

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 603 029**

51 Int. Cl.:

C07C 1/24 (2006.01)
C07C 11/00 (2006.01)
C07C 11/08 (2006.01)
C07C 11/09 (2006.01)
B01J 29/06 (2006.01)
B01J 29/40 (2006.01)
B01J 29/85 (2006.01)
C07C 5/25 (2006.01)
C07C 5/27 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2011 PCT/EP2011/053902**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2011 WO11113834**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2011 E 11708283 (4)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2016 EP 2547638**

54 Título: **Deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol sobre catalizadores ácidos**

30 Prioridad:

27.04.2010 EP 10161125
09.04.2010 EP 10159463
15.03.2010 EP 10156537

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.02.2017

73 Titular/es:

TOTAL RESEARCH & TECHNOLOGY FELUY
(100.0%)
Zone Industrielle C
7181 Seneffe, BE

72 Inventor/es:

ADAM, CINDY;
MINOUX, DELPHINE;
NESTERENKO, NIKOLAI;
VAN DONK, SANDER y
DATH, JEAN-PIERRE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 603 029 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

Deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol sobre catalizadores ácidos

[Campo de la invención]

5 La presente invención se refiere a la deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol para preparar la olefina correspondiente, que tiene sustancialmente el mismo número de carbonos pero diferente estructura de esqueleto. El suministro limitado y el aumento del coste del petróleo crudo han impulsado la búsqueda de procedimientos alternativos para la producción de productos de hidrocarburos tales como isobuteno y n-butenos. El isobutanol se puede obtener mediante fermentación de carbohidratos o mediante condensación de alcoholes inferiores, obtenidos mediante fermentación de carbohidratos. La biomasa, constituida por materia orgánica procedente de organismos vivos, es la principal fuente de energía renovable del mundo.

[Antecedentes de la invención]

15 El isobutanol (2-metil-1-propanol) ha encontrado tradicionalmente aplicaciones limitadas y su uso es similar al del 1-butanol. Se ha usado como disolvente, diluyente, agente humectante, aditivo para productos de limpieza y como aditivo para tintas y polímeros. Recientemente, el isobutanol ha centrado el interés como combustible o componente de combustibles ya que exhibe un elevado número de octano (Octano de Mezcla R+M/2 es 102-103) y una baja presión de vapor (RVP es 26,2-35,9 kPa [3,8-5,2 psi]).

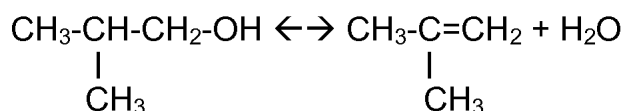
20 El isobutanol se considera con frecuencia un subproducto de la producción industrial de 1-butanol (Enciclopedia de química industrial de Ullmann, 6ª Edición, 2002). Se produce a partir de propileno mediante hidroformilación en el procedimiento Oxo (catalizador basado en Rh) o mediante carbonilación en el procedimiento Reppe (catalizador basado en Co). La hidroformilación o la carbonilación producen n-butanol e iso-butanol en proporciones que van desde 92/8 hasta 75/25. Para obtener isobutanol, se hidrogena el iso-butanol sobre un catalizador metálico. El isobutanol también se puede obtener a partir del gas de síntesis (mezcla de CO, H₂ y CO₂) mediante un procedimiento similar al de Fischer-Tropsch, que da como resultado una mezcla de alcoholes superiores, si bien se produce frecuentemente la formación preferente de isobutanol (*Applied Catalysis A, General*, 186, pág. 407, 1999 y *Chemiker Zeitung*, 106, pág. 249, 1982). Otra ruta adicional para obtener isobutanol es la condensación de Guerbet, catalizada con bases, de metanol con etanol y/o propanol (*J. of Molecular Catalysis A: Chemical* 200, 137, 2003 y *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 113-116, pág. 913, 2004).

30 Recientemente se han desarrollado nuevas rutas bioquímicas para producir selectivamente isobutanol a partir de carbohidratos. La nueva estrategia utiliza la ruta biosintética de aminoácidos altamente activos de microorganismos y desvía sus compuestos intermedios 2-cetoácidos para la síntesis de alcohol. Los 2-cetoácidos son intermedios en las rutas de biosíntesis de aminoácidos. Estos metabolitos se pueden convertir a aldehídos mediante las 2-cetoácido descarboxilasas (KDC) y después a alcoholes mediante las alcohol deshidrogenasas (ADH). Se requieren dos etapas no naturales para producir alcoholes mediante intermedios de derivación procedentes de rutas de biosíntesis de aminoácidos para la producción de alcohol (*Nature*, 451, pág. 86, 2008 y patente US 2008/0261230). Se requieren microorganismos recombinantes para potenciar el flujo de carbono hacia las síntesis de 2-cetoácidos. En la biosíntesis de valina el 2-ceto-isovalerato es un intermedio. La glucólisis de carbohidratos da como resultado piruvato que se convierte en acetolactato mediante la acetolactato sintasa. El 2,4-dihidroxiisovalerato se forma a partir del acetolactato, catalizado mediante una isomeroreductasa. Una deshidratasa convierte el 2,4-dihidroxiisovalerato en 2-ceto-isovalerato. En la siguiente etapa, una cetoácido descarboxilasa produce isobutiraldehído a partir del 2-ceto-isovalerato. La última etapa es la hidrogenación de isobutiraldehído mediante una deshidrogenasa para dar isobutanol.

45 De las rutas hacia el isobutanol descritas anteriormente, la condensación de Guerbet, la hidrogenación del gas de síntesis y la ruta del 2-cetoácido a partir de carbohidratos son rutas que pueden usar la biomasa como materia prima principal. La gasificación de la biomasa da como resultado gas de síntesis que se puede convertir en metanol o directamente en isobutanol. El etanol ya se produce a muy gran escala mediante fermentación de carbohidratos o mediante fermentación directa de gas de síntesis en etanol. Así pues, el metanol y el etanol obtenidos a partir de biomasa se pueden condensar posteriormente a isobutanol. La ruta directa del 2-cetoácido puede producir isobutanol a partir de carbohidratos que se aíslan de una biomasa. Se pueden obtener carbohidratos sencillos a partir de plantas tales como la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Se pueden obtener carbohidratos más complejos a partir de plantas tales como el maíz, el trigo y otras plantas gramíneas. Se pueden aislar carbohidratos aún más complejos esencialmente a partir de cualquier biomasa, mediante la liberación de celulosa y hemicelulosa procedentes de las lignocelulosas.

50 A mediados de los noventa, muchas empresas petroleras intentaron producir más isobuteno para la producción de MTBE. Por tanto, se ha desarrollado muchos catalizadores para la isomerización del esqueleto para la conversión de n-butenos en isobutenos (*Adv. Catal.* 44, pág. 505, 1999; *Oil & Gas Science and Technology*, 54 (1) pág. 23, 1999 y *Applied Catalysis A: General* 212, 97, 2001). Entre los catalizadores más prometedores se encuentran las zeolitas con anillos de 10 miembros y las alúminas modificadas. La isomerización inversa del esqueleto del isobuteno en n-butenos no se ha mencionado.

