

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 430 224**

51 Int. Cl.:

C07C 45/49 (2006.01)

C07C 45/50 (2006.01)

C07C 49/17 (2006.01)

C07F 15/00 (2006.01)

B01J 31/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2010 E 10720050 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2429978**

54 Título: **Procedimiento de hidroformilación**

30 Prioridad:

13.05.2009 US 454156

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

19.11.2013

73 Titular/es:

**LYONDELL CHEMICAL TECHNOLOGY, L.P.
(100.0%)**

**Two Greenville Crossing 4001 Kennett Pike, Suite
220
Greenville, Delaware 19807, US**

72 Inventor/es:

WHITE, DANIEL F.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 430 224 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).

DESCRIPCION

Procedimiento de hidroformilación

5 **SECTOR DE LA INVENCION**

La presente invención, se refiere a un procedimiento para hidroformilar alcohol etílico para producir 4-hidroxibutiraldehído.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La hidroformilación del alcohol alílico, es un procedimiento práctico y bien conocido. Véanse, por ejemplo, las patentes estadounidenses US nº 4.064.145, US nº 4.215.077, US nº 4.238.419, US nº 4.678.857, y US nº 5.290.743. En la reacción de hidroformilación, se procede a hacer reaccionar una mezcla de alcohol alílico, con una mezcla de gases CO/H₂, en presencia de un catalizador, para formar 4-hidroxibutiraldehído (HBA). A continuación, el HBA, puede separarse del catalizador, como por ejemplo, mediante extracción con agua, e hidrogenarse, para formar 1,4-butanodiol (BOO). Véase, por ejemplo, la patente estadounidense US nº 5.504.261.

Para la reacción de hidroformilación, se han venido utilizando varios sistemas de catalizadores, siendo, el más notable, el consistente en un complejo de rodio, conjuntamente con un ligando de fosfina (véanse, por ejemplo, las patentes estadounidenses US nº 4.064.145, US nº 4.238.419, y US nº 4.567.305. Los complejos de fosfina usualmente utilizados, son fosfinas trisustituídas, tales como la fosfina trisustituída.

Una desventaja del procedimiento de hidroformilación, es la consistente en el hecho de que, mediante éste, se forman, también, otros co-productos o productos secundarios, adicionalmente al producto lineal de HBA deseado. La hidroformilación del alcohol alílico, produce, de una forma típica, algunos co-productos y subproductos de C₃, ramificados, de 3- hidrox-2-metilpropionaldehído (HMPA), tales como el n-propanol y el propionaldehído. A pesar del hecho de que, el HMPA, puede hidrogenarse, para producir 2-metil-1,-propanodiol (MPD), el cual es un material de utilidad, el co-producto de MPD, reduce el rendimiento productivo del BDO. La formación de los productos secundarios o subproductos de C₃, representa, efectivamente, otra pérdida del rendimiento productivo, en el procedimiento, la cual puede tener un grave efecto adverso, en cuanto a lo referente a los factores económicos del proceso.

Con objeto de incrementar los rendimientos productivos del BDO, continúan las investigaciones para mejorar el procedimiento de hidroformilación y reducir los deseados co-productos / subproductos. La patente estadounidense US nº 6.127.584, de a conocer el hecho de que, el uso de un ligando de trialkilfosfina que tenga por lo menos 2 grupos metilo, tiene como resultado un incremento del factor de relación HBA : HMPA. Se ha encontrado también el hecho de que, la utilización de ligandos de difosfina, mejora el factor de relación HBA : HMA. La hidroformilación del alcohol alílico, mediante la utilización de catalizadores de complejos de rodio y ligandos de difosfina, tales como DIOP, XANTPHOS, ó trans-1,2-bis(difenilfosfinometil)ciclobutano, se encuentra dentro de los procedimientos conocidos en el arte especializado de la técnica, notablemente, en concordancia con las patentes japonesas (Japan Kokai) nº 06-279345 y 06-279344 y la patente estadounidense US nº 4.306. 087. y US nº 6.225.509, las cuales dan a conocer el hecho de que, el mantenimiento de la concentración de CO, en el líquido de reacción, en un valor de aproximadamente 4,5 mmol/litro, reduce la formación de co-productos no deseados de C₃, cuando se utiliza un catalizador compuesto por un complejo de rodio y un ligando tal como DIOP. Adicionalmente, además, las patentes estadounidenses US nº 7.271.295 y US nº 7.279.606, dan a conocer el uso de un ligando de 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidrox-1,4-bis[bis(3,5-di-n-alkuilfenil)fosfino]butano, o de un ligando de trans-1,2-bis(bis(3,5-di-n-alkuilfenil)-fosfinometil)ciclobutano, respectivamente.

