

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 800 326**

51 Int. Cl.:

C10B 53/07	(2006.01)
C10B 47/18	(2006.01)
C10B 47/32	(2006.01)
C10G 1/00	(2006.01)
C10G 1/10	(2006.01)
C08J 11/12	(2006.01)
G05D 23/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2017 PCT/US2017/024872**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.10.2017 WO17173006**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2017 E 17724652 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3436547**

54 Título: **Proceso para producir productos derivados del petróleo**

30 Prioridad:

30.03.2016 US 201662315639 P
29.03.2017 US 201715473569

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.12.2020

73 Titular/es:

RES POLYFLOW LLC (100.0%)
8584 East Washington Street 304
Chagrin Falls, OH 44023, US

72 Inventor/es:

SCHABEL, JAY;
SCHWARZ, RICHARD A.;
GRISPIN, CHARLES, W.;
GENCER, MEHMET, A. y
HENSEL, JOSEPH, D.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 800 326 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 para producir productos derivados del petróleo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere en general a un proceso para producir productos derivados del petróleo a partir de una alimentación que contiene polímeros.

Antecedentes de la invención

10 En la industria del petróleo, se producen productos líquidos comercialmente viables a partir de una variedad de materias primas. Estos materiales se deben convertir de manera eficiente y con una calidad consistente para cumplir con los requisitos de precio y de calidad del mercado. Tradicionalmente, los residuos plásticos se han eliminado en un vertedero o se han incinerado por el valor calorífico debido a la dificultad de clasificar económicamente los tipos de polímeros y de convertir de manera consistente el material en productos líquidos fungibles. Tanto el vertedero como la incineración presentan desventajas ambientales y soluciones de bajo valor y/o de alto costo para esta alimentación abundante de energía.

15 Un proceso de pirólisis es un ejemplo de un proceso de descomposición térmica que ha demostrado ser prometedor al convertir eficientemente las corrientes de residuos plásticos en gases que luego se pueden condensar en líquidos para su posterior procesamiento en productos derivados del petróleo y productos petroquímicos. Las tecnologías de pirólisis no han podido convertir la gama completa de plásticos en la corriente de residuos, lo que requiere que luego se realice algún nivel de clasificación en la preparación de la alimentación, reduciendo así la viabilidad económica. Además, debido a los cambios en la corriente de residuos plásticos, muchas tecnologías de pirólisis no han podido producir un producto final consistente capaz de ser mejorado hacia productos derivados del petróleo que puedan cumplir de una manera consistente con las especificaciones requeridas de la industria. Tales productos fuera de especificaciones requieren un procesamiento adicional que consume grandes cantidades de energía, reduciendo así aún más la viabilidad económica. El Documento de Patente WO2016/042213 se refiere a un aparato de pirólisis en continuo que comprende al menos dos partes de control.

25 Si bien existen varios métodos disponibles actualmente para generar productos derivados del petróleo, existen inconvenientes para dichos métodos en términos de consumo de energía, rendimiento de producto, y calidad de los productos producidos.

Sumario de la invención

30 La presente invención se refiere a un proceso para producir productos derivados del petróleo como se describe en la reivindicación 1.

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras características de la presente descripción serán evidentes para los expertos en la técnica a las que se refiere la presente descripción al leer la siguiente descripción con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un proceso para producir productos derivados del petróleo.

35 La Figura 2 es una representación esquemática de la sección transversal de un sistema para producir productos derivados del petróleo, según un ejemplo de la presente invención;

La Figura 3 es una representación esquemática de la sección transversal de un sistema para producir productos derivados del petróleo.

40 Las Figuras. 4a y 4b son diagramas de flujo que ilustran los métodos de implementación de un controlador de un sistema para producir productos derivados del petróleo.

La Figura 5 es un gráfico que ilustra la temperatura frente a la pérdida de peso porcentual de los productos gaseosos condensables derivados del petróleo que se produjeron usando tres composiciones diferentes de alimentación de polímero mixto en un reactor con un 71 % de volumen libre, según una realización de ejemplo de la presente invención;

45 La Figura 6 es un gráfico que ilustra la temperatura frente a la pérdida de peso porcentual de los productos gaseosos condensables derivados del petróleo que se produjeron usando dos composiciones diferentes de alimentación de polímero mixto en un reactor con un 88 % de volumen libre, según una realización de ejemplo de la presente invención;

La Figura 7 es un gráfico que ilustra la temperatura frente a la pérdida de peso porcentual de un producto gaseoso derivado del petróleo condensable que se produjo usando una composición de alimentación de polímero mixto en un reactor con un 97 % de volumen libre, según una realización de ejemplo de la presente invención;

La Figura 8 es un gráfico que ilustra la variación y la variación porcentual promedio de los productos gaseosos condensables derivados del petróleo que se produjeron en los reactores con un 71 % de volumen libre y un 88 % de volumen libre, según una realización de la presente invención;

5 La Figura 9 es un gráfico que ilustra gráficas de la temperatura frente a la pérdida de peso porcentual de los productos gaseosos condensables derivados del petróleo que se produjeron en los reactores con un 71 %, un 88 %, un 97 % y un 99 % de volumen libre, según una realización de ejemplo de la presente invención;

La Figura 10 ilustra un gráfico de una señal de cromatografía de un derivado de petróleo líquido procedente de una parte condensable de la corriente gaseosa producida a partir de un proceso para producir productos derivados del petróleo, según un ejemplo de la presente invención.

10 Descripción detallada

Los diversos ejemplos de un proceso para producir productos derivados del petróleo de la presente invención se refieren generalmente a procesos que convierten materiales poliméricos mixtos, que incluyen, pero no se limitan a residuos poliméricos mixtos, a una producción de calidad consistente de productos derivados del petróleo fungibles. Estos productos derivados del petróleo fungibles incluyen, pero no se limitan a, nafta; destilado (por ejemplo, diésel); y gasóleo (por ejemplo, aceite pesado y parafina). Los procesos para producir productos derivados del petróleo en la presente invención pueden producir al menos el 50 %, en otro ejemplo de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 90 %, en otro ejemplo de aproximadamente el 60 a aproximadamente el 90 %, y en otro ejemplo de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 90 % de productos fungibles. Las realizaciones de ejemplo del proceso en la presente invención pueden producir al menos aproximadamente el 55 %, de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 90 %, en otro ejemplo de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 92 % de gas condensable basado en el producto gaseoso generado por el proceso.

25 El proceso para producir productos derivados del petróleo implica la pirólisis de una alimentación que comprende un polímero mixto y reacciones in situ que producen un residuo inerte sólido, fluidos fundidos, y gases dentro de la vasija del reactor. Del reactor salen una corriente de residuo inerte sólido y una corriente de producto gaseoso. La conversión de la masa de la alimentación a productos gaseosos condensables y no condensables ocurre dentro de la vasija del reactor. Hasta aproximadamente el 100 % en peso del producto gaseoso condensable se convierte en un producto combustible utilizable, y hasta el 100 % del gas no condensable se puede usar para combustible.

30 El término "alimentación" como se usa en la presente invención se refiere a un material que contiene una mezcla de al menos dos polímeros diferentes usado durante el proceso de producción de productos derivados del petróleo. La alimentación incluye, pero no se limita a, chatarra de polimérica.

El término "chatarra polimérica", como se usa en la presente invención, se refiere a plástico posterior a la fabricación y posterior al consumidor que ya no es necesario para su propósito previsto. Por ejemplo, el plástico posterior al consumidor es típicamente un producto tridimensional que se generó por tratamiento térmico y deformación, por ejemplo, moldeado, extrusión, etc. de plástico virgen.

35 El término "material hidrocarbonado" como se usa en la presente invención, se refiere a un material, por ejemplo, material de alimentación, que contiene átomos de carbono y de hidrógeno.

El término "material fundido", como se usa en la presente invención, se refiere a material que está parcialmente fundido en un líquido con algo de material sólido o material sólo parcialmente fundido.

40 El término "pirólisis", como se usa en la presente invención, se refiere a la descomposición térmica de material orgánico a temperaturas elevadas y puede ser en la presencia de bajos niveles de oxígeno gaseoso, por ejemplo, menos del 10 % de oxígeno.

El término "descomposición térmica", como se usa en la presente invención, se refiere a un proceso en el que los materiales poliméricos de mayor peso molecular se descomponen en materiales de menor peso molecular.

45 El término "craqueo térmico", como se usa en la presente invención, se refiere a un proceso que tiene lugar en el espacio del vapor en el que los materiales orgánicos de mayor peso molecular, por ejemplo, oligómeros, se descomponen adicionalmente en materiales orgánicos de menor peso molecular.

El término "reacciones de recombinación", como se usa en la presente invención, se refiere a un proceso químico que ocurre en el espacio del vapor en el que fragmentos moleculares más pequeños reaccionan para formar materiales más grandes y de mayor peso molecular.

50 El término "anaerobio" se refiere a un ambiente que tiene un nivel bajo, por ejemplo, menos del 3 %, menos del 2 %, menos del 1 % o casi cero, de oxígeno gaseoso, O₂ u oxígeno "libre" o "no unido" basado en el volumen de gas en el ambiente.

El término "residuo inerte sólido" como se usa en la presente invención, se refiere a un material sólido que se forma o permanece sólido durante la descomposición térmica de la alimentación.

El término "gas", como se usa en la presente invención, se refiere a todo gas incluyendo gas condensable, gas no condensable, y gas sobrecalentado.

- 5 El término "fluido" en la presente invención se refiere a un material que es un gas, un líquido, una suspensión, o una masa fundida.

El término "sólidos", como se usa en la presente invención, se refiere a un material que es firme y estable en su forma y no es un líquido o un gas. Ejemplos de sólidos incluyen el material de la alimentación y el residuo inerte sólido.

- 10 El término "proceso discontinuo" en la presente invención es un proceso en el que todos los reactivos se colocan en el reactor al comienzo del proceso y luego se procesan según un curso de reacción predeterminado durante el cual no se alimenta ni se retira material del reactor.

El término "proceso continuo" en la presente invención se refiere a un proceso en el que se introducen reactivos y se retiran los productos simultáneamente de una manera continua.

- 15 El término "proceso semicontinuo" en la presente invención se refiere a un proceso que no se ajusta a un proceso discontinuo ni a uno continuo. Por ejemplo, un proceso semicontinuo puede incluir un proceso en el que algunos de los reactivos se cargan al principio mientras que el resto se alimentan de forma continua a medida que progresa la reacción. Otro ejemplo es similar a un reactor discontinuo, excepto que uno o más de los productos se retiran de forma continua. En otro ejemplo, el proceso es similar a un proceso continuo en el que los reactivos se alimentan de forma continua a medida que avanza la reacción y los productos se retiran de forma intermitente.

- 20 El término "catalizador" como se usa en la presente invención se refiere a un material que acelera la cinética de una reacción.

El término "sin catalizador añadido", como se usa en la presente invención, se refiere a un proceso para producir productos derivados del petróleo que no tiene material catalizador añadido al proceso, por ejemplo, no se añade catalizador a la alimentación o a la vasija del reactor para llevar a cabo el proceso.

- 25 El término "tasa de calor" como se usa en la presente invención se refiere al calor aplicado por unidad de tiempo en la vasija del reactor

El término "flujo de calor", como se usa en la presente invención, se refiere a la tasa de calor aplicada por unidad de área de superficie calentada con la que contacta el material.

- 30 El término "rendimiento" como se usa en la presente invención se define como la masa del producto gaseoso condensado por la masa de la alimentación. El rendimiento = (masa de producto gaseoso condensado/masa de la alimentación) x 100. Por ejemplo, si la masa del producto gaseoso condensado es 50 kg y la masa de la alimentación es 75 kg, el rendimiento es el 66,7 %.

- 35 El término "consistencia controlada", como se usa en la presente invención, se refiere a la capacidad de mantener el control de la composición de los productos combustibles condensables, por ejemplo, nafta, destilado y gasóleo, dada una variación en la composición de la alimentación.

- 40 La Figura 1 es un diagrama de flujo del proceso 1 de un proceso para producir productos derivados del petróleo. La unidad de alimento 2 contiene el material de la alimentación que fluye a lo largo de la corriente de la alimentación 3 hacia el aparato reactor 4. El proceso de descomposición térmica, por ejemplo, un proceso de pirólisis, que tiene lugar dentro del aparato reactor 4 convierte la alimentación en una corriente de producto gaseoso derivado del petróleo 5 que sale del aparato reactor y se recoge en la unidad de recogida del gas 6. El gas recogido se puede condensar y almacenar en un tanque de almacenamiento de producto (no mostrado). Del aparato reactor 5 también sale una corriente de residuos inertes sólidos 7 y se recoge en la unidad de recogida de sólidos 8. Tanto el gas recogido como los sólidos recogidos pueden sufrir un procesamiento posterior adicional. La unidad del alimento 2 puede ser, por ejemplo, una barrena que hace avanzar el material de la alimentación hacia el aparato reactor a una velocidad predeterminada de alimentación, y la unidad del alimento puede proporcionar opcionalmente calor a la alimentación. En la presente invención se encuentra que el proceso para fabricar productos derivados del petróleo puede producir un producto de calidad consistente en un proceso discontinuo, en un proceso semicontinuo, y en un proceso continuo cuando se varía la velocidad de la alimentación durante la reacción. El proceso también puede producir un producto de calidad consistente cuando la composición de la alimentación varía durante el proceso.

