

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 959 373**

21 Número de solicitud: 202230695

51 Int. Cl.:

C07C 11/04 (2006.01)

C07C 1/24 (2006.01)

C12P 7/10 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22

Fecha de presentación:

28.07.2022

43

Fecha de publicación de la solicitud:

23.02.2024

Fecha de concesión:

20.08.2024

45

Fecha de publicación de la concesión:

27.08.2024

73

Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (50.0%)**

C/ Serrano, 117

28006 Madrid (Madrid) ES y

PERSEO BIOTECHNOLOGY S.L. (50.0%)

72

Inventor/es:

PEINADO CEBRIÁN, Cristina;

ROJAS MUÑOZ, Sergio;

CAMPOS MARTÍN, Jose Miguel;

COLL LOZANO, Caterina;

LATORRE SÁNCHEZ, Marcos y

DURÁ ÁLVAREZ, Alejandro

74

Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54

Título: **Producción de bioetileno por deshidratación catalítica de bioetanol avanzado procedente de FORSU**

57

Resumen:

Producción de bioetileno por deshidratación catalítica de bioetanol avanzado procedente de FORSU.

La presente invención se refiere a un proceso de valorización para la obtención de bioetileno a partir de la deshidratación catalítica de bioetanol avanzado procedente de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) y serán denominados así en esta patente, lo que constituye un ejemplo de economía circular.

ES 2 959 373 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

**Producción de bioetileno por deshidratación catalítica de bioetanol avanzado
procedente de FORSU**

5

La presente invención se refiere a un proceso de valorización para la obtención de bioetileno a partir de la deshidratación catalítica de bioetanol avanzado procedente de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) y serán denominados así en esta patente, lo que constituye un ejemplo de economía circular.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Debido al rápido crecimiento de la población, los residuos sólidos urbanos (RSU) han contribuido significativamente a la cantidad total de residuos generados por nuestra sociedad. Hoy en día, en Europa, cada habitante genera, por término medio, 0,5 toneladas de RSU al año, aumentando a un ritmo anual del 10%. Alrededor del 40-50% de los mismos corresponden a residuos orgánicos. Esta fracción orgánica contiene principalmente hidratos de carbono, proteínas y lípidos, que son materias primas útiles que pueden convertirse en productos valiosos. Su valorización ayudará a resolver la contaminación ambiental, pero también contribuye a la transición de una economía lineal a una circular renovable. La digestión y el compostaje han contribuido a la reducción de la fracción biodegradable de los RSU enviados al vertedero. El escaso valor económico del compost y el biogás está limitando la implantación sostenible de sistemas de abastecimiento selectivo, ya que el aumento de los impuestos medioambientales de los ciudadanos (residuos) es necesario para hacer frente a importantes costes logísticos.

El etileno es la materia prima orgánica de mayor consumo en la industria química. La producción mundial de etileno fue de 201 millones de Tm en 2020, más del 30% de la industria petroquímica deriva del etileno. La producción de etileno hoy en día se basa en materias primas derivadas del petróleo o del gas natural, por lo que una metodología que permita obtener etileno de forma renovable es de un gran interés para la industria.

Los estudios realizados por Chung-Yen Wu *et al.* [Ethylene Formation from Ethanol Dehydration Using ZSM-5 Catalyst, ACS Omega (2017) 2, 8, 4287-4296] que describe un procedimiento de obtención de etileno a partir de etanol caracterizado porque

35

comprende una etapa de poner en contacto etanol evaporado con un catalizador sólido ácido, seleccionado de entre Zeolita ZSM-5, Zeolita ZSM-5 modificada y óxido de aluminio, a una temperatura de entre 220 y 280 °C y presión de 1 atm y los de Jiandong Bi *et al.* [High effective dehydration of bio-ethanol into ethylene over nanoscale HZSM-5 zeolite catalysts, Catalysis Today, Volume 149, Issues 1–2, 2010, Pages 143-147] que describe la obtención de etileno a partir de bioetanol en estado gas frente a un catalizador ácido sólido, HZSM-5, a una temperatura inferior a 300 °C, preferiblemente a 240 °C, con una conversión de más del 99%, presentan ambos un problema y es que emplean un diluyente en la reacción de deshidratación de etanol a etileno, en unos casos nitrógeno en otros casos agua, de manera que se encarece el proceso y por tanto el coste del etileno porque se precisan operaciones de separación adicionales y tamaños de reactor superiores para un mismo caudal y velocidad espacial de etanol. Y por lo tanto unos mayores costes de operación.