Se conocen desde hace mucho tiempo las reacciones de deshidratación de alcoholes para producir alquenos (*J. Catal.* 7, pág. 163, 1967 y *J. Am. Chem. Soc.* 83, pág. 2847, 1961). Se pueden usar muchos catalizadores ácidos sólidos disponibles para la deshidratación de alcoholes (*Stud. Surf. Sci. Catal.* 51, pág. 260, 1989). No obstante, los usados más habitualmente son las γ -alúminas, especialmente para alcoholes de cadena más larga (con más de tres átomos de carbono). Esto se debe a que los catalizadores con mayor acidez, tales como las sílice-alúminas, los tamices moleculares, las zeolitas o los catalizadores de resina pueden promover el desplazamiento del doble enlace, la isomerización del esqueleto y otras reacciones de interconversión de las olefinas. El producto principal de la deshidratación del isobutanol catalizada con ácidos es el isobuteno:



La deshidratación de alcoholes con cuatro o más átomos de carbono sobre catalizadores ácidos sólidos se espera que vaya acompañada de una reacción de desplazamiento del doble enlace del producto alquénico. Esto se debe a que las dos reacciones se producen fácilmente y a velocidades comparables (*Carboniogenic Activity of Zeolites*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam (1977) pág. 169). El producto principal, el isobuteno, es muy reactivo en presencia de un catalizador ácido debido a la presencia del doble enlace unido a un carbono terciario. Esto permite una fácil protonación, ya que la estructura terciaria del carbocatión resultante es la más favorable de entre todas las posibles estructuras de carbocationes (carbocationes terciarios > secundarios > primarios). El t-butil catión resultante experimenta una fácil oligomerización/polimerización u otra sustitución electrófila sobre aromáticos o alifáticos o reacciones de adición electrófila. La reordenación del t-butil catión no es una reacción directa ya que, sin desear quedar ligado a teoría alguna, supone la formación intermedia del butil catión primario o secundario y, por tanto, la probabilidad de reacciones secundarias (sustituciones o adiciones) es muy elevada y podría disminuir la selectividad por el producto deseado.

Se ha descrito la deshidratación de butanoles sobre catalizadores de tipo alúmina (*Applied Catalysis A, General*, 214, pág. 251, 2001). Tanto el desplazamiento del doble enlace como la isomerización del esqueleto se han obtenido a muy baja velocidad espacial (o muy largo tiempo de reacción) correspondiente a una GHSV (Velocidad espacial horaria de gas = proporción de la velocidad de alimentación (g/h) con respecto al peso de catalizador (ml)) de menos de 1 g.ml⁻¹.h⁻¹. El documento EP 2 090 561 A1 desvela un procedimiento para la deshidratación de al menos un alcohol a fin de preparar al menos una olefina, que comprende: introducir en un reactor una corriente (A) que comprende al menos un alcohol, poner en contacto dicha corriente con un catalizador en dicho reactor en condiciones eficaces para la deshidratación de al menos una porción del alcohol a fin de preparar una olefina, recuperar de dicho reactor una corriente (B) que contiene olefina, en el que el catalizador es un silicato cristalino que tiene una relación Si/Al de al menos aproximadamente 100, la WHSV de los alcoholes es de al menos 4 h⁻¹, y la temperatura varía de 280 a 450 °C. La solicitud de patente internacional WO2005/110951 describe un procedimiento para la producción de propileno mediante metatésis de n-butenos que se han obtenido mediante isomerización del esqueleto del isobuteno que se produce a partir del t-butanol mediante deshidratación. Todas las etapas de la presente solicitud se llevan a cabo por separado.

Se ha descubierto ahora que la deshidratación y la isomerización del esqueleto del resto isobutilo en el isobutanol se pueden llevar a cabo simultáneamente.

A modo de ejemplo, se ha descubierto que para la deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol, tienen muchas ventajas los silicatos cristalinos del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT o TON con Si/Al superior a 10, o un silicato cristalino desaluminado del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT o TON con Si/Al superior a 10, o un silicato cristalino modificado con fósforo del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT o TON con Si/Al superior a 10, o tamices moleculares del tipo silicoaluminofosfato del grupo AEL o alúmina de silicato, zirconato, titanato o alúmina fluorada, Dicha deshidratación se puede efectuar con una WHSV (Velocidad espacial horaria en peso = proporción de la velocidad de flujo de la alimentación (g/h) con respecto al peso de catalizador) de al menos 1 h⁻¹, a una temperatura de 200 a 600 °C y usando una composición de isobutanol-diluyente con de un 30 a un 100 % de isobutanol a una presión total de operación de 0,05 a 1,0 MPa.

A modo de ejemplo, en la deshidratación/isomerización del isobutanol sobre una ferrierita que tiene una relación Si/Al de 10 a 90 y con una WHSV de al menos 2 h⁻¹ para preparar n-butenos además de isobuteno, la conversión del isobutanol es de al menos un 98 % y, frecuentemente, de un 99 %, ventajosamente el rendimiento de butenos (isobutenos y n-butenos) es de al menos un 90 %, la selectividad por los n-butenos está entre el 5 % y el equilibrio termodinámico en las condiciones de reacción dadas.

La conversión del isobutanol es la relación (isobutanol introducido en el reactor - isobutanol que sale del reactor / (isobutanol introducido en el reactor)).

El rendimiento de n-butenos es la relación, en base carbono, (n-butenos que salen del reactor)/(isobutanol introducido en el reactor).

La selectividad por los n-butenos es la relación, en base carbono, (n-butenos que salen del reactor)/(isobutanol convertido en el reactor).

5 La deshidratación/isomerización simultáneas del isobutanol da como resultado una mezcla de n-butenos (but-1-eno y but-2-eno) e isobuteno. De acuerdo con la presente invención, se obtiene con frecuencia una composición próxima al equilibrio termodinámico mientras se mantiene el alto rendimiento de butenos totales. El equilibrio termodinámico para los n-butenos varía entre un 50 y un 65 % y para el isobuteno entre un 35 y un 50 % dependiendo de las condiciones de operación. Una ventaja importante de la presente invención es que la composición se parece a la composición de un refinado I del corte C4 obtenido de una unidad de craqueo con vapor de nafta. El refinado I se obtiene retirando butadieno del corte C4 bruto producido en una unidad de craqueo con vapor de nafta. Las composiciones normales son: 35-45 % de isobuteno, 3-15 % de butanos y el restante 52-40 % de n-butenos. Resulta evidente que el producto de la deshidratación/isomerización simultáneas puede sustituir fácilmente el uso del refinado I en plantas petroquímicas existentes. Esto se traduce en que la inversión de capital se puede minimizar y en que los derivados de tal mezcla isobuteno/n-butenos se pueden producir, por tanto, a partir de fuentes renovables en lugar de fuentes fósiles simplemente sustituyendo el refinado I de origen fósil por el producto de la presente invención.

El documento EP 2090561 A1 describe la deshidratación de un alcohol sobre silicatos cristalinos para producir la olefina correspondiente. Se mencionan el etanol, el propanol, el butanol y el feniletanol. Solo el etanol se usa en los ejemplos. No se mencionada nada sobre el isobutanol y la isomerización del mismo.

[Breve resumen de la invención]

La presente invención (en una primera realización) se refiere a un procedimiento para la deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol para preparar sustancialmente las olefinas correspondientes, que tienen el mismo número de carbonos y que consisten esencialmente en una mezcla de n-butenos e isobuteno, comprendiendo dicho procedimiento:

- a) introducir en un reactor una corriente (A) que comprende isobutanol, opcionalmente agua, opcionalmente un componente inerte,
- b) poner en contacto dicha corriente con un catalizador en dicho reactor en condiciones eficaces para deshidratar e isomerizar el esqueleto de al menos una porción del isobutanol a fin de preparar una mezcla de n-butenos e isobuteno,
- c) recuperar de dicho reactor una corriente (B), eliminar el agua, el componente inerte, si lo hubiera, y el isobutanol sin convertir, si lo hubiera, para obtener una mezcla de n-butenos e isobuteno,

en el que, la WHSV del isobutanol es de al menos 1 h^{-1} y el catalizador es capaz de efectuar simultáneamente la deshidratación y la isomerización del esqueleto del buteno.