- 50 El proceso proporciona una serie de reacciones de craqueo del gas combinadas con reacciones de condensación y de recombinación para lograr las composiciones deseadas del producto gaseoso que salen del aparato reactor. En cualquiera de los ejemplos de la presente invención, el proceso se puede ejecutar en un proceso discontinuo, en un proceso continuo o en un proceso semicontinuo. En cualquiera de los ejemplos de la presente invención, el proceso de producción de productos derivados del petróleo incluye la manipulación de la química de la reacción en la vasija

del reactor, haciendo que la manipulación de la química de la reacción tenga lugar en una zona de reacción del aparato reactor o en una pluralidad de zonas de reacción englobadas dentro de una única vasija del reactor. En cualquiera de las realizaciones de ejemplo en la presente invención, el proceso para producir productos derivados del petróleo no usa catalizador añadido para llevar a cabo el proceso.

5 En un ejemplo, un proceso continuo convierte los plásticos residuales mixtos en productos derivados del petróleo fungibles, por ejemplo, nafta, destilado, parafina y gasóleo, mediante pirólisis y reacciones simultaneas de recombinación y de craqueo de la fase gas. En la presente invención se ha encontrado que la distribución de la energía se puede controlar para influir en las diversas reacciones de craqueo y de recombinación que ocurren en la vasija de reacción y esta distribución de la energía se puede controlar de una variedad de formas. Por ejemplo, la distribución de la energía se puede controlar controlando el aporte de calor a la vasija del reactor, y controlando el gradiente de temperatura en la vasija del reactor. El gradiente de temperatura se puede controlar controlando el aporte de calor y controlando la retirada de calor de la vasija del reactor. La retirada de calor se puede controlar, por ejemplo, controlando el caudal y/o la temperatura del gas que pasa por y/o entra en contacto con la superficie exterior de la vasija del reactor del aparato reactor. En otro ejemplo, la distribución de la energía se puede controlar controlando el aporte de calor y controlando independientemente el gradiente de temperatura en una pluralidad de zonas del reactor de una vasija de aparato reactor. El diseño del aparato reactor y del proceso permite una serie de pirólisis y reacciones controladas de craqueo y recombinación de la fase gaseosa para producir productos derivados del petróleo con una consistencia controlada usando alimentaciones mixtas que pueden variar en composición.

La energía calorífica se puede aplicar y retirar independientemente de una vasija de reactor única o de una vasija de reactor que comprende una pluralidad de zonas de reactor secuenciales. Un gradiente de temperatura dentro de un aparato reactor y/o dentro de cada una de las zonas del reactor secuenciales entre la superficie inferior de la vasija del reactor y la parte superior del reactor en un puerto de salida del reactor. Se ha encontrado que los procesos descritos en la presente invención producen productos derivados del petróleo de distribuciones de composición deseadas a partir de una amplia variedad de polímeros mixtos, incluyendo la chatarra de polímeros mixtos. La alimentación de mezclas de composición no consistentes puede producir sustancialmente la misma distribución objetivo de las mismas composiciones de producto, es decir, la deseada "distribución de composición". Por ejemplo, los productos producidos por el proceso en la presente invención pueden incluir composiciones objetivo, el intervalo de porcentaje deseado de cada uno de nafta, destilado, parafina, gasóleo. Los siguientes ejemplos muestran la consistencia controlada en el producto derivado del petróleo. La composición del material de la alimentación hidrocarbonada de la presente invención varía de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 70 % de polietileno, de aproximadamente el 10 % al 70 % de polipropileno, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 30 % de poliestireno y de aproximadamente el 0 % al 30 % de otros materiales poliméricos de uso común, que incluyen, pero no se limitan a, poli(cloruro de vinilo), poliéster, policarbonato, poli(metacrilato de metilo), nailon y similares.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de un sistema 10 para llevar a cabo la pirólisis de polímeros mixtos, según un aspecto de la presente invención. En un ejemplo, el sistema 10 incluye un aparato reactor 12 que es un aparato de doble pared que incluye una vasija de reactor no giratoria 14 y una cubierta externa 16 que rodea sustancialmente la vasija del reactor 14. El aparato reactor 12 es un aparato no giratorio. La cubierta externa 16 está espaciada a una distancia, por ejemplo, una distancia que varía de aproximadamente 2-20 centímetros, desde la vasija del reactor 14 y la pared interna 18 es una pared de separación opcional que se extiende entre la vasija del reactor 14 y la cubierta externa 16 para definir canales de fluido o una cámara 20 y 22. Los canales de fluido 20 y 22 permiten que un medio de intercambio de calor, por ejemplo, fluido gaseoso, circule o se canalice por separado a lo largo del exterior de la vasija del reactor 14 entre la vasija del reactor 14 y la cubierta exterior 16. El aparato reactor 12 incluye opcionalmente aislamiento a lo largo del exterior de la cubierta exterior para reducir las pérdidas térmicas y mejorar la eficiencia térmica del proceso.

Como se muestra en la Figura 2, el aparato reactor 12 tiene una pluralidad de las zonas de reactor, por ejemplo, una primera zona del reactor, Z_1 , y una segunda zona del reactor, Z_2 , que son zonas de reactor sucesivas y adyacentes a lo largo del eje horizontal, eje X, del aparato reactor, por ejemplo, desde el puerto de entrada al puerto de salida. Las zonas de reactor separadas Z_1 y Z_2 están definidas por la ubicación de la pared interna 18 que se extiende a lo largo del perímetro de la superficie externa de la vasija del reactor 14 y que contacta tanto la vasija del reactor 14 como la cubierta externa 16. Aunque la vasija del reactor 14 está abierta al flujo de las alimentaciones en la dirección de la flecha 19 que indica el flujo a lo largo del eje horizontal del reactor, las zonas de reactor Z_1 y Z_2 de la vasija del reactor 12 se definen según la ubicación de la pared interna 18 que separa los canales de fluido, canales de fluido 20 y 22. Como se muestra, por ejemplo, la zona del reactor Z_1 se muestra como la parte aguas arriba 23 del aparato reactor 12 (es decir, se indica aguas arriba de la línea de puntos 24 entre la pared interna 18), e incluye el volumen de la vasija del reactor 14 que está rodeado por el canal de fluido 20 y también el volumen anular del canal de fluido 20. La zona del reactor Z_2 se muestra como la parte aguas abajo 25 del aparato reactor 12 (es decir, se indica aguas abajo de la línea de puntos 24 entre la pared interna 18), e incluye el volumen de la vasija del reactor 14 que está rodeado por el canal de fluido 22 y también el volumen anular del canal de fluido 22.

El aparato reactor para llevar a cabo la pirólisis de los materiales poliméricos mixtos incluye una vasija de reactor 14 y una cubierta externa 16 que rodea la vasija del reactor. Una pared interior 18 se extiende entre la cubierta exterior y la vasija del reactor y define un primer canal de fluido 20 y un segundo canal de fluido 22 para transportar fluido por

separado, por ejemplo, fluido gaseoso, entre la vasija del reactor y la cubierta exterior. El canal de fluido 20 se dispone alrededor de la vasija del reactor 14 en la primera zona del reactor Z_1 y el canal de fluido 22 se dispone alrededor de la vasija del reactor 14 en la segunda zona del reactor Z_2 del aparato reactor 12. El aparato reactor 12 incluye además una pluralidad de fuentes de calor, por ejemplo, H_1 y H_2 , que proporcionan independientemente energía calorífica Q_1 y Q_2 a la primera zona Z_1 y la segunda zona Z_2 , respectivamente. Por ejemplo, las fuentes de calor H_1 y H_2 pueden incluir un quemador de gas alimentado por un combustible gaseoso que fluye a través del conducto 26, cuyo flujo se puede controlar mediante las válvulas 28, 30. Según un ejemplo de la presente invención, las fuentes de calor H_1 y H_2 se disponen dentro del aparato reactor 12 entre la vasija del reactor 14 y la cubierta exterior 16 de las zonas de reactor, Z_1 y Z_2 , respectivamente, a lo largo de la longitud horizontal del aparato reactor 12, es decir, a lo largo del eje horizontal.

En otro ejemplo, las fuentes de calor H_1 y H_2 se disponen fuera o en el exterior del aparato reactor 12. El aporte de energía calorífica se controla independientemente en cada zona del reactor, Z_1 y Z_2 a través de las fuentes de calor H_1 y H_2 y se crea un gradiente de temperatura a lo largo de un segundo eje, por ejemplo, a lo largo del eje vertical, dentro de cada una de las zonas de reactor secuenciales. La energía calorífica por unidad de masa de alimentación cargada en la vasija del reactor puede variar de aproximadamente 0,5 MJ/kg/h a aproximadamente 5 MJ/kg/h.

Los procesos descritos en la presente invención transportan los materiales poliméricos mixtos a lo largo de una pluralidad de sucesivas zonas de reactor que se controlan independientemente. Es decir, la energía calorífica se aplica a y se retira independientemente de cada una de la pluralidad de las zonas de reactor secuenciales mientras se crea un gradiente de temperatura, por ejemplo, un gradiente de temperatura a lo largo del eje vertical, indicado como eje Y dentro de cada una de las zonas de reactor secuenciales. El gradiente o diferencial de temperatura desde la superficie inferior de la vasija de pirólisis 60 que contacta la alimentación a la parte superior de la vasija del reactor 25 en el puerto de salida 54 de la vasija del reactor puede variar ampliamente, por ejemplo, de aproximadamente 50°C a 450°C, en otro ejemplo de aproximadamente 90°C a aproximadamente 350°C, y en otro ejemplo de aproximadamente 100°C a aproximadamente 300°C.

El gas caliente fluye a través de los canales de fluido 20 y 22. En este ejemplo, el gas es el gas de escape generado por la fuente de calor H_1 y que fluye a través del canal 20 y se canaliza por separado, es decir, no se mezcla con el gas de escape generado por la fuente de calor H_2 que fluye a través del canal 22. El aparato reactor puede incluir una fuente de calor opcional, H_3 , para proporcionar energía calorífica Q_3 a un puerto de salida 38 con una abertura 39 para la descarga del residuo sólido del proceso. La fuente de calor H_3 puede estar ubicada interna o externa, o ambas, a la cubierta externa 16 del aparato reactor. Si la fuente de calor H_3 es un quemador de gas que se ubica entre la vasija de reacción 14 y la cubierta exterior 16, el gas de escape se puede hacer circular en el canal de fluido 22 de la zona del reactor Z_2 , por ejemplo. La energía calorífica se aplica a y se retira independientemente de cada una de la pluralidad de las zonas de reactor secuenciales al tiempo que se crea un gradiente de temperatura que se controla desde el polímero fundido y/o los sólidos residuales en la parte de la base de la vasija del reactor hasta los gases en la parte superior de la vasija del reactor.

El aparato reactor 12 incluye canales de venteo 40 y 42 a lo largo de la cubierta exterior 16, en cada zona del reactor Z_1 y Z_2 , respectivamente. Los canales de venteo de los gases de escape 40 y 42 incluyen además un dispositivo de control de flujo 44 y 46, por ejemplo, válvulas, compuertas y combinaciones de los mismos, para controlar la descarga de los gases de escape de los canales 20 y 22, respectivamente. El dispositivo de control del flujo se puede usar para regular independientemente o cerrar completamente el flujo del gas de escape procedente de los canales entre la vasija del reactor y la cubierta exterior para controlar el aporte y/o la retirada de energía de cada zona del reactor para condensar el gas en la vasija del reactor y para controlar las reacciones y los productos del craqueo. Se debe entender que se puede usar un dispositivo de control de flujo que no sea una compuerta para controlar el venteo, y dicho dispositivo puede incluir, pero no se limita a, una válvula, por ejemplo. La retirada de energía calorífica de cada una de la pluralidad de las zonas de reactor secuenciales se puede controlar independientemente para controlar los procesos de craqueo y de recombinación del gas y los productos obtenidos a partir del proceso.

Una corriente gaseosa que incluye los productos en forma de vapor sale del aparato reactor 12 a través de al menos un conducto de producto, por ejemplo 50 y 52, de la vasija del reactor 14. Cada conducto de producto 50, 52 incluye opcionalmente una válvula, por ejemplo, la válvula 54 y la válvula 56, respectivamente, para controlar opcionalmente la descarga de la masa del producto vapor y, en cierto grado, la composición del gas durante todo el proceso. Los productos gaseosos que salen de la vasija del reactor se recogen para su posterior procesamiento. Por ejemplo, el caudal másico promedio del producto gaseoso derivado del petróleo que sale del reactor puede variar de aproximadamente 0,008 kg/l-h a aproximadamente 0,06 kg/l-h (0,5 libras/pie cúbico por hora a aproximadamente 3,5 libras por pie cúbico por hora).