Por otro lado, el estudio de Abas Mohsenzadeh *et al.* [Bioethylene Production from Ethanol: A Review and Techno-economical Evaluation, ChemBioEng Rev 2017, 4, No. 2, 75–91] describe procesos de obtención de etileno a partir de etanol, pero en los procesos descritos y analizados se producen coproductos que dificultan la purificación de etileno. En este caso, es de especial importancia los óxidos de carbono (CO₂ y CO), por esa razón, el proceso necesita una etapa de lavado cáustico del etileno.

Hasta el momento actual no se ha descrito un procedimiento integral de obtención de bioetileno a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos sin la utilización gases portadores o eluyentes ni etapas de purificación de alto gasto energético posteriores a la obtención del bioetileno.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para la obtención de bioetileno a partir de una fracción orgánica de residuos sólidos urbanos caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- a) pretratar mecánicamente la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos hasta reducir su tamaño de partículas entre 1 cm y 6 cm, preferiblemente entre 1 cm y 4 cm;
- b) mezclar con un ácido inorgánico mineral en una concentración de entre 0,5%

- y 3% en volumen de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos obtenida en la etapa (a) y calentar durante un tiempo de entre 30 min y 90 min a una temperatura entre 100 °C y 200°C;
- 5 c) mezclar el producto obtenido en (b) con agua en un porcentaje de sólidos de entre el 8% y 35% y posteriormente triturar hasta un tamaño de partícula inferior a 10 mm, calentar entre 40 °C y 70 °C y ajustar el pH entre 4 y 6
- 10 d) adicionar en la disolución ácida obtenida en (c) entre un 0.1% y 2% en peso con respecto a dicha disolución ácida obtenida en (c) un cóctel enzimático que comprende al menos una celulasa y una amilasa, y dejar reaccionar durante un tiempo de entre 3 y 24 h, posteriormente reducir la temperatura a entre 30 y 40 °C, adicionar levaduras (0.1-1 g/L) y realizar una fermentación y sacarificación simultánea durante un tiempo de entre 24 h y 48h, donde adicionalmente realiza una separación de los materiales flotantes y de los pesados durante la fermentación y sacarificación;
- 15 e) separar mediante un método sólido/líquido el caldo obtenido en (d)
- f) reducir el contenido en agua del líquido obtenido en (e) mediante destilación; y
- 20 g) poner en contacto el bioetanol obtenido en (f) en forma gaseosa en ausencia de cualquier gas eluyente o portador adicional, con un catalizador ácido sólido a una temperatura de entre 190 °C y 250 °C y una presión de entre 1 y 10 bar, y separar los compuestos de deshidratación obtenidos mediante método de separación líquido/gas.

Las ventajas de este procedimiento son que con el destilado de la etapa (f) se obtiene hasta una concentración de bioetanol mayor del 95% en peso del bioetanol respecto del agua que comprende. Además, no se necesita el empleo de diluyentes o portadores, sino directamente se utiliza el bioetanol producido (etapa (e)) y reducido en su contenido en agua por destilación (etapa (f)) azeotrópico para la etapa (g), así como la ausencia de generación de coproductos obtenidos en la etapa (g) por lo que el proceso de purificación del bioetileno obtenido se simplifica y es mucho más sencilla en número de etapas y energéticamente costosa, por lo tanto, esta invención permite obtener bioetileno de grado polimerización directamente. Por lo tanto, entre los productos de reacción no se encuentran CO ni CO₂. La actividad del catalizador además es muy estable, siendo adecuado para trabajar durante meses de manera continuada, así como en condiciones de parada y arranque de la planta.