En resumen, existe una necesidad en cuanto al hecho de poder disponer de nuevos procedimientos para hidroformilar alcohol alílico, para producir 4-hidroxibutiraldehído. Los procedimientos particularmente valiosos, resultarían en unos altos valores de relación are del 4- hidroxibutiraldehído, con respecto al 3-hidrox-2-metilpropionaldehído.

55 **RESUMEN DE LA INVENCION**

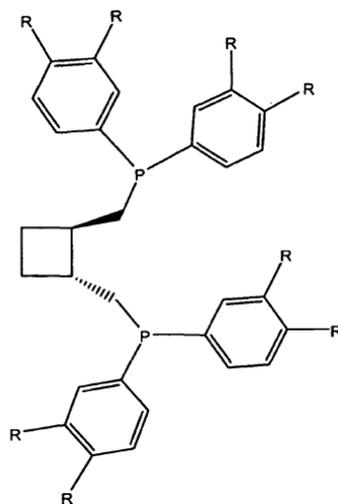
La invención, se refiere a un procedimiento el cual comprende el hacer reaccionar un alcohol alílico con monóxido de carbono e hidrógeno, en presencia de un disolvente y de un catalizador, para producir 4-hidroxibutiraldehído. El catalizador, comprende un complejo de rodio y un trans- 1,2-bis(bis(3,4-di-n- alquilfenil)fosfinometil)ciclobutano y/o un 2,3-O- isopropiliden-2,3-dihidrox-1,4-bis[bis(3,4-di-n-alkuilfenil)fosfino]butano. La invención, incluye, también, el catalizador correspondiente a las reivindicaciones 11-14. La invención, de una forma sorprendente, tiene como resultado unos altos valores de relación de producto de 4- hidroxibutiraldehído, con respecto al 3-hidrox-2-metilpropionaldehído.

65

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El procedimiento de la presente invención, comprende la hidroformilación de alcohol alílico, en presencia de un disolvente y de un catalizador. El catalizador de la presente invención, en concordancia con las reivindicaciones 11-14, comprende un complejo de rodio y un ligando de difosfina. La difosfina, es un trans-1,2-bis(bis(3,4-di-n alquilfenil)fosfinometil)ciclobutano y/o un 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-n-alquilfenil)fosfino]butano.

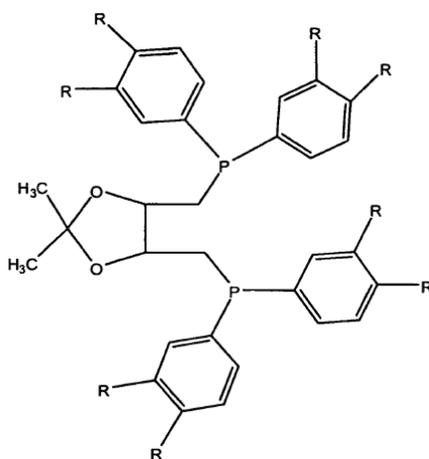
Los trans-1,2-bis(bis(3,4-di-n-alquilfenil)fosfinometil)ciclobutanos, tienen la fórmula:



en donde, R, de una forma independiente, es un grupo alquilo. De una forma preferible, R es metilo, etilo ó propilo.

El ligando de difosfina de trans-1,2-bis(bis(3,4-di-n-alquilfenil) fosfinometil)ciclobutano, de una forma mayormente preferible, es el trans-1,2-bis(bis(3,4-dimetilfenil)fosfinometil)ciclobutano ó el trans-1,2-bis(bis (3,4-dietilfenil)-fosfinometil)ciclobutano.

Los 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-n- alquilfenil)fosfino]butanos, tienen la fórmula:



en donde, cada R, de una forma independiente, es un grupo n-alquilo. De una forma preferible, R, es metilo, etilo ó propilo.

El ligando de difosfina 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3, 4-di-n-alquilfenil)fosfino]butano, de una forma mayormente preferible, es el 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-dimetilfenil)fosfino]butano ó 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-dietilfenil)fosfino]butano.