El proceso de la presente invención incluye aplicar energía calorífica a materiales poliméricos mixtos a medida que avanzan a través del aparato reactor. El proceso incluye controlar independientemente la energía calorífica aplicada a las zonas de reactor secuenciales, Z_1 y Z_2 , y controlar independientemente la energía calorífica que se retira de las zonas de reactor secuenciales Z_1 y Z_2 . El control de la energía calorífica crea un gradiente de temperatura dentro de cada zona del reactor, por ejemplo, a lo largo de un eje vertical, indicado como eje Y, desde la base 60 hasta la parte superior 62 de la vasija del reactor 14. Los procesos de ejemplo de la presente invención descritos aquí controlan la energía calorífica aplicada y retirada, promoviendo el reflujo lo que proporciona una serie de reacciones de

condensación, de craqueo y de recombinación de los gases y, asegurando de ese modo la calidad de la composición deseada.

- 5 Haciendo referencia aún a la Figura 2, la alimentación 70 de material polimérico mixto se alimenta a través de la abertura 72 de la entrada 74 del aparato reactor 12. A medida que la alimentación 70 se calienta y transporta a través del aparato reactor, esta experimenta una transformación física a los estados de polímero fundido 76, residuo sólido 78 y gas 80. Los procesos de pirólisis descritos en la presente invención controlan las distintas regiones o interfaces interactivas entre las fases de polímero fundido, de sólidos residuales, y de gases. Los procesos del ejemplo de la presente invención descritos aquí controlan la velocidad de formación del gas, la condensación y, por lo tanto, el tipo de moléculas producidas en la fase gaseosa.
- 10 Durante el funcionamiento, la temperatura del gas generado, indicada como las corrientes gaseosas fluyentes 80 y 81, dentro de la vasija del reactor 14 excede sustancialmente la temperatura de fusión, o las temperaturas de transición vítrea, de los polímeros mixtos en la alimentación. La temperatura dentro de la vasija del reactor 14 variará desde la base 60 del reactor que está en contacto con la masa fundida de polímero y los sólidos residuales, hasta la parte superior 62 del reactor que está en contacto con productos gaseosos.
- 15 Así, en un ejemplo, el proceso para producir productos derivados del petróleo incluye cargar el aparato reactor 12 con la alimentación 70 que comprende material polimérico mixto, y calentar la alimentación mientras avanza la alimentación, y los productos generados por la alimentación, a través del aparato reactor 12. La energía calorífica aplicada a cada una de la pluralidad de las zonas de reactor secuenciales se controla independientemente y la energía calorífica retirada de cada una de la pluralidad de las zonas de reactor secuenciales se controla independientemente.
- 20 Los productos generados por el proceso de pirólisis y recogidos desde reactor incluyen productos gaseosos y sólidos residuales. Los productos gaseosos se recogen para su posterior procesamiento, por ejemplo, tratamiento con hidrógeno, para producir productos derivados del petróleo, tales como combustibles diésel y nafta, por ejemplo.
- El proceso es anaerobio en su funcionamiento. El término "anaerobio" se refiere a un ambiente con un contenido bajo, o casi cero, de oxígeno gaseoso, O₂, o con un contenido "libre" o "no unido" de oxígeno. Es decir, tras el calentamiento inicial de la alimentación que entra al aparato reactor 12 y durante todo el proceso de pirólisis, la vasija del reactor 14 contiene menos de aproximadamente el 3 % en volumen de oxígeno, en una realización alternativa, menos de aproximadamente el 2 % en volumen de oxígeno, en una realización alternativa, menos de aproximadamente el 1 % en volumen de oxígeno, y en una realización alternativa adicional, de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 1 % en volumen de oxígeno, basado en el volumen interno de la vasija del reactor.
- 25 La carga de la alimentación en la vasija del reactor 14 del aparato reactor 12 se controla para adaptarla al tamaño y a la geometría de la vasija del reactor. A medida que el material se transporta a lo largo de la vasija del reactor y a través de las sucesivas zonas del reactor, se reduce la masa de polímero fundido y permanecen los sólidos residuales. Se aplica calor a los sólidos residuales hasta que se secan y contienen menos de aproximadamente el 5 % en peso de carbono, por ejemplo.
- 30 El área promedio de carga de la alimentación tiene en cuenta las variaciones en la profundidad del lecho dependiendo de la geometría del reactor. Es deseable un reactor que tenga una gran relación de área superficial a volumen, por ejemplo, en formas de reactor que sean cilíndricas o rectangulares, por ejemplo, y horizontales, es decir, que tengan una longitud que sea al menos dos o tres veces mayor que la altura. En las realizaciones de ejemplo descritas en la presente invención, el reactor tiene una suficiente profundidad o diámetro para permitir la formación de una capa de sólidos residuales durante la pirólisis y también suficiente un espacio vacío por encima de la alimentación para permitir el craqueo controlado y las reacciones de recombinación de la fase gaseosa. El reactor tiene al menos aproximadamente el 60 % de volumen libre en el calentamiento, y en una realización alternativa al menos aproximadamente el 80 % de volumen libre en el calentamiento, y en otra realización de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 99 % de volumen libre en el calentamiento.
- 35 Del aparato reactor se pueden recoger el producto en forma de productos gaseosos y de productos residuales. Los productos gaseosos se recogen a través de al menos un conducto de producto, por ejemplo, el conducto 50. El perfil de la composición del producto se puede controlar controlando el aporte y la retirada de energía en cada una de las zonas de reactor secuenciales. El total de productos gaseosos producidos a partir del aparato reactor 12 comprende al menos aproximadamente el 50 %, en otro ejemplo al menos aproximadamente el 82 %, en otro ejemplo al menos aproximadamente el 93 %, y en otro ejemplo al menos aproximadamente el 96 % en peso basado en el peso de la alimentación. Los hidrocarburos condensables, basados en el total de productos gaseosos producidos, varían de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 98 % en peso, en otro ejemplo de aproximadamente el 60 % al 90 % en peso. Por ejemplo, los hidrocarburos condensables producidos incluyen de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 60 %, en peso, de al menos una de las tres corrientes, por ejemplo, nafta, destilado o gasóleo basado en el peso de los productos gaseosos producidos. Por ejemplo, los hidrocarburos condensables producidos pueden comprender de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 60 %, en otro ejemplo de aproximadamente el 15 % a aproximadamente el 35 % en peso de nafta, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 60 %, en otro ejemplo de aproximadamente el 15 % a aproximadamente el 35 % en peso de destilado y de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 60 %, en otro ejemplo de aproximadamente el 15 % a aproximadamente el 35 % en peso de fuelóleo basado en el peso del producto gaseoso.
- 60

El control de la velocidad de formación del gas y del tipo de moléculas en la fase gaseosa a través del craqueo y del reformado implica varias variables de control. Por ejemplo, las variables de control incluyen, pero no se limitan a, la velocidad de la alimentación en la vasija del reactor 14, el aporte de energía al aparato reactor 12 o a la vasija del reactor 14, el flujo de calor, el flujo másico del gas fuera de la vasija del reactor 14, el flujo de gas, por ejemplo, gas de escape, a lo largo del exterior de la vasija del reactor, el espesor de la capa de sólido residual, el gradiente térmico horizontal, el gradiente térmico y la forma de la cámara de reacción, la relación de las zonas de sólido residual, líquido, espuma y gas, la ubicación de la retirada del gas producto, el gradiente de temperatura vertical, y el tiempo de residencia del producto gaseoso.

El control de los diversos parámetros se puede lograr mediante al menos uno de control manual, eléctrico y neumático, ya sea por cableado o inalámbrico, o por fibra óptica. El control manual y/o la lógica de control proporcionan un mecanismo de control para el perfil de la temperatura dentro de la vasija del reactor en los ejes vertical y longitudinal, por ejemplo, eje Y y eje X, respectivamente, y para el perfil de la temperatura a lo largo del arco de la vasija del reactor dentro de cada zona del reactor. El aporte de energía y la retirada de energía se producen dentro de cada zona del reactor en función de varias variables, que incluyen, pero no se limitan a, la velocidad de la alimentación, la velocidad de la mezcla, y a la longitud y al perfil de la profundidad de la mezcla fundida de polímero mixto (es decir, polímero fundido) dentro de la vasija del reactor 14.

Se dispone al menos un elemento sensor de temperatura, por ejemplo, un termopar, dentro del aparato reactor 12 para proporcionar una señal de salida que sea representativa de la temperatura de cualquiera de los productos del reactor en el estado gaseoso dentro de la vasija de reacción. El aparato reactor 12 puede incluir sensores de temperatura 95 y 96 en o cerca de los conductos de producto 50 y 52, respectivamente, y también en o cerca de los conductos de venteo del canal 40 y 42 a lo largo de la cubierta exterior 16. La señal de la temperatura puede ser una señal eléctrica que se comunica/aplica al controlador, como se describirá más adelante. El controlador 86 compara esta temperatura medida con una señal de punto de consigna y establece una señal de salida que regula los dispositivos de control del flujo 44 y 46, las válvulas 54 y 56, y sus combinaciones. Si la temperatura medida debe ser menor que un valor predeterminado de temperatura de control, se ajustan las fuentes de calor para aumentar la velocidad de aporte de calor de la primera zona del reactor. Si la temperatura medida en una zona del reactor es mayor que el valor predeterminado de temperatura de control, entonces el regulador de calor se ajusta para aumentar el caudal másico de gas en la cámara o del gas de escape a través del venteo del gas de escape, por ejemplo.

La Figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema 100 para llevar a cabo el proceso para producir productos derivados del petróleo usando una alimentación de polímeros mixtos. El sistema 100 es similar al sistema 10 de la Figura 2 y tiene un aparato reactor 102 con cinco zonas del reactor, las cinco zonas del reactor, Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 y Z_5 . Se debe observar que el número de zonas del reactor puede variar dependiendo de la distribución de la composición del producto a lograr, y el aparato reactor puede incluir de 3 a 10 zonas del reactor, en otro ejemplo de 5 a 15 zonas del reactor, por ejemplo, cada una de las cuales se puede controlar de forma independiente. Cada una de las sucesivas zonas del reactor incluye una pared 18 que define cinco canales de flujo (por ejemplo, cámaras) que permiten que un medio de intercambio de calor, por ejemplo, gases de escape, circule o se canalice por separado a lo largo del exterior de la vasija del reactor 14 entre la vasija del reactor 14 y la cubierta exterior 16. El aparato reactor 102 también incluye una pluralidad de fuentes de calor H1, H2, H3, H4 y H5, respectivamente, que alimentan de forma independiente el calor a cada una de las zonas del reactor, y una pluralidad de sensores de temperatura 91, 93, 140, 142 y 144. El aparato reactor 102 también incluye conductos de venteo para los gases de escape 40, 42, 120, 122 y 124, que incluyen dispositivos de control de flujo 44, 46, 130, 132 y 134, por ejemplo, válvulas, compuertas, y combinaciones de las mismas. El aparato 102 incluye opcionalmente sensores 92, 94, 150, 152 y 154 para el control eléctrico de los dispositivos de control de flujo, tales como válvulas, compuertas, y combinaciones de las mismas.

En cualquiera de los procesos descritos en la presente invención, incluido, por ejemplo, el proceso descrito anteriormente con respecto a la Figura 2 y a la Figura 3, la alimentación y los productos generados por la alimentación se transportan a lo largo de las zonas del reactor secuenciales por medio de agitación. El aparato reactor 12 o la vasija del reactor 14, o ambos, de la Figura 2 y de la Figura 3, se puede orientar en un ángulo, ángulo α , a lo largo del eje horizontal X. En otro ejemplo, la vasija del reactor es paralela al suelo y el ángulo, α , es cero. El ángulo del eje horizontal del reactor con respecto al eje horizontal X, ángulo α , puede variar de aproximadamente 20 grados a aproximadamente -20 grados, en otro ejemplo de aproximadamente 10 grados a aproximadamente -5 grados, y en otro ejemplo de aproximadamente 5 grados a aproximadamente -5 grados, por ejemplo.

El medio de agitación dentro de la vasija del reactor 14 es un tornillo helicoidal 112 de la Figura 3. El tornillo helicoidal 112 puede incluir termopares 116 a lo largo de la cresta helicoidal 114 o a lo largo de la raíz del tornillo 118 que pueden controlar la temperatura a lo largo de varias ubicaciones dentro de la vasija del reactor 14, por ejemplo, en ubicaciones a lo largo de los ejes horizontal, vertical y radial.

Los materiales poliméricos pueden incluir polímeros termoplásticos tales como, por ejemplo, polietileno, polipropileno, poliéster, copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS, por sus siglas en inglés), poliamida, poliuretano, poliéteres, policarbonatos, poli(óxidos), poli(sulfuros), poliarilatos, polietercetonas, polieterimidias, polisulfonas, poliuretanos, alcoholes de polivinilo, y polímeros producidos por polimerización de monómeros, tales como, por ejemplo, dienos, olefinas, estirenos, acrilatos, acrilonitrilo, metacrilatos, metacrilonitrilo, polímeros de diácidos y dioles, lactonas, polímeros de diácidos y diaminas, lactamas, haluros de vinilo, ésteres de vinilo, copolímeros en bloque de

los mismos, y aleaciones de los mismos. Polímeros que producen material halogenado bajo pirólisis, por ejemplo, poli(cloruro de vinilo), poli(tetrafluoroetileno) y otros polímeros halogenados, pueden ser corrosivos, pero se pueden tolerar.