25

30

35

En la presente invención se entiende por "fracción orgánica de residuos sólidos urbanos o biorresiduos urbanos" a los residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimentarios y de cocina procedentes de hogares, oficinas, restaurantes, mayoristas, comedores, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos, tal y como se recoge en la Directiva UE 851/2018.

En la presente invención se entiende por "coctel enzimático" a una mezcla que comprende al menos una enzima para la hidrólisis de celulosa y una enzima para la hidrólisis de almidón. Las celulasas actúan para la degradación de la celulosa que implican entre otras pero no por ello referidas únicamente a las siguientes: celobiohidrolasas (CBH), endoglucanasas (EG), monooxigenasas líticas de tipo 1 y 2 (LPMO1 y LPMO2), donde las EGs y las PMOs escinden internamente las cadenas de celulosa liberando extremos de cadena que son el objetivo de las CBHs. Las CBHs generan celobiosa o celobiosa oxidada que son posteriormente hidrolizadas por la β -glucosidasa, y, además, también comprenden celobiosa deshidrogenasa (CDH) que es un potencial donante de electrones para los LPMO; y donde las amilasas incluyen, pero sin restringirse únicamente a estas: α -amilasas (CE 3.2.1.1, también llamada endoamilasa), las β -amilasas (CE 3.2.1.2), las amiloglucosidasas (CE 3.2.1.3), α -glucosidasas (CE 3.2.1.20), pullulanastas (CE 3.2.1.41), maltotetrahidrolasas (CE 3.2.1.60) e isoamilasas (CE 3.2.1.68). Las α -amilasas catalizan la hidrólisis de los enlaces α -1,4-glicosídicos internos en productos de bajo peso molecular, como glucosa, maltosa y oligómeros cortos hasta unidades de maltohexosa. Las β -amilasas son enzimas exohidrolasas que actúan desde el extremo no reductor de una cadena de polisacáridos mediante la hidrólisis de los enlaces α -1,4-glicosídicos para dar lugar a sucesivas unidades de maltosa. Las amiloglucosidasas atacan los enlaces α -1,4-glicosídicos desde el extremo no reductor, liberando β -D-glucosa. Las α -glucosidasas escinden tanto los enlaces α -1,4- como los α -1,6-glicosídicos en los residuos externos de glucosa de la amilosa o la amilopectina desde el extremo no reductor de la molécula de almidón. Las pullulanastas (también conocidas como α -dextrina-6-glucanohidrolasas o amilopectina-6-glucanohidrolasas) catalizan la hidrólisis de los enlaces α -1,6 en el pullulán, un polímero lineal de α -glucano formado esencialmente por unidades de maltotriosilo conectadas por enlaces α -1,6-glicosídicos. Las maltotetrahidrolasas hidrolizan los enlaces α -1,4-glicosídicos para eliminar los sucesivos residuos de

maltotetraosa de los extremos de la cadena no reductora. Las isoamilasas, similares a las pullulasas, son capaces de hidrolizar los enlaces α -1,6-glucosídicos en las amilopectinas y son las únicas enzimas conocidas que desramifican completamente el glucógeno. Además de todas las enzimas mencionadas, recientemente se ha descrito
5 que las monooxigenasas líticas de polisacáridos (LPMOs) contribuyen a la hidrólisis del almidón.

En la presente invención se entiende por "pre-hidrolisis" como una etapa de hidrolisis enzimática previa a la adición de las levaduras a una temperatura de entre 40-70°C.

10

En la presente invención se entiende por "fermentación y sacarificación simultáneas" al proceso en el que las enzimas liberan los azúcares fermentables (sacarificación) y estos son consumidos por las levaduras a medida que se generan y transformados a etanol a una temperatura entre 30-40°C.

15

En la presente invención se entiende por "gas eluyente o portador adicional" a cualquier corriente de agua o de gas inerte (nitrógeno, argón, helio,...) en forma de gas se adiciona a la corriente de bioetanol para disminuir la concentración bioetanol y aumentar el flujo total a través del reactor.