La presente invención (en una segunda realización) se refiere a un procedimiento para la deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol para preparar sustancialmente las olefinas correspondientes, que tienen el mismo número de carbonos y que consisten esencialmente en una mezcla de n-butenos e isobuteno, comprendiendo dicho procedimiento:

- a) introducir en un reactor una corriente (A) que comprende isobutanol, opcionalmente agua, opcionalmente un componente inerte,
- b) poner en contacto dicha corriente con un catalizador en dicho reactor en condiciones eficaces para deshidratar e isomerizar el esqueleto de al menos una porción del isobutanol a fin de preparar una mezcla de n-butenos e isobuteno,
- c) recuperar de dicho reactor una corriente (B), eliminar el agua, el componente inerte, si lo hubiera, y el isobutanol sin convertir, si lo hubiera, para obtener una mezcla de n-butenos e isobuteno,

en el que, la temperatura varía de $200 \text{ }^\circ\text{C}$ a $600 \text{ }^\circ\text{C}$ y el catalizador es capaz de efectuar simultáneamente la deshidratación y la isomerización del esqueleto del buteno.

El catalizador, en ambas realizaciones, es un silicato cristalino del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON con Si/Al superior a 10, o un silicato cristalino desaluminado del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON con Si/Al superior a 10, o un silicato cristalino modificado con fósforo del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON con Si/Al superior a 10, o tamices moleculares del tipo silicoaluminofosfato del grupo AEL o alúmina de silicato, zirconato, titanato o fluorada.

Un catalizador preferente, en ambas realizaciones, es un silicato cristalino del grupo FER o MFI con Si/Al superior a 10,
o un silicato cristalino desaluminado del grupo FER o MFI con Si/Al superior a 10,
o un silicato cristalino modificado con fósforo del grupo FER o MFI con Si/Al superior a 10.

- 5 En una realización específica, el silicato cristalino del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON se trata con vapor para eliminar el aluminio de la estructura del silicato cristalino. El tratamiento con vapor se efectúa a temperatura elevada, preferentemente en el intervalo de 425 a 870 °C, más preferentemente en el intervalo de 540 a 815 °C y a presión atmosférica y a una presión parcial de agua de 13 a 200 kPa. Preferentemente, el tratamiento con vapor se efectúa en una atmósfera que comprende de un 5 a un 100 % de vapor. La atmósfera de vapor contiene preferentemente de un 5 a un 100 % en volumen de vapor con de un 0 a un 95 % en volumen de un gas inerte, preferentemente nitrógeno. Una atmósfera más preferente comprende un 72 % en volumen de vapor y un 28 % en volumen de nitrógeno, es decir, 72 kPa de vapor a una presión de una atmósfera. El tratamiento con vapor se lleva a cabo preferentemente durante un periodo de 0,1 a 200 horas, más preferentemente de 0,5 horas a 100 horas. Tal como se ha indicado anteriormente, el tratamiento con vapor tiende a reducir la cantidad de aluminio tetraédrico en la estructura del silicato cristalino así como a potenciar la resistencia del catalizador a la regeneración.

- En una realización más específica, el silicato cristalino del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON se desalmina mediante calentamiento en atmósfera de vapor para eliminar el aluminio de la estructura del silicato cristalino y extracción de aluminio del catalizador poniendo en contacto el catalizador con un ácido o un agente acomplejante para el aluminio a fin de eliminar de los poros de la estructura la alúmina depositada en ellos durante la etapa de tratamiento con vapor para aumentar de este modo la relación atómica de silicio/aluminio del catalizador. El catalizador con una elevada relación atómica de silicio/aluminio para su uso en el procedimiento catalítico de la presente invención se fabrica eliminando el aluminio de un silicato cristalino disponible en el mercado. De acuerdo con esto, tras la etapa del tratamiento con vapor, el silicato cristalino se somete a una etapa de extracción en la que la alúmina amorfa se elimina de los poros y el volumen de los microporos se recupera, al menos parcialmente. La eliminación física, mediante una etapa de lixiviación, de la alúmina amorfa de los poros mediante la formación de un complejo de aluminio soluble en agua produce el efecto global de desaluminación del silicato cristalino. De este modo, eliminando el aluminio de la estructura del silicato cristalino y eliminado después la alúmina formada en ella de los poros, el procedimiento se dirige a conseguir una desaluminación sustancialmente homogénea en todas las superficies de los poros del catalizador. Esto reduce la acidez del catalizador. La reducción de la acidez se produce idealmente de modo sustancialmente homogéneo por todos los poros definidos en la estructura del silicato cristalino. Tras el tratamiento con vapor, se lleva a cabo el procedimiento de extracción a fin de desaluminar el catalizador mediante lixiviación. El aluminio se extrae preferentemente del silicato cristalino mediante un agente acomplejante que tiende a formar un complejo soluble con la alúmina. El agente acomplejante está preferentemente en una solución acuosa del mismo. El agente acomplejante puede comprender un ácido inorgánico u orgánico tal como ácido cítrico, ácido fórmico, ácido oxálico, ácido tartárico, ácido malónico, ácido succínico, ácido glutárico, ácido adípico, ácido maleico, ácido ftálico, ácido isoftálico, ácido fumárico, ácido nitriloacético, ácido hidroxietilendiaminotriacético, ácido etilendiaminotetraacético, ácido tricloroacético, ácido trifluoroacético o una sal de tal ácido (por ejemplo la sal sódica) o una mezcla de dos o más de tales ácidos o sales. El agente ácido puede comprender un ácido inorgánico tal como ácido nítrico, ácidos halogénicos, ácido sulfúrico, ácido fosfórico o sales de tales ácidos o una mezcla de tales ácidos. El agente acomplejante puede comprender también una mezcla de tales ácidos inorgánicos y orgánicos o de las sales correspondientes de los mismos. El agente acomplejante para el aluminio forma preferentemente con el aluminio un complejo soluble en agua y, en particular, elimina la alúmina que se forma durante la etapa del tratamiento con vapor del silicato cristalino. Un agente acomplejante particularmente preferente puede comprender una amina, preferentemente ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) o una sal del mismo, en particular la sal sódica del mismo.

Tras la etapa de lixiviación del aluminio, el silicato cristalino se puede lavar posteriormente, por ejemplo con agua destilada, y secar después, preferentemente a una temperatura elevada, por ejemplo de aproximadamente 110 °C.

- Adicionalmente, si durante la preparación de los catalizadores de la invención se han usado metales alcalinos o alcalino-térreos, el tamiz molecular se podría someter a una etapa de intercambio iónico. El intercambio iónico se efectúa convencionalmente en soluciones acuosas usando sales de amonio o ácidos inorgánicos.

Tras la etapa de desaluminación, el catalizador se calcina posteriormente, por ejemplo a una temperatura de 400 a 800 °C a presión atmosférica durante un periodo de 1 a 10 horas.

- No se alejaría del ámbito de la invención si la materia prima de isobutanol comprende uno o más de los otros alcoholes C4 tales como 2-butanol, terc-butanol y n-butanol. Ventajosamente, el isobutanol es el componente principal entre los alcoholes de la materia prima, esto significa que la proporción de isobutanol con respecto a todos los alcoholes C4 en la materia prima es del 42 % o superior. Más ventajosamente, la proporción anterior es del 70 % o, más preferentemente, del 80 % o superior. Por supuesto, si la proporción de isobutanol es demasiado baja la invención es de poco interés, hay un montón de catalizadores en el estado de la técnica capaces de deshidratar el 2-butanol y el n-butanol para producir n-butenos.

En una realización ventajosa la corriente (B) se fracciona en una etapa d) para producir una corriente de n-butenos (N) y para eliminar la parte esencial de isobuteno opcionalmente reciclada con la corriente (A) al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b). El reciclado del isobuteno al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b) aumenta la producción de n-butenos.