5 Los materiales poliméricos también pueden incluir polímeros termoestables tales como, por ejemplo, resinas epoxídicas; resinas fenólicas; resinas de melamina; resinas alquídicas; resinas de éster de vinilo; resinas de poliéster insaturado; poliuretanos reticulados; poliisocianuratos; elastómeros reticulados, que incluyen, pero no se limitan a, poliisopreno, polibutadieno, estireno-butadieno, estireno-isopreno, polímero de monómeros de etileno-propileno-dieno; y mezclas de los mismos.

10 Los materiales poliméricos mixtos también pueden incluir biomateriales sostenibles tales como biopolímeros. Los biopolímeros pueden ser sostenibles, neutrales en carbono y renovables porque están hechos a partir de materiales vegetales que se pueden cultivar de manera indefinida. Estos materiales vegetales provienen de cultivos agrícolas no alimentarios. Ejemplos de biopolímeros incluyen, pero no se limitan a, ácido poliláctico (PLA, por sus siglas en inglés) y polihidroxialcanoato (PHA por sus siglas en inglés) que se usan en láminas de varias capas para aplicaciones de envasado de alimentos, por ejemplo.

15 El material polimérico que se encuentra en el material de chatarra puede tener una combinación de polímeros termoplásticos y termoendurecibles, por ejemplo, neumáticos, pintura, adhesivo, residuos de trituradoras de automóviles (pelusas), etc., y se puede usar como alimentación según los diversos ejemplos del proceso pirolítico de la presente invención.

20 La alimentación de polímeros mixtos puede incluir cargas, contaminantes, etc. en promedio en el intervalo de aproximadamente el 2 % a aproximadamente el 25 % en peso, en otro ejemplo en el intervalo de aproximadamente el 3 % a aproximadamente el 20 % en peso, y en otro ejemplo en el intervalo de aproximadamente el 3 % a aproximadamente el 15 % en peso, y en otro ejemplo menos de aproximadamente el 7 % en peso, todo basado en el peso promedio de alimentación sólida.

25 La alimentación se introduce en el reactor como polímero sustancialmente triturado y, en otro ejemplo, al menos una parte de la alimentación puede estar presente en otras formas. Por ejemplo, la alimentación puede estar presente en la forma de polímero moldeado o extruido, lámina, película o películas de múltiples capas, y lámina de espuma o productos moldeados.

30 Los sistemas 10 y 100 de las Figuras 2 y 3 incluyen un controlador 86 para el control eléctrico de cualquiera de los parámetros de control discutidos en la presente invención, por ejemplo, temperatura, velocidad de la alimentación, caudal másico del gas de escape, intervalo de flujo del gas producto, velocidad de agitación, y velocidad del extractor de los residuos inertes sólidos.

35 El controlador 86 incluye un procesador 88 y una memoria 89. La memoria 89 es un medio no transitorio, legible por máquina que se puede emplear para implementar los sistemas y métodos descritos en la presente invención, por ejemplo, basados en instrucciones ejecutables por computadora (por ejemplo, lógica de computadora, lógica de control, etc.) que se ejecutan en el controlador 86. El controlador 86 puede estar integrado con el aparato reactor e implementarse como un componente del aparato reactor. En otro ejemplo, el controlador 86 se puede implementar como un sistema informático independiente y/o puede operar en un entorno en red y en comunicación con uno o más sistemas informáticos en red de uso general, sistemas informáticos integrados, enrutadores, conmutadores, dispositivos de servidor, dispositivos cliente, varios dispositivos intermedios/nodos. Las conexiones lógicas pueden incluir una red de área local (LAN, por sus siglas en inglés) y una red de área amplia (WAN, por sus siglas en inglés). En algunos ejemplos, un usuario puede introducir comandos e información en el controlador 86 a través de un dispositivo de entrada de usuario (no mostrado), tal como un teclado, un dispositivo señalador (por ejemplo, un ratón), una pantalla táctil, etc. Estos y otros dispositivos de entrada a menudo están conectados al procesador 88 a través de una interfaz correspondiente que está acoplada al sistema. El controlador 86 está conectado opcionalmente a la pantalla 90 para la revisión de la salida por el controlador 86. La Figura 2 también muestra la memoria 89 que incluye instrucciones ejecutables por computadora (es decir, lógica) para determinar el control adecuado del proceso.

45 En las Figuras 4a y 4b se muestra una ilustración del diagrama de flujo para implementar un método 200 para controlar el proceso para hacer productos derivados del petróleo. El método 200 comienza detectando la temperatura del gas en la primera zona del reactor (Figuras 2 y 3), como se representa en el recuadro 202. El método incluye recibir una señal de datos que incluye una lectura de la temperatura del gas presente en la primera zona del reactor, como se muestra en el recuadro 204. La temperatura del gas se puede encontrar en el canal de la primera zona del reactor o en la parte superior de la vasija del reactor cerca del puerto de salida del gas de la primera zona del reactor. Si la lógica en 204 determina que la temperatura del gas en la primera zona del reactor es menor que una temperatura mínima predeterminada, entonces el controlador ajustará la fuente de calor H1 representada en el recuadro 2016 para aumentar el calor a la primera zona de calor Z1. La lógica también puede recibir la temperatura del gas en la segunda zona de calor Z2 en la recuadro 208 o puede verificar si la temperatura es demasiado alta y está por encima de un máximo predeterminado de temperatura en 210. Si la lógica en el recuadro 214 determina que la temperatura es demasiado alta, entonces la compuerta en Z1 se ajustará a 216 para controlar la temperatura dentro del intervalo deseado. El controlador también verificará la temperatura del gas en la segunda zona del reactor para determinar si

la fuente de calor y/o la compuerta se deben ajustar a 224 y 228, respectivamente, en la segunda zona del reactor Z2. La Figura 4b muestra los pasos lógicos posteriores del controlador para determinar el flujo de calor y el caudal de la corriente gaseosa del gas producto para controlar la velocidad de la alimentación y las velocidades de los agitadores. Además, el controlador recibirá datos del sensor que indican la cantidad de hidrocarburos en los sólidos residuales y entonces controlará en consecuencia la velocidad de retirada de los sólidos.

El controlador para controlar un proceso para producir productos derivados del petróleo en un aparato reactor incluye un primer puerto de control para recibir datos procedentes de una primera zona del reactor y un primer puerto de comunicaciones para transmitir datos a la primera zona del reactor del aparato reactor. El dispositivo informático incluye una unidad de procesamiento en comunicación con el primer puerto de control y con el primer puerto de comunicaciones, y la unidad de procesamiento incluye la lógica de control. La lógica de control es capaz de recibir una señal de datos del primer puerto de control que incluye una lectura de la temperatura de un producto gaseoso en la primera zona del reactor y determinar al menos una de la velocidad del aporte de calor en la primera zona del reactor y del caudal másico del gas de escape que salen del aparato reactor en la primera zona del reactor.

Por consiguiente, en un ejemplo, el controlador para controlar un proceso para producir productos derivados del petróleo en un aparato reactor incluye un primer puerto de control para recibir datos procedentes de una primera zona del reactor y un segundo puerto de control para recibir datos procedentes de una segunda zona del reactor del aparato reactor; un primer puerto de comunicaciones para transmitir datos a la primera zona del reactor y un segundo puerto de comunicaciones para transmitir datos a la segunda zona del reactor del aparato reactor. El controlador incluye una unidad de procesamiento en comunicación con el primer y segundo puertos de control y con el primer y segundo puertos de comunicaciones, y la unidad de procesamiento incluye la lógica de control. La lógica de control es capaz de recibir una señal de datos del primer puerto de control que incluye una lectura de la temperatura de un producto gaseoso en la primera zona del reactor y una señal de datos del segundo puerto de control que incluye una lectura de la temperatura de un producto gaseoso en la segunda zona del reactor, y determinar al menos uno de la velocidad del aporte de calor en la primera zona del reactor y del caudal másico del gas de escape en la primera zona del reactor.

El control de la velocidad de formación del gas y del tipo de moléculas en la fase gaseosa a través del craqueo y del reformado implica varias variables de control. Por ejemplo, las variables de control incluyen, pero no se limitan a, la velocidad de la alimentación en la vasija del reactor 14, el aporte de energía al aparato reactor 12 o a la vasija del reactor 14, el flujo de calor, el caudal del producto gaseoso fuera de la vasija del reactor 14, el flujo de calor a lo largo del exterior de la vasija, el espesor del residuo inerte sólido, el gradiente térmico horizontal, el gradiente térmico radial, la forma de la cámara de reacción, la relación de las zonas de residuo inerte sólido, líquido, espuma, y de gas, la ubicación de la eliminación del gas producto, el gradiente térmico vertical, y el tiempo de residencia del producto gaseoso.

El control de los diversos parámetros de control se puede controlar neumáticamente, manualmente, mediante control eléctrico, y combinaciones de los mismos, ya sea por cableado o inalámbrico, o por fibra óptica. El control manual y/o la lógica de control proporcionan un mecanismo de control para el perfil de la temperatura dentro de la vasija del reactor en los ejes vertical y horizontal, por ejemplo, eje Y y eje X, respectivamente, y para el perfil de la temperatura a lo largo del arco de la vasija del reactor dentro de cada zona del reactor de la vasija del reactor. El control de la energía, por ejemplo, el aporte de energía y la retirada de energía, se produce dentro de cada zona del reactor en función de varias variables, que incluyen, pero no se limitan a, la velocidad de la alimentación, la velocidad de la mezcla, y la longitud y el perfil de la profundidad de la mezcla fundida de polímero mixto (es decir, polímero fundido) dentro de la vasija del reactor 14.

Se dispone un elemento sensor de temperatura, por ejemplo, un termopar, dentro de la vasija del aparato reactor 11 para proporcionar una señal de salida que sea representativa de la temperatura de cualquiera de los productos del reactor en el estado gaseoso dentro de la vasija de reacción. Esta señal puede ser una señal eléctrica que se comunica/aplica al controlador. El controlador 86 compara esta temperatura medida con una señal de punto de consigna y establece una señal de salida que regula la compuerta 44. Si la temperatura medida debe ser menor que un valor predeterminado de la temperatura de control, se ajustan las fuentes de calor para aumentar la velocidad del aporte de calor de la primera zona del reactor. Si la temperatura medida es mayor que el valor predeterminado de la temperatura de control, entonces se ajusta la válvula de calor o el regulador 46 para aumentar el caudal másico de los gases de escape a través del venteo de los gases de escape 40.

Se han incluido ejemplos para describir más claramente las realizaciones particulares de la invención y las ventajas asociadas. Sin embargo, hay una amplia variedad de realizaciones dentro del alcance de la presente invención, que no se deberían limitar a los ejemplos particulares proporcionados en la presente invención.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos ilustran el proceso para producir productos de combustible. Las pruebas mostradas a continuación se realizaron usando un aparato reactor de tamaño de investigación y un aparato reactor de tamaño comercial. Los resultados de los productos derivados del petróleo producidos en los siguientes ejemplos se muestran en las Figuras 5 a 10, e ilustran las composiciones de producto obtenidas a partir de varias pruebas para diferentes

ES 2 800 326 T3

composiciones de la alimentación a diferentes cargas producidas con calidad consistente de nafta, destilado y fuelóleo pesado.

Ejemplos 1 a 6

5 Se usó un reactor cilíndrico, horizontal, con una vasija interna y una cubierta externa (como se muestra en la Figura 2) para las pruebas de pirólisis discontinua descritas a continuación. El volumen del reactor es de aproximadamente 19 litros de volumen de trabajo. La agitación se proporcionó por un agitador de paletas que limpiaba la pared de la vasija a una velocidad lenta (1-10 RPM). La vasija se calentó mediante un quemador de cinta colocado debajo de la vasija y el calor se controló manteniendo la temperatura de los gas de combustión en un punto de consigna. El producto líquido se recogió haciendo pasar el vapor de pirólisis a través de un condensador.

10 Se usaron dos composiciones diferentes de mezclas de polímeros de gránulos de resina virgen y de materiales triturados, y en la Tabla 1 mostrada a continuación se muestran las composiciones de la mezcla, que ilustra la distribución de los componentes de polímero.

Tabla 1

Composiciones de la mezcla de la alimentación, % en peso de resina

Alimentación	PE	PP	PS	N6	PET*	TPU	PVC*	Total %
1	35 %	25 %	20 %	3 %	7 %	5 %	5 %	100
2	25 %	35 %	20 %	9 %	4%	4%	3 %	100

15 * Resina compuesta triturada; todas las otras resinas eran vírgenes, resinas no compuestas.

Para calcular la densidad en estado fundido de la mezcla de polímeros de la alimentación se usaron las densidades en estado fundido de las resinas individuales y las cantidades de cada resina como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Cálculo de la densidad en estado fundido de las composiciones de la mezcla de la alimentación, g/cc

Densidad en estado fundido de la resina g/cc	PE	PP	PS	Nailon 6	PET*	TPU	PVC*	Formulación, g/cc a la temperatura de fusión
	0,72	0,70	0,70	0,97	1,20	0,97	1,30	
Alimentación 1	0,25	0,18	0,14	0,03	0,08	0,05	0,07	0,79
Alimentación 2	0,18	0,25	0,14	0,09	0,05	0,04	0,04	0,78

20 * Resinas compuestas trituradas procedentes del reprocesador de resinas comerciales

Para determinar el volumen libre del reactor para cada composición y carga se calculó la densidad en estado fundido de las diversas mezclas de polímeros de la alimentación como se enumera en la Tabla 2. Los niveles del volumen libre inicial representan el volumen libre en el reactor antes del comienzo de la pirólisis.