20

En una realización preferida del procedimiento el ácido inorgánico mineral de la etapa (b) es seleccionado de entre ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico y cualquier combinación de los anteriores.

25

En otra realización preferida del procedimiento la separación sólido/líquido de la etapa (e) se realiza mediante un método mecánico a presión basado en un tromel giratorio tamizado y tornillo prensa.

30

En una realización preferida la destilación de la etapa (f) se realiza mediante un sistema de 2 a 4 columnas en un rango de temperatura de entre 70 °C y 150 °C y una presión de entre 0 atm y 5 atm, más preferiblemente se utiliza una corriente de agua exterior para calentar el proceso. De esta manera se obtiene un bioetanol con un contenido máximo de un 5% en agua. La minimización del agua en la corriente de bioetanol minimiza el volumen de reactor para una velocidad espacial y una producción de
35 bioetileno fijas.

En otra realización preferida del procedimiento el catalizador ácido sólido es seleccionado de entre γ -Al₂O₃, zeolitas tipo ZSM-5, silico alúminofosfatos (SAPO) y heterpoliácidos (HPA), donde dichos heteropoliácidos son seleccionados de entre los
5 de estructura Keggin, Wells-Dawson, Preysler, Stromberg, y Anderson–Evans. En una realización más preferida el catalizador ácido sólido es un heterpoliácido (HPA) de estructura Keggin y es seleccionado de entre ácido fosfowolfrámico, ácido silicowolfrámico, ácido fosfomolibdico y ácido silicomolibdico, preferiblemente los ácidos fosfowolfrámico, ácido silicowolfrámico. En una realización todavía más preferida el
10 catalizador ácido sólido está soportado en un óxido seleccionado de entre SiO₂, sílices mesoporosas, TiO₂, y el ZrO₂. En una realización todavía aún más preferida la carga óptima de HPA, entendida como la cantidad relativa de HPA que maximiza la producción de etileno, en el catalizador se relaciona con el área específica del soporte con una relación de entre 20 y 85 % en peso.

15

En otra realización preferida del procedimiento el catalizador ácido sólido puede estar en forma de polvo, extruido, tabletas y monolitos.

En otra realización preferida del procedimiento el método de separación liquido/gas de la etapa (g) consiste en enfriar y condensar los subproductos líquidos, obteniendo una
20 corriente de bioetileno gas de alta pureza.

En otra realización preferida del procedimiento el método de separación liquido/gas de la etapa (g) consiste en una única torre de destilación.

25

En otra realización preferida del procedimiento la temperatura de la etapa (g) es de entre 205 °C y 215 °C, para maximizar la vida útil del catalizador.

En otra realización preferida del procedimiento la presión de la etapa (g) es de entre 4
30 bar y 6 bar. Esta presión es suficiente para la óptima operación de reacción y suficiente para obtener bioetileno de alta pureza en la separación liquido/gas (g).

En otra realización preferida del procedimiento donde las etapas del procedimiento se llevan a cabo por las técnicas convencionales en continuo, semicontinuo, discontinuo
35 en un reactor seleccionado de entre reactor de lecho fijo, reactor de lecho fluidizado y

donde el reactor trabaja en modo adiabático o isoterma. En una realización más preferida el reactor trabaja en modo isoterma porque en esta forma el catalizador opera siempre en la temperatura óptima de reacción, mientras que, en un reactor no isoterma, al ser la reacción endotérmica, se produciría un perfil de temperatura que disminuiría desde la entrada a la salida lo que obliga al catalizador a operar fuera de la zona óptima de operación.

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención.

15 EJEMPLOS

A continuación, se ilustrará la invención mediante unos ensayos realizados por los inventores, que pone de manifiesto la efectividad del producto de la invención.

