flujo;  $M_{V2} = V_2/a_2$ ,  $M_{W2} = W_2/a_2$  son números de Mach;  $\alpha_2$  es el ángulo de inclinación de la región de ataque del lado de succión del álabe estático de difusión.

25

Tabla IV

Sección	1	2	3	4	5	6	7
$a_2$ , m/s	435,9	464,3	484,5	507,6	542,0	582,6	623,9
$W_2$ , m/s	639,4	675,1	700,6	727,6	763,3	804,6	846,9
$M_{W2}$	1,467	1,454	1,446	1,434	1,408	1,381	1,357
$\beta_2^\circ$	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,3	34,3
$V_2$ , m/s	861,7	896,9	922,2	948,8	984,1	1024,9	1066,6
$M_{V2}$	1,467	1,454	1,446	1,434	1,408	1,381	1,357
$\alpha_2^\circ$	24,6	25,0	25,3	25,5	25,8	26,2	26,6

Por tanto, la ecualización de la presión de salida alrededor de la circunferencia de la cascada de álabes es conseguida mediante el aumento de la inclinación de la región de ataque del lado de succión del álabe estático de difusión en cada sección siguiente.

5 Los elementos que tienen una estructura ampliamente conocida, por ejemplo, sellos, aislamiento térmico, un sistema de aceite, sistemas de refrigeración para el alojamiento y partes del rotor, soportes y fijaciones, etc., no fueron descritos en la realización preferida del reactor según la invención, porque sus realizaciones no tienen efecto en la operación del reactor y no guardan relación con la esencia de la invención.

10 Con el fin de hacer que una persona experta en la materia pueda implementar la invención en todo el campo reivindicado, es necesario dar las siguientes explicaciones además de la realización preferida del reactor descrito anteriormente.

a) Es posible diseñar los reactores según la invención para la pirólisis de cualquier tipo de materia prima de hidrocarburos utilizada actualmente.

15 b) Es posible diseñar los reactores según la invención con una o varias cavidades de trabajo. En igualdad de condiciones, es preferible que los reactores de mayor potencia tengan un mayor número de cavidades de trabajo.

c) En los reactores según la invención, la cascada de toberas puede tener una configuración de flujo axial, de flujo diagonal o de flujo radial. La cascada de difusión puede tener también una configuración de flujo axial, de flujo diagonal, o de flujo radial.

20 d) Es posible diseñar los reactores según la invención en los que los flujos en la entrada y a la salida de la cascada de álabes tienen velocidades absolutas y relativas subsónicas o supersónicas y componentes axiales de estas velocidades en cualquier combinación posible.

e) Es posible diseñar los reactores según la invención en los que los álabes de la cascada de álabes y los álabes estacionarios de la cascada de toberas y de la cascada de difusión están retorcidos o no retorcidos y tienen perfiles constantes o variables a lo largo de la altura.

25 f) El número de pasadas del medio a través de la cascada de álabes en los reactores según la invención pueden ser diferente. En igualdad de condiciones, cuanto más alta es la velocidad circunferencial sobre los álabes o más alta es la temperatura del flujo en el puerto de entrada al reactor, menor es el número requerido de dichas pasadas, y viceversa.

30 g) Los reactores según la invención no pueden tener los mamparos mencionados anteriormente. En este caso, para proporcionar una puesta en marcha fiable de dicho reactor, los álabes deben tener un perfil del tipo del compresor. Sin embargo, con dicha realización del reactor, a igualdad de otros factores (la composición de la mezcla, la velocidad circunferencial de los álabes), la energía cinética transferida al chorro del proceso durante cada pasada es menor, y un número necesario de pasadas del chorro del proceso de reacción a través de la cascada de álabes es mayor en comparación con la realización preferida del reactor.

35 h) Es posible diseñar los reactores según la invención en los que parámetros geométricos de la tobera y de las cascadas de difusión varían en la dirección circunferencial más gradualmente que en la realización descrita, en particular para que cada álabe estacionario siguiente y cada canal de álabe estacionario siguiente difieran del anterior debido a un cambio en el perfil y en el paso de los álabes estáticos.