El ligando de difosfina, puede prepararse mediante la utilización de cualquier procedimiento posible. Así, por ejemplo, los 2,3-*O*-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfino]butanos, pueden prepararse mediante la reacción del 2,2-dimetil-4,5-bis[(toluenosulfoniloximetil)metil]-1,3-dioxolano con di(3,4-di-*n*-alquilfenil)-fosfinas de litio. Los 1,2-bis(bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfinometil)ciclobutanos, puede prepararse mediante la reacción de trans-1,2-ciclobutanodimetanol, bis(toluenosulfonato), con di(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfinas de litio.

El catalizador de la presente invención, comprende, también, un complejo de rodio. Los complejos de rodio apropiados, contienen grupos de rodio unidos a ligandos. El complejo de rodio, de una forma preferible, es soluble en el disolvente. No existen restricciones particular en cuanto a la elección de ligandos unidos al complejo de rodio. Así, por ejemplo, los ligandos apropiados, incluyen a los hidruros, el carbonilo, los ciclopentadienilos sustituidos e insustituidos, los 2,4-alcanodionatos, las triarilfosfinas, las triarilfosfinas, las difosfinas, y mezclas de éstos. Los ligandos particularmente preferidos, incluyen al carbonilo, al acetilacetato (2,4-pentanodionato), trifenilfosfina, y mezclas de éstos. los ejemplo de rodio preferidos, incluyen, al (acetilacetato)dicarbonilrodio y al hidruro de tris(trifenilfosfin)rodicarbonilo.

El complejo de rodio, puede pre-asociarse con el ligando de difosfina trans-1,2-bis(bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfinometil)ciclobutano ó 2,3-*O*-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfino] butano, previamente a su uso en la reacción de reacción de hidroformilación, de tal forma que, el bis(bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfinometil)ciclobutano ó el 2,3-*O*-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-*n*-alquilfenil) fosfino]butano, formen parte del complejo de rodio, ó éste puede añadirse por separado. No obstante, es preferible el añadir el complejo de rodio, de una forma separada con respecto al trans-1,2-bis(bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfinometil)-ciclobutano ó el 2,3-*O*-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-*n*-alquilfenil)fosfino]butano. El factor de relación molar de ligando de difosfina : complejo de rodio, de una forma preferible, es el correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde aproximadamente 0,5:1 hasta 5:1.

Si bien no es necesario, el catalizador, puede comprender, de una forma adicional, un compuesto de monofosfina. El compuesto de monofosfina es, adicionalmente, a cualquier ligando de fosfina, uno que pueda encontrarse asociado con el complejo de rodio. El compuesto de monofosfina, es una fosfina trisustituida que se encuentra representada por la fórmula:



en donde, R^1 , es un grupo arilo o alquilo. Los grupos R^1 alifáticos apropiados, incluyen a los grupos metilo, etilo, *n*-butilo, sec.-butilo, octilo y decilo. Los grupos R^1 aromáticos apropiados, incluyen a los grupos fenilo, toliilo, y naftilo. Los grupos R^1 , pueden ser iguales, o éstos pueden ser diferentes, pero, de una forma preferible, éstos son iguales. De una forma más preferible, la monofosfina, es trifenilfosfina o tritolilfosfina. La trifenilfosfina, es la que se prefiere de una forma particular.

Se requiere, también, un disolvente de reacción, para el procedimiento de la invención. Los disolventes típicos, son aquéllos que son capaces de solubilizar el complejo de rodio, y no son reactivos a los hidroxialdehídos que se producen en la etapa de hidroformilación. Los disolventes, incluyen cualquier disolvente orgánico que tenga una solubilidad reducida en agua, o una solubilidad mínima en agua. Los disolventes preferidos, incluyen a los hidrocarburos alifáticos C_5 - C_{20} , los alcoholes hidrocarburos aromáticos C_5 - C_{20} , los alcoholes, los éteres, y mezclas de éstos. Los disolventes particularmente preferidos, incluyen al tolueno, al ciclohexano, al metil-tert.-butiléter, y mezclas de entre éstos.

