



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 336 008**

51 Int. Cl.:

C12M 1/40 (2006.01)

B01J 8/02 (2006.01)

C11C 1/04 (2006.01)

C11C 3/04 (2006.01)

C12P 7/62 (2006.01)

C11C 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05291933 .9**

96 Fecha de presentación : **19.09.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1637588**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.03.2006**

54 Título: **Aparato y procedimiento para la producción de éster alquílico.**

30 Prioridad: **20.09.2004 US 945339**

73 Titular/es: **Sunho Biodiesel Corporation**
10F-6, 380, Linsen N. Road
Taipei R.O.C. 104, TW

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.04.2010

72 Inventor/es: **Chou, Chih-Chung**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.04.2010

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 336 008 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

Aparato y procedimiento para la producción de éster alquílico.

5 Antecedentes

La presente invención se refiere a la producción de éster alquílico, incluyendo la producción de combustible biodiésel a partir de aceites vegetales y grasas animales.

10 Puede utilizarse una fuente de aceite de alcoholisis de aceites vegetales y grasas animales para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos, que pueden utilizarse como combustibles diésel, generalmente denominados en la presente memoria combustibles "biodiésel". En un enfoque de producción, se utilizan catalizadores no enzimáticos, tales como alcoholatos e hidróxidos alcalinos, para facilitar la alcoholisis. Un subproducto de la alcoholisis es glicerol. Los catalizadores no enzimáticos se eliminan con el glicerol, y no pueden reutilizarse. La purificación de glicerol se hace
15 difícil debido a que contiene una gran cantidad del catalizador. En otro enfoque de producción, se utilizan catalizadores enzimáticos, tales como lipasas, para facilitar la producción de ésteres alquílicos a partir de aceites naturales en una reacción de alcoholisis. Una fuente de aceite que presenta triglicérido y un alcohol se disuelven en un disolvente orgánico. Con una lipasa como catalizador, el triglicérido y el alcohol reaccionan para producir éster alquílico, con glicerol como subproducto.

20 La solicitud de patente europea EP 1 111 064 enseña un procedimiento para la preparación enzimática de diglicéridos que comprende un circuito cerrado de realimentación, es decir toda la mezcla de reacción se hace circular de manera repetida desde el reactor hasta el tanque de deshidratación y de nuevo hasta el reactor.

25 Sumario

En un aspecto general, un enfoque de transesterificación enzimática para la producción de combustible biodiésel proporciona un combustible de alta pureza, tal como éster alquílico (y en algunos ejemplos, el subproducto glicerol), de una manera económica con menos residuos y producto secundario reducido. La planta de tratamiento para la transesterificación enzimática puede prepararse utilizando una configuración simple que requiere una inversión de
30 capital reducida.

La presente invención se refiere a un aparato de flujo continuo para producir éster alquílico según la reivindicación 1. En general, en un aspecto, la invención muestra un aparato que incluye un primer reactor que presenta una entrada para alojar una mezcla que comprende un primer reactivo, un segundo reactivo, un producto de reacción y un disolvente
35 inerte que disuelve por lo menos una parte de los reactivos primero y segundo, una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar más producto de reacción, y una salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción admitido en la entrada y el producto de reacción generado a partir de la reacción entre los reactivos primero y segundo. El aparato incluye un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del producto de reacción desde la salida de nuevo hasta la entrada.

El producto de reacción incluye éster alquílico. El mecanismo de retorno envía por lo menos una parte del éster alquílico de nuevo hasta la entrada. La mezcla incluye un disolvente que disuelve por lo menos una parte del primer reactivo, el segundo reactivo y el producto de reacción. La salida emite por lo menos el éster alquílico, el disolvente y
45 el primer reactivo que no ha reaccionado.

El aparato también incluye un evaporador para evaporar el disolvente para generar una mezcla que incluye el éster alquílico y el primer reactivo que no ha reaccionado. La salida también emite glicerol. El aparato también incluye un evaporador para evaporar el disolvente para generar una mezcla que incluye el éster alquílico, el glicerol y el primer reactivo que no ha reaccionado. El aparato también incluye un separador de fases para separar el éster alquílico del glicerol basándose en una separación de fases líquido-líquido.
50

Las formas de realización de la invención pueden incluir una o más de las siguientes características.

55 El primer reactivo incluye triglicérido. El primer reactivo incluye un ácido carboxílico. El segundo reactivo incluye por lo menos uno de un alcohol primario y secundario. El primer reactivo incluye por lo menos uno de aceite vegetal y grasa animal. El producto de reacción presenta una composición que es adecuada para su utilización como combustible. El producto de reacción presenta una composición que es adecuada para su utilización como combustible para un motor diésel. El producto de reacción presenta una composición que es adecuada para su utilización como combustible para por lo menos uno de un motor diésel de combustión interna y un motor diésel con turbina de gas.
60

El aparato también incluye una mezcladora que presenta una primera entrada para alojar el primer reactivo, una segunda entrada para admitir el segundo reactivo, una tercera entrada para admitir una parte del producto de reacción de la salida del reactor, una cuarta entrada para admitir el disolvente inerte y una salida para emitir la mezcla que incluye
65 el primer reactivo, el segundo reactivo, el disolvente inerte y el producto de reacción. La salida también emite otros componentes, y el mecanismo de retorno también envía por lo menos una parte de los otros componentes de nuevo hasta la entrada. La enzima facilita una reacción entre los otros componentes y el segundo reactivo para generar más

producto de reacción. Los otros componentes incluyen por lo menos uno de monoglicérido, diglicérido, triglicérido y ácido carboxílico.

El aparato también incluye un segundo reactor que presenta una entrada para admitir una mezcla que incluye un segundo reactivo adicional y el producto de reacción de la salida del primer reactor, una enzima para facilitar una reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes para generar más producto de reacción, y una salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción admitido en la entrada del segundo reactor y el producto de reacción generado a partir de la reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes.

El aparato también incluye un evaporador para evaporar el disolvente inerte y por lo menos uno del primer reactivo que no ha reaccionado y el segundo reactivo que no ha reaccionado. El aparato también incluye un evaporador de recorrido corto para separar el producto de reacción del reactivo que no ha reaccionado restante. El producto de reacción incluye éster alquílico. El producto de reacción incluye por lo menos el 99% de éster alquílico. El aparato también incluye un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la salida del segundo reactor de nuevo hasta la entrada del primer reactor. El primer reactivo incluye triglicérido o ácido carboxílico, y el segundo reactivo incluye alcohol primario o secundario.

En general, en otro aspecto, la invención muestra un aparato que incluye un reactor que presenta una entrada para admitir una mezcla que incluye reactivos, una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos y un mecanismo de realimentación para enviar por lo menos una parte de un producto de la reacción de nuevo hasta la entrada.

El producto de la reacción incluye éster alquílico, y el mecanismo de realimentación envía por lo menos una parte del éster alquílico de nuevo hasta la entrada. Los reactivos incluyen (1) por lo menos uno de triglicérido y ácido carboxílico y (2) por lo menos uno de alcohol primario y secundario. La enzima incluye una lipasa.

En general, en otro aspecto, que no es parte de la invención, un sistema para generar éster alquílico incluye un primer subsistema y un segundo subsistema. El primer subsistema incluye un primer reactor que presenta una primera entrada para admitir una primera mezcla que incluye un primer reactivo, un segundo reactivo y un disolvente inerte para disolver los reactivos primero y segundo, una primera enzima para facilitar una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar un producto de reacción, y una primera salida para emitir el producto de reacción, el disolvente inerte y otros componentes. El segundo subsistema incluye un segundo reactor que presenta una segunda entrada para admitir una segunda mezcla que incluye un segundo reactivo adicional, un disolvente inerte, por lo menos una parte del producto de reacción y los otros componentes de la primera salida, una segunda enzima para facilitar una reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes para generar más producto de reacción, y una segunda salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción admitido en la entrada de la segunda entrada y el producto de reacción generado a partir de la reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes.

El producto de reacción incluye éster alquílico. El sistema también incluye un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la primera salida de nuevo hasta la primera entrada. El sistema también incluye un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la segunda salida de nuevo hasta la primera entrada. El porcentaje de éster alquílico en el producto de reacción en la producción del segundo reactor es superior al porcentaje de éster alquílico en el producto de reacción en la producción del primer reactor.

El segundo subsistema incluye un separador para eliminar por lo menos una parte de componentes distintos del éster alquílico de una primera producción de disolución de la segunda salida para obtener una segunda disolución que presenta por lo menos el 90% en peso de éster alquílico. El separador incluye un evaporador. El separador incluye un separador líquido-líquido.

El primer subsistema incluye un separador para eliminar por lo menos una parte de componentes distintos del éster alquílico de una primera producción de disolución de la primera salida para obtener una segunda disolución que presenta una concentración de éster alquílico superior que la primera disolución. El separador incluye un evaporador. El separador incluye un separador líquido-líquido.

En algunos ejemplos, el primer reactivo incluye triglicérido. En otros ejemplos, el primer reactivo incluye ácido carboxílico. El segundo reactivo incluye por lo menos uno de alcohol primario y secundario. El primer subsistema incluye una mezcladora que presenta una primera entrada para admitir el primer reactivo, una segunda entrada para admitir el segundo reactivo, una tercera entrada para admitir el disolvente inerte, una estructura para mezclar el primer reactivo, el segundo reactivo y el disolvente inerte, y una salida para emitir la primera mezcla que incluye el primer reactivo, el segundo reactivo y el disolvente inerte. En algunos ejemplos, la primera enzima es igual que la segunda enzima. En otros ejemplos, la primera enzima es diferente de la segunda enzima. Por lo menos una de las enzimas primera y segunda incluye una lipasa.

En general, en otro aspecto, la invención muestra un aparato que incluye un reactor, una unidad de separación y un mecanismo de retorno. El reactor presenta un conducto para transmitir una mezcla que incluye un primer reactivo, un segundo reactivo, un disolvente inerte y un producto de reacción que están en un estado homogéneo, un acoplador para alojar un cartucho que presenta una entrada para admitir la mezcla del conducto, una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar más producto de reacción y una salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción admitido en la entrada y el producto de reacción generado a partir de la

reacción entre los reactivos primero y segundo. La unidad de separación trata la producción de la salida para producir una disolución que presenta un porcentaje superior del producto de reacción. El mecanismo de retorno envía por lo menos una parte de la disolución de nuevo hasta el conducto.

5 En general, en otro aspecto, la invención muestra un sistema para generar éster alquílico que incluye un primer subsistema y un segundo subsistema. El primer subsistema incluye un primer reactor que presenta un primer conducto para transmitir una primera mezcla que incluye un primer reactivo, un segundo reactivo, un disolvente inerte y éster alquílico que están en un estado homogéneo, un primer acoplador para alojar un primer cartucho que presenta una primera entrada para admitir la mezcla del primer conducto, una primera enzima para facilitar una reacción entre
10 los reactivos primero y segundo para generar éster alquílico, y una primera salida para emitir el éster alquílico, el disolvente y otros componentes. El segundo subsistema incluye un segundo reactor que presenta un segundo conducto para transmitir una segunda mezcla que incluye un segundo reactivo adicional, el disolvente inerte y por lo menos una parte del éster alquílico y los otros componentes de la primera salida, un segundo acoplador para alojar un segundo cartucho que presenta una segunda entrada para admitir la mezcla del segundo conducto, una segunda enzima para
15 facilitar una reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes para generar más éster alquílico, y una segunda salida para emitir el éster alquílico.

En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un sistema para generar éster alquílico incluye un cartucho para alojar una mezcla que incluye un primer reactivo y un segundo reactivo, incluyendo el cartucho
20 una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar un producto de reacción, presentando el cartucho un identificador; y un controlador para controlar una condición de funcionamiento del sistema basándose en el identificador en el cartucho.

El producto de reacción incluye éster alquílico. La enzima incluye una lipasa. El controlador controla una velocidad de una bomba basándose en el identificador, en el que la velocidad de la bomba afecta a la velocidad a la que la disolución pasa a través del cartucho. El controlador controla un calentador basándose en el identificador, en el que el calentador afecta a la temperatura de la disolución. El controlador determina cuándo enviar una señal que indica que se necesita sustituir el cartucho basándose en el identificador.

30 En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un aparato incluye un primer reactor que presenta una entrada para admitir una fuente de aceite y un reactivo, y una enzima para facilitar una reacción entre la fuente de aceite y el reactivo para generar un producto deseado y otros componentes; y un primer separador para separar el producto deseado de los otros componentes para generar un producto bruto deseado; y un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del producto deseado bruto de nuevo hasta la entrada del primer reactor.

35 El producto deseado incluye un combustible. El producto deseado incluye éster alquílico.

El aparato también incluye un segundo reactor que presenta una entrada para admitir una mezcla que incluye el reactivo adicional y por lo menos una parte del producto deseado bruto, y una enzima para facilitar una reacción entre
40 el reactivo y los componentes en el producto deseado bruto para generar el producto deseado adicional; y un segundo separador para separar el producto deseado de otros componentes para generar un producto deseado de alta pureza.

La fuente de aceite incluye por lo menos uno de triglicérido y ácido carboxílico. El combustible bruto incluye éster alquílico. El reactivo incluye por lo menos uno de entre alcohol primario y secundario. La enzima incluye lipasa.

45 En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un aparato incluye un cartucho que incluye una enzima, estando configurado el cartucho para acoplarse a un generador de éster alquílico. El generador de éster alquílico incluye una mezcladora que mezcla un primer reactivo, un segundo reactivo, un disolvente inerte y éster alquílico para generar una disolución que se hace pasar a través del cartucho, en el que la enzima en el cartucho facilita
50 una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar más éster alquílico, y un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del éster alquílico derivado de la reacción entre los reactivos primero y segundo de nuevo hasta la mezcladora.

La enzima incluye una lipasa. El cartucho incluye información sobre el cartucho relacionada con una operación
55 del generador de éster alquílico.

En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un aparato incluye un cartucho que incluye una enzima, estando configurado el cartucho para acoplarse a un primer subsistema de un sistema de dos etapas que genera éster alquílico. El primer subsistema aloja un primer reactivo, un segundo reactivo y un disolvente inerte, y hace pasar una mezcla que incluye la primera reacción, el segundo reactivo y el disolvente inerte a través del cartucho, facilitando la enzima una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar un primer producto, en el que el primer producto se trata mediante un primer separador para generar un producto bruto que presenta un primer porcentaje de éster alquílico. El segundo subsistema aloja el producto bruto y un segundo reactivo adicional, y genera un segundo producto, en el que el segundo producto se trata mediante un segundo separador para generar un producto refinado
65 que presenta un segundo porcentaje de éster alquílico que es superior al primer porcentaje.

En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un aparato incluye un cartucho que incluye una enzima, estando configurado el cartucho para acoplarse a un segundo subsistema de un sistema de dos etapas

que genera éster alquílico. El primer subsistema aloja un primer reactivo y un segundo reactivo, y genera un producto bruto que presenta un primer porcentaje de éster alquílico. El segundo subsistema aloja el producto bruto y un segundo reactivo adicional, hace pasar una mezcla que incluye el producto bruto y el segundo reactivo adicional a través del cartucho, facilitando la enzima una reacción entre componentes en el producto bruto y el segundo reactivo para generar una producción, en el que la producción se trata mediante una unidad de separación para generar un producto refinado que presenta un segundo porcentaje de éster alquílico que es superior al primer porcentaje.

En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un aparato incluye un cartucho que incluye una lipasa, estando configurado el cartucho para acoplarse a un generador de éster alquílico. El generador de éster alquílico incluye una mezcladora para mezclar una fuente de aceite y un alcohol primario o un alcohol secundario en un disolvente orgánico para formar una disolución que se hace pasar a través del cartucho, en el que la fuente de aceite incluye un triglicérido y la lipasa facilita una reacción entre el triglicérido y el alcohol primario o el alcohol secundario para generar un éster alquílico, en el que la disolución no experimenta separación de fases a lo largo de la reacción y se produce glicerol como subproducto. El generador de éster alquílico también incluye un evaporador para eliminar el disolvente orgánico y el alcohol primario o alcohol secundario que no ha reaccionado, un separador de fases para separar el éster alquílico del glicerol y un segundo separador para separar el éster alquílico de la fuente de aceite que no ha reaccionado.

El segundo separador incluye un evaporador de recorrido corto.

En general, en otro aspecto, que no es parte de la invención, un aparato incluye un cartucho que incluye una lipasa, estando configurado el cartucho para acoplarse a un generador de éster alquílico. El generador de éster alquílico incluye una mezcladora para mezclar una fuente de aceite y un alcohol primario o un alcohol secundario en un disolvente orgánico para formar una disolución que se hace pasar a través del cartucho, en el que la fuente de aceite incluye un ácido carboxílico y la lipasa facilita una reacción entre el ácido carboxílico y el alcohol primario o el alcohol secundario para generar un éster alquílico, en el que la disolución no experimenta separación de fases a lo largo de la reacción y se produce agua como subproducto. El generador de éster alquílico también incluye un evaporador para eliminar el disolvente orgánico y el alcohol primario o alcohol secundario que no ha reaccionado, y un separador para separar el éster alquílico de la fuente de aceite que no ha reaccionado.

El separador incluye un evaporador de recorrido corto.

En general, en otro aspecto, la invención muestra un aparato que incluye un evaporador que presenta una entrada para admitir una mezcla que incluye éster alquílico, alcohol, un disolvente inerte y glicerol, el evaporador para evaporar el disolvente inerte y el alcohol para generar una disolución que incluye éster alquílico y glicerol, y un separador que presenta una entrada para admitir la disolución, el separador para separar el éster alquílico del glicerol basándose en la separación de fases líquido-líquido.

En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un generador de energía incluye un generador de éster alquílico basado en enzimas y un generador de electricidad. El generador de éster alquílico incluye una entrada para admitir una mezcla que incluye reactivos, una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos para generar éster alquílico y un mecanismo de realimentación para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la salida de nuevo hasta la entrada. El generador de electricidad incluye una entrada para admitir el éster alquílico generado mediante el generador de éster alquílico, un convertidor para convertir la energía del éster alquílico en electricidad y una salida para emitir la electricidad generada mediante el convertidor.

Por lo menos una parte del generador de éster alquílico está impulsada por la electricidad generada mediante el generador de electricidad. Los reactivos incluyen triglicérido y alcohol.

En general, en otro aspecto, que no es parte de la invención, un vehículo incluye un depósito para almacenar los reactivos; un generador de éster alquílico basado en enzimas y un motor. El generador de éster alquílico incluye una entrada para admitir una mezcla que incluye los reactivos, una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos para generar éster alquílico y un mecanismo de realimentación para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la salida de nuevo hasta la entrada. El motor incluye una entrada para admitir el éster alquílico generado mediante el generador de éster alquílico y un convertidor para convertir la energía del éster alquílico en energía cinética.

Por lo menos una parte del generador de éster alquílico está impulsada por la energía cinética generada mediante el motor. En algunos ejemplos, el vehículo también incluye un mecanismo de transmisión para transmitir la energía cinética a las ruedas. En algunos ejemplos, el vehículo también incluye un mecanismo de transmisión para transmitir la energía cinética a los propulsores.

En general, en otro aspecto, que no es parte de la invención un vehículo incluye un depósito para almacenar los reactivos, un generador de éster alquílico basado en enzimas y un generador de electricidad. El generador de éster alquílico incluye una entrada para admitir una mezcla que incluye los reactivos, una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos para generar éster alquílico y un mecanismo de realimentación para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la salida de nuevo hasta la entrada. El generador de electricidad incluye una entrada para admitir el éster alquílico generado mediante el generador de éster alquílico, un convertidor para convertir la energía

del éster alquílico en electricidad y una salida para emitir la electricidad generada mediante el convertidor. El vehículo también incluye componentes electrónicos y líneas de transporte de energía para transmitir por lo menos una parte de la electricidad generada mediante el generador de electricidad a los componentes electrónicos.

- 5 En algunos ejemplos, el vehículo incluye un avión. En algunos ejemplos, el vehículo incluye un coche. En algunos ejemplos, el vehículo incluye un barco.