40 i) Es posible diseñar los reactores según la invención en los que los parámetros geométricos de las cascadas de la tobera y del difusor son invariables en la dirección circunferencial. En este caso, la presión a la entrada de la cascada de álabes y la presión a su salida varían en la dirección circunferencial. Pero esto causa el aumento de las fugas radiales en las separaciones entre el disco del rotor y las partes del alojamiento, y un aumento de una parte de partículas de flujo que se mueven fuera del chorro principal y tienen los historiales de temperatura diferentes del historial de temperatura de las partículas del chorro principal. Además, es imposible proporcionar ángulos óptimos de entrada y de salida del flujo simultáneamente para todos los álabes estacionarios y los álabes del rotor en dichos reactores; debido a esto, a igualdad de otros factores (la composición de la mezcla, la velocidad circunferencial sobre los álabes), la energía cinética transferida al chorro por los álabes disminuye y aumenta el número necesario de pasadas del chorro del proceso a través de la cascada de álabes. El rendimiento para las olefinas inferiores en dichos reactores puede ser menor que en el reactor descrito en la realización preferida, sin embargo, este rendimiento puede ser mayor que el de los hornos de pirólisis tubulares.

50 j) Es posible diseñar los reactores según la invención en los que el aro de guía y/o el alojamiento tienen tal forma que un área del paso formado para el flujo en espiral del flujo del proceso varía a lo largo de una longitud de la cavidad de trabajo. Sin embargo, una variante estructural descrita en la realización de la invención posee ventajas tecnológicas.

Por tanto, la invención no está limitada a la variante descrita en la realización preferida solamente, sino que comprende cualquier modificación correspondiente a las reivindicaciones.

#### **Aplicabilidad industrial**

5 En la actualidad, alrededor de 350.000.000 toneladas de materia prima de hidrocarburos son consumidas anualmente en todo el mundo para la producción de olefinas inferiores. En este sentido, la reducción del consumo de materias primas para la producción de olefinas de bajo peso molecular es extremadamente deseable. El reactor según la invención soluciona este problema. Según la estimación de los expertos, el rendimiento para el etileno por unidad de materia prima de hidrocarburos en instalaciones equipadas con reactores con álabes y que operan con nafta puede ser aumentado 1,5 veces (cuando se opera en el modo "etileno"), mientras que las sumas de los rendimientos para el etileno y el propileno pueden aumentar 1,25 - 1,3 veces en comparación con las instalaciones modernas equipadas con hornos tubulares. Si la materia prima es gases de petróleo, el rendimiento de los productos deseados puede ser aumentado también.

10 Las características particulares del reactor según la invención - un rotor con una hilera de álabes, una velocidad circunferencial comparativamente pequeña de los álabes, una temperatura comparativamente pequeña de los álabes - proporciona la simplicidad estructural y la posibilidad de fabricar dichos reactores usando las tecnologías existentes de turbinas de gas y los materiales existentes.

Los motores de turbinas de gas industriales (GTEs) existentes con el accesorio requerido pueden ser usados como fuerza motriz para los reactores según la invención. Los GTEs fueron diseñados para ser usados en centrales eléctricas de turbinas de gas y tienen buenas características ecológicas.

20 Se pueden tener en cuenta diferentes condiciones de aplicación al diseñar los reactores según la invención. En particular, es posible diseñar reactores de álabes de mayor potencia unitaria, reactores de álabes destinados a la pirólisis de tipos específicos de materias primas, reactores que tienen un nivel de presión disminuido en la zona de reacción que dan mayor rendimiento final para los productos deseados y etc.