- 5 En una realización específica, en el fraccionamiento de la etapa d) el isobuteno se elimina mediante oligomerización selectiva del isobuteno.

En una realización específica, en el fraccionamiento de la etapa d) el isobuteno se elimina mediante eterificación selectiva con metanol o etanol.

- 10 En una realización específica, en el fraccionamiento de la etapa d) el isobuteno se elimina mediante hidratación selectiva a t-butanol. Opcionalmente dicho t-butanol se recicla al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b).

- 15 En una realización específica, el fraccionamiento de la etapa d) se efectúa mediante una columna de destilación catalítica en la que la parte esencial del 1-buteno se isomeriza a 2-buteno, el isobuteno se recupera como producto de cabeza y el 2-buteno se recupera en las fracciones pesadas de dicha columna. Ventajosamente el isobuteno se recicla al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b).

[Descripción detallada de la invención]

- 20 **Por lo que respecta a la corriente (A)**, el isobutanol se puede someter a deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas solo o mezclado con un medio inerte. El componente inerte es cualquier componente con tal de que no se convierta sustancialmente sobre el catalizador. Debido a que la etapa de deshidratación es endotérmica, el componente inerte se puede usar como vector de energía. El componente inerte permite reducir la presión parcial del isobutanol y otros intermedios de reacción y reducirá, por tanto, reacciones secundarias como la oligomerización/polimerización. El componente inerte se puede seleccionar entre agua, nitrógeno, hidrógeno, CO₂ e hidrocarburos saturados. Puede ser que algunos de estos componentes inertes estén ya presentes en el isobutanol ya que se usaron o se produjeron conjuntamente durante la producción de isobutanol. Ejemplos de componentes inertes que pueden estar ya presentes en el isobutanol son el agua y el CO₂. El componente inerte se puede seleccionar entre hidrocarburos saturados que tienen hasta 10 átomos de carbono, y naftenos. Ventajosamente, es un hidrocarburo saturado o una mezcla de hidrocarburos saturados que tienen de 3 a 7 átomos de carbono, más ventajosamente que tienen de 4 a 6 átomos de carbono y es preferentemente pentano. Un ejemplo de componente inerte puede ser cualquier componente saturado individual, una mezcla sintética de componentes saturados individuales, así como algunas corrientes de refinería equilibradas tales como nafta directa, butanos, etc. Ventajosamente, el componente inerte es un hidrocarburo saturado que tiene de 3 a 6 átomos de carbono y es preferentemente pentano. Las proporciones en peso del isobutanol y el componente inerte respectivamente son, por ejemplo, 30-100/70-0 (siendo el total 100). La corriente (A) puede ser líquida o gaseosa.

- 35 **Por lo que respecta al reactor**, este puede ser un reactor de lecho fijo, o un reactor de lecho móvil o un reactor de lecho fluidizado. Un reactor de lecho fluidizado típico es uno del tipo FCC utilizado para el craqueo catalítico de lecho fluidizado en las refinerías de petróleo. Un reactor de lecho móvil normal es del tipo de reformado catalítico continuo. La deshidratación/isomerización simultáneas pueden efectuarse continuamente en una configuración de reactor de lecho fijo utilizando un par de reactores paralelos "oscilantes". Se ha encontrado que los diversos catalizadores preferentes de la presente invención exhiben una alta estabilidad. Esto permite efectuar el procedimiento de deshidratación de forma continua en dos reactores paralelos "oscilantes", en los que cuando un reactor está funcionando, el otro reactor está siendo sometido a una regeneración del catalizador. El catalizador de la presente invención también se puede regenerar varias veces.

- 45 La deshidratación/isomerización simultáneas se pueden llevar a cabo continuamente en un reactor de lecho móvil en el que el catalizador circula desde una zona de reacción hasta una zona de regeneración y al contrario, con un tiempo de residencia del catalizador en la zona de reacción de al menos 12 horas. En cada zona, el catalizador se comporta esencialmente como en un reactor de lecho fijo aunque el catalizador se mueve lentamente, por gravedad o neumáticamente, a través de la zona respectiva. El uso de una reacción de lecho móvil permite lograr una operación continua sin intercambio de la materia prima y el gas de regeneración de un reactor a otro. La zona de reacción recibe continuamente la materia prima mientras que la zona de regeneración recibe continuamente el gas de regeneración.

- 50 La deshidratación/isomerización simultáneas se pueden llevar a cabo continuamente en un reactor de lecho fluidizado en el que el catalizador circula desde una zona de reacción hasta una zona de regeneración y al contrario, con un tiempo de residencia del catalizador en la zona de reacción inferior a 12 horas. En cada zona el catalizador está en un estado fluidizado y exhibe tal forma y tal tamaño que permanece fluidizado en el flujo de la materia prima y los productos de reacción o en el gas de regeneración. El uso de un reactor de lecho fluidizado permite regenerar muy rápidamente el catalizador desactivado mediante regeneración en la zona de regeneración.

- 55 **Por lo que respecta a la presión**, puede ser cualquier presión aunque es más fácil y económico operar a presión moderada. A modo de ejemplo, la presión del reactor varía de 0,5 a 10 bar absolutos (50 kPa a 1 MPa),

ventajosamente de 0,5 a 5 bar absolutos (50 kPa a 0,5 MPa), más ventajosamente de 1,2 a 5 bar absolutos (0,12 MPa a 0,5 MPa) y preferentemente de 1,2 a 4 bar absolutos (0,12 MPa a 0,4 MPa). Ventajosamente la presión parcial del isobutanol es 0,1 a 4 bar absolutos (0,01 MPa a 0,4 MPa), más ventajosamente de 0,5 a 3,5 bar absolutos (0,05 MPa a 0,35 MPa).

- 5 **Por lo que respecta a la temperatura**, y la primera realización, esta varía de 200 °C a 600 °C, ventajosamente de 250 °C a 500 °C, más ventajosamente de 300 °C a 450 °C. Por lo que respecta a la temperatura y la segunda realización, esta varía de 200 °C a 600 °C, ventajosamente de 250 °C a 500 °C, más ventajosamente de 300 °C a 450 °C.

- 10 Estas temperaturas de reacción se refieren esencialmente a la temperatura promedio del lecho de catalizador. La deshidratación del isobutanol es una reacción endotérmica y requiere la aportación de calor de reacción para mantener la actividad del catalizador suficientemente elevada y desplazar el equilibrio termodinámico de deshidratación a niveles de conversión suficientemente elevados.

- 15 En el caso de los reactores de lecho fluidizado: (i) para lechos fluidizados estacionarios sin circulación de catalizador, la temperatura de reacción es sustancialmente homogénea a través del lecho de catalizador; (ii) en el caso de lechos fluidizados circulantes en los que el catalizador circula entre una sección de reacción de conversión y una sección de regeneración del catalizador, dependiendo del grado de mezcla acumulada del catalizador, la temperatura en el lecho de catalizador se aproxima a condiciones homogéneas (mucho mezcla acumulada) o se aproxima a condiciones de flujo pistón (casi sin mezcla acumulada) y, por tanto, se instalará un perfil de temperatura decreciente a medida que transcurre la conversión.

- 20 En el caso de reactores de lecho fijo o de lecho móvil, se instalará un perfil de temperatura decreciente a medida que transcurre la conversión del isobutanol. A fin de compensar la caída de temperatura y, consecuentemente, la reducción de la actividad del catalizador o de aproximarse al equilibrio termodinámico, el calor de reacción se debe introducir usando varios lechos de catalizador en serie con calentamiento intermedio del efluente del reactor desde el primer lecho a mayores temperaturas e introduciendo el efluente calentado en un segundo lecho de catalizador, etc. Cuando se usan reactores de lecho fijo, se puede usar un reactor multitubular en el que el catalizador se carga en tubos de pequeño diámetro que están instalados en una cubierta del reactor. En la cara de la cubierta, se introduce un medio de calentamiento que proporciona el calor de reacción requerido, mediante transferencia de calor, a través de la pared de los tubos del reactor al catalizador.