10 En general, en otro aspecto, que no es parte de la invención, un edificio incluye una cocina para procesar alimentos; un depósito para almacenar el aceite reciclado utilizado en el tratamiento de los alimentos; y un generador de éster alquílico basado en enzimas. El generador de éster alquílico incluye una entrada para admitir una mezcla que incluye el aceite reciclado y un reactivo, una enzima para facilitar una reacción entre el aceite reciclado y el reactivo para generar éster alquílico y un mecanismo de realimentación para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la salida de nuevo hasta la entrada.

15 El edificio también incluye un generador de electricidad que incluye una entrada para admitir el éster alquílico generado mediante el generador de éster alquílico, un convertidor para convertir la energía del éster alquílico en electricidad, y una salida para emitir la electricidad generada mediante el convertidor; y líneas de transporte de energía para transmitir por lo menos una parte de la electricidad al edificio.

20 En general, en otro aspecto, la invención muestra un aparato para producir un éster alquílico, incluyendo el aparato una mezcladora para mezclar una fuente de aceite y un alcohol primario o un alcohol secundario en un disolvente orgánico para formar una disolución, incluyendo la fuente de aceite un triglicérido; un reactor para alojar la disolución, incluyendo el reactor una lipasa que facilita una reacción entre el triglicérido y el alcohol primario o el alcohol secundario para generar un éster alquílico, en el que se produce glicerol como subproducto; un evaporador para eliminar el disolvente orgánico y el alcohol primario o alcohol secundario que no ha reaccionado; y un separador de fases para separar el éster alquílico del glicerol.

30 La disolución alojada por el reactor no experimenta separación de fases a lo largo de la reacción. Cada molécula del disolvente orgánico incluye varios átomos de carbono y un heteroátomo, en la que el número oscila desde 4 hasta 8. El disolvente orgánico incluye un alcohol terciario de C4 a C8. El disolvente orgánico incluye por lo menos uno de t-butanol, 2-metil-2-butanol, 2,3-dimetil-2-butanol, 2-metil-2-pentanol, 3-metil-3-pentanol, 3-etil-3-pentanol, 2,3-dimetil-2-pentanol, 2,3-dimetil-3-pentanol, 2,2,3-trimetil-3-pentanol, 2-metil-2-hexanol y 3-metil-3-hexanol. El disolvente orgánico incluye piridina. Por lo menos uno del alcohol primario y el alcohol secundario consiste en de 1 a 18 átomos de carbono. La fuente de aceite incluye por lo menos uno de aceite vegetal, aceite animal y grasa residual.

40 El aparato también incluye un soporte, inmovilizándose la lipasa sobre el soporte. La lipasa incluye por lo menos una de lipasa de *Candida antarctica*, lipasa de *Thermomyces lanuginosa*, lipasa de *Pseudomonas fluorescens*, lipasa de *Pseudomonas cepacia* y lipasa de *Chromobacterium viscosum*. Una parte del reactor se mantiene a una temperatura de reacción de 0 a 95°C para facilitar la reacción entre el triglicérido y el alcohol primario o el alcohol secundario. El aparato también incluye una bomba configurada para hacer que la disolución fluya a través del reactor en de 1 a 180 minutos.

45 El aparato también incluye un calentador para calentar la fuente de aceite hasta un intervalo de 150 a 215°C. La fuente de aceite calentada se enfría hasta la temperatura de reacción antes de que la fuente de aceite se envíe a la mezcladora. El aparato también incluye una entrada para añadir un éster alquílico a la disolución antes de que la disolución se envíe al reactor. El aparato también incluye un mecanismo de retorno para permitir que por lo menos una parte del éster alquílico separado mediante el separador de fases se introduzca por la entrada y se añada a la disolución.

50 En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, un procedimiento incluye insertar un cartucho dentro de un generador de éster alquílico, presentado el cartucho una entrada y una salida, y una enzima colocada entre la entrada y la salida; leer la información codificada en el cartucho; controlar una operación del generador de éster alquílico basándose en la información.

55 Controlar una operación del generador de éster alquílico incluye controlar por lo menos una de temperatura y velocidad de flujo de una disolución que fluye hacia el interior de la entrada del cartucho.

60 En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, se describe un procedimiento de tratamiento de alimentos, incluyendo el procedimiento tratar alimentos utilizando aceite; reciclar el aceite utilizado para tratar los alimentos; admitir una mezcla que incluye aceite reciclado, un reactivo y un disolvente inerte; utilizar una enzima para facilitar una reacción entre el aceite reciclado y el reactivo para generar éster alquílico; reciclar por lo menos una parte del éster alquílico mezclando por lo menos una parte del éster alquílico con la mezcla, ayudando el éster alquílico a disolver el aceite reciclado y el reactivo; generar electricidad o energía cinética a partir del éster alquílico; e impulsar dispositivos utilizados para tratar los alimentos utilizando la electricidad o la energía cinética.

65 En general, en otro aspecto, que no forma parte de la invención, se describe un procedimiento de funcionamiento de un vehículo, incluyendo el procedimiento admitir una mezcla que incluye reactivos y un disolvente inerte, hacer pasar la mezcla a través de un cartucho de enzimas para facilitar una reacción entre los reactivos para generar éster

alquílico; reciclar por lo menos una parte del éster alquílico mezclando por lo menos una parte del éster alquílico con la mezcla, ayudando el éster alquílico a disolver los reactivos; generar electricidad o energía cinética a partir del éster alquílico; e impulsar dispositivos utilizados para hacer funcionar el vehículo utilizando la electricidad o la energía cinética.

Descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de producción de combustible.

Las figuras 2A-2D son unos diagramas de bloques de diferentes configuraciones de una planta de producción de combustible. La figura 2A es una planta de una única etapa con realimentación de biodiésel bruto. La figura 2B es una planta de dos etapas con realimentación de biodiésel bruto de la primera etapa. La figura 2C es una planta de una etapa. La figura 2D es una planta de dos etapas.

La figura 3 es un diagrama de bloques de una planta de una única etapa con realimentación de biodiésel bruto.

La figura 4 es un diagrama esquemático de una planta de una única etapa con realimentación de biodiésel bruto. Las figuras 4A-C son unas vistas a escala ampliada de partes de la figura 4.

La figura 5 es un diagrama esquemático de una planta de una única etapa con realimentación de biodiésel bruto. Las figuras 5A-D son unas vistas a escala ampliada de partes de la figura 5.

La figura 6 es un diagrama esquemático de una planta de dos etapas con realimentación de biodiésel bruto. Las figuras 6A-C son unas vistas a escala ampliada de partes de la figura 6.

La figura 7 es un diagrama de bloques de un sistema de producción de combustible.

La figura 8 es un diagrama de bloques de un sistema de producción de combustible acoplado a un generador eléctrico.

La figura 9 es un diagrama de bloques de un vehículo que presenta un sistema de producción de combustible.

La figura 10 es un diagrama de bloques de un sistema de producción de combustible acoplado a una unidad de tratamiento de combustible.

Descripción

1. Visión general

Haciendo referencia a la figura 1, un sistema de producción de combustible incluye una planta de tratamiento 100 que toma una fuente 110 de aceite, tal como aceite de soja, y produce un combustible 150 biodiésel, tal como éster alquílico, o un producto relacionado tal como aceite lubricante o un producto químico intermedio. La planta de tratamiento 100 utiliza uno o más reactores 140 que utilizan cada uno un catalizador 142 enzimático. La planta de tratamiento utiliza un disolvente 120 inerte, tal como un alcohol terciario anhidro o piridina anhidra, así como un reactivo 130, tal como un alcohol primario o secundario tal como metanol anhidro. Durante el tratamiento, la planta de tratamiento 100 recupera algo del disolvente 120 inerte y el reactivo 130 para reponer el suministro. La planta de tratamiento también produce coproductos 160, tales como agua residual o glicerol.

A continuación, se describen varias versiones diferentes de la planta de tratamiento. Estas versiones difieren, por ejemplo, en características tales como el número de etapas de tratamiento del reactor (por ejemplo, una única etapa con un reactor, dos etapas con dos reactores), la disposición de realimentación de biodiésel bruto intermedio a los reactores de etapas anteriores y en la fuente de aceite, el disolvente inerte, el reactivo, el biocatalizador particulares y las condiciones de funcionamiento asociadas utilizadas. Por ejemplo, la planta de tratamiento puede hacerse funcionar en un modo de flujo continuo o alternativamente en un modo discontinuo.

Las diferentes versiones de la planta de tratamiento pueden presentar tamaños físicos diferentes. En un ejemplo, la planta es relativamente compacta, por ejemplo, el tamaño de un refrigerador, lo que permite su utilización en el punto en el que se consume el combustible biodiésel, tal como en la ubicación de un motor diésel utilizado para la generación de electricidad. Otras versiones pueden ser significativamente más grandes con la correspondiente mayor capacidad de producción. En algunos ejemplos, la planta puede diseñarse para la utilización doméstica, puede presentar tamaños que son similares a un refrigerador grande, y puede presentar una capacidad de producción de 200 litros al día o menos. En otros ejemplos, la planta puede diseñarse para su utilización en granjas, centros comerciales o campos militares y puede presentar un tamaño similar a recipientes que presentan una longitud en un intervalo de 20 a 40 pies. En otros ejemplos, la planta 100 puede diseñarse para una planta comercial y puede presentar una capacidad que oscila desde 40.000 toneladas hasta más de 250.000 toneladas anualmente.

1.1 Configuraciones de la planta

Haciendo referencia a las figuras 2A-D, cuatro configuraciones de planta a modo de ejemplo utilizan diferentes números de etapas y diferentes tipos de realimentación. En referencia a la figura 2A, una planta de una única etapa utiliza un único reactor 140. La producción del reactor (R-1) 140 se alimenta a un separador (S-1) 220, que incluye componentes para separar el disolvente 120 inerte, el reactivo 130 que no ha reaccionado y los subproductos 160 de la producción del reactor para emitir un producto 225 de biodiésel bruto, por ejemplo, utilizando una combinación de un evaporador y un separador líquido-líquido. A la entrada del reactor R-1 140 se proporciona la producción de una mezcladora 210, que acepta la fuente 110 de aceite, el disolvente 120 inerte y el reactivo 130. En esta versión de la planta, la mezcladora 210 también aloja algo del biodiésel 225 bruto disponible a partir de la emisión del separador S-1. Esta realimentación del biodiésel bruto presenta dos ventajas: (1) potenciar que se complete la reacción entre los reactivos y (2) reducir la cantidad de disolvente inerte requerida para que se combine en la mezcladora 210. La producción del separador 220 se alimenta a un separador final 230, por ejemplo, un evaporador de recorrido corto o una destilación de recorrido corto, que purifica adicionalmente el biodiésel para producir el biodiésel “puro” de producción 150. Como ejemplo, el biodiésel bruto 225 puede ser un 90-99% puro en peso, y el biodiésel 150 puro puede ser más de un 99% puro en peso. Esta versión de la planta presenta relativamente pocos componentes que por tanto es adecuada para versiones pequeñas y portátiles, así como versiones más grandes.

Haciendo referencia a la figura 2B, una planta de dos etapas 100B utiliza dos etapas 101 y 105, incluyendo cada una un reactor 140. La disposición de un primer reactor (R-1) 140 y un primer separador (S-1) 220 es similar a la mostrada en la figura 2A, incluyendo la utilización de una realimentación de biodiésel bruto 225 desde la salida del primer separador 220 hasta la mezcladora 210 del primer reactor 140. En esta versión de la planta, la producción del primer separador 220 se alimenta a una segunda mezcladora 210 que combina el biodiésel bruto 225 con disolvente 120 inerte adicional y reactivo 130. El producto de la segunda mezcladora 210 se alimenta a un segundo reactor (R-2) 140. La producción del segundo reactor 140 se hace pasar a través de un segundo separador (S-2) 220. La producción del segundo separador 220 puede utilizarse directamente como combustible 150 biodiésel, o preferentemente puede hacerse pasar a través de un separador final 230 antes de la salida. Como ejemplo, en una planta de dos etapas de este tipo, la producción de biodiésel bruto 225 del primer separador 220 es por lo menos un 90% pura en peso, mientras que la producción del segundo separador es por lo menos un 95% pura.

Haciendo referencia a las figuras 2C-D, las plantas que no utilizan la realimentación de biodiésel bruto presentan configuraciones que son por lo demás similares a las plantas mostradas en las figuras 2A-B, respectivamente. Como ejemplos, las producciones de los primeros separadores 220 en estas versiones de la planta son por lo menos un 80% puras, y en la versión de dos etapas mostrada en la figura 2D, la producción del segundo separador es por lo menos un 95% pura.

La planta de una única etapa 100C es útil, por ejemplo, cuando el catalizador (tal como un tipo particular de lipasa) es caro, y el producto final presenta un valor añadido alto, tal como para utilización farmacológica o médica. La cantidad de lipasa que se requiere en la planta de una única etapa 100C puede ser inferior a la de las plantas de doble etapa 100B y 100D, y por tanto el producto final puede producirse de manera más económica.

Las plantas 100A a 100D pueden presentar diversas configuraciones. Pueden incluirse en las plantas componentes adicionales, tales como intercambiadores de calor para aumentar o disminuir las temperaturas de las disoluciones, y bombas para controlar el flujo de las disoluciones. Pueden incluirse lechos de eliminación para eliminar glicerol, humedad no deseados u otras impurezas no deseadas de los productos. Por ejemplo, en la planta de una única etapa 100A, el separador 230 puede separar material de partida que no ha reaccionado de manera completa (por ejemplo, reactivo y fuente de aceite) del producto, de modo que el material de partida que no ha reaccionado de manera completa puede reciclarse. En este caso, puede utilizarse un lecho de eliminación de glicerol relleno con una resina de intercambio iónico para eliminar cantidades traza de glicerol del material de partida reciclado.

En algunos ejemplos, cuando se utilizan ciertos tipos de catalizador enzimático, por ejemplo, lipasa de *Thermomyces lanuginosa*, es útil limitar la cantidad de humedad en la disolución que fluye hacia el interior del reactor 140. En tales casos, puede emplearse un lecho de eliminación de agua de tipo cartucho relleno con resina de adsorción (o absorción) de humedad en la corriente de entrada de materia prima de aceite para plantas más pequeñas. Para plantas más grandes, puede controlarse la humedad del agua mediante otras técnicas de eliminación, tales como aparato de extracción de aire seco caliente o evaporación.

En algunos ejemplos de las plantas de dos etapas (por ejemplo, 100B y 100D), el separador final 230 puede omitirse.

En las plantas 100A a 100D, el equilibrio de reacción en los reactores 140 puede determinarse mediante la termodinámica, y es independiente del tipo de catalizador enzimático utilizado. Por tanto, la concentración de biodiésel en el equilibrio es una función de la temperatura, la concentración de disolvente inerte, las concentraciones de reactivos y las concentraciones de producto. Pueden obtenerse diferentes concentraciones de equilibrio de biodiésel a diferentes temperaturas cuando otras condiciones siguen siendo las mismas.

1.2 Configuraciones médicas

Una variedad de combinaciones de fuente de aceite, disolventes inertes, reactivos y catalizadores, y condiciones de funcionamiento asociadas incluyendo los tiempos de temperatura y de reacción, aptos para las versiones de las plantas de producción de aceite están descritas en la solicitud US nº. 10/945.339, presentada el 20 de septiembre de 2004, titulada "Methods for Producing Alkyl Esters", a nombre de Chih-Chung Chou, que se incorpora a la presente memoria como referencia.

El enfoque de tratamiento está basado en el descubrimiento de que los alquilésteres de elevada pureza se pueden producir fácilmente a partir de una materia prima de aceite (por ejemplo, aceites vegetales o grasas animales) mediante una reacción catalizada por lipasa, en la que la inactivación de lipasas se minimiza.

En particular, la presente invención proporciona un procedimiento para producir un alquiléster mediante una reacción de transesterificación o de esterificación. El procedimiento incluye: (1) mezclar una fuente de aceite que contiene un triglicérido o un ácido carboxílico y un primer alcohol primario o un primer alcohol secundario en un primer solvente orgánico para formar una primera solución, en la que cada molécula del primer solvente orgánico contiene 4 a 8 átomos de carbono y un heteroátomo, (2) hacer reaccionar el triglicérido o el ácido carboxílico con el primer alcohol primario o el primer alcohol secundario en presencia de una primera lipasa para producir un primer alquiléster, en el que la primera solución no experimenta separación de fases durante la reacción, y (3) separar el primer alquiléster de la primera solución.

Entre los ejemplos de una fuente de aceite adecuada se incluyen aceite vegetal (por ejemplo aceite de microalgas), aceite animal (por ejemplo aceite de pescado, manteca, grasas extraídas o sebo), grasas residuales (por ejemplo grasas residuales procedentes de un restaurante) o una fracción hidrolítica de las mismas (por ejemplo ácidos carboxílicos). Antes de la etapa de mezcla, puede calentarse la fuente de aceite hasta una temperatura de entre 150°C y 215°C, y enfriarse hasta la temperatura de reacción.

Antes de la reacción, la fuente de aceite puede mezclarse con el primer alcohol primario o el primer alcohol secundario en el primer solvente orgánico para formar una solución de una fase. Entre los ejemplos del primer alcohol primario y del primer alcohol secundario se incluyen aquellos que contienen 1 a 18 átomos de carbono, tales como metanol, etanol, isopropanol, isobutanol, 3-metil-1-butanol, hexanol, octanol, decanol o alcohol laurílico. Entre los ejemplos del primer solvente orgánico se incluyen piridina o un alcohol C4-C8 terciario (por ejemplo t-butanol, 2-metil-2-butanol, 2,3-dimetil-2-butanol, 2-metil-2-pentanol, 3-metil-3-pentanol, 3-etil-3-pentanol, 2,3-dimetil-2-pentanol, 2,3-dimetil-3-pentanol, 2,2,3-trimetil-3-pentanol, 2-metil-2-hexanol o 3-metil-3-hexanol). El primer solvente orgánico también puede mezclarse con otros solventes adecuados. Preferentemente los primeros solventes orgánicos pueden mezclarse con un alquiléster, que puede ser un alquiléster obtenido mediante el procedimiento de la presente invención o un alquiléster obtenido a partir de otras fuentes (por ejemplo el obtenido de una fuente comercial). En el caso de que el primer solvente orgánico se utilice conjuntamente con otro solvente, se añade en una cantidad suficiente para mantener la homogeneidad de la primera solución durante la reacción, minimizando de esta manera la inactivación de la primera lipasa. El término "lipasa" se refiere a cualquier enzima que puede catalizar una reacción de transesterificación o de esterificación. Entre los ejemplos se incluyen la lipasa de *Candida antarctica*, la lipasa de *Thermomyces lanuginosa*, la lipasa de *Pseudomonas fluorescens*, la lipasa de *Pseudomonas cepacia* o la lipasa de *Chromobacterium viscosum*. La primera lipasa puede incluir una sola lipasa o una combinación de dos o más lipasas. Preferentemente se inmoviliza sobre un portador en el primer reactor. La reacción de transesterificación o de esterificación puede llevarse a cabo a una temperatura de entre 0°C y 95°C (por ejemplo de entre 20°C y 95°C) durante 1 a 180 minutos (por ejemplo 10 a 90 minutos, o 20 a 60 minutos), obteniendo el primer alquiléster.

Durante la reacción de transesterificación entre una fuente de aceite que contiene un triglicérido y un primer alcohol primario o secundario, se produce glicerol como producto secundario. Inesperadamente, pudo obtenerse fácilmente el primer alquiléster mediante separación de fases entre el primer alquiléster y el glicerol tras eliminar el primer solvente orgánico y el primer alcohol primario o secundario no reaccionado mediante evaporación. La fuente de aceite anteriormente indicada también puede contener monoglicéridos, diglicéridos o ácidos carboxílicos. Los monoglicéridos o diglicéridos reaccionan con el primer alcohol primario o secundario de una manera similar a los triglicéridos. Los ácidos carboxílicos reaccionan con el primer alcohol primario o secundario mediante una reacción de esterificación, en la que se produce agua como producto secundario, que puede eliminarse fácilmente durante el proceso de evaporación.

Durante una reacción de esterificación entre una fuente de aceite que contiene un ácido carboxílico y un primer alcohol primario o secundario, se produce agua (aunque no glicerol) como producto secundario. También resulta inesperado que pueda obtenerse fácilmente el primer alquiléster mediante la eliminación del primer solvente orgánico, el primer alcohol primario o secundario no reaccionado y el agua mediante evaporación. En el caso de que la fuente de aceite recién mencionada contenga una cantidad significativa de triglicéridos, diglicéridos o monoglicéridos, el primer alquiléster puede obtenerse de la manera descrita en el párrafo anterior.