## REIVINDICACIONES

1. Un reactor con álabes para la pirólisis de hidrocarburos, incluyendo un rotor con álabes que forman una cascada de álabes de flujo axial, y un alojamiento que tiene puertos de entrada y salida, encerrando dicho alojamiento este rotor y estos álabes estacionarios, en donde:

5 un aro toroidal de guía fijo está instalado en el alojamiento y el aro colinda con las puntas de los álabes, el alojamiento encierra una periferia del rotor y el aro formando un paso, la sección meridiana del paso tiene forma de anillo;

10 dos o más particiones o varias particiones están dispuestas en el paso simétricamente en relación con un eje del rotor, dichas particiones definen los límites de dos o más cavidades de trabajo idénticas, en donde en cada cavidad de trabajo el puerto de entrada está dispuesto justo después de la partición en la dirección de giro del rotor, y el puerto de salida se encuentra justo antes de la siguiente partición;

los parámetros geométricos de la cascada de álabes y álabes estacionarios son tales que cuando el rotor gira el fluido en cada cavidad de trabajo es impulsado a moverse desde el puerto de entrada al puerto de salida a lo largo de una trayectoria helicoidal,

15 los álabes estacionarios incluyen los álabes estáticos de las toberas (20) formando cascadas de toberas y álabes estáticos de difusión (21) formando cascadas de difusión, las cascadas de toberas y cascadas de difusión están dispuestas en cada cavidad de trabajo aguas arriba y aguas abajo de la cascada de álabes (3), respectivamente, de manera que forman un espacio de reacción sin álabes estáticos (22) entre una salida de la cascada de difusión y una entrada de la cascada de toberas,

20 la separación entre el alojamiento (5) y el aro de guía (10) es un espacio de reacción sin álabes estáticos lo suficientemente grande para proporcionar durante la operación prácticamente la misma presión a la salida de la cascada de difusión a lo largo de toda la longitud de dicha cascada,

**caracterizado por que**

25 los álabes del rotor (3) están dispuestos uno cerca de otro y están alineados entre sí de manera que los álabes sobresalen radialmente hacia fuera desde un eje de giro, estando dispuestos los álabes por su lado cóncavo en la dirección de giro del rotor, por lo que forman una cascada de álabes de flujo axial, en donde cada uno de los álabes (3) tiene un perfil de un álabes de turbina de impulso,

**y por que**

los anillos (16, 17) están fijados al alojamiento y están configurados para ser ajustables en una dirección circunferencial relativa al eje del rotor.

30 2. El reactor según la reivindicación 1, en donde en cada espacio de reacción sin álabes estáticos (22) hay un mamparo (23) para separar un grupo de álabes estáticos de la tobera dispuestos directamente después de la partición (13) en la dirección de giro del rotor del resto de álabes estáticos de las toberas en esta cascada de toberas, de manera que hay formado un canal que conecta el puerto de entrada respectivo a dicho grupo separado de los álabes estáticos de la tobera.

35 3. El reactor según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** los parámetros geométricos de la cascada de toberas están cambiados en la dirección circunferencial de tal manera que se proporciona prácticamente una presión idéntica a de la entrada de la cascada de álabes a lo largo de toda su longitud.

40 4. El reactor según la reivindicación 1, 2 o 3, en donde los parámetros geométricos de la cascada de difusión están cambiados en la dirección circunferencial de tal manera que se proporciona prácticamente una presión idéntica a la de salida de la cascada de álabes a lo largo de toda su longitud.