- 30 **Por lo que respecta a la WHSV del isobutanol**, y la primera realización, esta varía ventajosamente de 1 a 30 h⁻¹, preferentemente de 2 a 21 h⁻¹, más preferentemente de 7 a 12 h⁻¹. Con respecto a la segunda realización, esta varía ventajosamente de 1 a 30 h⁻¹, más ventajosamente de 2 a 21 h⁻¹, preferentemente de 5 a 15 h⁻¹, más preferentemente de 7 a 12 h⁻¹.

- 35 **Por lo que respecta a la corriente (B)**, esta comprende esencialmente agua, olefina, el componente inerte (si lo hubiera) e isobutanol sin convertir. Dicho isobutanol sin convertir se supone que es el mínimo posible. La olefina se recupera mediante medios de fraccionamiento habituales. Ventajosamente, el componente inerte, si lo hubiera, se recicla en la corriente (A) al igual que el isobutanol sin convertir, si lo hubiera. El isobutanol sin convertir, si lo hubiera se recicla al reactor en la corriente (A).

Ventajosamente, entre los butenos la proporción de n-butenos es superior al 20 %, ventajosamente superior al 30 %, más ventajosamente superior al 40 %, preferentemente superior al 50 %.

- 40 **Por lo que respecta al catalizador**, es un silicato cristalino del grupo FER (ferrierita, FU-9, ZSM-35), MWW (MCM22, PSH-3, ITQ-1, MCM-49), EUO (ZSM-50, EU-1), MFS (ZSM-57), ZSM-48, MTT (ZSM-23), MFI (ZSM-5), MEL (ZSM11) o TON (ZSM-22, Theta-1, NU-10),
 45 o un silicato cristalino desaluminado del grupo FER (ferrierita, FU-9, ZSM-35), MWW (MCM-22, PSH-3, ITQ-1, MCM49), EUO (ZSM-50, EU-1), MFS (ZSM-57), ZSM-48, MTT (ZSM-23), MFI (ZSM-5), MEL (ZSM-11) o TON (ZSM-22, Theta-1, NU-10),
 o un silicato cristalino modificado con fósforo del grupo FER (ferrierita, FU-9, ZSM-35), MWW (MCM-22, PSH-3, ITQ1, MCM-49), EUO (ZSM-50, EU-1), MFS (ZSM-57), ZSM-48, MTT (ZSM-23), MFI (ZSM-5), MEL (ZSM-11) o TON (ZSM-22, Theta-1, NU-10),
 50 o un tamiz molecular de silicoaluminofosfato del grupo AEL (SAPO-11),
 o alúmina de silicato, zirconato, titanato o fluorada.

En cuanto al silicato cristalino de estructura FER (ferrierita, FU-9, ZSM-35), este puede ser el precursor laminar que se convierte en FER mediante calcinaciones.

La relación Si/Al es ventajosamente superior a 10.

- 55 El silicato cristalino es tal que la relación Si/Al varía más ventajosamente de 10 a 500, preferentemente de 12 a 250, más preferentemente de 15 a 150.

La acidez del catalizador se puede determinar por la cantidad de amoniaco residual sobre el catalizador tras el

contacto del catalizador con amoníaco, el cual se adsorbe sobre los sitios ácidos del catalizador con la posterior desorción del amoníaco a elevada temperatura, medida mediante análisis de termogravimetría diferencial o análisis de la concentración de amoníaco en los gases desorbidos.

5 El silicato cristalino se puede someter a diversos tratamientos antes de su uso en la deshidratación que incluyen intercambio iónico, modificación con metales (de un modo no restrictivo, elementos alcalinos, alcalino-térreos, de transición o tierras raras), pasivación de la superficie exterior, modificación con compuestos de P, tratamiento con vapor, tratamiento con ácido u otros procedimientos de desaluminación, o una combinación de los mismos.

10 En una realización específica, el silicato cristalino se trata con vapor para eliminar el aluminio de la estructura del silicato cristalino. El tratamiento con vapor se efectúa a temperatura elevada, preferentemente en el intervalo de 425 a 870 °C, más preferentemente en el intervalo de 540 a 815 °C y a presión atmosférica y a una presión parcial de agua de 13 a 200 kPa. Preferentemente, el tratamiento con vapor se efectúa en una atmósfera que comprende de un 5 a un 100 % en volumen de vapor. La atmósfera de vapor contiene preferentemente de un 5 a un 100 % en volumen de vapor con de un 0 a un 95 % en volumen de un gas inerte, preferentemente nitrógeno. El tratamiento con vapor se lleva a cabo preferentemente durante un periodo de 1 a 200 horas, más preferentemente de 4 a 10 horas. Tal como se ha indicado anteriormente, el tratamiento con vapor tiende a reducir la cantidad de aluminio tetraédrico en la estructura del silicato cristalino, mediante la formación de alúmina.

20 En una realización más específica, el silicato cristalino se desalumina mediante calentamiento del catalizador en atmósfera de vapor para eliminar el aluminio de la estructura del silicato cristalino y extracción de aluminio del catalizador poniendo en contacto el catalizador con un agente acomplejante para el aluminio a fin de eliminar de los poros de la estructura la alúmina depositada en ellos durante la etapa de tratamiento con vapor para aumentar de este modo la relación atómica de silicio/aluminio del catalizador. De acuerdo con la presente invención, el silicato cristalino disponible en el mercado se modifica mediante un procedimiento de tratamiento con vapor que reduce el aluminio tetraédrico de la estructura del silicato cristalino y convierte los átomos de aluminio en aluminio octaédrico en forma de alúmina amorfa. Aunque en la etapa de tratamiento con vapor los átomos de aluminio se eliminan químicamente de la estructura del silicato cristalino para formar partículas de alúmina, estas partículas causan una obstrucción parcial de los poros o canales en la estructura. Esto podría inhibir el procedimiento de deshidratación de la presente invención. De acuerdo con esto, tras la etapa del tratamiento con vapor, el silicato cristalino se somete a una etapa de extracción en la que la alúmina amorfa se elimina de los poros y el volumen de los microporos se recupera, al menos parcialmente. La eliminación física, mediante una etapa de lixiviación, de la alúmina amorfa de los poros mediante la formación de un complejo de aluminio soluble en agua produce el efecto global de desaluminación del silicato cristalino. De este modo, eliminando el aluminio de la estructura del silicato cristalino y eliminado después la alúmina formada en ella de los poros, el procedimiento se dirige a conseguir una desaluminación sustancialmente homogénea en todas las superficies de los poros del catalizador. Esto reduce la acidez del catalizador. La reducción de la acidez se produce idealmente de modo sustancialmente homogéneo por todos los poros definidos en la estructura del silicato cristalino. Tras el tratamiento con vapor, se lleva a cabo el procedimiento de extracción a fin de desaluminar el catalizador mediante lixiviación. El aluminio se extrae preferentemente del silicato cristalino mediante un agente acomplejante que tiende a formar un complejo soluble con la alúmina. El agente acomplejante está preferentemente en una solución acuosa del mismo. El agente acomplejante puede comprender un ácido orgánico tal como ácido cítrico, ácido fórmico, ácido oxálico, ácido tartárico, ácido malónico, ácido succínico, ácido glutárico, ácido adipico, ácido maleico, ácido ftálico, ácido isoftálico, ácido fumárico, ácido nitriloacético, ácido hidroxietilendiaminotriacético, ácido etilendiaminotetraacético, ácido tricloroacético, ácido trifluoroacético o una sal de tal ácido (por ejemplo la sal sódica) o una mezcla de dos o más de tales ácidos o sales. El agente acomplejante puede comprender un ácido inorgánico tal como ácido nítrico, ácidos halogénicos, ácido sulfúrico, ácido fosfórico o sales de tales ácidos o una mezcla de tales ácidos. El agente acomplejante puede comprender también una mezcla de tales ácidos inorgánicos y orgánicos o de las sales correspondientes de los mismos. El agente acomplejante para el aluminio forma preferentemente con el aluminio un complejo soluble en agua y, en particular, elimina la alúmina que se forma durante la etapa del tratamiento con vapor del silicato cristalino.