En el caso de que el primer alquiléster obtenido anteriormente se encuentre contaminado por monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos o ácidos carboxílicos, los contaminantes pueden eliminarse mediante la reacción adicional con un alcohol a través de otra reacción de transesterificación o de esterificación. Específicamente, el primer alquiléster puede mezclarse con un segundo alcohol primario o un segundo alcohol secundario en un segundo solvente orgánico para formar una segunda solución. Cada molécula del segundo solvente orgánico contiene 4 a 8 átomos de carbono

y un heteroátomo. El segundo solvente orgánico puede ser igual o diferente del primer solvente orgánico. El segundo alcohol primario o secundario preferentemente es igual o diferente del primer solvente orgánico. El segundo alcohol primario o secundario preferentemente es igual al primer alcohol primario o secundario. Los monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos o ácidos carboxílicos en la segunda solución seguidamente puede reaccionar con el segundo alcohol primario o el segundo alcohol secundario en presencia de una segunda lipasa para producir un segundo alquiléster. En la reacción, la segunda solución no experimenta separación de fases. La segunda lipasa puede ser igual o diferente de la primera lipasa. El primer y segundo alquilésteres obtenidos de esta manera seguidamente pueden separarse de la segunda solución. Preferentemente, el segundo alquiléster es idéntico al primer alquiléster.

Una serie de ejemplos del enfoque de tratamiento se describen a continuación.

1.2.1. Ejemplo 1

Se utilizó aceite de soja como fuente de aceite para la preparación de alquilésteres. Específicamente se mezcló aceite de soja refinado (55,4% en peso) con metanol anhidro (8,6% en peso) y *t*-butanol anhidro (36,0% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. A continuación se envió la solución a un primer reactor, que se llenó con NOVOZYM 435 (una lipasa de *Candida antarctica*; Novozymes A/S, Bagsvaerd, Dinamarca). Específicamente se inmovilizó NOVOZYM 435 sobre un portador (una resina macroporosa) y después se introdujo en el reactor. La temperatura del reactor era 45°C. El tiempo de reacción era de 62 minutos. Tras completar la reacción, la solución se alimentó a un evaporador de vacío y después a un separador líquido-líquido, obteniendo un producto. Se determinó la composición del producto mediante HPLC (columna: Luna Su C18(2) 250x4,6 mm, Phenomenex; fases móviles: metanol, hexano e isopropanol; detector de UV: UV-2075, JASCO, Japón). Inesperadamente el producto obtenido contenía 96,19% en peso de alquilésteres, 3,59% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,22% en peso de triglicéridos.

En otro experimento, se utilizó un alquiléster como cosolvente. Específicamente se mezcló aceite de soja refinado (49,1% en peso) con metanol anhidro (7,6% en peso), *t*-butanol anhidro (20,5% en peso) y un alquiléster (22,8% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que la reacción se completó en 58,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 96,10% en peso de alquilésteres, 3,23% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,67% en peso de triglicéridos.

En todavía otro experimento, se utilizó alcohol *t*-amílico y un alquiléster como solventes. Específicamente se mezcló aceite de soja refinado (40,8% en peso) con metanol anhidro (6,3% en peso), alcohol *t*-amílico anhidro (37,3% en peso) y un alquiléster (15,6% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que la reacción se completó en 53,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 96,96% en peso de alquilésteres, 2,64% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,40% en peso de triglicéridos.

1.2.2 Ejemplo 2

Se mezcló un alquiléster obtenido a partir del Ejemplo 1 con metanol anhidro y *t*-butanol anhidro en otro mezclador para formar una solución de una fase. La solución formada de esta manera contenía 70,00% en peso del alquiléster, 2,8% en peso de contaminantes (es decir, 2,47% en peso de monoglicéridos y diglicéridos, y 0,31% de triglicéridos), 7,28% en peso del metanol y 19,94% en peso del *t*-butanol. A continuación, la solución se envió a otro reactor, que se llenó con NOVOZYM 435. En particular, se inmovilizó NOVOZYM 435 en un portador y después se introdujo en el reactor. La temperatura del segundo reactor era 45°C. El tiempo de reacción era 17,5 minutos. Tras completar la reacción, la solución se alimentó a otro evaporador de vacío y después a otro separador líquido-líquido para obtener un producto. Se determinó la composición del producto mediante HPLC.

Inesperadamente el producto obtenido anteriormente contenía 99,24% en peso de alquilésteres, 0,65% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,11% en peso de triglicéridos.

1.2.3. Ejemplo 3

Se utilizaron fuentes de aceites que no eran aceite de soja como materiales de partida para preparar los alquilésteres de una manera similar a la descrita en el Ejemplo 1. Entre las fuentes de aceites utilizadas se incluían grasas residuales de restaurantes que contenían cantidades elevadas de ácidos grasos libres, grasas residuales de restaurantes que contenían cantidades reducidas de ácidos grasos libres, sebo, manteca, aceite de pescado, aceite de palma y aceite de ricino. En un experimento, se utilizaron grasas residuales procedentes de restaurantes que contenían cantidades elevadas de ácidos grasos libres. Específicamente se alimentó el reactor que contenía NOVOZYM 435 con una solución que contenía dichas grasas residuales de restaurante (49,1% en peso), metanol anhidro (7,6% en peso), *t*-butanol (20,5% en peso) y un alquiléster (22,8% en peso). Específicamente se inmovilizó NOVOZYM 435 sobre un portador y después se introdujo en el reactor. La temperatura del reactor era 45°C. El tiempo de reacción era 24,0 minutos. Se aisló el producto del reactor y se determinó su composición mediante HPLC. Inesperadamente, el producto obtenido

anteriormente contenía 96,63% en peso de alquilésteres, 3,17% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,20% en peso de triglicéridos.

En otro experimento, se utilizó aceite de pescado (un aceite animal) como una fuente de aceite. Específicamente se mezcló aceite de pescado (52,4% en peso) con metanol anhidro (7,8% en peso) y piridina anhidra (39,8% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que se completó la reacción en 25,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 95,63% en peso de alquilésteres, 3,03% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 1,34% en peso de triglicéridos.

Todavía en otro experimento, se utilizó aceite de palma (un aceite vegetal) como una fuente de aceite. Específicamente se mezcló aceite vegetal (46,5% en peso) con metanol anhidro (7,5% en peso) y alcohol *t*-amílico anhidro (46,0% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, con la excepción de que la reacción se completó en 41,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 96,97% en peso de alquilésteres, 1,95% en peso de monoglicéridos y diglicéridos, y 1,08% en peso de triglicéridos.

1.2.4. Ejemplo 4

Se utilizaron alcoholes primarios como materiales de partida para preparar alquilésteres de una manera similar a la indicada en el Ejemplo 1. Entre los alcoholes utilizados se incluían metanol, etanol, isobutanol, 3-metil-1-butanol, hexanol, octanol, decanol y alcohol laurílico. En un experimento, el reactor que contenía NOVOZYM 435 se alimentó con una solución que contenía aceite de pescado (52,0% en peso), etanol (11,2% en peso) y *t*-butanol anhidro (36,8% en peso). Específicamente, se inmovilizó NOVOZYM 435 sobre un portador y después se introdujo en el reactor. La temperatura del reactor era 45°C. El tiempo de reacción era 39,0 minutos. Se aisló el producto del reactor y se determinó su composición mediante HPLC. Inesperadamente, el producto obtenido anteriormente contenía 97,44% en peso de alquilésteres, 1,44% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 1,11% en peso de triglicéridos.

En otro experimento, se utilizó hexanol (un alcohol C6) como material de partida. Específicamente, se mezcló aceite de soja (53,7% en peso) con hexanol anhidro (26,6% en peso) y *t*-butanol anhidro (19,7% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que la reacción se completó en 46,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 95,06% en peso de alquilésteres, 4,11% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,88% en peso de triglicéridos.

En todavía otro experimento, se utilizó alcohol laurílico (un alcohol C12) como material de partida. Específicamente, se mezcló aceite de soja (37,2% en peso) con alcohol laurílico anhidro (33,6% en peso) y *t*-butanol anhidro (29,2% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que la reacción se completó en 66,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 95,03% en peso de alquilésteres, 4,07% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 0,90% en peso de triglicéridos.

1.2.5. Ejemplo 5

Se utilizaron alcoholes secundarios como materiales de partida para preparar alquilésteres de una manera similar a la indicada en el Ejemplo 1. Entre los alcoholes utilizados se incluían isopropanol (un alcohol C3), 2-butanol (un alcohol C4) y alcohol *n*-octílico secundario (un alcohol C8). En un experimento, el reactor que contenía NOVOZYM 435 se alimentó con una solución que contenía aceite de soja (52,9% en peso), isopropanol (14,1% en peso) y alcohol *t*-amílico anhidro (33,0% en peso). Específicamente, se inmovilizó NOVOZYM 435 sobre un portador y después se introdujo en el reactor. La temperatura del reactor era 45°C. El tiempo de reacción era 39,0 minutos. Se aisló el producto del reactor y se determinó su composición mediante HPLC. Inesperadamente, el producto obtenido anteriormente contenía 93,92% en peso de alquilésteres, 4,86% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 1,22% en peso de triglicéridos.

En otro experimento se utilizó 2-butanol como material de partida. Específicamente se mezcló aceite de soja (52,5% en peso) con 2-butanol anhidro (18,9% en peso) y alcohol *t*-amílico anhidro (28,6% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que la reacción se completó en 46,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 92,84% en peso de alquilésteres, 5,08% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 2,09% en peso de triglicéridos.

Todavía en otro experimento, se utilizó alcohol *n*-octílico secundario como material de partida. Específicamente se mezcló aceite de soja (46,4% en peso) con alcohol *n*-octílico secundario anhidro (29,3% en peso) y alcohol *t*-butanol anhidro (24,3% en peso) en un primer mezclador para formar una solución de una fase. Las condiciones de reacción eran iguales a las indicadas anteriormente, excepto en que la reacción se completó en 42,0 minutos. Inesperadamente, el producto obtenido contenía 94,69% en peso de alquilésteres, 2,45% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 2,86% en peso de triglicéridos.

1.2.6. Ejemplo 6

Se preparó un alquiléster utilizando ácido láurico y metanol como materiales de partida mediante una reacción de esterificación de una manera similar a la indicada en el Ejemplo 1. Específicamente, el reactor que contenía NOVOZYM 435 se alimentó con una solución que contenía ácido láurico anhidro (77,7% en peso), metanol anhidro (17,6% en peso) y *t*-butanol anhidro (4,7% en peso). Se inmovilizó NOVOZYM 435 sobre un portador y después se introdujo en el reactor. La temperatura del reactor era 45°C. El tiempo de reacción era 37,0 minutos. Se aisló el producto del reactor y se determinó su composición mediante GC (8610C, SRI, USA; columna: MXT-65TG, longitud: 30 m, D.I.: 0,25 μ m; gas portador: He, caudal: 1 ml/minuto; inyector: relación de división de flujo: 20 a 1, temperatura: 300°C; detector: FID, temperatura: 370°C).

Inesperadamente, el producto obtenido anteriormente contenía 96,0% en peso de laurato de metilo y 4,0% en peso de ácido láurico.

1.2.7. Ejemplo 7

Se prepararon alquilésteres utilizando aceite de soja y metanol como materiales de partida de una manera similar a la indicada en el Ejemplo 1, con la excepción de que se calentó aceite de soja durante un periodo de tiempo antes de la utilización. Específicamente, en primer lugar se calentó el aceite de soja a 200°C durante 5 minutos a 210°C durante 1 hora y después se enfrió hasta la temperatura de reacción. Después, se mezcló el aceite de soja (49,1% en peso) con metanol anhidro (7,6% en peso), *t*-butanol anhidro (20,5% en peso) y un alquiléster (22,8% en peso) en el mezclador para formar una solución de una fase. A continuación, la solución se envió al reactor, que se llenó con NOVOZYM 435. Específicamente, se inmovilizó NOVOZYM 435 sobre un portador y se introdujo en el reactor previamente. La temperatura del reactor era 45°C. Se aisló cada producto del reactor y se determinó su composición mediante HPLC.

Inesperadamente, se necesitaron 50,3 minutos y 47,4 minutos para obtener un producto que contenía menos de 1,5% en peso de triglicéridos utilizando aceite de soja calentado a 200°C durante 5 minutos y utilizando aceite de soja calentado a 210°C durante 1 hora, respectivamente. En comparación, se necesitaron 53,8 minutos para el mismo resultado en una reacción similar utilizando aceite de soja sin tratamiento térmico previo.

1.2.8. Ejemplo 8

Se utilizó LIPOZYME TL IM (una lipasa de *Thermomyces lanuginosa*, Novozymes A/S, Bagsvaerd, Dinamarca) como catalizador para preparar alquilésteres de una manera similar a la indicada en el Ejemplo 1. Específicamente, se inmovilizó sobre un portador de sílice granulado y después se introdujo en el reactor. A continuación, el reactor se alimentó con una solución que contenía aceite de soja (49,1% en peso), metanol anhidro (7,6% en peso), *t*-butanol anhidro (20,5% en peso) y un alquiléster (22,8% en peso). La temperatura del reactor era 45°C. El tiempo de reacción era 51,0 minutos. Se aisló el producto del reactor y se determinó su composición mediante HPLC.

Inesperadamente, el producto obtenido anteriormente contenía 94,04% en peso de alquilésteres, 3,65% en peso de monoglicéridos y diglicéridos y 2,31% en peso de triglicéridos.

2. Enfoque de producción de combustible biodiésel de una única etapa

Haciendo referencia a la figura 3, un ejemplo de la planta de tratamiento 100A de la configuración mostrada en la figura 2A incluye varios componentes utilizados para ejecutar los separadores 220 y 230, así como componentes adicionales no mostrados en la figura 2A utilizados para tratar la producción recuperada y productos residuales producidos por los separadores. En este ejemplo, el reactivo 130 incluye un alcohol.

El reactor 140 puede ser, por ejemplo, un reactor de flujo de pistón que incluye el catalizador 142 enzimático. Una descripción de la reacción entre la fuente 110 de aceite y el alcohol 130 reactivo puede encontrarse en la sección 1.2 y en la solicitud de patente U.S. 10/945.339. La velocidad del flujo de fluido a través del reactor 140 se controla de modo que se cumple un tiempo de residencia especificado para el reactor 140, que permite un tiempo suficiente para que las reacciones se completen. El tiempo de residencia puede oscilar desde, por ejemplo, 3 horas hasta menos de 20 minutos. La temperatura del reactor 140 se mantiene en un valor prefijado, que puede oscilar desde, por ejemplo, 20°C hasta 95°C, dependiendo en parte del tipo de fuente de aceite, reactivo y catalizador.

El reactor 140 emite un producto 103 bruto, que incluye éster alquílico, glicerol e impurezas, tales como aceites que han reaccionado de manera incompleta que se generan a partir de la reacción entre la fuente 110 de aceite y el reactivo 130. Los ejemplos de aceites que han reaccionado de manera incompleta incluyen monoglicérido y diglicérido.

La planta de tratamiento 100A incluye un módulo 220 de separación que separa los componentes en el producto 103 bruto en, por ejemplo, glicerol bruto 168 y biodiésel bruto 150 incluyendo aceite 110 que no ha reaccionado, disolvente 120 inerte y reactivo 130 que no ha reaccionado. El módulo 220 de separación incluye un evaporador a vacío, tal como un evaporador de láminas rotativas 324, tipo modelo VD, fabricado por Verfahrens Technische

Aulagen GMBH, Deggendorf, Alemania, o un tambor de evaporación simple integrado con un evaporador de lecho compacto. El evaporador de láminas rotativas 324 separa los diversos componentes en el producto 103 bruto utilizando la evaporación por medio de láminas rotativas. El evaporador de láminas rotativas 324 incluye una lámina delgada que presenta un área superficial grande de modo que el disolvente 120 inerte, el alcohol 130 que no ha reaccionado y el agua pueden evaporarse a una velocidad más rápida. Los componentes que presentan puntos de ebullición inferiores, tales como el alcohol 130 que no ha reaccionado, el vapor de agua, el disolvente inerte y otras impurezas, se evaporan, condensan y recogen en una unidad 328 de recuperación de disolvente, que separa el disolvente 120 inerte, el alcohol 130 que no ha reaccionado, el vapor de agua y otras impurezas. El disolvente 120 inerte y el alcohol 130 que no ha reaccionado pueden reciclarse y mezclarse con disolvente 120 nuevo, fuente 110 de aceite nueva y alcohol 130 reactivo nuevo como parte de la entrada al reactor 140. El vapor de agua y otras impurezas se envían a un convertidor 362 catalítico, que convierte las impurezas en, por ejemplo, dióxido de carbono. El vapor de agua y el dióxido de carbono se emiten a través de un orificio de ventilación (no mostrado).

El residuo del evaporador de láminas rotativas 324 incluye glicerol, éster alquílico, aceite que no ha reaccionado y aceite que ha reaccionado de manera incompleta, que se envían a un primer coalescedor y separador 336. El coalescedor coalesce las gotas de glicerol en forma líquida. Tras sedimentarse la disolución durante un periodo de tiempo en el separador, el biodiésel y el glicerol se separarán, formando una capa superior de biodiésel y una capa inferior de glicerol.

La capa inferior de glicerol se denomina glicerol bruto 168, que incluye impurezas, tales como agua, disolvente inerte y alcohol que no ha reaccionado. El glicerol bruto 168 se envía a un evaporador de glicerol bruto 338. Un ejemplo del evaporador 338 es un evaporador de recorrido corto, tal como el tipo modelo VK, fabricado por VTA GMBH, o un tambor de evaporación simple acoplado con un evaporador de lecho compacto. El evaporador 338 funciona mediante evaporación para separar el glicerol de las impurezas, y emite el glicerol "puro" 114. Como ejemplo, el glicerol puro 114 puede ser por lo menos un 99% puro en peso.

La capa superior de biodiésel se denomina biodiésel bruto 225 debido a que incluye impurezas, tales como aceite que ha reaccionado de manera incompleta, aceite que no ha reaccionado y cantidad traza de glicerol. Una parte del biodiésel bruto 225 se recicla y se alimenta de nuevo al reactor 140. Tal como se describió anteriormente, la recirculación del biodiésel bruto 225 puede reducir la cantidad de disolvente inerte que se requiere para disolver la fuente de aceite y el alcohol reactivo, además de la ventaja de promover la reacción hasta que se complete.

La parte del biodiésel bruto 225 que no se recicla se envía al separador final 230, que incluye un evaporador de recorrido corto 344 que separa el biodiésel de las impurezas para generar el biodiésel puro 150.

El evaporador de recorrido corto 344 emite el aceite incompleto, aceite que no ha reaccionado y el glicerol hacia un segundo coalescedor y separador 354 o un lecho de resina de intercambio iónico regenerable (lecho de flujo de pistón), que separa o elimina el glicerol de los otros componentes. El coalescedor y separador 354 emite el glicerol bruto 156 hacia el evaporador de glicerol bruto 338, que trata el glicerol bruto 156 para generar glicerol puro 114. El coalescedor y separador 354 emite aceites que no han reaccionado e incompletos, que, opcionalmente, pueden reciclarse y alimentarse de nuevo al reactor 140.

3. Diseño detallado de un sistema de una única etapa

Haciendo referencia a la figura 4, se describe en detalle a continuación otro ejemplo de planta 110A de la configuración mostrada en la figura 2A.

Haciendo referencia a la figura 4, la planta 110A incluye un tambor de aceite (D-1) que almacena la fuente 110 de aceite. El disolvente 120 inerte se almacena en un tambor de disolvente, que aloja disolvente inerte nuevo, disolvente inerte recirculado de la unidad de recuperación de disolvente dentro de la planta y gas nitrógeno. El gas nitrógeno bloquea la humedad y el oxígeno del disolvente. El alcohol 130 reactivo se almacena en un tambor de alcohol reactivo, que aloja alcohol reactivo nuevo, alcohol reactivo recirculado y gas nitrógeno.