20 Ejemplo 1

En primer lugar, una fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) procedente de una planta de tratamiento de RSU que comprende una fracción biodegradable del 90 % y una fracción de materiales inertes del 10 % (vidrios, plásticos, textiles, piedras, materiales férricos etc.) en peso. La fracción biodegradable tiene un contenido en humedad del 50% en peso y unos contenidos de glucano, xilano, proteínas y grasas del 30%, 3%, 10% y 7% en peso, respectivamente, en base seca. Esta FORSU se pasa por un triturador que reduce su tamaño de partícula a 2-4 cm y una cinta transportadora donde existe un separador magnético en línea para eliminar materiales férricos. Tratar con ácido sulfúrico mediante calentamiento a una temperatura de 130 °C a una concentración del 1% en volumen y un tiempo de residencia de 60 minutos. El producto obtenido se mezcla con agua a un porcentaje de sólidos del 20% y se somete a trituración en húmedo mediante un sistema de cuchillas hasta un tamaño de partícula inferior a 10 mm. Esta mezcla acuosa se calienta a 50°C y se ajusta el pH entre 4.5-5.5. Se adiciona un 0.5% en volumen con respecto a la mezcla ácida obtenida de cóctel enzimático del proveedor Novozymes con actividades celulasas y amilasas para realizar

una sacarificación durante 24 h. Después, se reduce la temperatura a 30-38°C, se añaden 1 g/L de levaduras y se realiza una sacarificación y fermentación simultánea (36h) que da como resultado la fermentación de los azúcares generados a bioetanol, a una concentración del 3% en peso. Durante el proceso se realiza una separación de

5 materiales no biodegradables contenidos en la mezcla mediante un sistema de retención de flotantes con tamiz perforado con 8-10 mm que separa los materiales ligeros (plásticos, textiles, corchos, fibras) combinado con un filtro en la parte inferior del tanque de luz de malla de 8-12 mm que retiene los materiales más pesados (vidrios, piedras, arenas, metales). Los materiales flotantes se retiran automáticamente mientras que los

10 materiales pesados se eliminan tras su decantación y vaciado del tanque mediante un sistema automático. El caldo fermentado tras la sacarificación y fermentación simultánea conteniendo el bioetanol diluido se somete a una separación sólido/líquido (S/L) mediante métodos mecánicos de presión (tromel rotatorio +tornillo prensa) donde se obtiene una corriente líquida (10% sólidos) y una sólida (52% sólidos). La corriente

15 líquida se envía a una unidad de destilación para concentrar el bioetanol generado. La corriente líquida que resulta de la anterior etapa de separación S/L se somete a un proceso de destilación hasta obtener un etanol con un contenido superior al 95% m/m de pureza, que será usado como ladrillo químico para la producción de bioetileno. El proceso de deshidratación de bioetanol avanzado a etileno se caracteriza porque se

20 pone en contacto el bioetanol en fase gaseosa con un catalizador ácido sólido, como un ácido fosfowolfrámico soportado sobre SiO₂. La reacción de deshidratación da lugar a una corriente gaseosa mayoritaria de bio-etileno. La temperatura de la reacción es de 220 °C y la presión a la que se realiza esta reacción es de 5 bar. La actividad del catalizador para la reacción de deshidratación de etanol es muy alta y con una elevada

25 selectividad hacia la producción de etileno, preferentemente se trabajará con una conversión de etanol por encima del 90 % y una selectividad hacia etileno de más del 90 %. Entre los productos de reacción no se encuentran CO ni CO₂. Se alcanzan los niveles de conversión y producción superiores al 90 %. A continuación, se procederá a la separación de los compuestos de deshidratación. Esta separación se llevará a cabo