25 La alimentación 3 se preparó a partir de pacas de chatarra de plástico #3 - #7 trituradas obtenidas de una instalación comercial de recuperación de material. Estas pacas contenían #1 – poliéster residual; #2 - polietileno de alta densidad restante después de la recuperación de botellas y jarras que fueron recicladas mezcladas con #3 – poli(cloruro de vinilo), #4 - polietileno baja densidad y lineales de baja densidad, #5 - polipropileno, #6 – poliestireno, y #7 - Otros plásticos.

30 En los ejemplos se usaron tres niveles diferentes de carga de material de alimentación, como se muestra en la Tabla 3, que proporcionan diferentes niveles de volumen libre.

Tabla 3

Volumen de la vasija 19.473 cc³ (1.188,3 pulgada³)

Ejemplo	Tamaño de muestra	Volumen de material fundido, cc/carga	Composición de mezcla de alimentación	Volumen de material fundido %	Volumen libre %
1	454 g (1 lb)	583	Alimentación 2	3	97
2	1.816 g (4 lb)	2.288	Alimentación 1	12	88
3	1.816 g (4 lb)	2.334	Alimentación 2	12	88
4	4.540 g (10 lb)	5.721	Alimentación 1	29	71
5	4.540 g (10 lb)	5.835	Alimentación 2	30	70
6	4.540 g (10 lb)	5.783 ¹	Alimentación 3	~29 ¹	~71 ¹

¹ Basado en la densidad estimada de 0,785 g/cc para la Alimentación 3. Se usó el mismo material en el experimento de la Escala Comercial, Ejemplo 7.

5 Para cada prueba, se cargaron los materiales poliméricos mixtos en la vasija de pirólisis la cual luego se selló y se purgó con argón para reducir el nivel de oxígeno a menos del 1 %. El recipiente se calentó para pirolizar el material. Se registró el peso del líquido y el rendimiento de líquido. Se realizaron pruebas por duplicado para cada carga y para cada composición de mezcla de polímeros, con la excepción de la carga de 454 g (1 libra) (es decir, 97 % de volumen libre), en la que sólo se ejecutó por duplicado la composición de la mezcla de la alimentación 2. Se promediaron los resultados de las pruebas duplicadas.

10 La calidad de los productos líquidos se evaluó mediante el análisis con la norma ASTM D6352 (destilación simulada a alta temperatura) sobre una muestra compuesta de líquido procedente de las pruebas duplicadas de la misma composición de la mezcla de la alimentación y del mismo volumen libre. Los datos se muestran en la Tabla 4 mostrada a continuación, y se representan en las Figuras 5, 6 y 7 que muestran la temperatura frente a la pérdida de peso porcentual de los productos gaseosos condensables derivados del petróleo. Las gráficas de las Figuras 5, 6 y 7 muestran la variación del producto resultante entre pruebas de diferentes composiciones de la alimentación (Tabla 1) al mismo volumen libre de 71 %, 88 % y 97 %, respectivamente. La gran proximidad de las gráficas en cada gráfico muestra que el proceso en la presente invención produjo un producto de alta consistencia entre pruebas que tenían muy diferentes composiciones de mezcla de la alimentación. La Figura 5 que representa las pruebas con 4.540 g (10 libras) de material de alimentación (71 % de volumen libre) en el reactor muestra la calidad consistente del producto derivado del petróleo incluso con las tres composiciones diferentes de la alimentación. Las mezclas de polímeros de las tres composiciones diferentes de la alimentación se describen en la Tabla 2 y siguientes. La Figura 6 muestra la comparación de los resultados de los Ejemplos 2 y 3, la carga de 1.816 g (4 libras) de material de alimentación (88 % de volumen libre) en el reactor muestra nuevamente una calidad consistente del producto líquido.

15 La Figura 8 es un gráfico de la variación porcentual frente al peso porcentual destilado entre pruebas para la carga de 1.816 g (4 libras) (88 % de volumen libre) y la carga de 4.550 g (10 libras) (71 % de volumen libre). También se muestra la variación porcentual promedio para cada carga frente al peso porcentual destilado. El gráfico muestra que la consistencia de los productos derivados del petróleo está dentro de aproximadamente el 4 % y menos de aproximadamente el 2 % en promedio cuando el volumen libre es el 88 % y es menos de aproximadamente el 5 % y menos de aproximadamente el 3 % en promedio cuando el volumen libre es el 71 %. Una mayor consistencia entre las composiciones dio como resultado una prueba con un mayor volumen libre.

Tabla 4

ASTM D 6352 Destilación simulada de alta temperatura						
	97 % de Volumen libre	88 % de Volumen libre		71 % de Volumen libre		
Pérdida de peso %	Ejemplo 1 Alimentación 2 1#	Ejemplo 2 Alimentación 1 4#	Ejemplo 3 Alimentación 2 4#	Ejemplo 4 Alimentación 1 10#	Ejemplo 5 Alimentación 2 10#	Ejemplo 6 Alimentación 3 10#
Temperatura de destilación °C						
0	25	25	25	25	25	25
5	172	178	174	190	194	188
10	175	179	192	205	211	207
15	188	198	215	237	233	230
20	203	250	242	250	260	241
25	229	279	270	287	284	273
30	237	281	288	309	300	300
35	255	299	310	345	310	318
40	280	315	329	386	323	349
45	307	350	359	403	380	390
50	325	399	403	417	419	399
55	374	443	441	475	500	418
60	401	505	487	489	526	450
65	455	540	510	575	550	501
70	508	555	547	591	577	538
75	549	574	583	608	608	579
80	578	609	599	617	627	602
85	605	624	625	660	645	627
90	617	638	666	689	659	672
95	632	644	674	717	667	703
100	660	673	689	719	690	720

30 Ejemplo 7

La calidad del producto líquido procedente de una prueba a escala comercial en un proceso de alimentación continua se determinó como una comparación con las pruebas en unidades discontinuas más pequeñas. El reactor a escala comercial es un reactor cilíndrico, horizontal, agitado de aproximadamente 104.775 l y se usó para convertir plástico triturado a líquido hidrocarbonado, gas no condensable y sólidos residuales. El peso de la alimentación de polímero mixto de plástico triturado y el volumen de la vasija del reactor se usaron para calcular la densidad en estado fundido de la mezcla de polímeros de la alimentación. La densidad en estado fundido de la alimentación de polímeros de la alimentación se calculó para determinar el volumen libre del reactor y se enumera en la Tabla 5.

Tabla 5

Volumen de la vasija comercial = 104.775 l				
Masa en la vasija		Volumen a una densidad en estado fundido de 0,78 g/cc	Volumen de fundido l	Volumen de fundido %
500 kg	500.000 g	641.026 cc	641	0,612 %

El reactor a escala comercial se cargó con aproximadamente 475 kg de la Alimentación 3. El vasija se purgó con nitrógeno presurizando a una presión interna de 517 mm Hg (10 psig) y se venteó tres veces, seguido de una purga a 414 mm Hg antes de calentar el recipiente. Una vez que se estabilizó la producción de líquido, se añadieron fragmentos adicionales de polímero a la vasija a través de un alimentador de extrusora a una velocidad promedio de aproximadamente 500 kg/h. El plástico restante dentro de la vasija se procesó hasta que no hubo producción apreciable de gas o de líquido. A continuación, se detuvo el calor aplicado a la unidad. Se convirtieron un total de 5.665 kg a hidrocarburos líquidos, gas hidrocarbonado no condensable, y residuo sólido e inerte.

La Figura 9 es un gráfico de la temperatura frente a la pérdida de peso porcentual de los productos gaseosos condensables derivados del petróleo de los Ejemplos 1 a 7. La Figura 9 muestra la calidad consistente del producto entre las diversas cargas de polímeros. La gran proximidad de las gráficas en cada gráfico muestra que el proceso en la presente invención produjo un producto de alta consistencia entre pruebas con cantidades muy diferentes de carga.

La Figura 10 es un gráfico de una señal de cromatografía del derivado de petróleo líquido procedente de la parte condensable del producto gaseoso derivado del petróleo del Ejemplo 7.

En la Tabla 6 mostrada a continuación se enumera el rendimiento de líquido de todas pruebas de los Ejemplos 1 a 7.

Tabla 6

N.º Ejemplo	Composición de la alimentación	Volumen ¹ Libre %	Rendimiento %
1	Alimentación 2	97,10	79,20 ²
2	Alimentación 1	88,64	80,35 ²
3	Alimentación 2	88,42	86,80 ²
4	Alimentación 1	71,61	86,00 ²
5	Alimentación 2	71,04	92,95 ²
6	Alimentación 3 ³	71,32	78,00
7	Alimentación 3 ³	99,39	59,65

¹ Basado en el volumen de fundido de la carga de polímero.

² Promedio de 2 pruebas.

³ Material de alimentación procedente de pacas trituradas #3 - #7; composición química exacta indeterminada.

La descripción detallada y los ejemplos anteriores se han proporcionado únicamente para mayor claridad. No se deben entender limitaciones innecesarias a lo anterior. Aunque la invención se ha descrito con referencia a varias realizaciones específicas, la invención no se limita a los detalles exactos mostrados y descritos, ya que para un experto en la materia se incluirán variaciones obvias. La descripción no se debe interpretar en un sentido limitado. Diversas modificaciones de las realizaciones descritas, así como realizaciones alternativas de las invenciones, serán evidentes para los expertos en la materia al hacer referencia a la descripción de la invención. Por lo tanto, se contempla que las reivindicaciones adjuntas cubrirán tales modificaciones que caen dentro del alcance de la invención. Dichas mejoras, cambios y modificaciones dentro de la habilidad de la técnica están destinadas a ser cubiertas por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un proceso para producir productos derivados del petróleo que comprende:
- cargar una alimentación que comprende materiales poliméricos mixtos en una vasija de reactor de un aparato reactor;
- 5 aplicar energía calorífica a la vasija del reactor y convertir la alimentación en material fundido mientras avanza el material fundido a través del aparato reactor en una operación anaeróbica; y controlar el aporte de energía a la vasija del reactor y controlar un gradiente de temperatura dentro de la vasija del reactor para producir un producto gaseoso derivado del petróleo,
- en donde el volumen libre de la vasija del reactor es al menos el 60 % tras el calentamiento inicial,
- en donde la vasija del reactor no gira durante el proceso,
- 10 en donde la composición de la alimentación varía de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 70 % de polietileno, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 70 % de polipropileno, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 30 % de poliestireno y de aproximadamente el 0 % a aproximadamente el 30 % de otros materiales poliméricos de uso común tales como poli(cloruro de vinilo), poliéster, policarbonato, poli(metacrilato de metilo), nailon y similares,
- 15 en donde el aparato reactor comprende una pluralidad de zonas secuenciales del reactor a lo largo del eje horizontal del aparato reactor, y el material fundido se hace avanzar a través de la pluralidad de zonas del reactor a medida que avanza a través de la vasija del reactor del aparato reactor,
- en donde la alimentación y los productos generados por la alimentación se transportan a lo largo de zonas secuenciales del reactor por medio de agitación, en donde dicha agitación se proporciona por al menos un tornillo helicoidal, y
- 20 en donde el aporte de energía al aparato reactor se controla controlando la distribución de la energía dentro de cada una de la pluralidad de las zonas del reactor para controlar el craqueo y las reacciones de recombinación generadas por la pirólisis de la alimentación.
- 25 2. El proceso de la reivindicación 1, en donde el volumen libre de la vasija del reactor es al menos aproximadamente el 80 %, y en donde el proceso no contiene catalizador añadido.
3. El proceso de la reivindicación 1, en donde el proceso es un proceso semicontinuo o continuo, y en donde la composición de la alimentación varía durante el proceso, y en donde el gradiente de temperatura es el diferencial de temperaturas entre la temperatura de la superficie inferior de la vasija del reactor y la temperatura del producto gaseoso derivado del petróleo a lo largo de la parte superior de la vasija del reactor, y varía de 50°C a 450°C.
- 30 4. El proceso de la reivindicación 1, en donde la temperatura del producto gaseoso derivado del petróleo que sale del reactor por el puerto de salida de los gases varía de aproximadamente 315°C a aproximadamente 510°C, y en donde el producto gaseoso fungible obtenido a partir del proceso varía del 50 % al 98 % de la alimentación en peso.
5. El proceso de la reivindicación 1, en donde la distribución de la energía de cada una de la pluralidad de las zonas del reactor se controla controlando un gradiente de temperatura dentro de cada una de la pluralidad de las zonas del reactor.
- 35 6. El proceso de la reivindicación 1, en donde el gradiente de temperatura dentro de cada una de la pluralidad de las zonas del reactor se controla transportando el gas de escape por un primer canal a lo largo de una primera zona del reactor del aparato reactor, y transportando el gas de escape por un segundo canal a lo largo de una segunda zona del reactor del aparato reactor.
- 40 7. El proceso de la reivindicación 1, que comprende recoger el producto gaseoso, y en donde los productos gaseosos recogidos comprenden al menos aproximadamente el 50 % en peso de hidrocarburos condensables basado en el peso del productos gaseoso.
8. El proceso de la reivindicación 1, en donde los hidrocarburos condensables producidos comprenden: de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 60 % en peso de cada uno de una nafta, un destilado y fuelóleo
- 45 basado en el peso del producto gaseoso.
9. El proceso de la reivindicación 1, en donde el aparato reactor incluye una pared interna que se extiende entre la vasija del reactor y la cubierta exterior para definir un primer canal de una primera zona del reactor y un segundo canal o cámara de una segunda zona del reactor para transportar por separado los gases de escape entre la vasija del reactor y la cubierta exterior del aparato reactor.