El mezclado de la fuente 110 de aceite, el disolvente 120 inerte y el alcohol 130 reactivo se realiza utilizando varios componentes. Una bomba dosificadora de doble cabezal (P-1) 430 bombea la fuente 110 de aceite a lo largo del recorrido 432 a una velocidad fijada hacia un lecho de eliminación de agua (RB-1) 436, que puede ser, por ejemplo, un lecho compacto relleno con polímero superabsorbente que elimina cantidades traza de agua directamente de la fuente de aceite. Tras eliminar el agua, la fuente de aceite se envía a través de una tubería 440 hacia la mezcladora 210, que incluye una mezcladora estática (SM-1) 438. Al mismo tiempo, una bomba dosificadora de doble cabezal (P-2) 424 bombea el reactivo y el disolvente inerte hacia la mezcladora estática 438 a una velocidad de modo que la razón de la fuente de aceite frente al alcohol reactivo y el disolvente inerte se mantiene a un valor predeterminado. La bomba 430 también bombea biodiésel bruto recirculado 225 a través de una tubería 476 hacia la mezcladora estática 438, a una razón predeterminada de biodiésel bruto recirculado frente a fuente de aceite.

La mezcladora estática 438 puede ser, por ejemplo, una mezcladora estática de múltiples elementos tal como se describe en la patente U.S. n.º 3.286.992, o una mezcladora compacta, tal como mezcladora estática compacta Sulzer, disponible de Sulzer Chemtech, Suiza. Una mezcladora estática no presenta partes móviles, y mezcla la disolución sin

ES 2 336 008 T3

energía externa. La mezcladora estática 438 hace que el reactivo, el disolvente inerte, la fuente de aceite y el biodiésel bruto recirculado se mezclen meticulosamente para producir una disolución homogénea.

5 El reactor 140, que incluye un intercambiador de calor (HE-1) 448 y un reactor de tipo cartucho (R-1) 404, aloja la producción de la mezcladora 210. Específicamente, la producción de la mezcladora estática 438 se envía a un intercambiador de calor (HE-1) 448, que regula la temperatura de la disolución mezclada utilizando, por ejemplo, agua de refrigeración, aceite caliente, vapor de agua o enfriadores o calentadores eléctricos. El intercambiador de calor 448 puede presentar, por ejemplo, un diseño de doble tubería. Entonces se introduce la disolución en un cartucho 404 alargado del reactor que está relleno con el catalizador 142 enzimático, en este caso lipasa. La temperatura de
10 reacción puede estar en un intervalo de 0 a 95°C, preferentemente a temperatura ambiente (por ejemplo, 25°C).

Pueden utilizarse varios tipos alternativos de cartucho 404. Por ejemplo, el cartucho 404 puede ser una columna con soporte de rejilla en la parte inferior. Se proporciona un tamiz en la parte inferior del cartucho para retener el catalizador 142 enzimático dentro del cartucho, y se proporciona otro tamiz en la parte superior del cartucho para
15 nivelar el flujo de la disolución en el cartucho. Entre los dos tamices, el cartucho se rellena con el catalizador. La disolución mezclada de temperatura regulada se introduce en el cartucho 404 a través de una abertura en la parte superior del cartucho, y fluye hacia abajo a través del catalizador 142 enzimático. El catalizador enzimático facilita una reacción entre los alcoholes reactivos y la fuente de aceite, que incluye triglicérido, para generar éster alquílico, glicerol y agua (y/u otras impurezas).
20

El reactor 140 emite un producto bruto que incluye éster alquílico, glicerol, aceite que no ha reaccionado (triglicérido), aceite incompleto (monoglicérido y diglicérido), alcohol que no ha reaccionado, disolvente inerte y otras impurezas. Tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 3, la producción bruta del reactor 140 se hace pasar a un separador 220, que incluye un evaporador 324 y coalescedor y separador 336. En la figura 4, se indica
25 un diseño particular de coalescedor y separador 336 mediante el número de referencia 336A, en el que se emplea un filtro de membrana con tamaño de poro de 1~5 μm para coalescer las gotas de glicerol.

En la planta 110A mostrada en la figura 4, el evaporador 324 incluye un regulador 452 de la presión (PR), un precalentador 448 (HE-2) y un evaporador de tambor de evaporación simple integrado con un diseño 451 de lecho compacto (E-1). El precalentador 448 puede utilizar, por ejemplo, aceite caliente o vapor de agua para precalentar
30 el producto bruto. El evaporador 451 puede utilizar aceite caliente o vapor de agua como medio de calentamiento en la zona con camisa. En el interior del evaporador 451, se evaporan el disolvente inerte, agua y alcohol que no ha reaccionado y salen del evaporador 451 a través de una abertura superior. El disolvente inerte, agua y el alcohol que no ha reaccionado se condensan y se recogen en la unidad 328 de recuperación de disolvente (no mostrada en la figura 4), y pueden reciclarse.
35

La composición del líquido condensado en la unidad de recuperación de disolvente puede incluir alcohol que no ha reaccionado, disolvente inerte, agua y cantidad traza de biodiésel. Pueden utilizarse dos columnas simples para separar el alcohol que no ha reaccionado, disolvente inerte y agua. En un ejemplo, la primera columna separa el disolvente
40 inerte del alcohol que no ha reaccionado y agua. El disolvente inerte, incluyendo cantidad traza de biodiésel, si hay alguna, sale de la parte inferior de la primera columna y se recicla al tambor de disolvente inerte.

En la unidad de recuperación de disolvente, el alcohol que no ha reaccionado y el agua salen de la parte superior de la primera columna y se envían a la segunda columna, en la que el alcohol que no ha reaccionado se recoge en un
45 tambor a reflujo superior y se recicla al tambor de alcohol reactivo. El residuo de la parte inferior en la segunda columna consiste en su mayor parte en agua y cantidades pequeñas de alcohol que no ha reaccionado y disolvente inerte. La pequeña cantidad de alcohol que no ha reaccionado y disolvente inerte puede vaporizarse a través de un convertidor catalítico y quemarse completamente. Ambas columnas simples pueden hacerse funcionar automáticamente a presión ambiente. En general, el diseño de la recuperación de disolvente depende del alcohol y el disolvente inerte que se
50 utilizan, y pueden utilizarse diferentes esquemas de recuperación.

Continuando con la referencia a la figura 4, los componentes en el evaporador 451 que presentan puntos de ebullición superiores se bombean mediante una bomba de engranajes (p-6) a un coalescedor 454 (CL-1), y las gotas de glicerol coalescen para dar gotas grandes que pueden separarse fácilmente del biodiésel bruto. Se forman dos líquidos
55 en el separador de fases líquido-líquido (S-2) 456. Se envía biodiésel bruto a través de un enfriador (HE-3) 458 y un lecho de eliminación de cantidades traza de glicerol (RB-3) 461, que está relleno con una resina de intercambio iónico regenerable. La producción del lecho de eliminación de cantidades traza de glicerol 461 se divide en dos flujos 476 y 478. Un flujo 476 se recicla a la mezcladora estática 438, el otro flujo 478 se envía al evaporador de recorrido corto (E-2) 424.
60

El biodiésel bruto, que puede incluir por lo menos el 95% en peso de éster alquílico, fluye hacia fuera del separador 456 y se enfría mediante un enfriador (HE-3) 458. Se utiliza agua de refrigeración para enfriar el biodiésel bruto en el enfriador.

65 Una parte del biodiésel bruto se recicla a través de una tubería 476 de realimentación. El biodiésel bruto recirculado pasa por una válvula de solenoide de tres vías 478, que puede conectarse entre el biodiésel bruto y el biodiésel puro. Tal como se describió anteriormente, la bomba 430 bombea el biodiésel recirculado hacia la mezcladora estática 438.

ES 2 336 008 T3

La parte del biodiésel bruto que no se recicla se envía al evaporador de recorrido corto 344 (parte del separador final 230 tal como se muestra en la figura 3). El evaporador de recorrido corto 344 incluye un intercambiador de calor (HE-4) 486, un regulador 452 de presión y un evaporador de recorrido corto (E-2) 424. El evaporador de recorrido corto 424 separa el biodiésel del glicerol, aceite que no ha reaccionado y otras impurezas. El biodiésel de alta pureza fluye hacia fuera del evaporador 424 a través de un recorrido 426.

El evaporador 424 emite el aceite que no ha reaccionado contaminado con cantidad traza de glicerol a través de un recorrido 433 hacia un tambor (S-4) 472. El aceite que no ha reaccionado se bombea mediante una bomba de engranajes (P-8) 473 a través de un enfriador (HE-6) 475. Dependiendo de la calidad del aceite que no ha reaccionado y/o la cantidad de impureza en el aceite, el aceite que no ha reaccionado puede enviarse a un tambor de eliminación de aceite residual, o enviarse a través de un lecho de eliminación de glicerol (RB-2) 444 para eliminar cualquier glicerol restante y reciclarse al tambor de aceite D-1. El lecho de eliminación de glicerol 444 puede ser, por ejemplo, un lecho compacto relleno con una resina que puede eliminar cantidades traza de glicerol de la disolución.

Una trampa 457 de drenaje por gravedad doble (DN-1) se coloca entre el separador de fases líquido-líquido (S-2) 456 y el tambor 474 para descargar el glicerol automáticamente. Un ejemplo de la trampa 457 está disponible de Armstrong, MI, EE.UU.. Alternativamente, si la trampa de drenaje no puede utilizarse debido a que la cantidad de glicerol es demasiado pequeña, puede utilizarse un tambor pequeño con un conmutador de nivel alto y un conmutador de nivel bajo, ambos acoplados a una válvula de solenoide en la parte inferior del tambor para la descarga de glicerol.

El glicerol bruto en el tambor 474 puede refinarse a través de un evaporador a vacío (no mostrado en la figura 4) para eliminar el agua, el alcohol que no ha reaccionado y el disolvente inerte. El vapor evaporado se condensa y se agrupa con el tambor de líquido condensado del evaporador E-1 (y E-2) descrito anteriormente. El residuo que deja el evaporador de glicerol bruto es el producto de glicerol puro adecuado para su utilización comercial.

El biodiésel de alta pureza del evaporador de recorrido corto 424 se bombea a través de un intercambiador de calor (HE-5) 408, en el que el agua de refrigeración enfría el biodiésel de alta pureza. El producto de biodiésel puro final puede incluir por lo menos un 99% en peso de éster alquílico. El producto de biodiésel puro se almacena en un tambor de producto de biodiésel puro (D-5). Durante la puesta en marcha de la planta de tratamiento, el biodiésel puro puede reciclarse a través de un recorrido de realimentación a la mezcladora 210 para el reactor 140 cuando el biodiésel bruto no está disponible. El recorrido de realimentación está conectado a la válvula de solenoide 478 de modo que el biodiésel puro recirculado puede desconectarse cuando se emplea el biodiésel bruto.

4. Diseño alternativo de un sistema de una única etapa

La figura 5 muestra un diseño alternativo de un reactor de una única etapa que utiliza un diseño de descarga de producto inferior. Se utilizan dos tambores de líquido (S-1) 556 y (S-2) 566, que están conectados entre vacío y atmósfera, para descargar líquido de un tambor 455 acoplado al evaporador. Se utilizan detectores de líquido (no representados) en los tambores 556 y 566 para el control automático de la operación de conexión para descargar líquidos. Las válvulas de solenoide de dos vías 558 y 560, y una válvula de solenoide de tres vías 568 regulan el flujo de la disolución desde el tambor 455 hasta los tambores 556 y 566. La válvula 560 regula un flujo de líquido desde la parte inferior del tambor 556. En un primer periodo de tiempo, la válvula 560 se cierra y la válvula 558 se abre. La válvula de solenoide de tres vías 568 está configurada de modo que una abertura superior del tambor 556 se acopla a una bomba de vacío (no representada). La disolución fluye por gravedad desde el tambor 455 hacia el interior del tambor 556.

Después de que haya una cantidad prefijada de disolución en el tambor 556, la válvula 558 se cierra. La válvula 560 se abre, y la válvula de solenoide de 3 vías 568 se selecciona de modo que el aire ambiente puede pasar por un gel de sílice (o resina) 570 y se introduce en la abertura superior del tambor 556. El gel de sílice o resina 570 elimina la humedad del aire que se introduce en el tambor 556.

Debido a la gravedad, la disolución en el tambor 556 fluye hacia el interior del tambor 566. Después de que la disolución fluya hacia fuera del tambor 556 hasta un nivel prefijado, la válvula 560 se cierra, la válvula 568 se conecta y la válvula 558 vuelve a abrirse.

Una bomba 562 bombea de manera continua la disolución a través de un coalescedor 454 (CL-1), en el que las gotas de glicerol se coalescen para dar gotas grandes y se separan del biodiésel bruto. La bomba 562 funciona de manera similar al papel de la bomba de engranajes 467 en la figura 4. La diferencia es que, para la bomba 562, la presión de succión procede de la presión ambiente en vez de la situación de alto vacío tal como en el caso para la bomba de engranajes 467. Esto proporciona más flexibilidad en la selección de la bomba, haciendo más fácil que se encuentre una bomba adecuada.

La operación posterior es similar a la facilitada en la figura 4. Puede emplearse un diseño similar para los flujos inferiores del evaporador de recorrido corto (E-2) 424.

5. Planta de dos etapas

Haciendo referencia a la figura 6, a continuación se describe en detalle un ejemplo de una planta de tratamiento de dos etapas 110B de la configuración mostrada en la figura 2B. El separador final 230 de la figura 2B se omite en la figura 6.

La primera parte de la planta de tratamiento 110B en la figura 6 incluye un primer reactor 140, un primer evaporador 324 y un primer coalescedor y separador 336B, que funciona de manera similar a los correspondientes elementos en la figura 5. En vez de utilizar un evaporador de recorrido corto 344 como en la figura 5, la planta de tratamiento 110B de la figura 6 utiliza un segundo reactor 140, un segundo evaporador 324 y un segundo coalescedor y separador 336B. El segundo reactor 140, que puede ser similar al primer reactor 140, incluye un catalizador enzimático, tal como una lipasa. Los reactores primero y segundo 140 pueden utilizar los mismos o diferentes catalizadores enzimáticos.

El biodiésel bruto deja el lecho de eliminación de glicerol RB-2, que elimina glicerol del biodiésel bruto, se transporta a lo largo de una tubería 288 hacia una segunda mezcladora estática (SM-2) 210, que es similar a la primera mezcladora estática 210 para el primer reactor 140. Al mismo tiempo, una bomba de doble cabezal (P-4) 292 bombea el alcohol 130 reactivo y el disolvente 120 inerte hacia la segunda mezcladora estática (SM-2) 210 a una velocidad de modo que una razón prefijada del alcohol 130 reactivo y el disolvente 120 inerte se mezcla con el biodiésel bruto en una ubicación 290 antes que se introduzca en la mezcladora estática SM-2 210. La producción de la mezcladora estática SM-2 210 se envía al segundo reactor 140.

En el segundo reactor 140, el alcohol reactivo, el aceite que no ha reaccionado y el aceite incompleto reaccionan para generar más éster alquílico, de modo que en una producción del segundo reactor 140, queda menos aceite que no ha reaccionado y aceite incompleto.

La producción del segundo coalescedor y separador 336B incluye biodiésel de pureza superior, que incluye un porcentaje superior (por ejemplo, más del 99% en peso) de éster alquílico. El biodiésel de pureza superior, que puede incluir una cantidad traza de glicerol, se enfría en primer lugar en el enfriador (HE-5) 488 y entonces se hace pasar a través del lecho de resina (RB-3) 489. El lecho de resina (RB-3) se rellena con una resina para eliminar una cantidad traza de glicerol.

El producto final, biodiésel de alta pureza 150, que puede incluir, por ejemplo, un 99% en peso de éster alquílico, se envía a un tambor de producto de alta pureza (D-5). El biodiésel de alta pureza en el tambor D-5 puede reciclarse durante la puesta en marcha o proporcionarse a un usuario.

En algunos ejemplos, las condiciones de funcionamiento para las plantas de tratamiento 100A (figuras 4 y 5) y 100B (figura 6) pueden ser tal como sigue. El primer reactor 404 se hace funcionar a temperaturas que oscilan desde 0°C hasta 95°C, en el que el tiempo de residencia oscila desde 1 hasta 180 minutos. El primer evaporador 451 se hace funcionar a temperaturas inferiores a 120°C y presiones inferiores a 100 mmHg. Los lechos de eliminación 436, 444 y 461 pueden hacerse funcionar a temperaturas que oscilan desde 20°C hasta 80°C, preferentemente cerca de la temperatura ambiente (por ejemplo, 25°C). Los coalescedores 454 y 456 pueden hacerse funcionar a temperaturas que oscilan desde 20°C hasta 80°C.

6. Condiciones de funcionamiento ejemplificativas

6.1 Ejemplo 1

A continuación, se proporciona un ejemplo de condiciones de funcionamiento para una planta de tratamiento de dos etapas descrita anteriormente, en la que se recirculó biodiésel bruto a la primera entrada del reactor. Se utilizaron evaporadores de láminas rotativas y no se utilizó un evaporador de recorrido corto. Se utilizó aceite de soja refinado adquirido de un supermercado local como materia prima para la planta de tratamiento. La cantidad de agua en el aceite de soja refinado era de aproximadamente 200-300 ppm. Se utilizó metanol anhidro puro como alcohol reactivo. Se utilizó alcohol t-amílico anhidro puro como disolvente inerte. El primer reactor (R-1) incluía un lecho compacto relleno con lipasa, en el que la lipasa era TL IM, de Novozymes. El tiempo de residencia de la disolución en el primer reactor era de 50 minutos, y la temperatura de reacción era de 25°C. El segundo reactor (R-2) era un lecho compacto relleno con lipasa, en el que la lipasa era Novo 435, de Novozymes. El tiempo de residencia de la disolución en el segundo reactor era de 115 minutos y la temperatura de reacción era de 25°C. Los evaporadores son evaporadores de láminas rotativas, que se hacen funcionar a una temperatura de 110°C y una presión de 1,0 mmHg abs., y a una velocidad de rotación de 250 revoluciones por minuto. El producto final incluía un 99,10% en peso de biodiésel, un 0,62% en peso de monoglicérido, un 0,22% en peso de diglicérido, un 0,066% en peso de triglicérido y el índice de acidez era de 0,630 mg KOH/g.

6.2 Ejemplo 2

A continuación, se proporciona un ejemplo de condiciones de funcionamiento para una planta de tratamiento de una única etapa descrita anteriormente, en la que se recirculó el biodiésel bruto a la entrada del reactor. Se utilizaron

dos diseños de evaporador alternativos: (1) un tambor de evaporación simple integrado con un evaporador de lecho compacto, y (2) un evaporador de láminas rotativas. Se trató el producto final mediante un evaporador de recorrido corto. La materia prima era aceite de soja nuevo refinado con 200-300 ppm de humedad de agua. El reactor (R-1) era un lecho compacto relleno con lipasa. La lipasa era TL IM (de Novozymes), el tiempo de residencia era de 53 minutos y la temperatura de reacción era de 25°C. Cuando el evaporador (E-1) utilizó un tambor de evaporación simple integrado con un lecho compacto, la temperatura de funcionamiento era de 120°C y la presión era de 5 torr abs. Cuando el evaporador utilizó un evaporador de láminas rotativas sin tambor de evaporación de manera prioritaria, la temperatura de funcionamiento era de 120°C, la presión era de 1 torr abs. y la velocidad de rotación era de 250 revoluciones por minuto. El separador final utilizó un evaporador de recorrido corto (E-2), en el que la temperatura de funcionamiento era de 120°C, la presión era de 0,05 torr abs. y la velocidad de rotación era de 400 RPM. El producto final que se obtuvo incluía un 99,81% en peso de biodiésel, un 0,13% en peso de monoglicérido, un 0,06% en peso de diglicérido y cantidad no detectable de triglicérido, y el índice de acidez es de 0,770 mg KOH/g.

6.3. Ejemplo 3

A continuación, se proporciona un ejemplo de condiciones de funcionamiento para una planta de tratamiento de una única etapa descrita anteriormente, en la que no se recirculó el biodiésel bruto. La materia prima era aceite de soja nuevo refinado con 200-300 ppm de humedad de agua. El reactor (R-1) era un lecho compacto relleno con lipasa. La lipasa era TL IM (de Novozymes), el tiempo de residencia era de 66,6 minutos y la temperatura de reacción era de 25°C. El evaporador (E-1) era un tambor de evaporación simple integrado con un lecho compacto, que funcionaba a temperatura de 120°C y presión de 5 torr abs. El producto final que se obtuvo incluía un 86,55% en peso de biodiésel, un 6,52% en peso de monoglicérido, un 5,24% de diglicérido y un 1,69% en peso de triglicérido.