50 Tras la etapa de lixiviación del aluminio, el silicato cristalino se puede lavar posteriormente, por ejemplo con agua destilada, y secar después, preferentemente a una temperatura elevada, por ejemplo de aproximadamente 110 °C.

Adicionalmente, si durante la preparación de los catalizadores de la invención se han usado metales alcalinos o alcalino-térreos, el tamiz molecular se podría someter a una etapa de intercambio iónico. El intercambio iónico se efectúa convencionalmente en soluciones acuosas usando sales de amonio o ácidos inorgánicos.

55 Tras la etapa de desaluminación, el catalizador se calcina posteriormente, por ejemplo a una temperatura de 400 a 800 °C a presión atmosférica durante un periodo de 1 a 10 horas.

60 Otro catalizador adecuado para el presente procedimiento son los tamices moleculares de silicoaluminonafosfato del grupo AEL con el ejemplo característico del tamiz molecular SAPO-11. El tamiz molecular SAPO-11 está basado en el ALPO-11, que tiene esencialmente una relación Al/P de 1 átomo/átomo. Durante la síntesis se añade el precursor de silicio y la inserción del silicio en la estructura del ALPO da como resultado un sitio ácido en la superficie de los microporos del tamiz con un anillo de 10 miembros. El contenido de silicio varía de un 0,1 a un 10 % en átomos (Al +

P + Si es 100).

En otra realización específica, el silicato cristalino o tamiz molecular de silicoaluminonafosfato se mezcla con un aglutinante, preferentemente un aglutinante inorgánico, y se conforma hasta la forma deseada, por ejemplo, microgránulos. El aglutinante se selecciona de modo que sea resistente a la temperatura y a otras condiciones empleadas en el procedimiento de deshidratación de la invención. El aglutinante es un material inorgánico seleccionado entre arcillas, sílice, silicatos metálicos, óxidos metálicos tales como ZrO_2 y/o metales, o geles que incluyen mezclas de sílice y óxidos metálicos. Si el aglutinante que se usa junto con el silicato cristalino es por sí mismo catalíticamente activo, este puede modificar la conversión y/o la selectividad del catalizador. Materiales inactivos para el aglutinante pueden servir adecuadamente como diluyentes para controlar la cantidad de conversión de modo que los productos se puedan obtener económicamente y ordenadamente sin emplear otros medios para controlar la velocidad de reacción. Es deseable proporcionar un catalizador que tenga una buena resistencia al aplastamiento. Esto se debe a que, en el uso comercial, es deseable evitar que el catalizador se rompa en materiales de tipo polvo. Tales aglutinantes de arcilla u óxido se han empleado normalmente solo con el fin de mejorar la resistencia al aplastamiento del catalizador. Un aglutinante particularmente preferido para el catalizador de la presente invención comprende sílice. Las proporciones relativas del material de silicato cristalino finamente dividido y la matriz de óxido inorgánico del aglutinante pueden variar ampliamente. Normalmente, el contenido de aglutinante varía de un 5 a un 95 % en peso, más característicamente de un 20 a un 75 % en peso, basado en el peso del catalizador compuesto. Tal mezcla del silicato cristalino y un aglutinante de óxido inorgánico se denomina silicato cristalino formulado. En el mezclado del catalizador con un aglutinante, el catalizador se puede formular en microgránulos, extruir en otras formas o conformar en esferas o un polvo secado por pulverización. Normalmente, el aglutinante y el silicato cristalino se mezclan conjuntamente mediante un procedimiento de mezclado. En tal procedimiento, el aglutinante, por ejemplo, sílice, en forma de un gel se mezcla con el material de silicato cristalino y la mezcla resultante se extruye en la forma deseada, por ejemplo, barras cilíndricas o multilobulares. Se pueden obtener formas esféricas en granuladores rotatorios o mediante la técnica de la gota de aceite. Se pueden preparar adicionalmente esferas pequeñas mediante secado por pulverización de una suspensión catalizador-aglutinante. Tras esto, el silicato cristalino formulado se calcina en aire o un gas inerte, normalmente a una temperatura de 200 a 900 °C durante un periodo de 1 a 48 horas.

Adicionalmente, el mezclado del catalizador con el aglutinante se puede llevar a cabo bien antes o bien después de las etapas de tratamiento con vapor y extracción.

Otra familia de catalizadores adecuados para la deshidratación y la isomerización del esqueleto simultáneas es la de las alúminas que se han modificado mediante tratamiento de la superficie con silicio, zirconio o titanio. Las alúminas se caracterizan por lo general por una distribución más bien amplia de resistencias a los ácidos y por tener sitios ácidos tanto de tipo Lewis como de tipo Bronsted. La presencia de una distribución amplia de resistencias a los ácidos hace posible la catálisis de diversas reacciones, cada una de las cuales requieren una diferente resistencia a los ácidos. Esto da como resultado frecuentemente una baja selectividad por el producto deseado. La deposición de silicio, zirconio o titanio sobre la superficie de la alúmina permite que el catalizador sea significativamente más selectivo. Para la preparación del catalizador basado en alúmina, se puede usar una alúmina comercial adecuada, preferentemente ϵ o γ alúmina, con una área superficial de 10 a 500 m^2/g y un contenido alcalino inferior al 0,5 %. El catalizador de acuerdo con la presente invención se prepara añadiendo de un 0,05 a un 10 % de silicio, zirconio o titanio. La adición de estos metales se puede efectuar durante la preparación de la alúmina o se pueden añadir a la alúmina existente, finalmente ya activada. La adición del metal a la alúmina durante la preparación de la alúmina se puede efectuar disolviendo el precursor metálico junto con el precursor de aluminio antes de la precipitación de la alúmina final o mediante la adición del precursor metálico al gel de hidróxido de aluminio. Un procedimiento preferente es la adición de precursores metálicos a la alúmina conformada. Los precursores metálicos se disuelven en un disolvente adecuado, ya sea acuoso u orgánico, y se ponen en contacto con la alúmina mediante impregnación húmeda incipiente o mediante impregnación húmeda o mediante contacto con un exceso de soluto durante un tiempo dado, seguido de la retirada del soluto en exceso. La alúmina también se puede poner en contacto con vapor del precursor metálico. Precursores metálicos adecuados son los haluros de silicio, zirconio o titanio, oxihaluros de zirconio o titanio; alcóxidos de silicio, zirconio o titanio; oxalatos o citratos de zirconio o titanio, o mezclas de los anteriores. El disolvente se selecciona de acuerdo con la solubilidad del precursor metálico. El contacto se puede efectuar a una temperatura de 0 °C a 500 °C, siendo lo más preferentemente de 10 °C a 200 °C. Tras el contacto, la alúmina finalmente se lava, se seca y por último se calcina en otra, para potenciar la reacción de superficie entre el silicio, zirconio o titanio y la alúmina y la retirada de los ligandos de los precursores metálicos. El uso de alúmina de silicato, zirconato, titanato o fluorada para la deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol se efectúa preferentemente en presencia de agua. La proporción en peso del agua con respecto al isobutanol varía de 1/25 a 3/1. La alúmina fluorada es conocida por sí misma y se puede preparar de acuerdo con la técnica anterior.