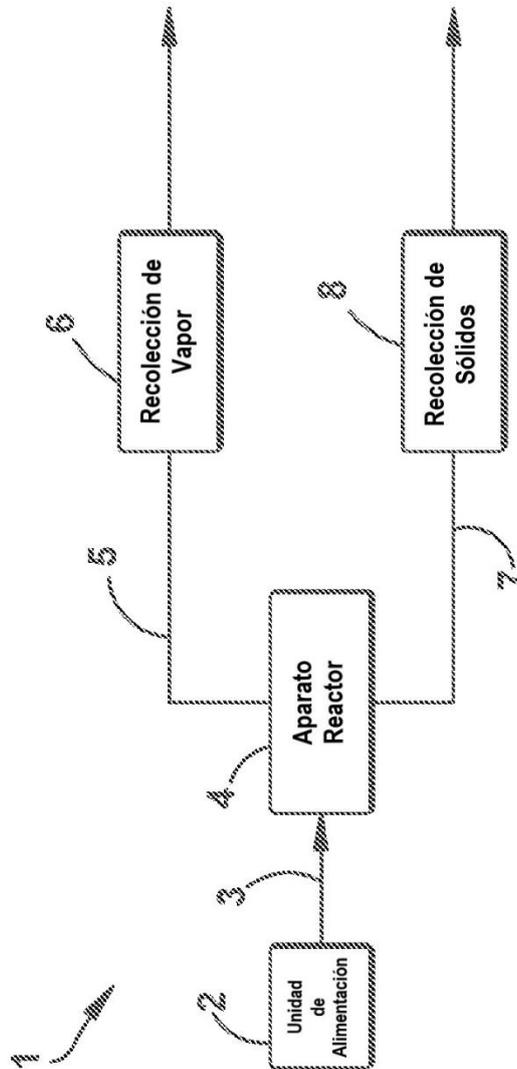


Figura 1

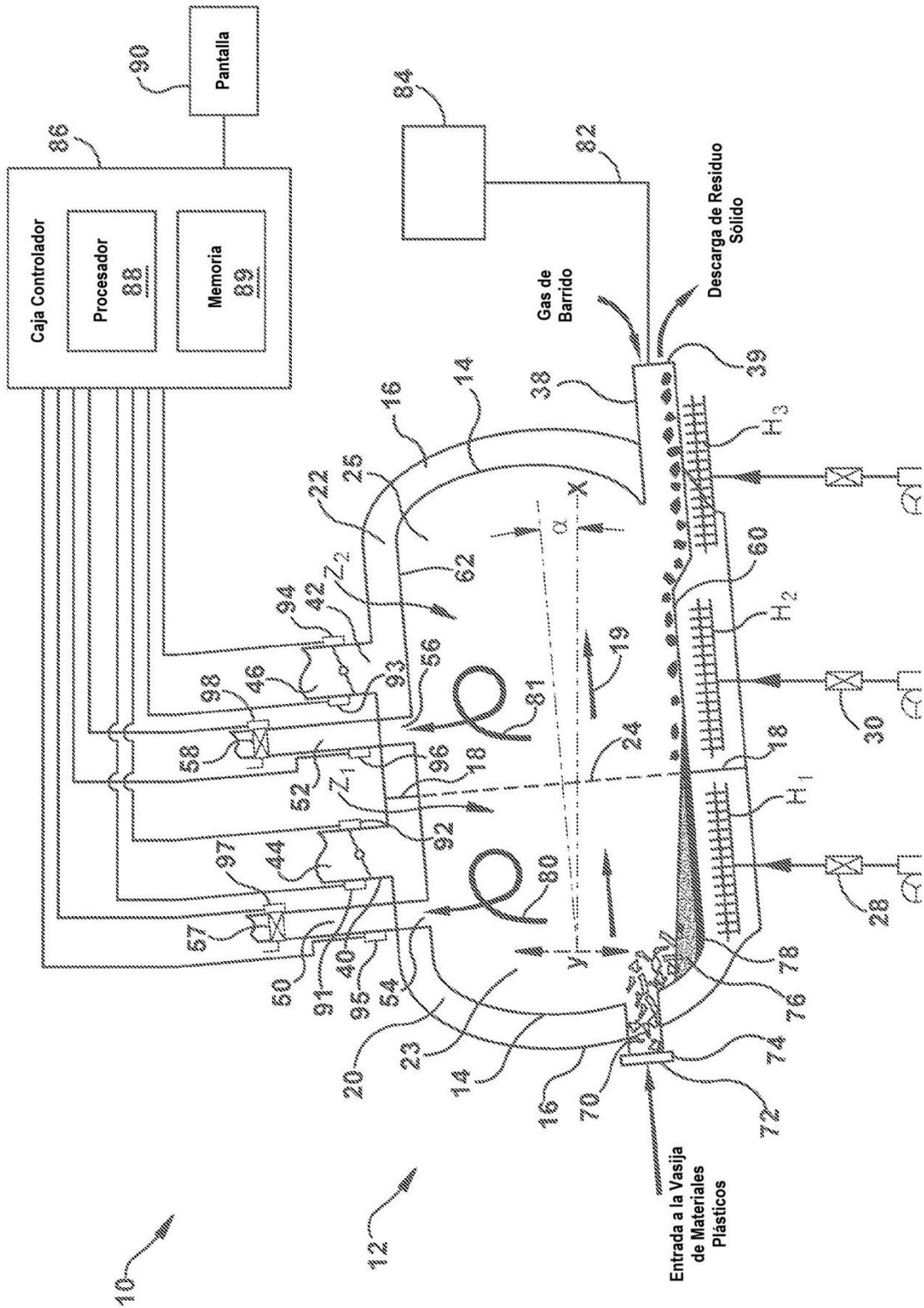


Figura 2

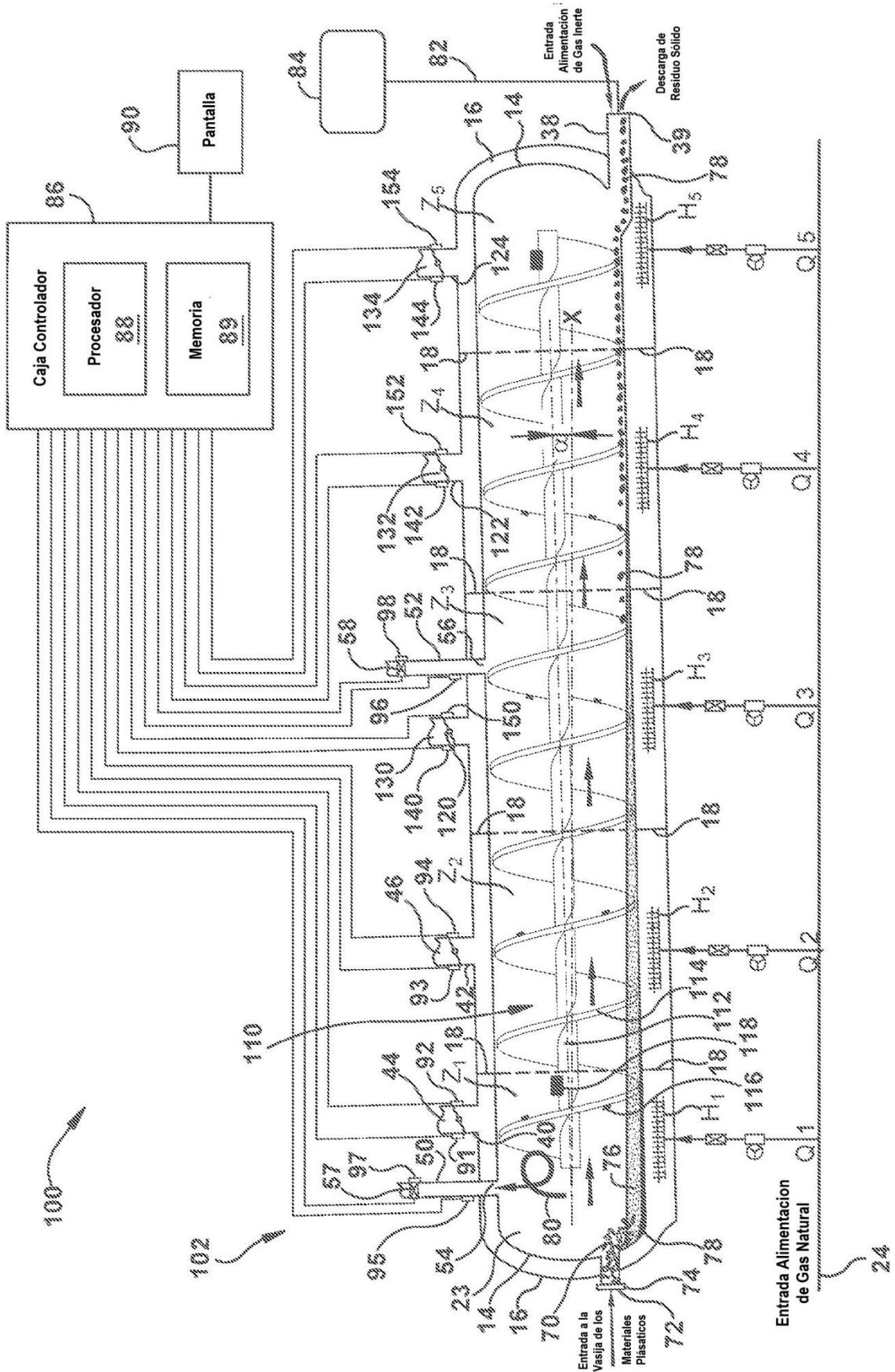


Figura 3

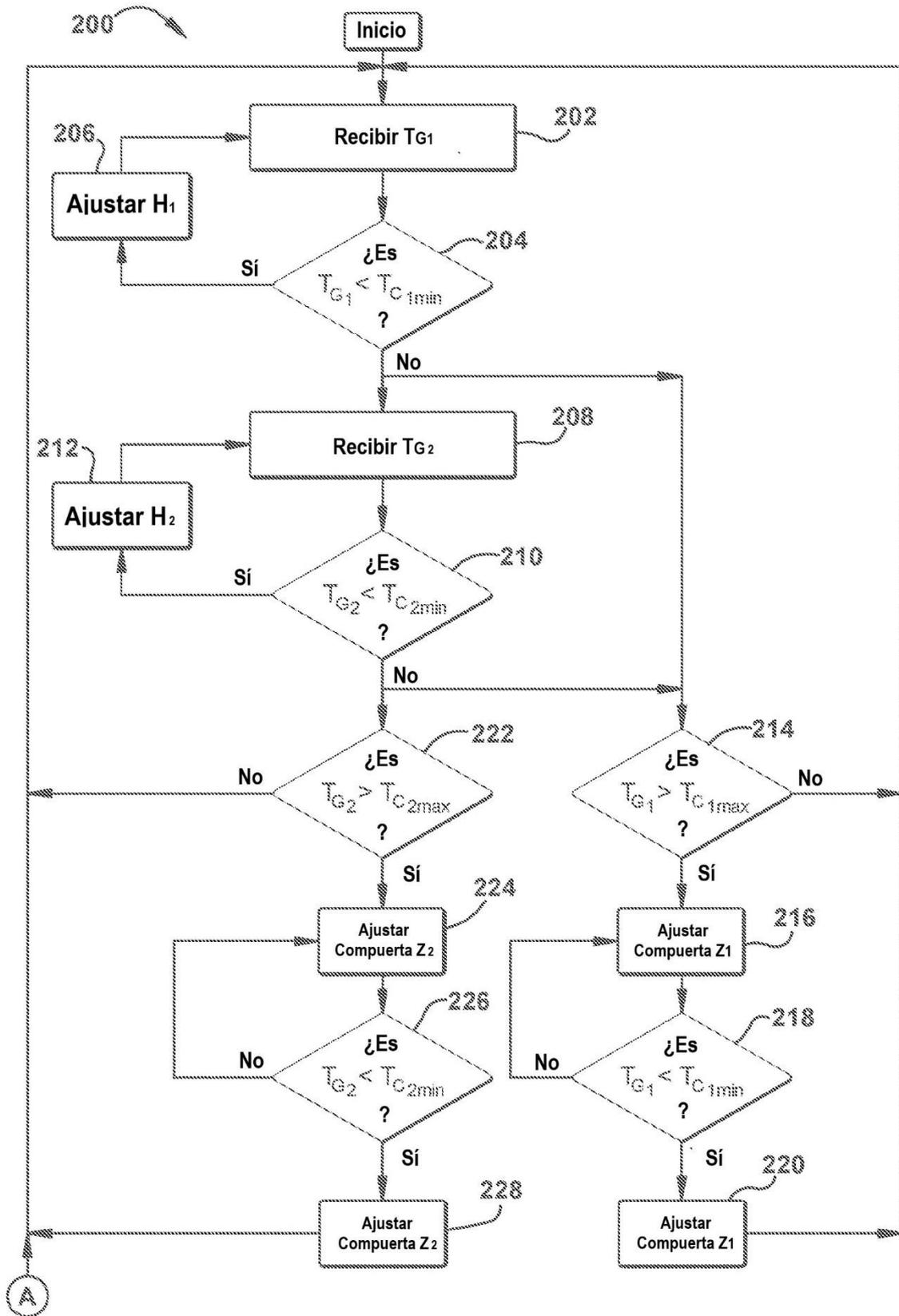