6.4. Ejemplo 4

El producto de biodiésel bruto que es la producción de un coalescedor de tipo membrana típico (tamaño de poro en el intervalo de 1-5 μm) puede presentar una cantidad de 1.000-1.500 ppm de glicerol tras la separación líquido-líquido. El biodiésel bruto puede hacerse pasar a través de un lecho de resina que presenta una profundidad de 90 cm, en el que el tiempo de residencia del fluido en el lecho es de aproximadamente 25 minutos. La concentración final de glicerol en el efluente puede ser inferior a 15 ppm. La resina que se utiliza puede ser un tipo de resina de intercambio iónico, MonoPlus SP112, disponible de Bayer Company, Alemania. El lecho saturado puede regenerarse mediante metanol, etanol o materiales equivalentes.

7. Cartuchos catalíticos

Los reactores primero y segundo 140 pueden utilizar cartuchos que pueden retirarse rellenos con catalizadores enzimáticos, de modo que los cartuchos viejos pueden sustituirse por los nuevos cuando el catalizador se vuelve ineficaz tras una ejecución prolongada. Los reactores primero y segundo 140 están configurados para aceptar una variedad de cartuchos que pueden retirarse, tales como de diferentes vendedores, o que presentan diferentes tipos de catalizadores. Las plantas de tratamiento 100A a 100D pueden diseñarse para que presenten un mecanismo de acoplamiento que se acopla con los cartuchos, de modo que los cartuchos pueden retirarse e instalarse fácilmente. Pueden utilizarse diferentes tipos de catalizadores enzimáticos, estando asociado cada catalizador con un conjunto diferente de condiciones de funcionamiento, tales como velocidad de flujo y temperatura de funcionamiento. Los sistemas de producción de combustible biodiésel pueden ajustar las condiciones de funcionamiento basándose en el tipo particular de catalizador enzimático que está utilizándose.

Haciendo referencia a la figura 7, un sistema 702 de producción de combustible biodiésel incluye reactores 704, incluyendo cada uno un cartucho 706 relleno con catalizador enzimático. El cartucho 706 incluye un identificador 708, tal como un código de barras o una etiqueta de identificación por radiofrecuencia (RFID), que identifica el catalizador enzimático en el cartucho 706. Un lector 710 (por ejemplo, un lector de RFID o código de barras) lee el identificador 708, y envía la información de identificación a un procesador 712 de datos. Basándose en la información de identificación, el procesador 712 de datos recupera la información de funcionamiento prealmacenada a partir de una base 714 de datos, y utiliza la información de funcionamiento para controlar un subsistema 716 de control del flujo y un subsistema 718 de control de la temperatura.

El subsistema 716 de control del flujo incluye, por ejemplo, bombas que determinan una velocidad de flujo de la fuente de aceite y el alcohol reactivo que fluyen a través de los reactores. En algunos ejemplos, el identificador 708 puede estar asociado con un catalizador enzimático que requiere un tiempo de residencia corto, de modo que el procesador de 712 datos controla el subsistema 716 de control del flujo para bombear las disoluciones a través de los reactores 704 más rápido. En algunos ejemplos, el identificador 708 puede estar asociado con un catalizador enzimático que requiere un tiempo de residencia más largo, de modo que el procesador 712 de datos controla el subsistema de control del flujo para bombear las disoluciones a través de los reactores 704 más lento. En algunos ejemplos, el identificador 708 puede estar asociado con un catalizador enzimático que requiere una temperatura de reacción superior, de modo que el procesador 712 de datos controla el subsistema 718 de control de la temperatura para fijar las temperaturas de los reactores o los intercambiadores de calor a un valor superior. En algunos ejemplos,

ES 2 336 008 T3

el identificador 708 puede estar asociado con un catalizador enzimático que requiere una temperatura de reacción inferior, de modo que el procesador 712 de datos controla el subsistema 718 de control de la temperatura para fijar las temperaturas de los reactores o los intercambiadores de calor a un valor inferior.

- 5 En algunos ejemplos, el identificador 708 puede estar asociado con información prealmacenada que proporciona una estimación sobre cuándo necesita sustituirse el cartucho 706. La información prealmacenada puede indicar que el cartucho 706 necesita sustituirse después de que un cierto volumen de disolución haya pasado por el cartucho 706. Basándose en medidores de flujo (no mostrados) en el sistema, el procesador 712 de datos determina el volumen de disolución que ha pasado por el cartucho 706. Cuando el volumen supera un cierto límite, el procesador 712 de datos
10 muestra un mensaje al usuario para indicarle que el cartucho necesita sustituirse.

8. Aplicaciones

- 15 Haciendo referencia a la figura 8, un generador 800 de energía eléctrica incluye una planta de tratamiento 802 que aloja una fuente 804 de aceite y un alcohol 805 reactivo, y genera biodiésel 806. El biodiésel 806 se envía a un generador 808 de energía eléctrica de biodiésel, que genera electricidad 810 a partir del biodiésel 806. Una parte de la electricidad se envía a la planta de tratamiento 802 a través de un recorrido 812, y se utiliza para proporcionar energía a diversos componentes eléctricos de la planta de tratamiento.

20 El sistema 802 puede ser cualquiera de las plantas de tratamiento descritas anteriormente.

- Una ventaja del generador 800 de energía eléctrica es que el sistema puede generar electricidad con menos contaminación que los generadores de energía eléctrica que utilizan combustible diésel a base de petróleo. Si la fuente de aceite
25 incluye triglicérido, el generador 800 produce glicerol, agua y dióxido de carbono como subproducto. Si la fuente de aceite incluye ácido carboxílico, el generador 800 produce sólo agua y dióxido de carbono como subproducto.

- Haciendo referencia a la figura 9, un vehículo 820 incluye una planta de tratamiento 802 que aloja la fuente 804 de aceite y el alcohol 805 reactivo, y genera biodiésel 806. El biodiésel 806 se envía a un motor 814 diésel, que convierte
30 el biodiésel en energía 820 cinética que se envía un sistema 816 de transmisión que transmite la energía cinética a las ruedas o propulsores para impulsar el vehículo 820. El vehículo 820 puede incluir un generador de energía eléctrica (no mostrado) que convierte la energía cinética del motor diésel en electricidad. La electricidad puede utilizarse para impulsar diversos componentes eléctricos del vehículo 820.

- 35 La planta de tratamiento 802 puede ser cualquiera de las plantas de tratamiento descritas anteriormente. El vehículo 820 puede ser, por ejemplo, un coche, un camión, un tren, un barco o un avión.

- Haciendo referencia a la figura 10, un edificio 830, tal como un restaurante, incluye una unidad 834 de tratamiento de alimentos (tal como una cocina) que aloja aceite 832 de cocina para tratar alimentos. El aceite 836 reciclado
40 generado mediante la unidad 834 de tratamiento de alimentos se envía a una planta de tratamiento 802, que también aloja el alcohol 805 reactivo y emite el biodiésel 806. Un generador 808 de energía eléctrica diésel aloja el biodiésel y genera electricidad, que se utiliza para impulsar diversos componentes eléctricos de la unidad 834 de tratamiento de alimentos y la planta de tratamiento 802.

45 9. Alternativas

- Otras formas de realización están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. Por ejemplo, las bombas de doble cabezal pueden sustituirse por dos bombas independientes. Las mezcladoras estáticas pueden sustituirse por
50 un tambor de mezclado agitado o mezcladoras estáticas de tipo dosificadoras. Para la producción a pequeña escala de biodiésel, puede utilizarse una mezcladora estática compacta de tipo dosificadora en cada punto de mezclado. Si la fuente de aceite incluye un alto porcentaje de agua, tal como más de 2.000 ppm, el lecho de eliminación de agua puede sustituirse por un aparato de extracción de aire caliente. El agua puede eliminarse mediante extracción y el aceite se enfría antes de que se envíe al reactor. En algunos ejemplos, cuando se utilizan grasas animales o aceites vegetales de
55 alto punto de fusión como materia prima, las grasas o los aceites se disuelven en primer lugar en el disolvente inerte.

- Si la fuente de aceite incluye ácido carboxílico, una reacción entre el ácido carboxílico y el alcohol reactivo genera éster alquílico, con agua como subproducto. No se genera glicerol en este caso. Debido a que no hay glicerol, la purificación del éster alquílico puede lograrse mediante la evaporación del disolvente, el alcohol que no ha reaccionado
60 y el agua. Cuando la fuente de aceite incluye ácido carboxílico, no es necesario utilizar los separadores para separar el biodiésel del glicerol, o utilizar lechos de eliminación para eliminar el glicerol.

- En algunos ejemplos, el biodiésel puede utilizarse como combustible para un motor diésel de combustión interna o un motor diésel con turbina de gas.

- 65 En algunos ejemplos, se utilizan cartuchos rellenos con catalizadores enzimáticos en los reactores de plantas de tratamiento de unidades pequeñas. Para unidades comerciales más grandes, puede insertarse una carga y transferencia en línea de la lipasa en el diseño del sistema.

ES 2 336 008 T3

En algunos ejemplos, el evaporador E-1 (figuras 4-6) puede ser un tambor de evaporación simple con o sin integración de un diseño de lecho compacto. En otros ejemplos, cuando se utiliza alcohol superior (alcohol reactivo o disolvente inerte), pueden emplearse evaporadores de láminas rotativas.

En algunos ejemplos, los enfriadores (HE-1, HE-3, HE-5 y HE-6) en la misma planta de tratamiento pueden agruparse en una unidad para sistemas a pequeña escala. En algunos ejemplos, los enfriadores están separados, pero colocados en paralelo en una caja y presentan una entrada común y una salida común para el medio de refrigeración, tal como agua de refrigeración. En algunos ejemplos, los enfriadores se diseñan como enfriadores de aire que utilizan un ventilador para enfriar todas las corrientes simultáneamente.

En algunos ejemplos, un evaporador de recorrido corto puede utilizar un tambor de evaporación en la entrada de manera similar al del evaporador E-1. Esta clase de diseño puede reducir la carga del condensador en el interior de la unidad de recorrido corto, lo que significa que puede obtenerse una velocidad de entrada superior. Puede utilizarse un condensador externo para condensar el vapor evaporado que abandona el tambor de evaporación. El material condensado se agrupa con el producto destilado de la unidad de recorrido corto.

La regeneración del lecho de eliminación de glicerol puede ser un tratamiento en línea (tal como cuando se utilizan diseños paralelos para sistemas grandes) o tratamiento fuera de línea (tal como cuando se utilizan diseños de tipo cartucho para unidades pequeñas).

Durante el apagado, el sistema de producción de combustible completo puede someterse a inertización con nitrógeno para bloquear la humedad y el aire (para reducir la acidificación del biodiésel o la fuente de aceite).

En algunos ejemplos, la resina de eliminación de glicerol puede ser una resina de intercambio iónico, tal como Lewatit MonoPlus SP112, disponible de Bayer Chemical, Leverkusen, Alemania.

La mezcladora estática puede sustituirse por una mezcladora agitada (tambor) con su velocidad de salida regulada por un control de nivel.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de flujo continuo para producir éster alquílico que comprende:

un primer reactor que presenta

una entrada para recibir una mezcla que comprende un primer reactivo seleccionado de entre el grupo constituido por triglicérido, ácido carboxílico, aceite vegetal y grasa animal, un segundo reactivo que comprende por lo menos uno de entre un alcohol primario y secundario, un producto de reacción, y un disolvente inerte que disuelve por lo menos una parte de los reactivos primero y segundo,

una enzima para facilitar una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar más producto de reacción, y

una salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción recibido en la entrada y el producto de reacción generado a partir de la reacción entre los reactivos primero y segundo;

un separador que se alimenta con el producto de reacción de la salida del primer reactor,

y emitir un producto de reacción bruto que incluye éster alquílico y glicerol, incluyendo el separador un evaporador y un separador de fases líquido-líquido; separando el separador de fases líquido-líquido el éster alquílico del glicerol; y

un mecanismo de retorno para enviar una parte de la producción de éster alquílico desde el separador de nuevo hasta la entrada.

2. Aparato según la reivindicación 1, en el que la mezcla incluye un disolvente que disuelve por lo menos una parte del primer reactivo, del segundo reactivo y del producto de reacción.

3. Aparato según la reivindicación 2, en el que la salida emite por lo menos el éster alquílico, el disolvente y el primer reactivo que no ha reaccionado.

4. Aparato según la reivindicación 1, en el que el primer reactivo comprende triglicéridos.

5. Aparato según la reivindicación 1, en el que el primer reactivo comprende un ácido carboxílico.

6. Aparato según la reivindicación 1, en el que el primer reactivo comprende por lo menos uno de entre aceite vegetal y grasa animal.

7. Aparato según la reivindicación 6, en el que el producto de reacción presenta una composición que es apta para su utilización como combustible.

8. Aparato según la reivindicación 1, que comprende además un segundo reactor que presenta

una entrada para recibir una mezcla que comprende un segundo reactivo adicional y el producto de reacción de la salida del primer reactor,

una enzima para facilitar una reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes para generar más producto de reacción, y

una salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción recibido en la entrada del segundo reactor y el producto de reacción generado a partir de la reacción entre el segundo reactivo y los otros componentes.

9. Aparato según la reivindicación 8, que comprende además un evaporador para evaporar el disolvente inerte y por lo menos uno de entre el primer reactivo que no ha reaccionado y el segundo reactivo que no ha reaccionado.

10. Aparato según la reivindicación 9, que comprende además un evaporador de recorrido corto para separar el producto de reacción del reactivo que no ha reaccionado restante.

11. Aparato según la reivindicación 10, en el que el producto de reacción comprende éster alquílico.

12. Aparato según la reivindicación 11, que comprende además un mecanismo de retorno para enviar por lo menos una parte del éster alquílico desde la salida del segundo reactor de nuevo hasta la entrada del primer reactor.

13. Aparato según la reivindicación 1, en el que los reactivos comprenden (1) por lo menos uno de entre el triglicérido y el ácido carboxílico, y (2) por lo menos uno de entre el alcohol primario y el secundario.

ES 2 336 008 T3

14. Aparato según la reivindicación 1, en el que la enzima comprende una lipasa.

15. Aparato según la reivindicación 1, en el que

- 5 el reactor comprende
- un conducto para transmitir una mezcla que comprende un primer reactivo, un segundo reactivo, un disolvente inerte y un producto de reacción que están en un estado homogéneo,
- 10 un acoplador para recibir un cartucho, y
- una unidad de separación para tratar la producción de la salida para producir una disolución que presenta un porcentaje superior del producto de reacción;
- 15 en el que el cartucho comprende
- la entrada para recibir la mezcla del conducto,
- la enzima para facilitar una reacción entre los reactivos primero y segundo para generar más producto de reacción, y
- 20 la salida para emitir el producto de reacción, incluyendo el producto de reacción recibido en la entrada y el producto de reacción generado a partir de la reacción entre los reactivos primero y segundo.

16. Procedimiento de producción de combustible biodiésel que comprende la transesterificación enzimática de un triglicérido o la esterificación de un ácido carboxílico en un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.

17. Utilización de un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, para la producción de combustible biodiésel.

18. Aparato según la reivindicación 1, que comprende además un evaporador de recorrido corto para purificar adicionalmente el producto de reacción.

35

40

45

50

55

60

65

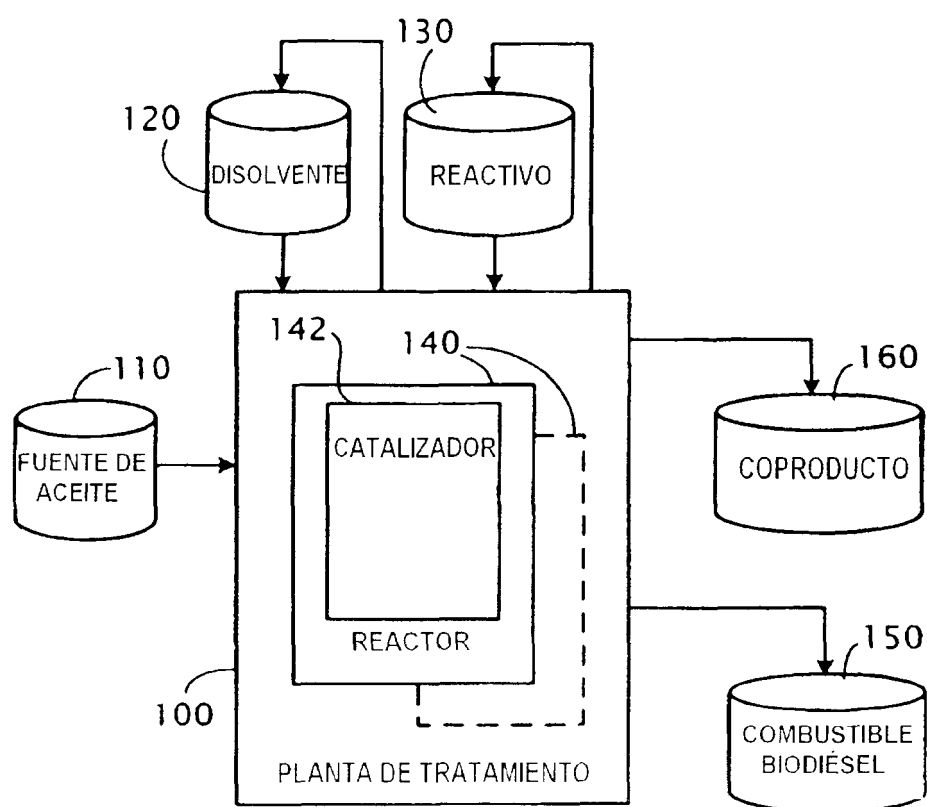
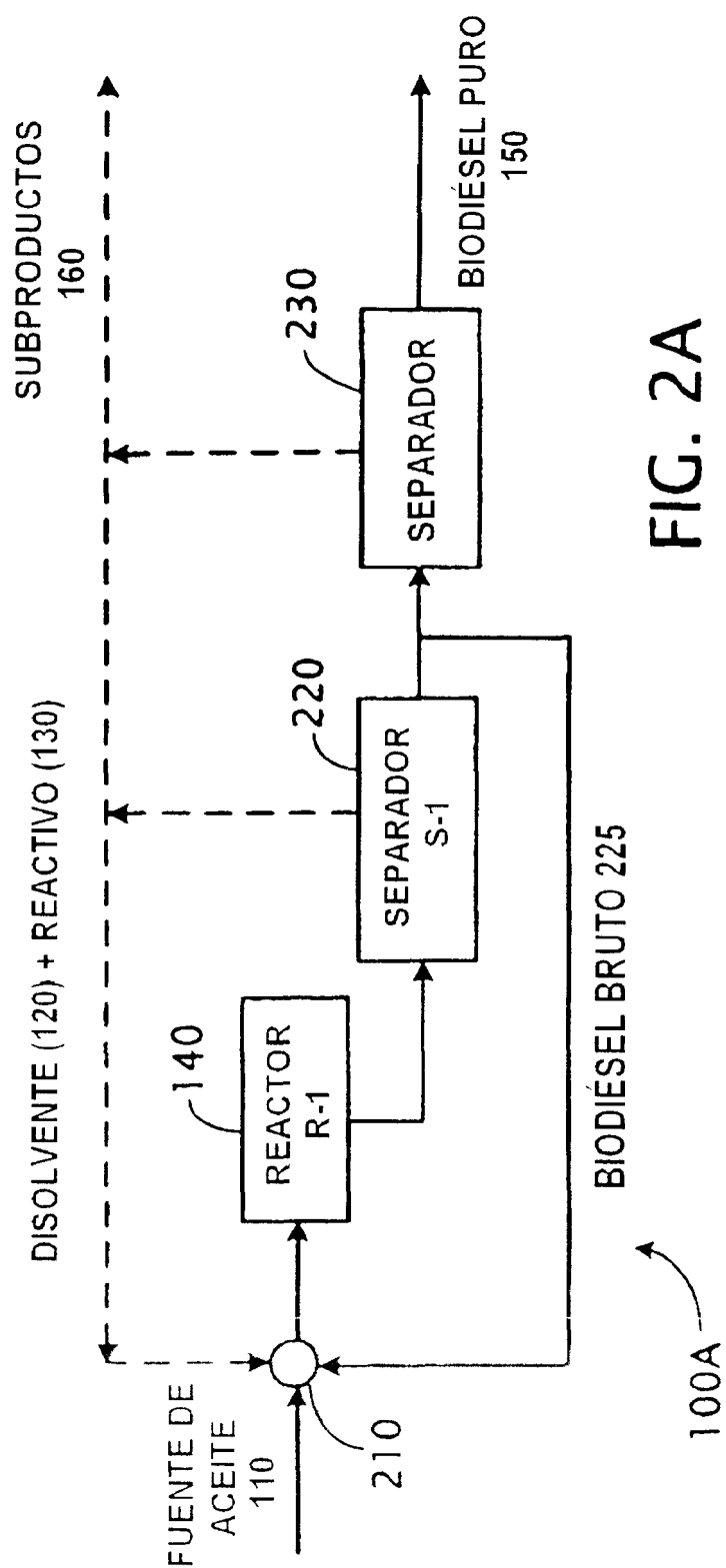