Por lo que respecta al uso del producto, la mezcla de n-butenos e isobuteno puede sustituir el uso del refinado I en las refinerías o plantas petroquímicas. La Fig. 1 muestra las principales aplicaciones de los n-butenos y el isobuteno. La aplicación más normal de tal mezcla es la conversión del isobuteno contenido en éteres (MTBE y ETBE), en t-butilalcohol (TBA) u oligómeros (por ejemplo, di-isobutenos/tri-isobutenos), siendo todos componentes de la gasolina. Los oligómeros superiores de isobuteno se pueden usar para aplicaciones de combustibles de reactor. El isobuteno de alta pureza se puede preparar también mediante la descomposición de éteres (craqueo

inverso) o TBA (deshidratación). El isobuteno de alta pureza encuentra aplicaciones en la producción de caucho de butilo, poli-isobuteno, metacrilato de metilo, isopreno, resinas hidrocarbonadas, t-butil-amina, alquil-fenoles y t-butil-mercaptano.

5 Los n-butenos que no han reaccionado durante la producción de éteres o TBA y esencialmente nada o solo hasta un grado limitado durante la oligomerización, tienen aplicaciones en la producción de sec-butanol, alquilato (adición de isobutano a butenos), poligasolina, oxo-alcoholes y propileno (metátesis con etileno o semi-metátesis entre but-1-eno y but-2-eno). Mediante superfraccionamiento o destilación extractiva o separación por absorción se puede aislar but-1-eno a partir de la mezcla de n-butenos. El but-1-eno se usa como comonomero para la producción de polietilenos, para polibut-1-eno y n-butil-mercaptano.

10 Los n-butenos se pueden separar también del isobuteno mediante destilación catalítica. Esto implica un catalizador de isomerización que está situado en la columna de destilación y que convierte de modo continuo el but-1-eno en but-2-eno, que es un componente más pesado que el but-1-eno. Al efectuar esto se produce un producto inferior rico en but-2-eno y un producto superior pobre en but-1-eno y rico en isobuteno. El producto inferior se puede usar tal como se ha descrito anteriormente. Una aplicación principal de tal corriente rica en but-2-eno es la metátesis con etileno a fin de producir propileno. Si se desea isobuteno de alta pureza, el producto superior se puede someter adicionalmente a superfraccionamiento para dar isobuteno sustancialmente puro y but-1-eno puro, o el isobuteno se puede aislar mediante la formación de éteres o TBA que se descomponen posteriormente en isobuteno puro.

La corriente rica en n-butenos se puede usar para la producción de butadieno mediante deshidrogenación o deshidrogenación oxidativa.

20 La mezcla de isobuteno y butenos se puede enviar a una unidad de craqueo catalítico que es selectiva hacia las olefinas ligeras en el efluente, comprendiendo el procedimiento poner en contacto dicha mezcla de isobuteno y butenos con un catalizador apropiado para producir un efluente con un contenido de olefinas con menores pesos moleculares que los de la materia prima. Dicho catalizador de craqueo puede ser un silicato (de tipo MFI o MEL) o un P-ZSM5.

25 **[Ejemplos]**

Experimental:

30 El tubo del reactor de acero inoxidable tiene un diámetro interno de 10 mm. Se cargan 10 ml de catalizador, en forma de microgránulos de malla 35-45, en el reactor tubular. Los espacios vacíos antes y después del catalizador se rellenan con granulos de SiC de 2 mm. El perfil de temperatura se controla con la ayuda de un termopar bien colocado en el interior del reactor. La temperatura del reactor se incrementa a una velocidad de 60 °C/h a 550 °C en atmósfera de aire, se mantiene durante 2 horas a 550 °C y después se purga con nitrógeno. El nitrógeno se sustituye a continuación por la alimentación en las condiciones de operación indicadas.

Los ensayos catalíticos se realizan en flujo descendente, a 150 y 200 kPa (1,5 y 2,0 bar a), en un intervalo de temperaturas de 280-380 °C y con una velocidad espacial horaria en peso (WHSV) que varía de 7 a 21 h⁻¹.

35 El análisis de los productos se lleva a cabo usando cromatografía de gases en línea.

Ejemplo 1 (de acuerdo con la invención)

El catalizador usado aquí es un silicato cristalino de estructura FER. El H-FER tiene una relación Si/Al de 33 en forma de polvo. El catalizador se calcina con aire a 550 °C durante 4 horas antes de su formulación en microgránulos de 35-45 mallas.

40 Se ha procesado una mezcla de isobutanol/agua con una composición de 95/5 % en peso sobre el catalizador a 200 kPa (2 bar a) a temperaturas entre 350 y 375 °C, y con una velocidad espacial de isobutanol de 7 a 21h⁻¹.

En este conjunto de condiciones de operación, la conversión del isobutanol es casi completa, con una selectividad por los butenos superior al 95 % en peso y una selectividad por el isobuteno de aproximadamente un 41-43 %. Se forman bajas cantidades de compuestos C₄⁺.

ALIMENTACIÓN	iButOH /H2O (95/5)% p/p				
P (kPa [bar a])	200 [2]	200 [2]	200 [2]	200 [2]	200 [2]
T (°C)	350,0	350,0	350,0	375,0	375,0
WHSV (H-1)	7,3	12,6	21,0	21,0	12,6
conversión (% en peso de CH2)	100,0	99,4	89,7	99,8	99,2
Oxigenados en base C (% en peso de CH2) - promedio					
Éter	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(continuación)

ALIMENTACIÓN	iButOH /H2O (95/5)% p/p				
Otros alcoholes	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Aldehído + Cetona	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rendimiento en base C (% en peso de CH2) - promedio					
Parafinas	1,0	0,4	0,2	0,4	0,4
C2=	0,8	0,5	0,3	0,7	0,4
C3=	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1
C4=	95,9	97,4	88,7	97,8	97,5
C5 + olef	1,4	0,6	0,3	0,5	0,5
Dienos	0,4	0,2	0,0	0,1	0,1
Aromáticos	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Desconocido	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Selectividad en base C (% en peso de CH2) - promedio					
Parafinas	1,0	0,4	0,2	0,4	0,4
C2=	0,8	0,5	0,3	0,7	0,4
C3=	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1
C4=	95,9	98,0	98,8	97,9	98,3
C5 + olef	1,4	0,6	0,3	0,5	0,5
Dienos	0,4	0,2	0,0	0,1	0,1
Aromáticos	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Desconocido	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
C4= distribución (% en peso de CH2)					
i-C4=	43,4	42,2	42,4	42,2	41,6
n-C4=	56,6	57,8	57,6	57,8	58,4
t-2-C4=	27,0	27,7	27,9	27,0	28,0
c-2-C4=	18,4	18,7	18,6	18,7	18,9
1-C4=	11,2	11,4	11,1	12,1	11,5

Ejemplo Comparativo 2:

- 5 El catalizador es gamma-alúmina de forma cilíndrica de Sasol® formulado. El catalizador tiene una superficie específica de 182 m²/g y un volumen de poros de 0,481 ml/g. Las impurezas presentes en la alúmina en pequeña cantidad se resumen a continuación:

0,25 % en peso de Si, 0,02 % en peso de P, 0,02 % en peso de Fe, 29 ppm de Na.

Se ha procesado una mezcla de isobutanol/agua con una composición de 95/5 % en peso sobre el catalizador a 200 kPa [2 bar a], a temperaturas entre 350 y 380 °C, y con una velocidad espacial de isobutanol de 7 a 12h⁻¹.

- 10 En este conjunto de condiciones de operación, la conversión del isobutanol es casi completa, con una selectividad por los butenos superior al 98 % en peso y una selectividad por el isobuteno de aproximadamente un 90-94 %. Por tanto, se produce bajas cantidades de n-butenos sobre el catalizador. Se forman bajas cantidades de compuestos C₅⁺.