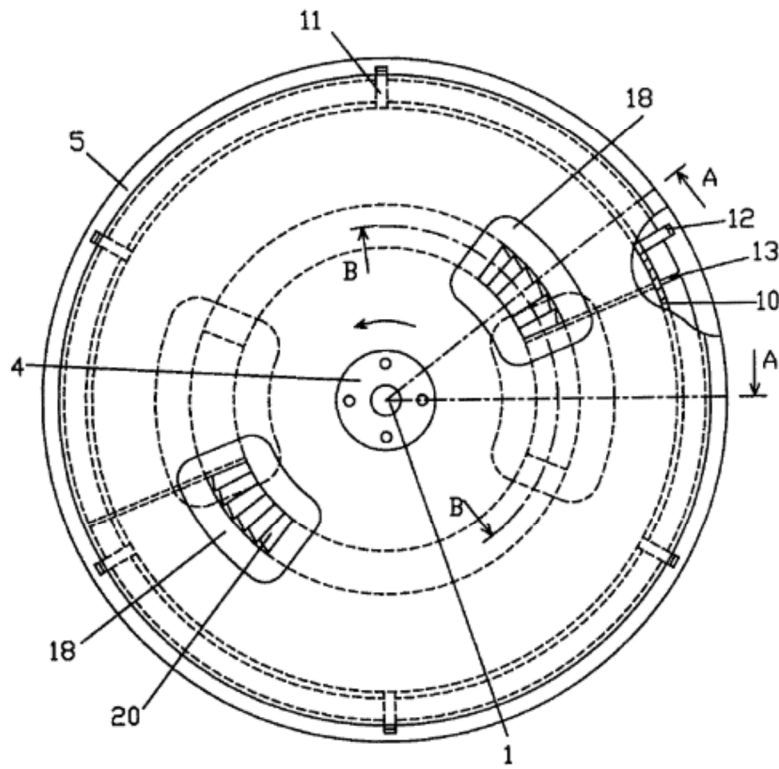


Fig. 1

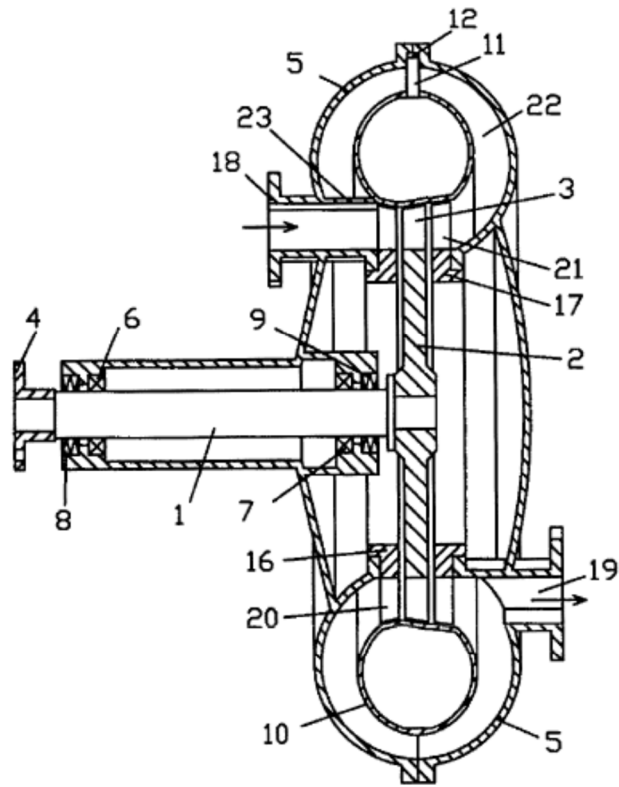


Fig. 2