Figura 4a

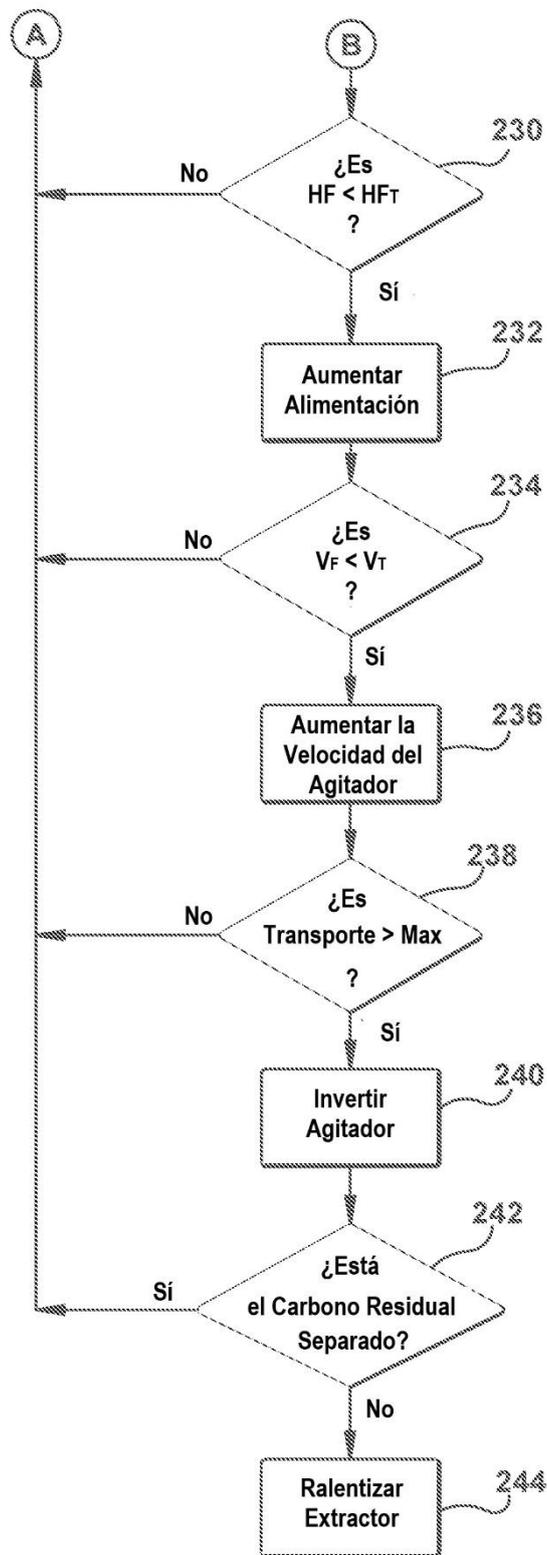


Figura 4b

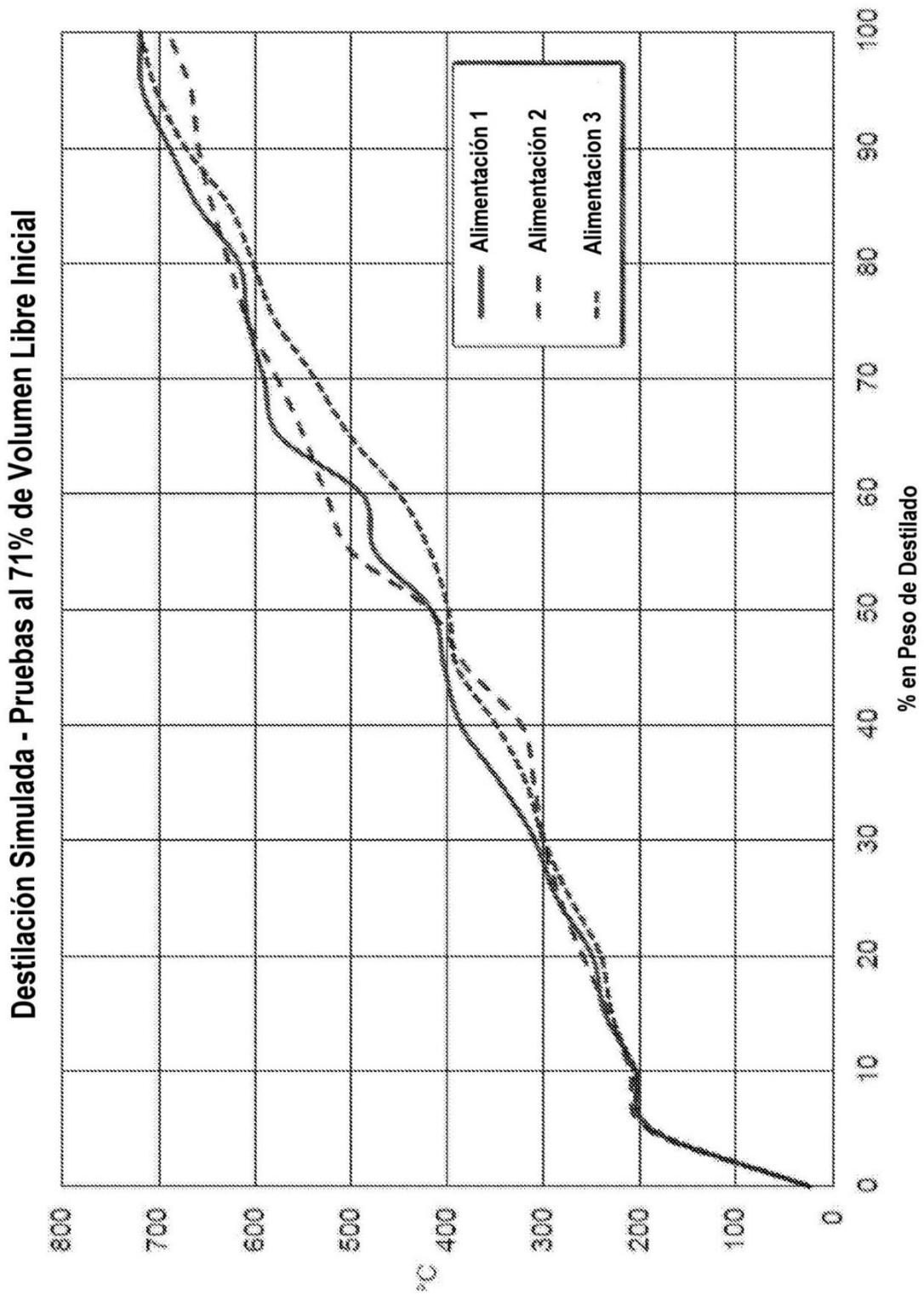


Figura 5

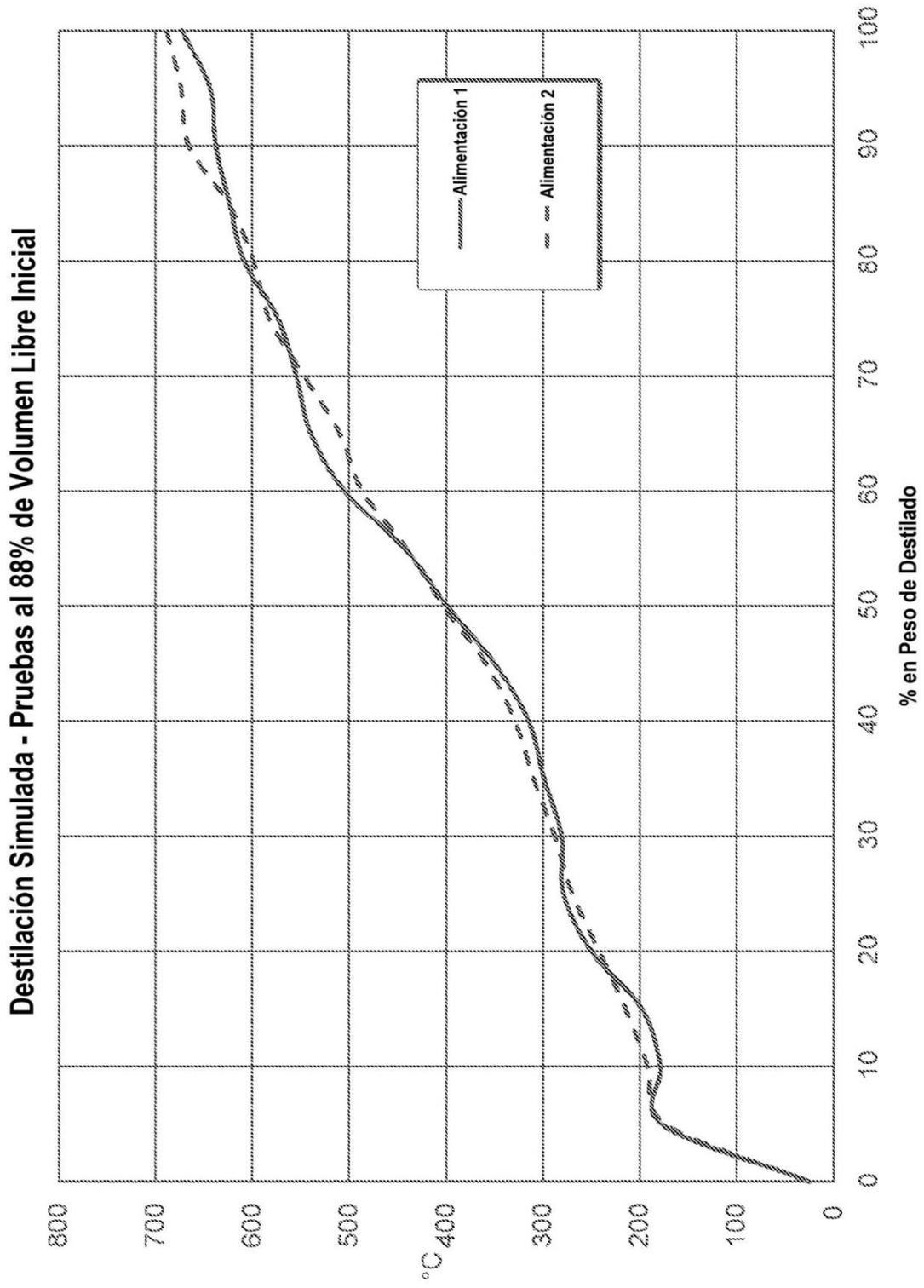


Figura 6