ALIMENTACIÓN	i-ButOH /H2O (95/5)% en peso			
P (kPa [bar a])	200 [2]	200 [2]	200 [2]	200 [2]
T (°C)	380,0	350,0	350,0	325,0
WHSV (H-1)	12,4	7,4	12,4	7,4
Conversión (% en peso de CH2)	99,98	99,96	99,93	99,85
Oxigenados (% en peso de CH2) - promedio				

(continuación)

ALIMENTACIÓN	i-ButOH /H2O (95/5)% en peso			
Otros oxigenados	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros alcoholes	0,0	0,1	0,1	0,1
Selectividad en base C (% en peso de CH2) - promedio				
Parafinas	0,3	0,3	0,1	0,3
C2=	0,3	0,2	0,2	0,1
C3=	0,2	0,1	0,0	0,0
C4=	98,2	98,6	99,1	98,6
C5 + olef	0,7	0,5	0,1	0,3
Dienos	0,1	0,0	0,0	0,1
Aromáticos	0,0	0,0	0,0	0,0
Desconocido	0,1	0,1	0,3	0,4
C4= distribución (% en peso)				
iC4=	90,2	92,5	92,7	94,0
t-2-C4=	3,0	1,8	1,4	1,2
c-2-C4=	3,9	3,2	3,3	2,7
1-C4=	2,9	2,5	2,6	2,1
n-C4=	9,8	7,5	7,3	6,0

Ejemplo 3 (de acuerdo con la invención)

- 5 El catalizador es una zeolita modificada con fósforo (P-ZSM5), preparada de acuerdo con el siguiente protocolo. Una muestra de zeolita ZSM5 (Si/Al=13) en forma H se trató con vapor a 550 °C durante 6 h en 100 % de H₂O. El sólido tratado con vapor se sometió a un contacto con una solución acuosa de H₃PO₄ (85 % en peso) durante 2 h en condiciones de reflujo (4 ml/1 g de zeolita). Después se introdujeron 69,9 g de CaCO₃ manteniendo el pH a 2,52. Seguidamente la solución se secó mediante evaporación durante 3 días a 80 °C. Se extruyeron 750 g de muestra
- 10 seca con 401,5 g de Bindzil y un 0,01 % en peso de aditivos de extrusión. El sólido extruido se secó a 110 °C durante 16 h y se calcinó a 600 °C durante 10 h.

Se ha procesado una mezcla de isobutanol/agua con una composición de 95/5 % en peso sobre el catalizador a 150 kPa [1,5 bar a] a temperaturas entre 280 y 350 °C, y con una velocidad espacial de isobutanol de aproximadamente 7 h⁻¹.

- 15 En este conjunto de condiciones de operación, la conversión del isobutanol es casi completa, con una selectividad por los butenos superior al 90 % en peso y una selectividad por el isobuteno de aproximadamente un 66-67 %. Por tanto, se producen aproximadamente un 90 % o más de butenos de los cuales una cantidad significativa experimenta la isomerización del esqueleto a n-butenos. La producción de productos pesados se limita al 10 % o menos.

ALIMENTACIÓN: i-ButOH /H2O (95/5)% en peso		
P (kPa [bar a])	150 [1,5]	150 [1,5]
T (°C)	300	280
WHSV (H-1)	7,4	7,4
Conversión (% en peso de CH2)	100,0	83,5
Oxigenados (% en peso de CH2) - promedio		
Otros alcoholes	0,01	0,00
Otros oxigenados	0,03	0,08
Selectividad en base C (% en peso de CH2) - promedio		
Parafinas C1-C4	0,1	0,1
C2=	0,0	0,0
C3=	0,5	0,3

(continuación)

ALIMENTACIÓN: i-ButOH /H2O (95/5)% en peso		
C4=	89,9	93,9
i-Buteno	60,3	61,9
1-Buteno	5,0	6,1
2-Buteno	24,6	26,0
C5 + olef	4,8	2,7
C5+ paraf	1,9	1,1
Dienos	0,5	0,4
Aromáticos	0,5	0,2
Desconocido	1,6	1,1
C4= distribución - Promedio		
i-Buteno	67,1	65,9
n-butenos	32,9	34,1
1-Buteno	5,5	6,5
2-Buteno	27,4	27,7

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de deshidratación e isomerización del esqueleto simultáneas del isobutanol para preparar las olefinas correspondientes, que tienen el mismo número de carbonos y que consisten esencialmente en una mezcla de n-butenos e isobuteno, comprendiendo dicho procedimiento:
- 5 a) introducir en un reactor una corriente (A) que comprende isobutanol, opcionalmente agua, opcionalmente un componente inerte,
- b) poner en contacto dicha corriente con un catalizador en dicho reactor en condiciones eficaces para deshidratar e isomerizar el esqueleto de al menos una porción del isobutanol a fin de preparar una mezcla de n-butenos e isobuteno,
- 10 c) recuperar de dicho reactor una corriente (B), eliminar el agua, el componente inerte, si lo hubiera, y el isobutanol sin convertir, si lo hubiera, para obtener una mezcla de n-butenos e isobuteno,
- en el que,
- la WHSV del isobutanol es de al menos 1 h^{-1} y el catalizador es capaz de efectuar simultáneamente la deshidratación y la isomerización del esqueleto del buteno y es un silicato cristalino del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON con Si/Al superior a 10,
- 15 o un silicato cristalino desaluminado del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON con Si/Al superior a 10,
- o un silicato cristalino modificado con fósforo del grupo FER, MWW, EUO, MFS, ZSM-48, MTT, MFI, MEL o TON con Si/Al superior a 10,
- 20 o un tamiz molecular de silicoaluminofosfato del grupo AEL,
- o una alúmina de silicato, zirconato, titanato o fluorada.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la WHSV del isobutanol es de 1 a 30 h^{-1} .
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la WHSV del isobutanol es de 2 a 21 h^{-1} .
- 25 4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión del reactor varía de 50 a 1000 kPa.
5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura varía de $250 \text{ }^\circ\text{C}$ a $500 \text{ }^\circ\text{C}$.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la temperatura varía de $300 \text{ }^\circ\text{C}$ a $450 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 30 7. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la corriente (B) se fracciona en una etapa d) para producir una corriente de n-butenos (N) y para eliminar la parte esencial de isobuteno opcionalmente reciclada con la corriente (A) al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b).
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que en el fraccionamiento de la etapa d) el isobuteno se elimina mediante oligomerización selectiva de isobuteno.
- 35 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que en el fraccionamiento de la etapa d) el isobuteno se elimina mediante eterificación selectiva con metanol o etanol.
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que en el fraccionamiento de la etapa d) el isobuteno se elimina mediante hidratación selectiva a t-butanol.
- 40 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho t-butanol se recicla al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b).
12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el fraccionamiento de la etapa d) se efectúa mediante una columna de destilación catalítica en la que la parte esencial del 1-buteno se isomeriza a 2-buteno, el isobuteno se recupera como producto de cabeza y el 2-buteno se recupera en las fracciones pesadas de dicha columna.
- 45 13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el isobuteno se recicla al reactor de deshidratación/isomerización de la etapa b).
14. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que entre los butenos producidos en la etapa c) la proporción de n-butenos es superior al 20 %.
- 50 15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en el que entre los butenos producidos en la etapa c) la proporción de n-butenos es superior al 30 %.
16. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, en el que entre los butenos producidos en la etapa c) la proporción de n-butenos es superior al 40 %.

17. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, en el que entre los butenos producidos en la etapa c) la proporción de n-butenos es superior al 50 %.

Fig 1

Principales aplicaciones de los C4