FIG. 1



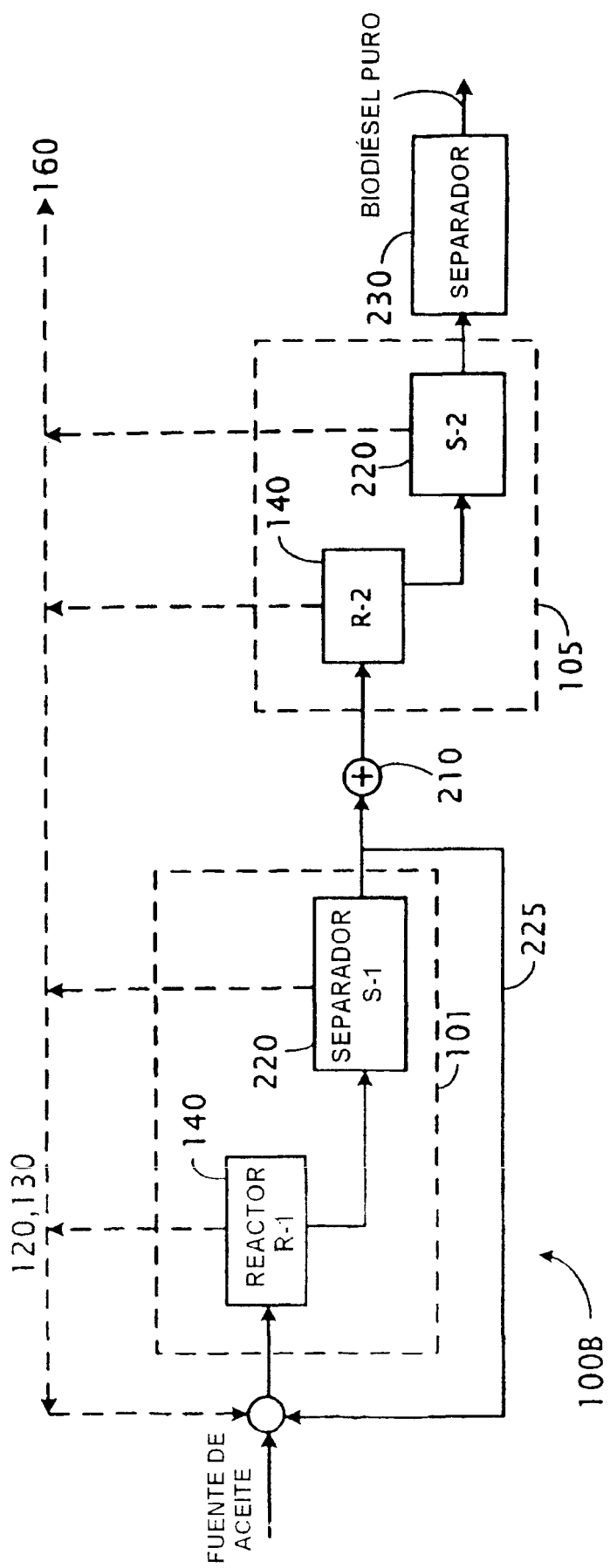


FIG. 2B

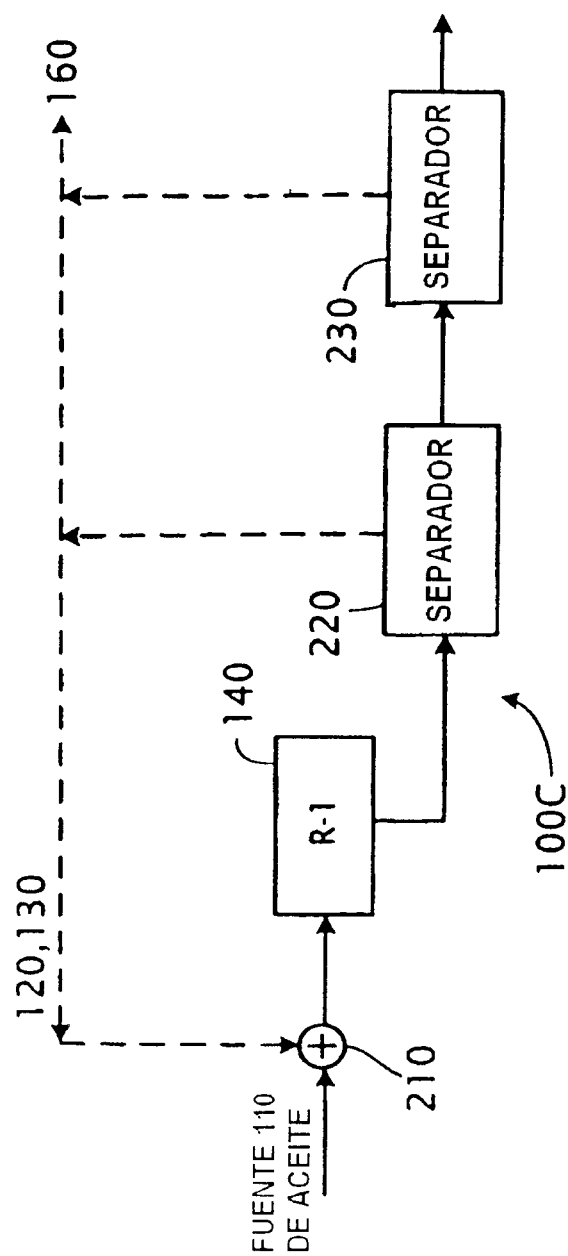


FIG. 2C

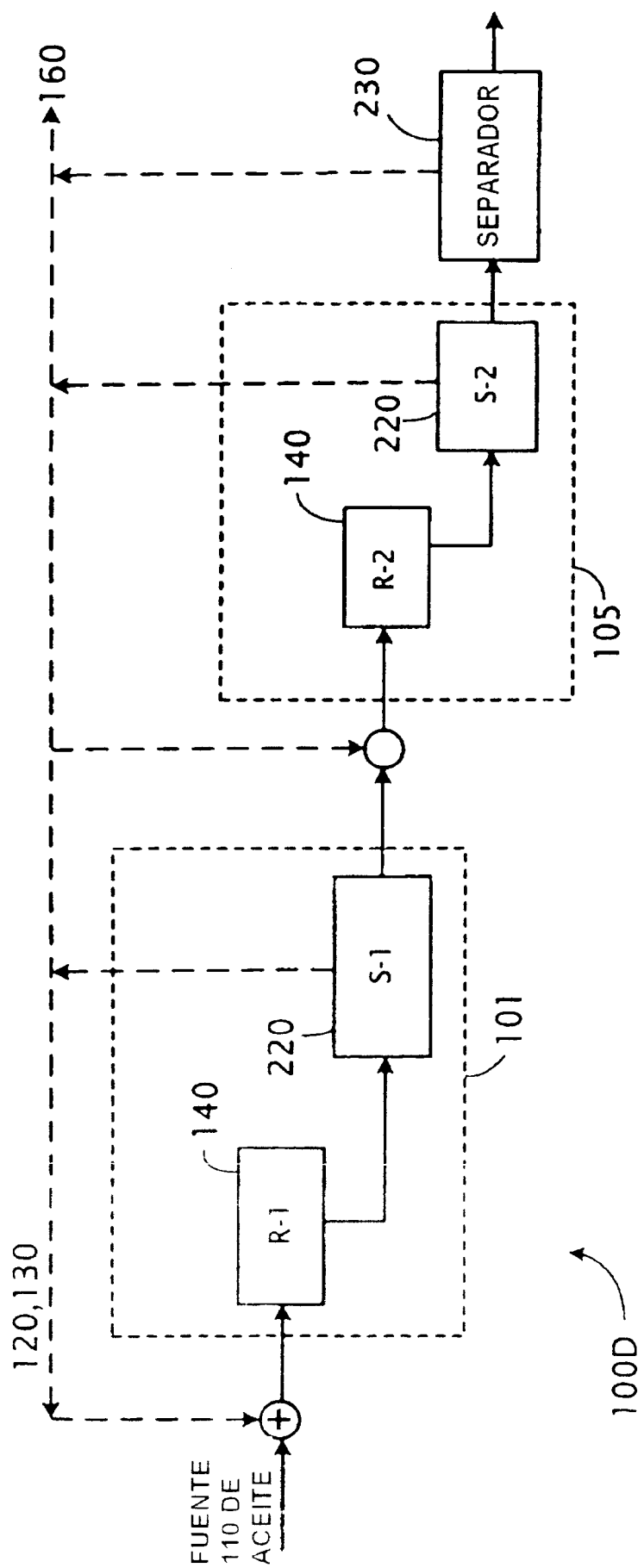


FIG. 2D

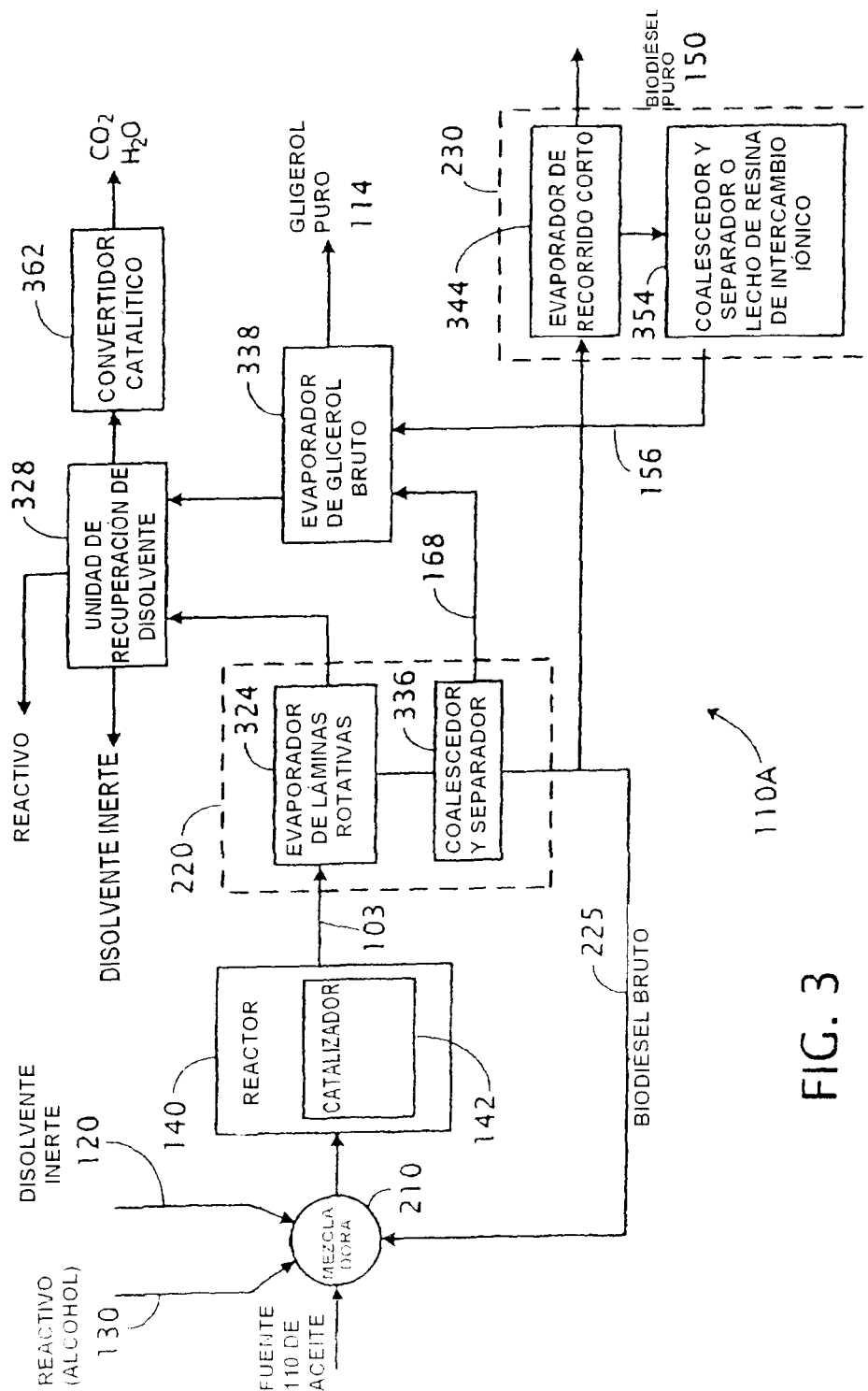


FIG. 3

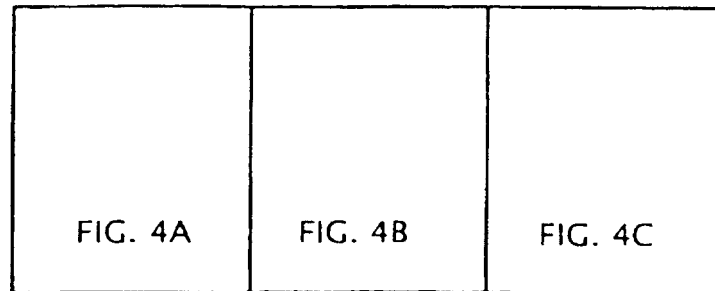


FIG. 4

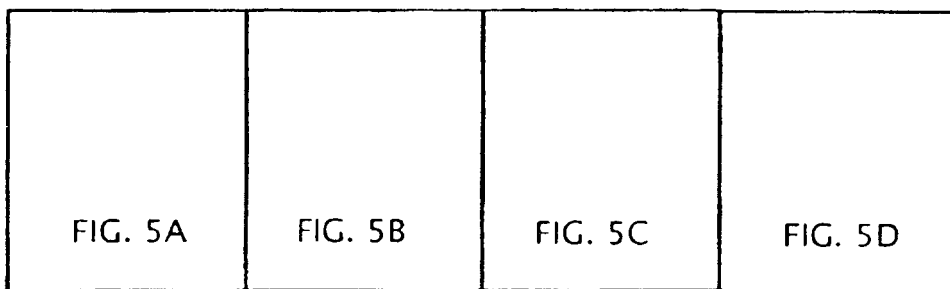


FIG. 5

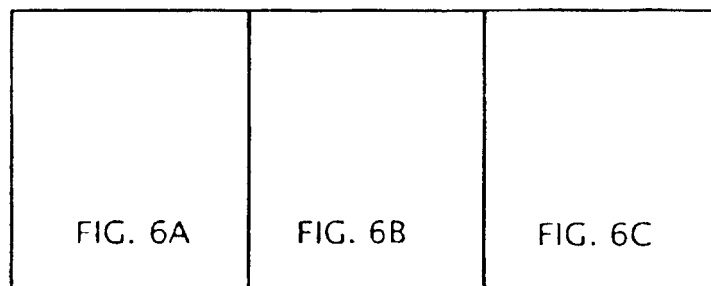