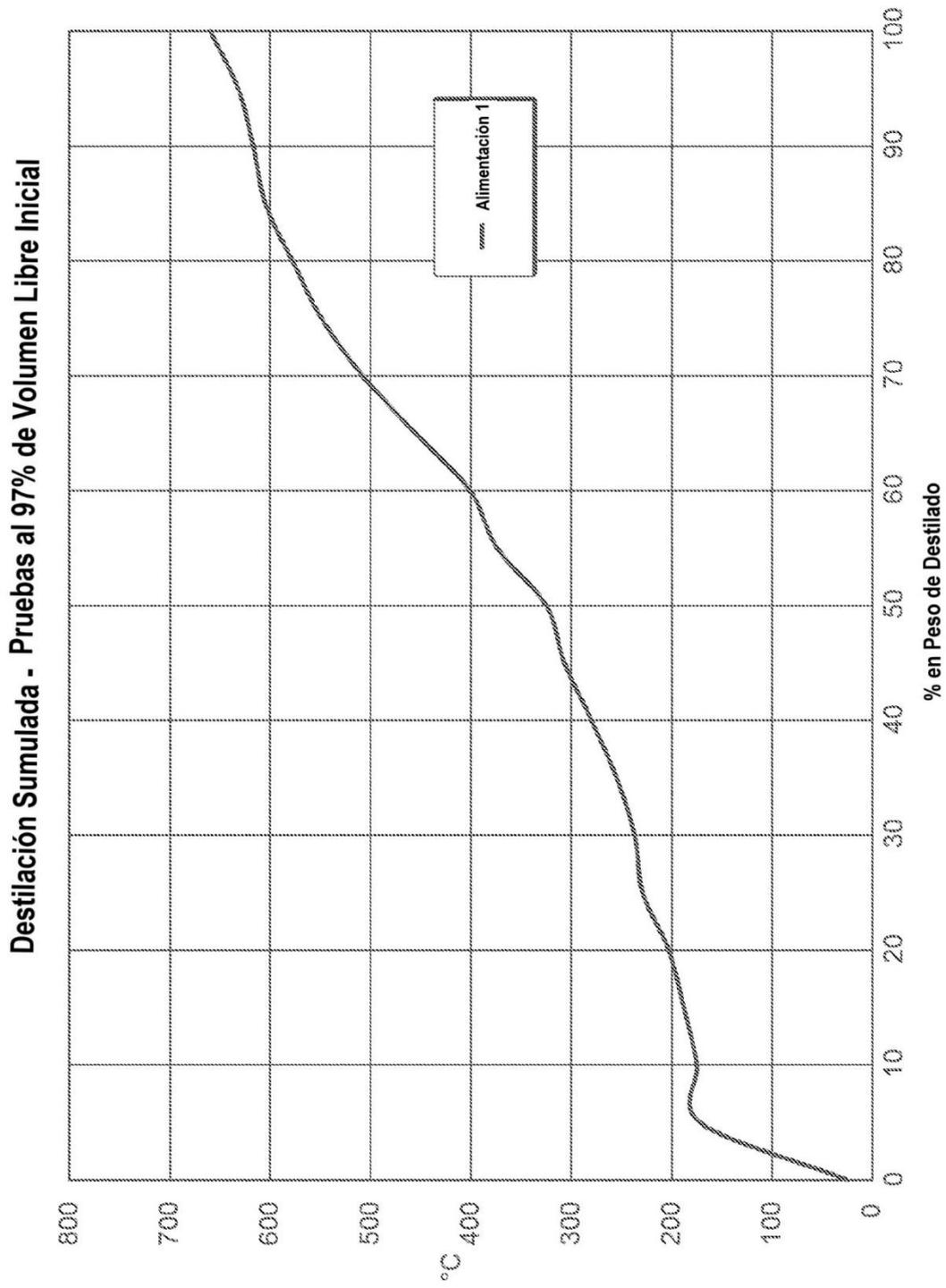


Figura 7

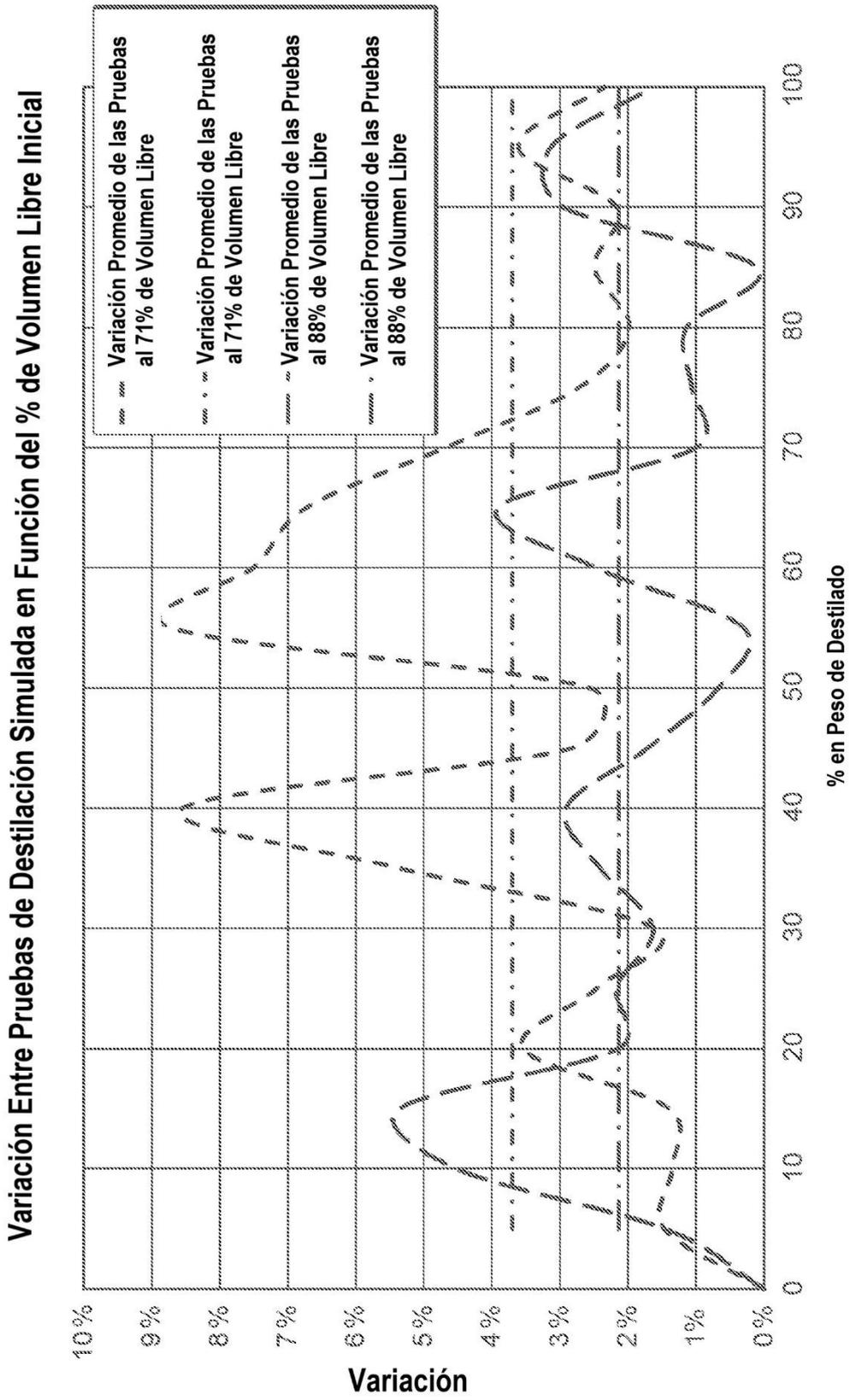


Figura 8

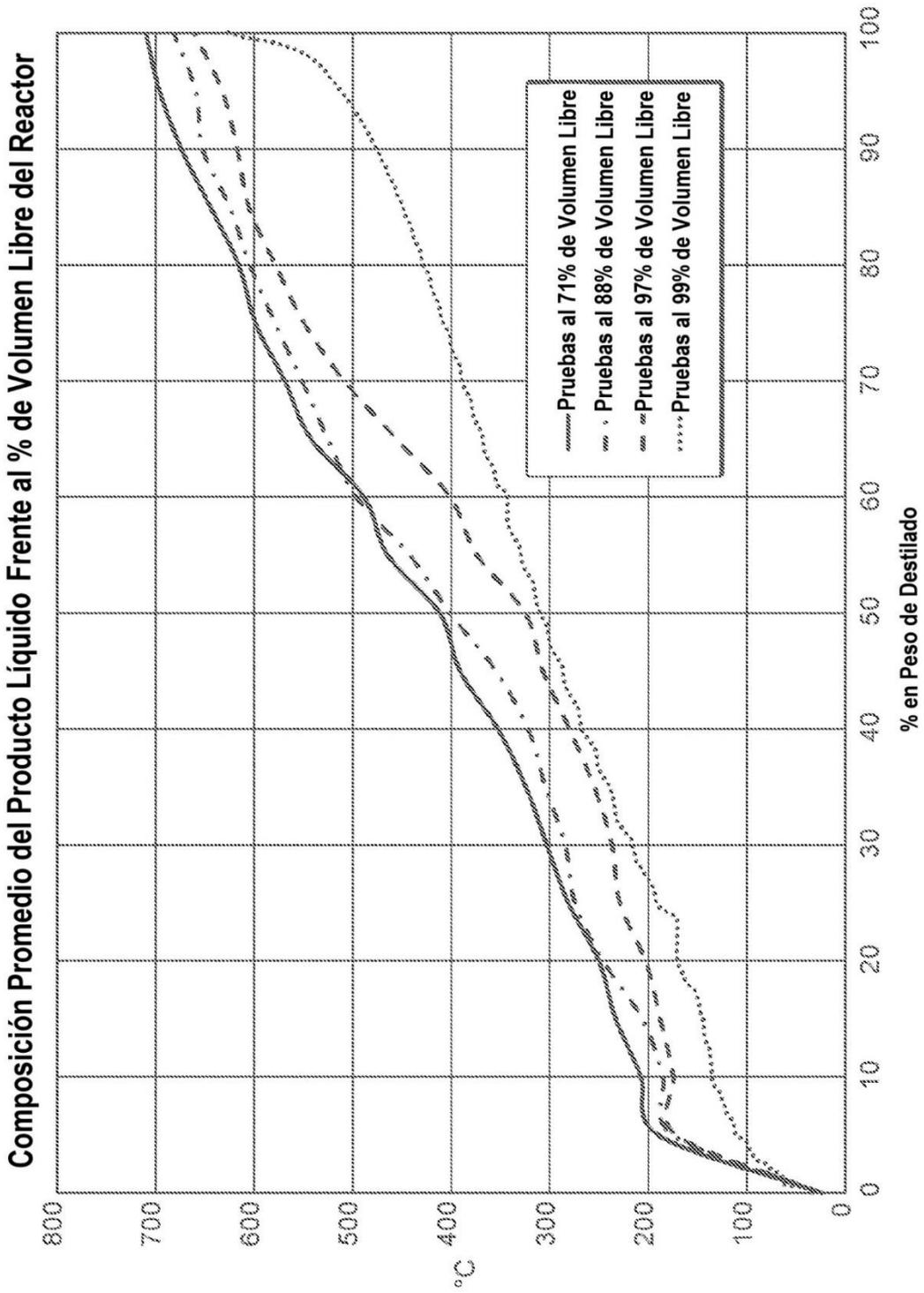


Figura 9

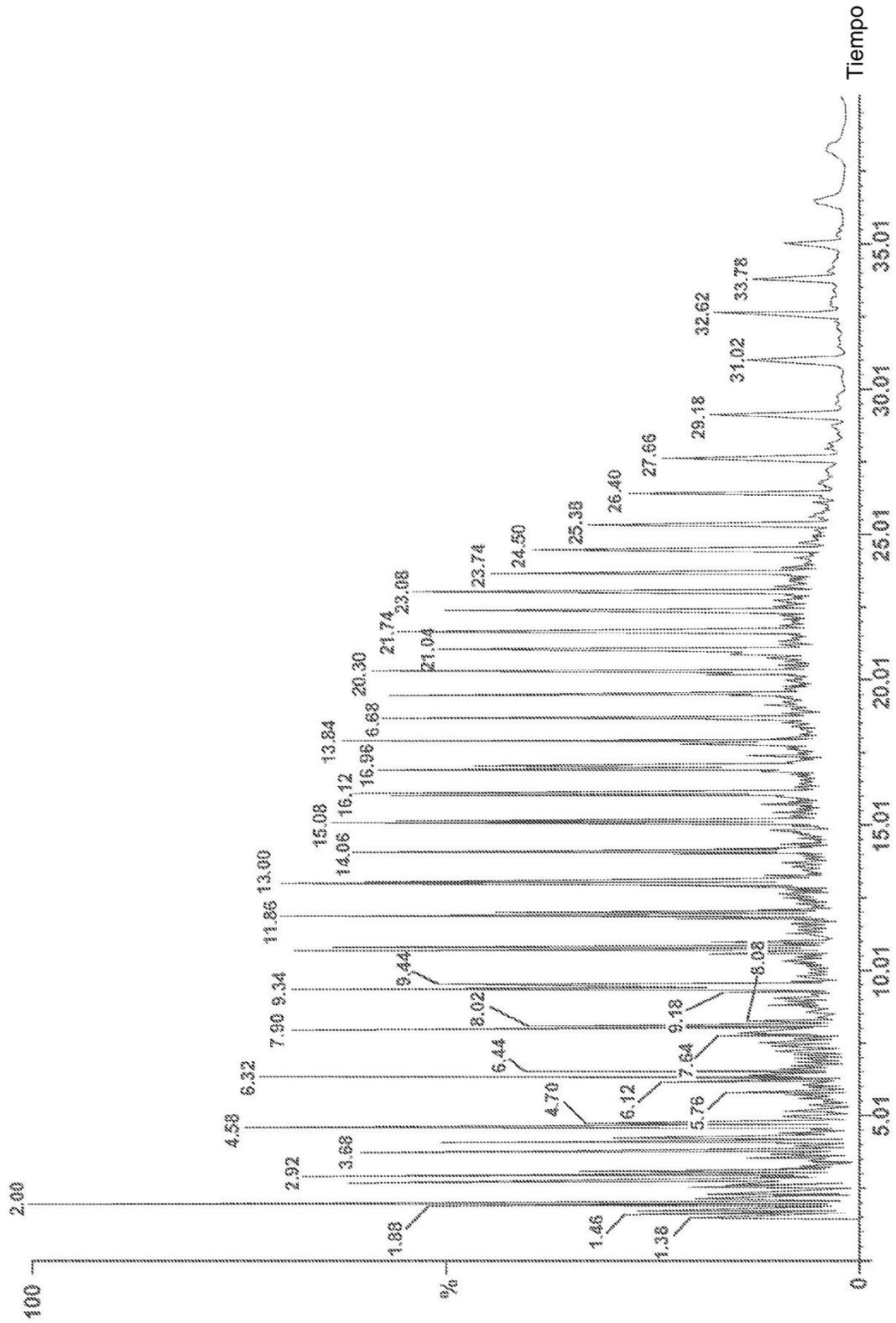


Figura 10