30 mediante las técnicas de separación conocidas en el estado del arte, concretamente, separación líquido-gas. La ausencia de óxidos de carbono entre los productos de reacción simplifica los procesos de separación necesarios.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la obtención de bioetileno a partir de una fracción orgánica de residuos sólidos urbanos caracterizado por que comprende las siguientes etapas:
- 5 a) pretratar mecánicamente la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos hasta reducir su tamaño de partículas entre 1 y 6 cm, preferiblemente entre 1 cm y 4 cm;
- b) mezclar con un ácido inorgánico mineral en una concentración de entre 0,5 y 3% en volumen de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos
10 obtenida en la etapa (a) y calentar durante un tiempo de entre 30 min y 90 min a una temperatura entre 100 °C y 200 °C;
- c) mezclar el producto obtenido en (b) con agua en un porcentaje de sólidos de entre el 8 y 35% y posteriormente triturar hasta un tamaño de partícula inferior a 10 mm, calentar entre 40 °C y 70 °C y ajustar el pH entre 4 y 6
- 15 d) adicionar en la disolución ácida obtenida en (c) entre un 0.1% y 2% en peso con respecto a dicha disolución ácida obtenida en (c) un cóctel enzimático que comprende al menos una celulasa y una amilasa, y dejar reaccionar durante un tiempo de entre 3 y 24 h, posteriormente reducir la temperatura a entre 30 y 40 °C, adicionar levaduras (0.1-1 g/L) y realizar una fermentación y sacarificación simultánea durante un tiempo de entre 24 h y 48h, donde
20 adicionalmente realiza una separación de los materiales flotantes y de los pesados durante la fermentación y sacarificación;
- e) separar mediante un método sólido/líquido el caldo obtenido en (d);
- f) reducir el contenido en agua del líquido obtenido en (e) mediante destilación;
25 y
- g) poner en contacto el bioetanol obtenido en (f) en forma gaseosa en ausencia de cualquier gas eluyente o portador adicional, con un catalizador ácido sólido a una temperatura de entre 190 °C y 250 °C y una presión de entre 1 y 10 bar, y separar los compuestos de deshidratación obtenidos mediante
30 método de separación líquido/gas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde el ácido inorgánico de la etapa (b) es seleccionado de entre ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico y cualquier combinación de los anteriores.

35

3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde la separación sólido/líquido de la etapa (e) se realiza mediante un método mecánico a presión basado en un tromel giratorio tamizado y tornillo prensa.
- 5 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la destilación de la etapa (f) se realiza mediante un sistema de 2 a 4 columnas en un rango de temperatura de entre 70 °C y 150 °C y una presión de entre 0 atm y 5 atm
- 10 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el catalizador ácido sólido es seleccionado de entre γ - Al_2O_3 , zeolitas tipo ZSM-5, silico alúminofosfatos (SAPO) y heteropoliácidos (HPA), donde dichos heteropoliácidos son seleccionados de entre los de estructura Keggin, Wells-Dawson, Preysler, Stromberg, y Anderson–Evans.
- 15 6. Procedimiento según la reivindicación 5, donde el catalizador ácido sólido es un heteropoliácido (HPA) de estructura Keggin y es seleccionado de entre ácido fosfowolfrámico, ácido silicowolfrámico, ácido fosfomolibdico y ácido silicomolibdico.
- 20 7. Procedimiento según la reivindicación 6, donde el catalizador ácido sólido está soportado en un óxido seleccionado de entre SiO_2 , sílices mesoporosas, TiO_2 , y ZrO_2 .
- 25 8. Procedimiento según la reivindicación 7, donde la carga óptima de HPA, entendida como la cantidad relativa de HPA que maximiza la producción de etileno, en el catalizador se relaciona con el área específica del soporte con una relación de entre 20 y 85 % en peso.
- 30 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde el catalizador ácido sólido puede estar en forma de polvo, extruido, tabletas y monolitos.
- 35 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde el método de separación líquido/gas consiste en enfriar y condensar el producto gas obtenido en (g).
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde la temperatura

de la etapa (g) es de entre 205 °C y 215 °C.

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde la presión de la etapa (g) es de entre 4 bar y 6 bar.

5

13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, donde las etapas del procedimiento se llevan a cabo por las técnicas convencionales en continuo, semicontinuo, discontinuo en un reactor seleccionado de entre reactor de lecho fijo, reactor de lecho fluidizado y donde el reactor trabaja en modo adiabático o isoterma.

10

14. Procedimiento según la reivindicación 13, donde el reactor trabaja en modo isoterma.