FIG. 6

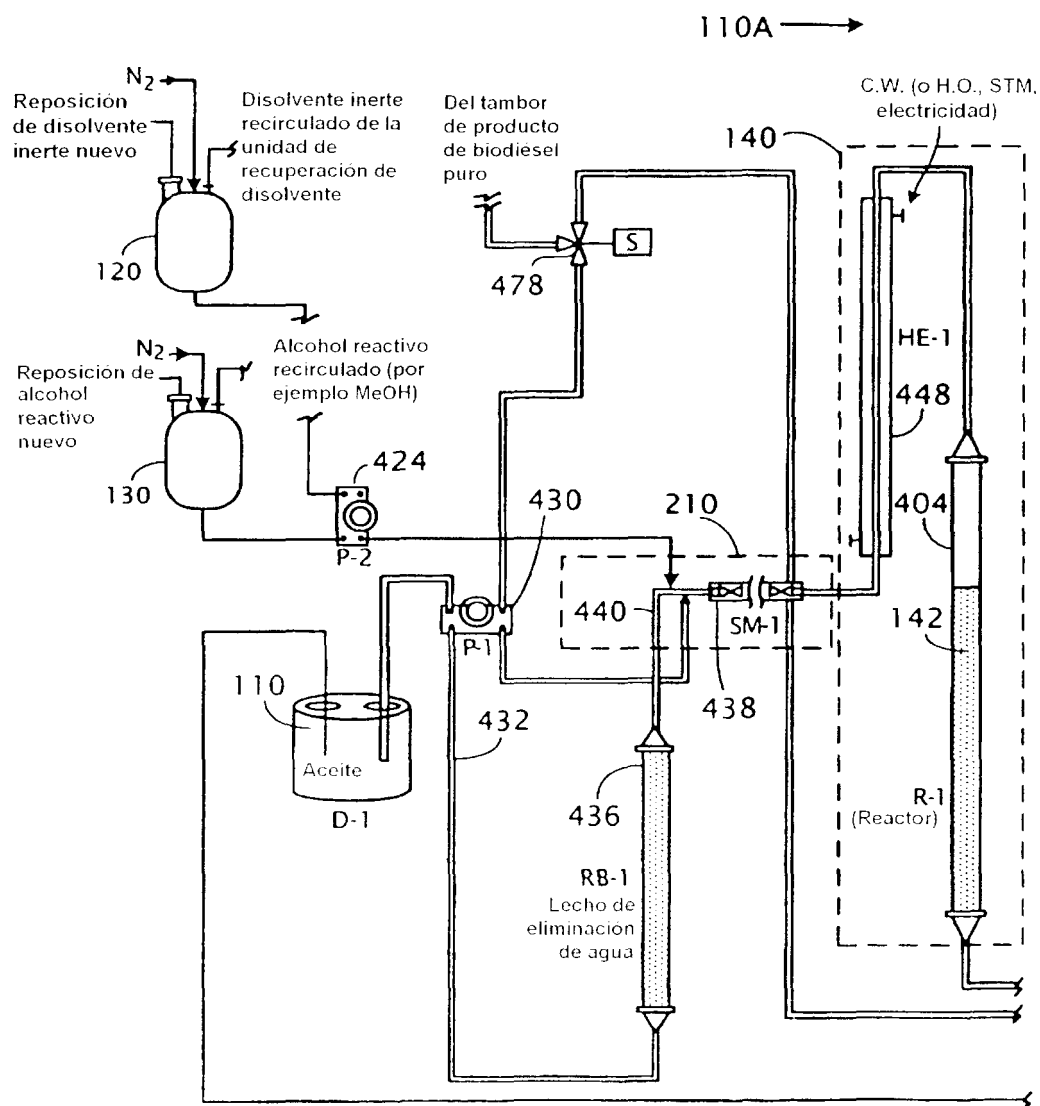


FIG. 4A

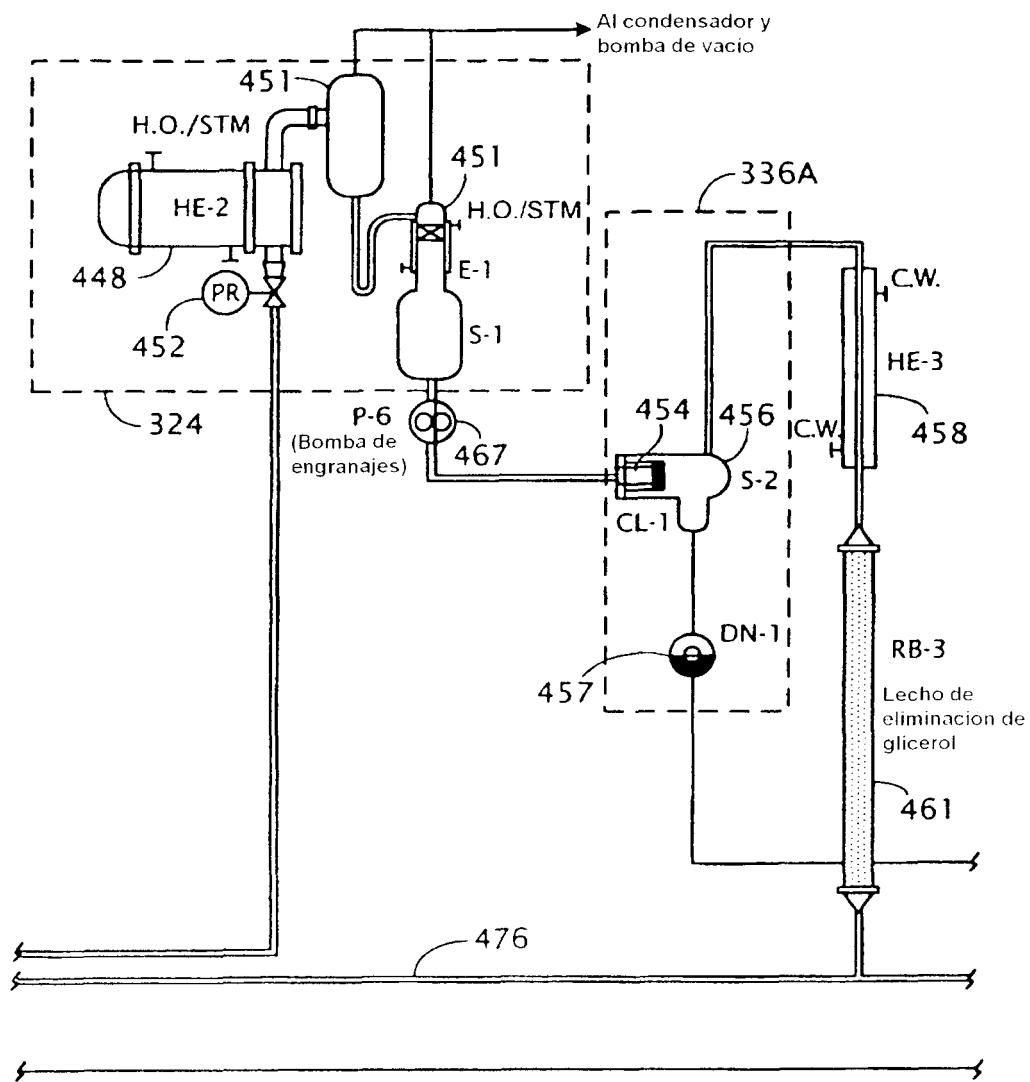


FIG. 4B

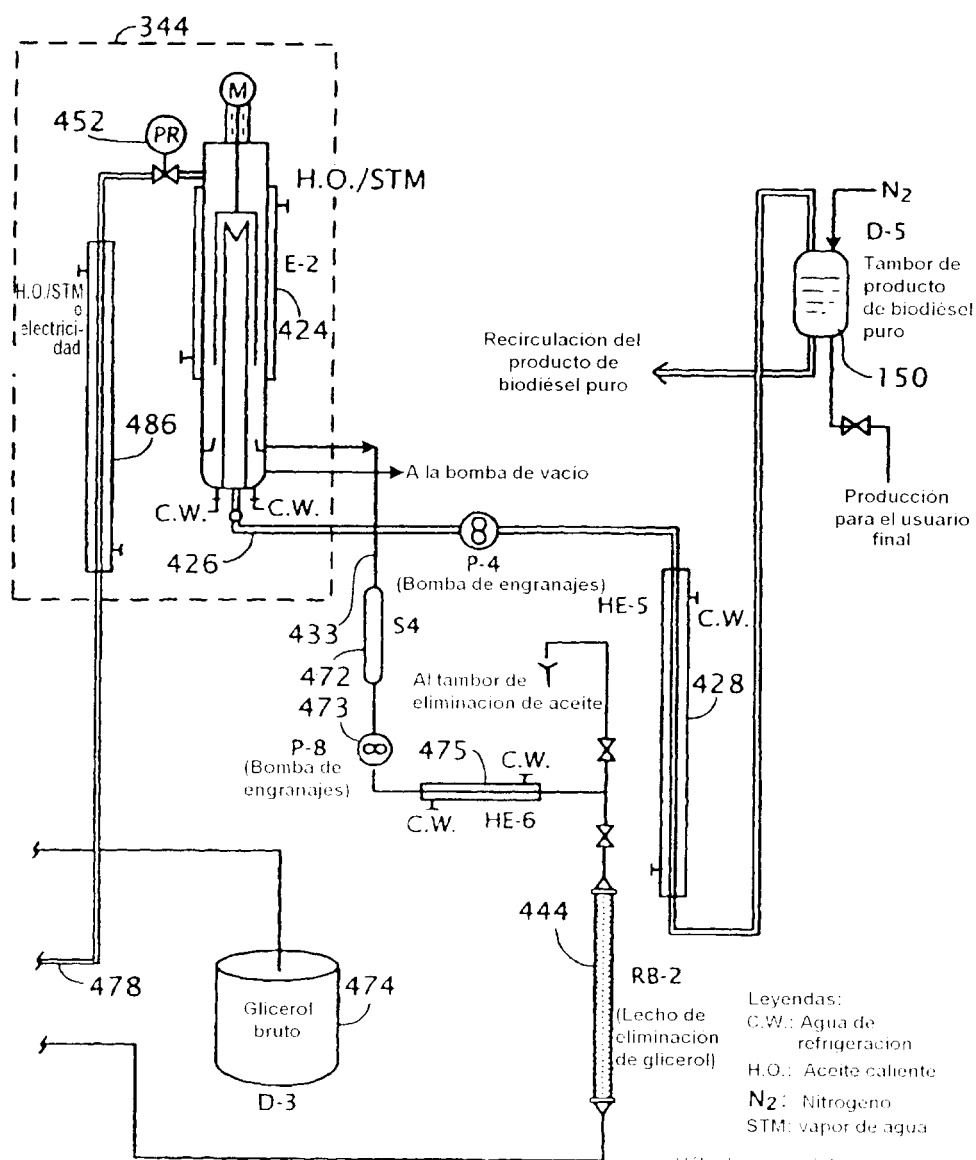


FIG. 4C

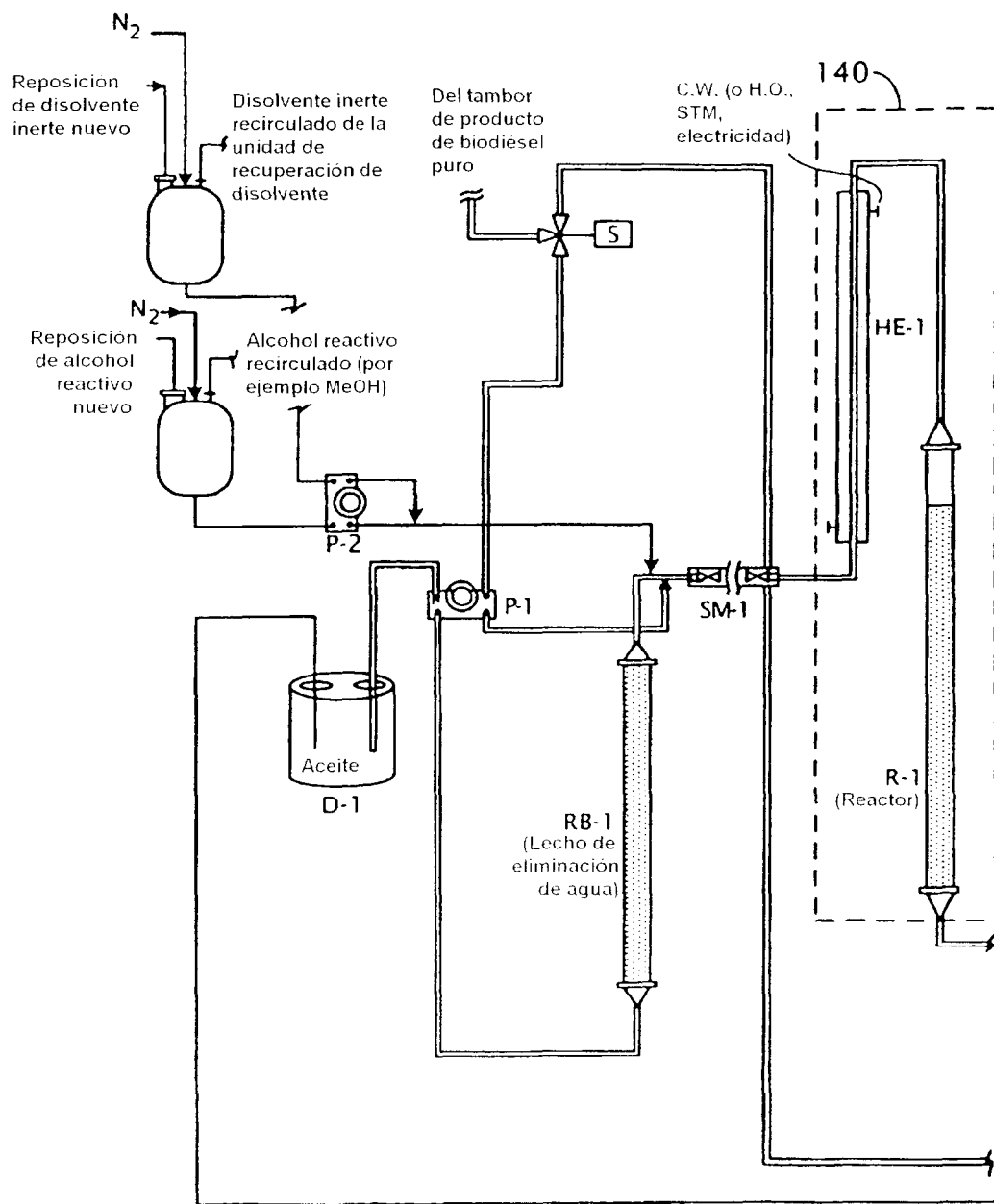


FIG. 5A

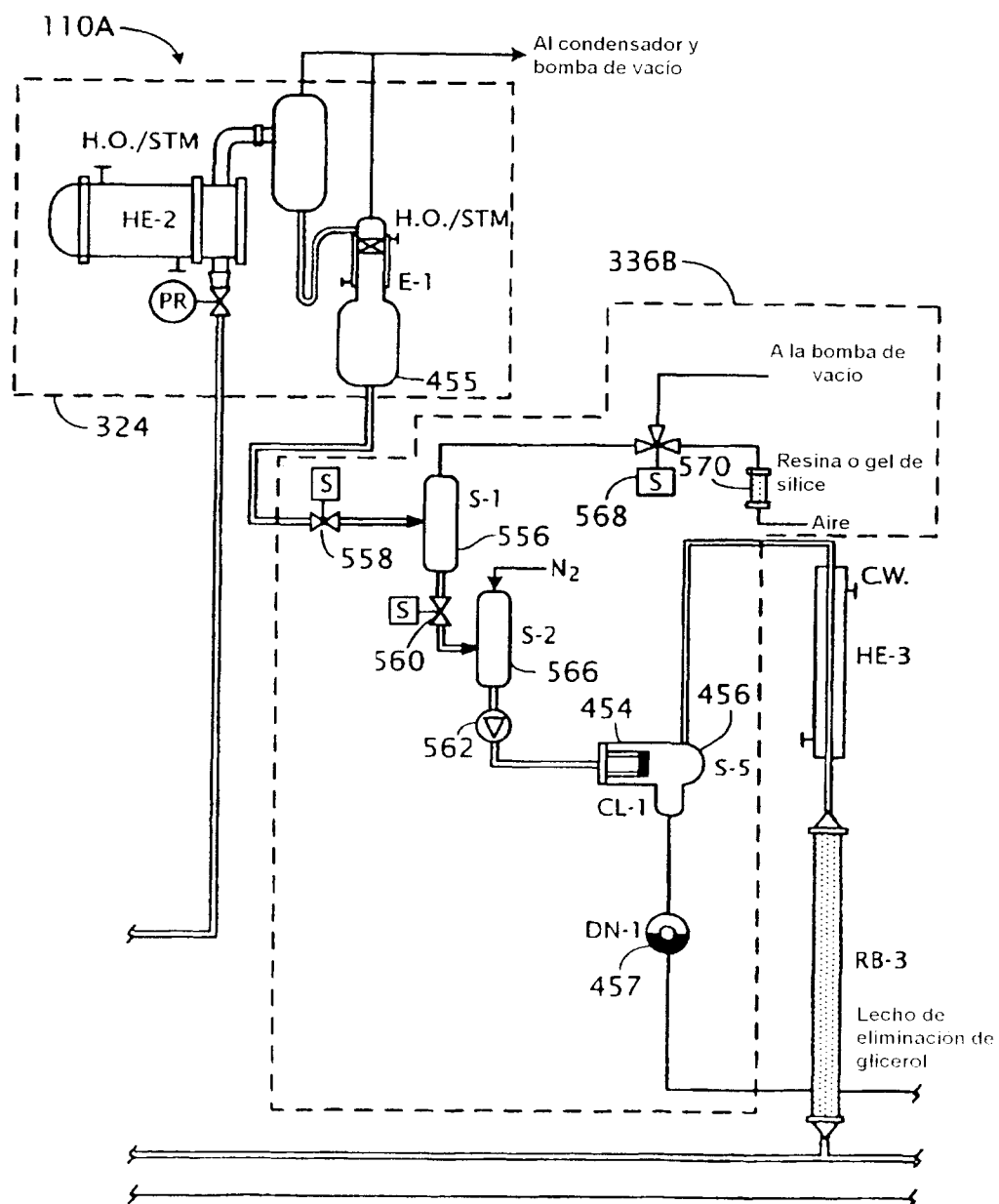


FIG. 5B

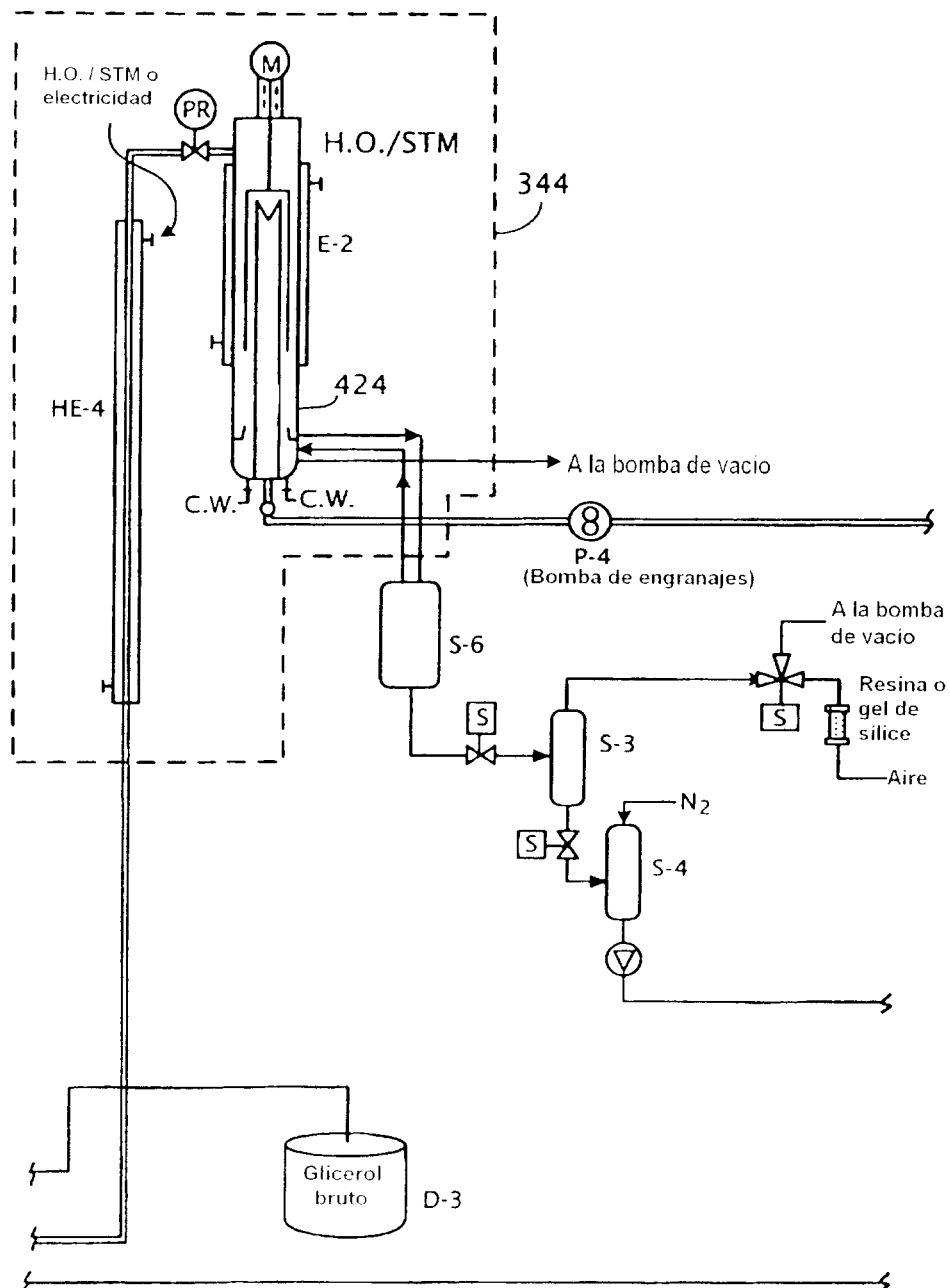


FIG. 5C

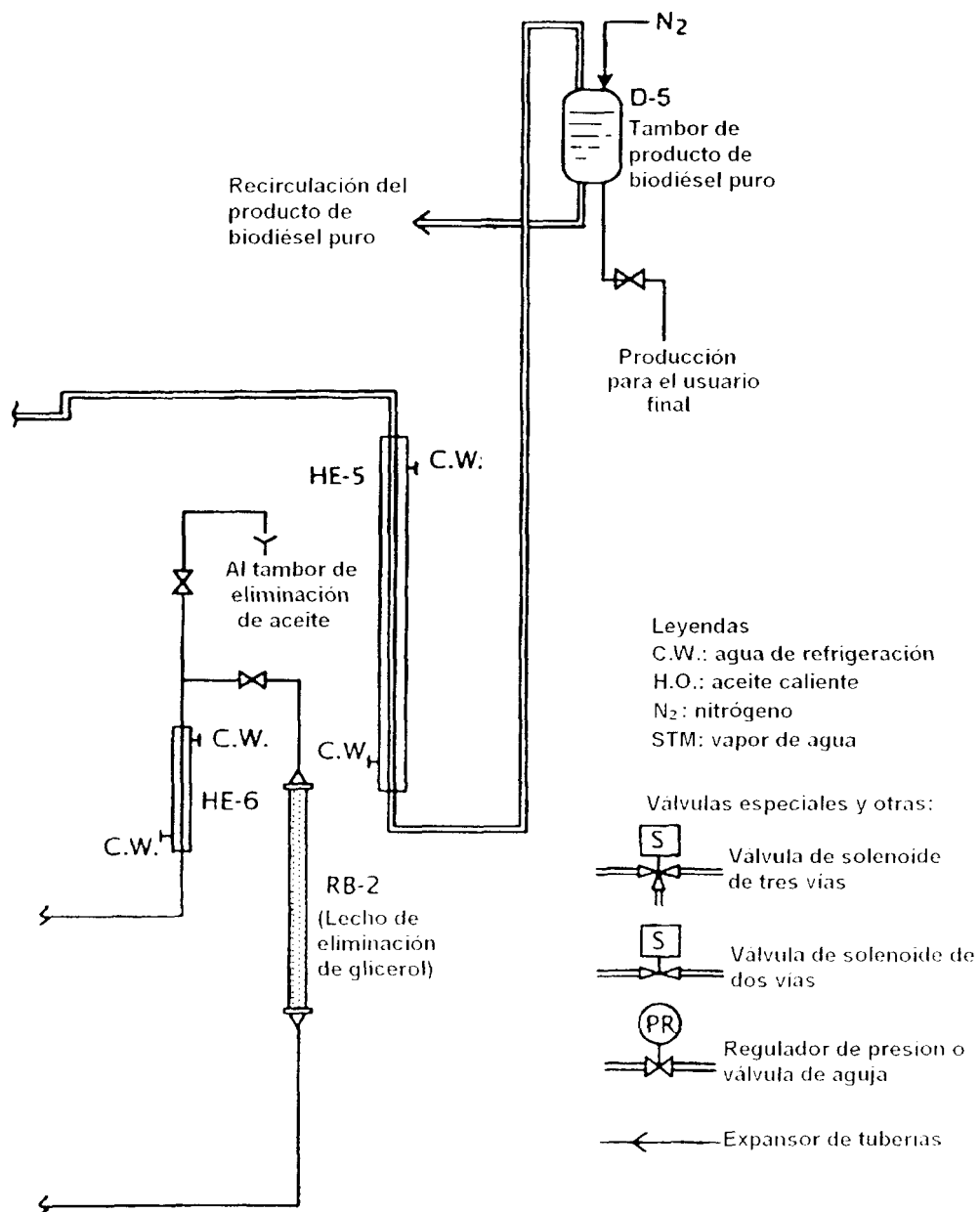