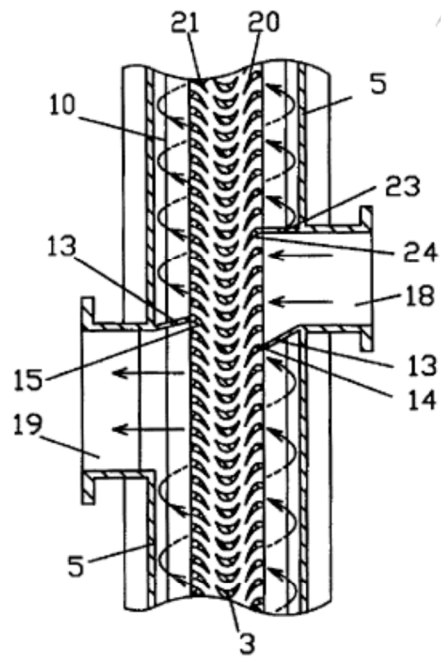


Fig. 3

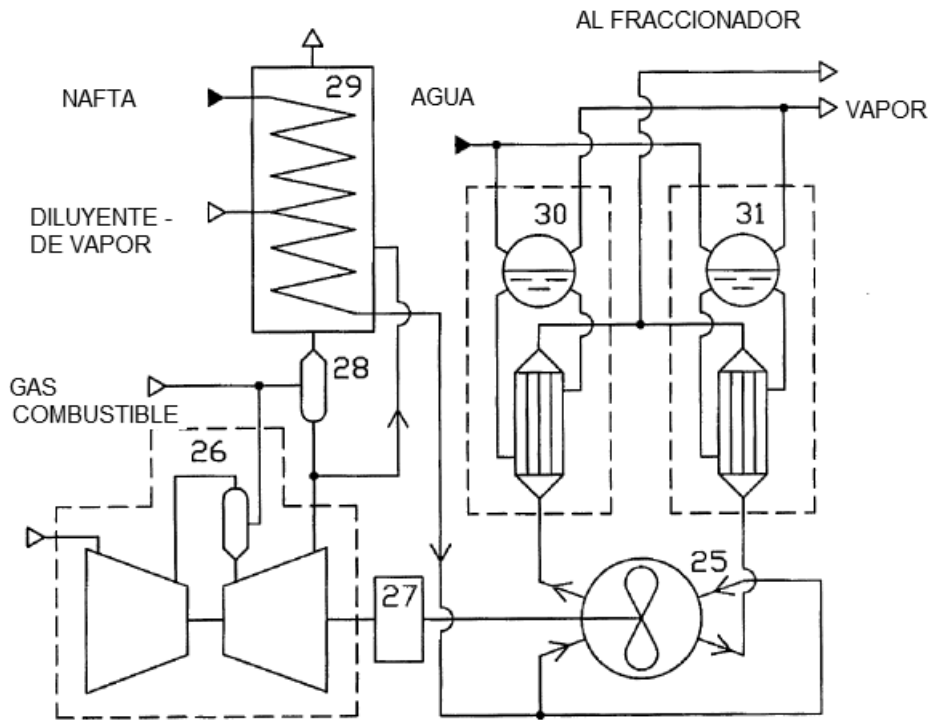


Fig. 4



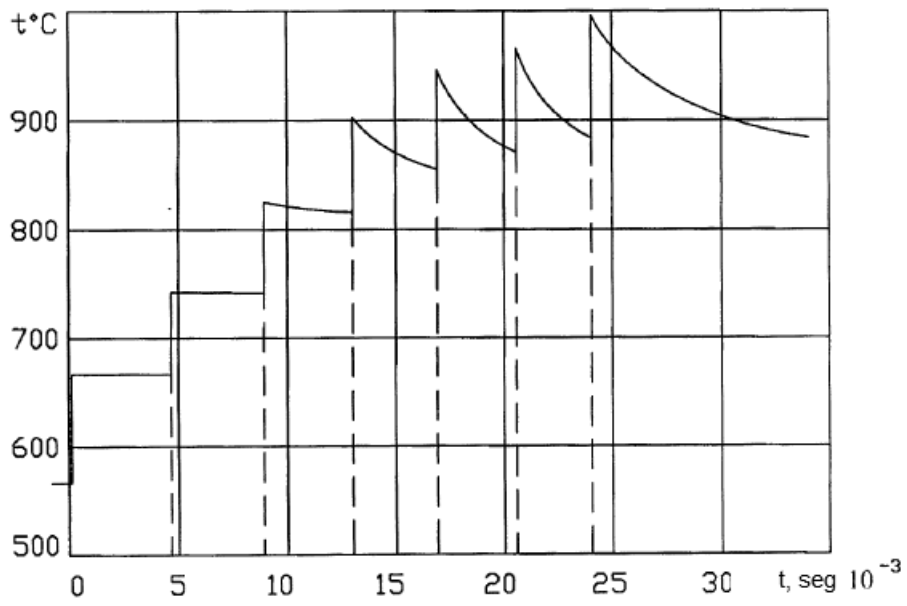