FIG. 5D

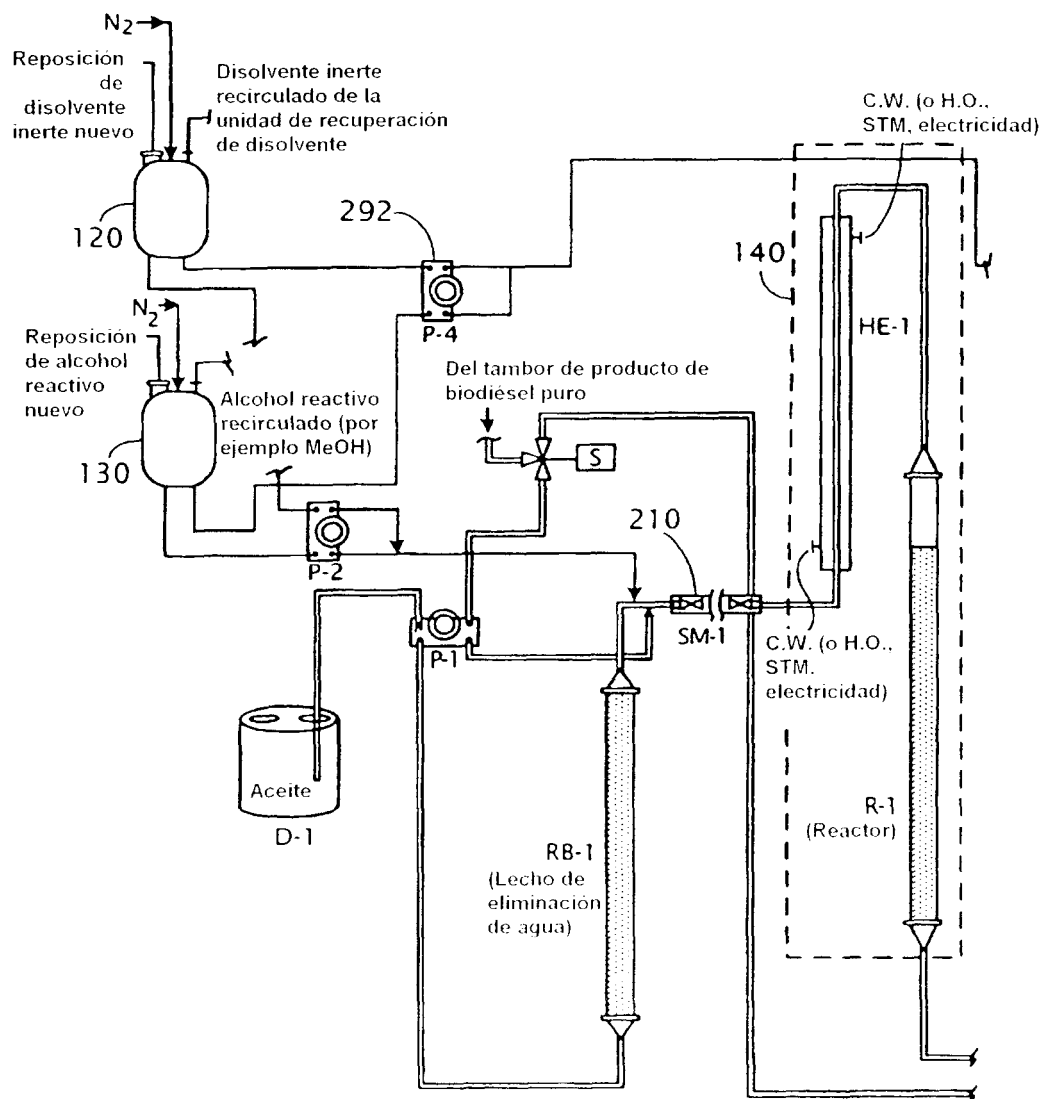


FIG. 6A

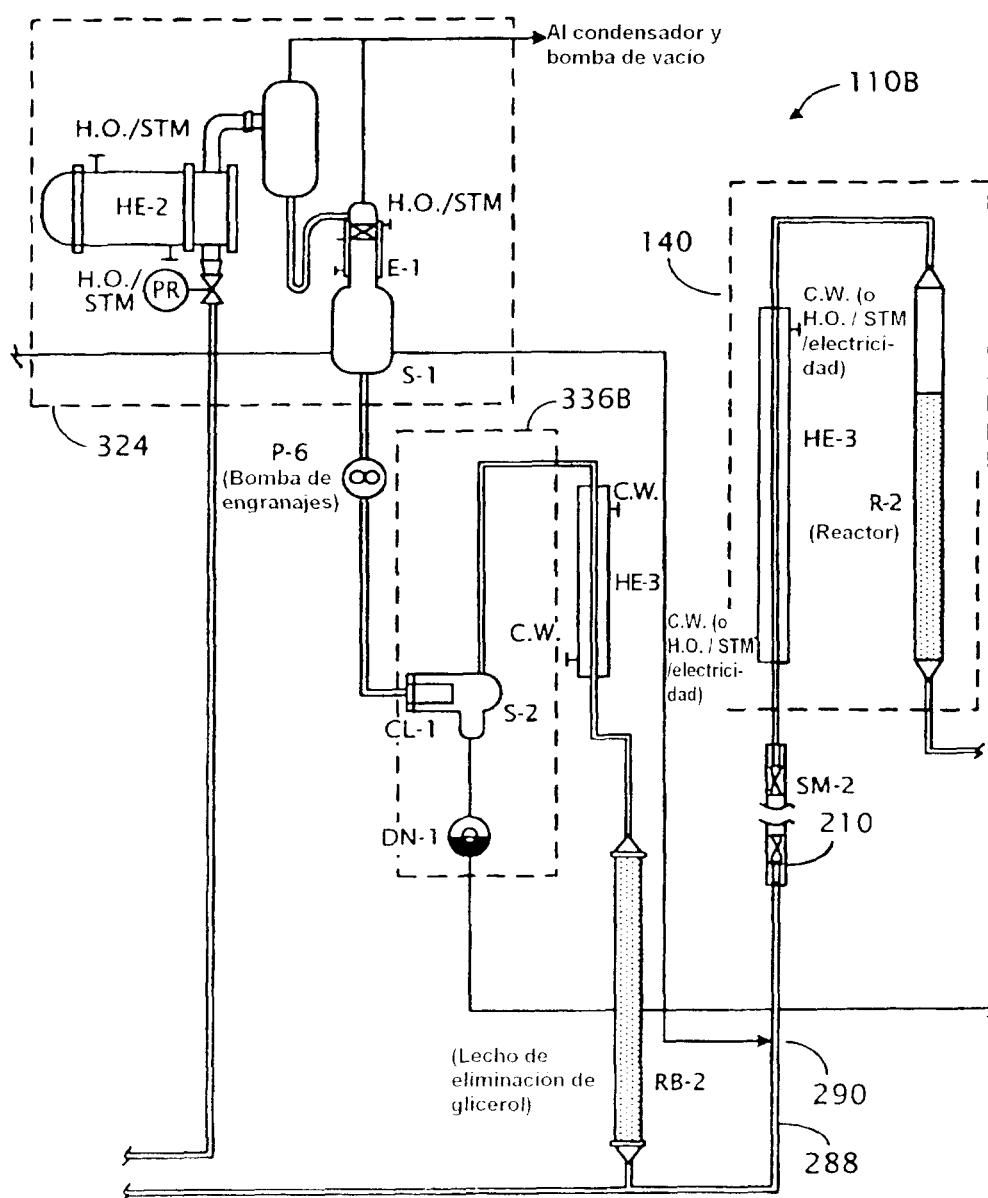
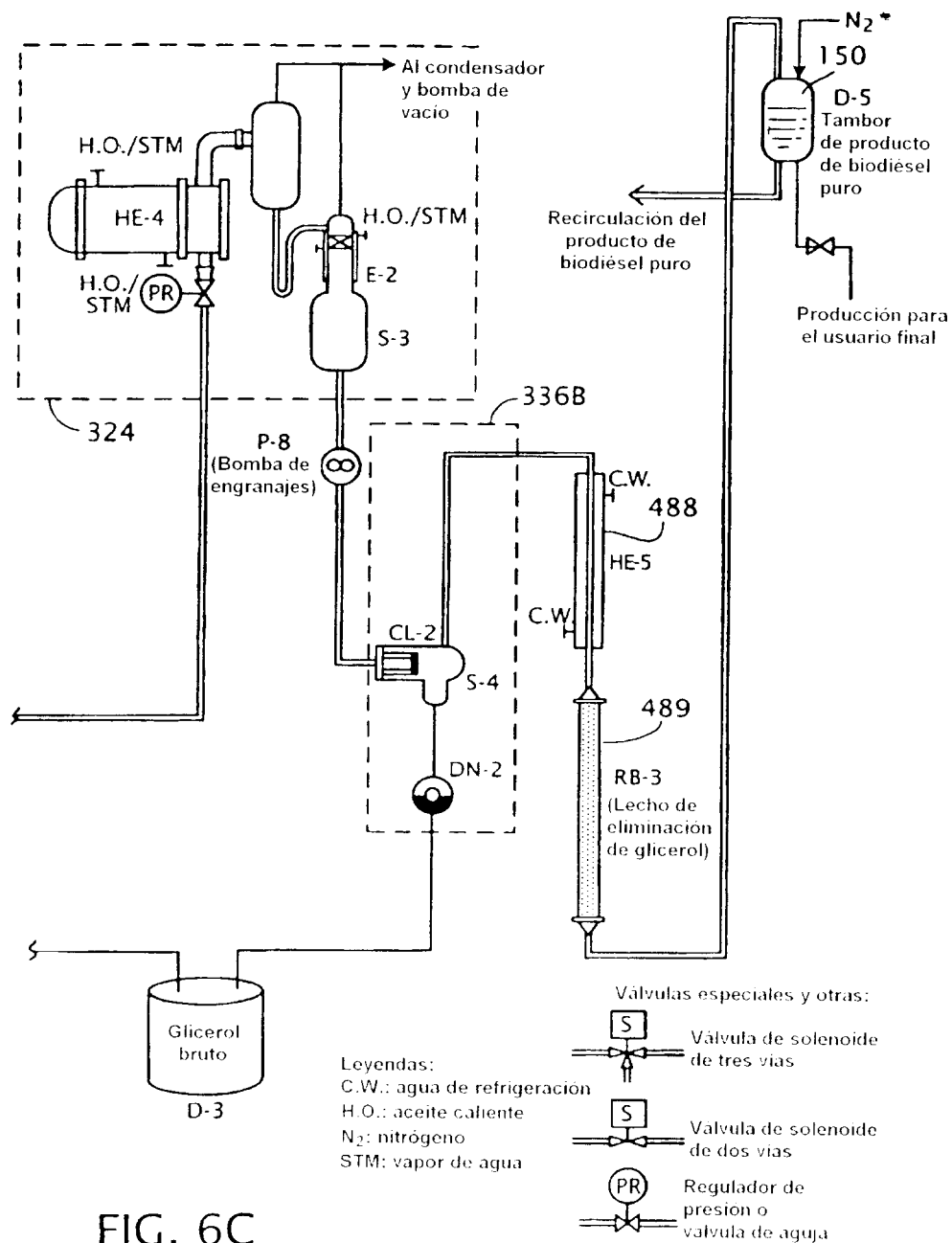


FIG. 6B



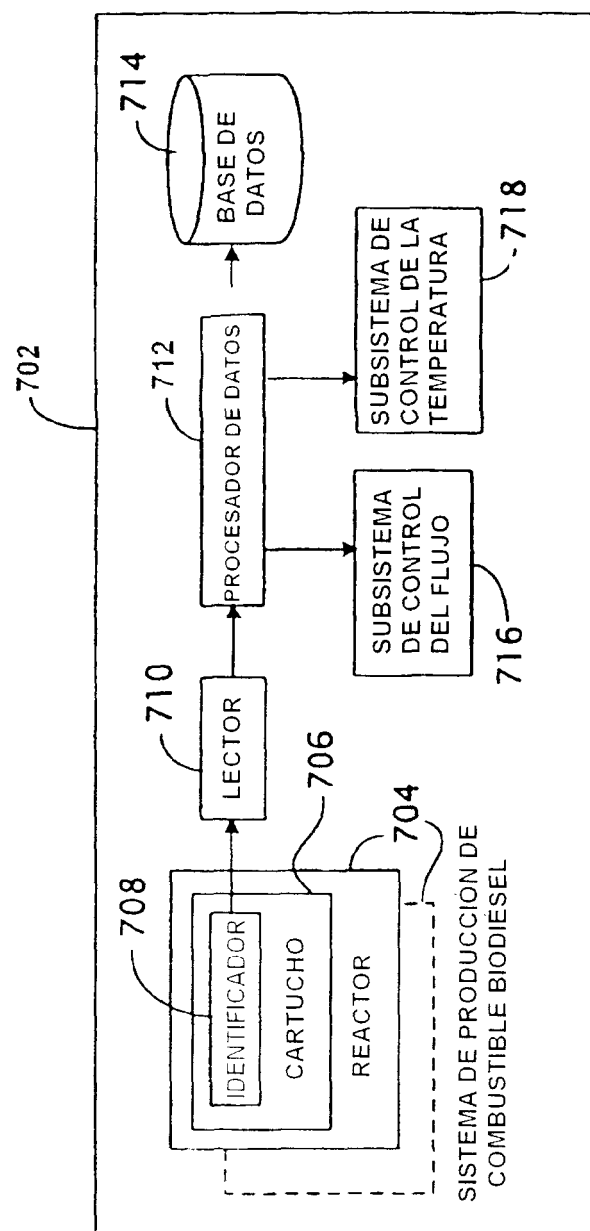


FIG. 7

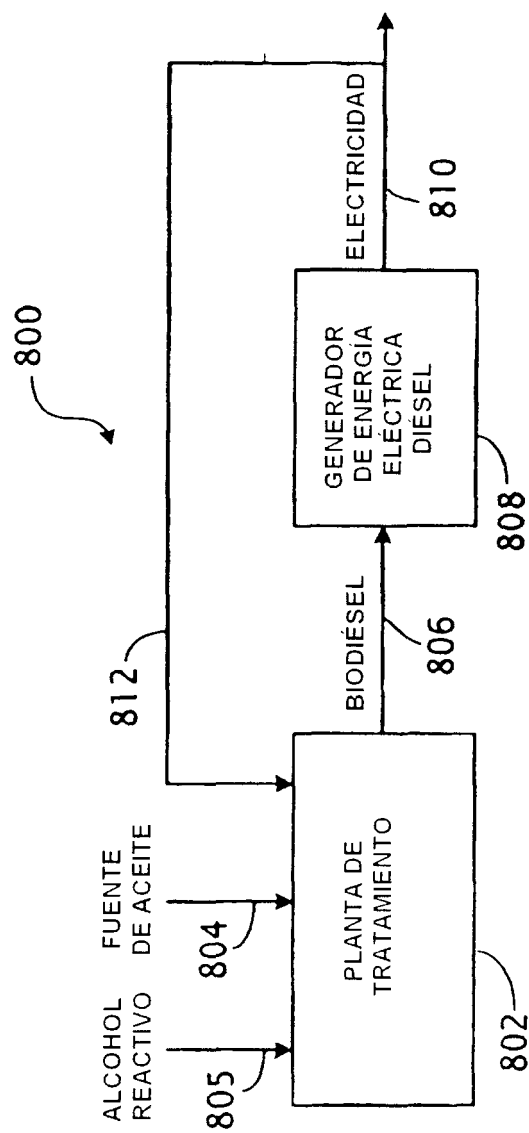


FIG. 8

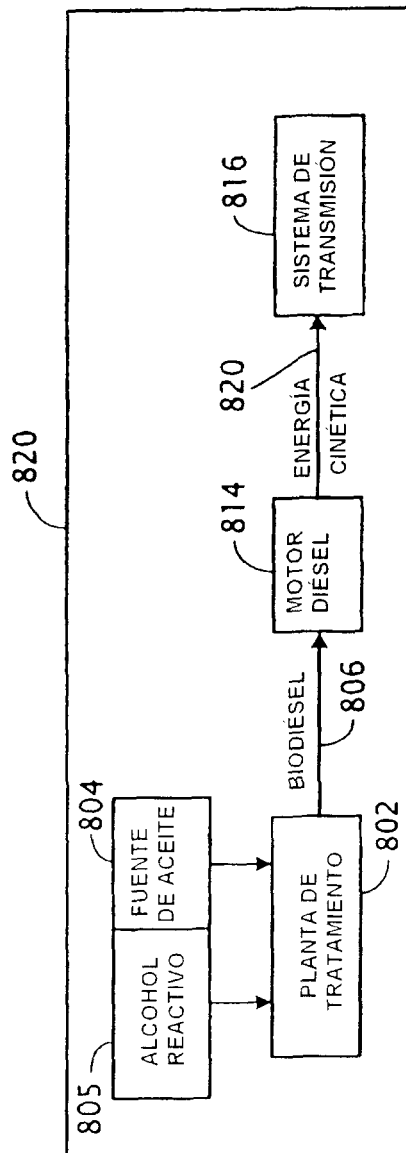


FIG. 9

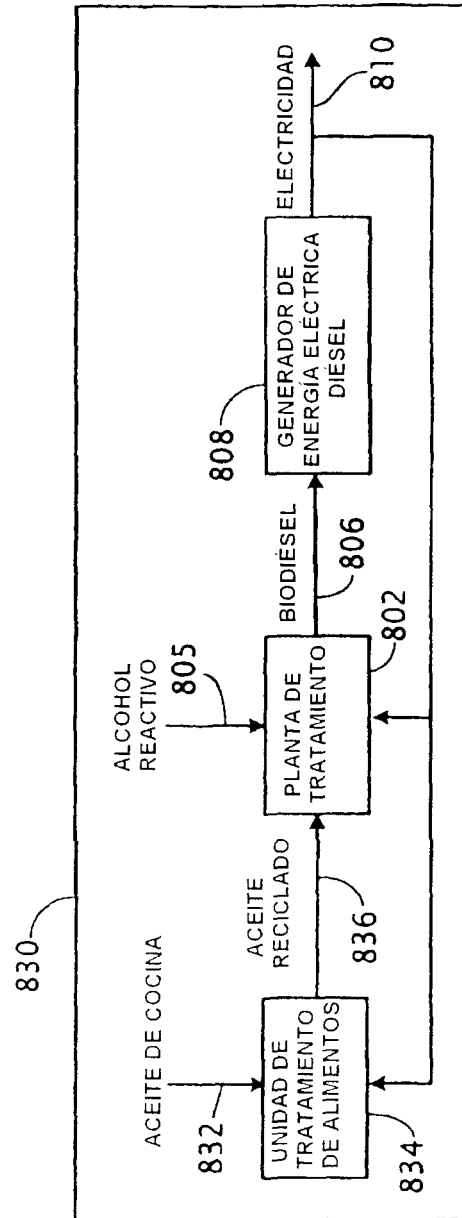


FIG. 10