Fig. 5

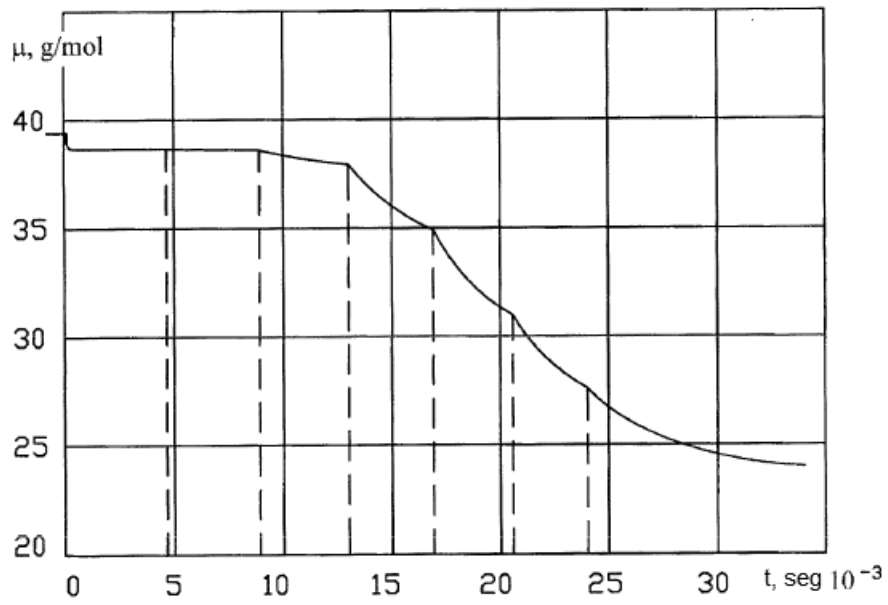


Fig. 6

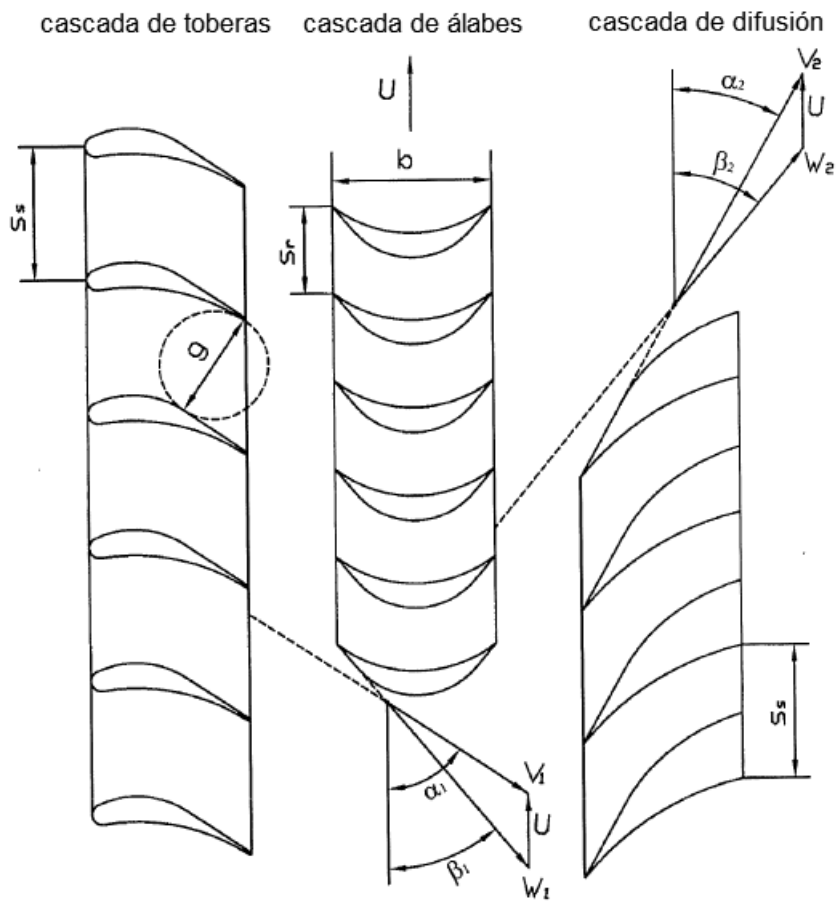


Fig. 7