Las condiciones típicas para la etapa de hidroformilación, son suaves, con objeto de favorecer la formación de 4-hidroxibutiraldehído lineal (HBA), en lugar de la formación de producto del producto de reacción 3-hidroxi-2-metilpropionaldehído (HMPA). Las condiciones de reacción son, de una forma preferible, las consistentes en una temperatura correspondientes a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los aproximadamente 20°C hasta los aproximadamente 120°C, y una presión correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los aproximadamente 138 kPa hasta los aproximadamente 4137 kPa [de 20 a 600 psig], siendo, dichas condiciones, de una forma preferible, las consistentes en una temperatura correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 45°C hasta los 85°C, y una presión correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 207 kPa hasta los 2758 kPa [de 30 a 400 psig], siendo éstas, de una forma mayormente preferible, las correspondientes a una temperatura comprendida dentro de unos márgenes que van desde los 50°C hasta los 80°C, y una presión comprendida dentro de unos márgenes que van desde los 276 kPa hasta los 2068 kPa [de 40 a 300 psig]. El factor de relación molar $CO:H_2$ es, de una forma típica, de aproximadamente 1:1, si bien, el factor de relación, puede variar de una forma considerable. La presión parcial del CO es, de una forma típica, la correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 34 kPa hasta los 690 kPa (de 5 a 100 psig). La presión parcial del hidrógeno es, de una forma típica, la correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 276 kPa hasta los 1379 kPa (de 40 a 200 psig). La reacción, se lleva a cabo en estas condiciones, hasta que la predominancia de alcohol alílico, haya reaccionado, por ejemplo, en un porcentaje del 60

al 99,99%, siendo, los productos, en su mayor parte, 4-hidroxibutiraldehído, con algunos productos de reacción ramificados. El transcurso de tiempo de la reacción, no es crítico, si bien, no obstante, de una forma usual, es apropiado un tiempo de reacción que va desde las 0,5 horas hasta las 4 horas.

5 De una forma preferible, la concentración inicial del alcohol alílico, en un disolvente de reacción, con respecto a la base de alimentación, es, de una forma típica, la correspondiente a un porcentaje comprendido dentro de unos márgenes que van desde un 4 por ciento, en peso, hasta un 40 por ciento, en peso, en el disolvente; pudiéndose utilizar, de una forma típica, una concentración menor, correspondiente a un porcentaje comprendido dentro de unos márgenes que van desde un 5 por ciento, en peso, hasta un 10 por ciento, en peso.

10 De una forma preferible, la hidroformilación del alcohol alílico, se lleva a cabo de tal forma que, la concentración de CO, en la fase líquida ($[CO]_{liq.}$), se mantiene a un valor por encima de los 4 mmol/litro (0,004 M) durante la hidroformilación. El valor de $[CO]_{liq.}$, se define en la en la patente estadounidense US nº 6.225.509. De una forma preferible, el factor de relación molar hidrógeno en la fase líquida : monóxido de carbono, es el correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde un 10:1 hasta 1:2, siendo éste de una forma más preferible, el correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde 5:1 hasta 1:2.

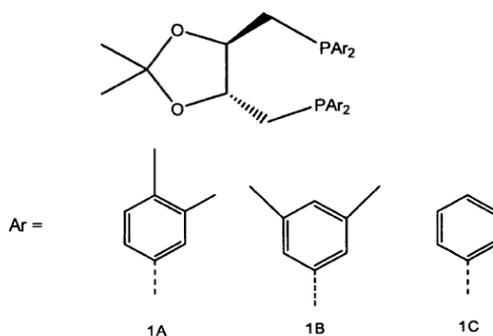
20 A continuación de la etapa de hidroformilación, el producto de HBA, de una forma preferible, se separa del disolvente y el catalizador, mediante extracción en agua, en un recipiente de extracción. Los procedimientos de extracción con agua, son bien conocidos, en el arte especializado de la técnica, y éstos pueden realizarse mediante cualesquiera medios apropiados, tales como los consistentes en mezcladores-sedimentadores, columnas de extracción cargadas o provistas de bandeja, contactores de disco rotativo, o éste se hace pasar a un tanque de sedimentación, para la redisolución de la mezcla, en fases acuosas u orgánicas. El HBA, y cualquier HMPA, permanecen solubles en la fase de agua (fase acuosa), y se separan de la fase de disolvente (fase orgánica).

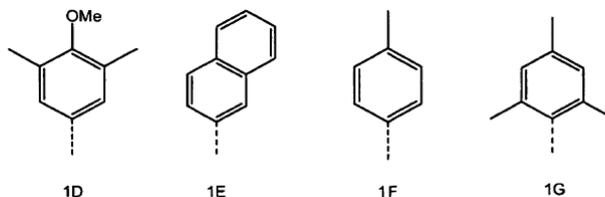
25 El producto de reacción 4-hidroxibutiraldehído (y cualquier 3-hidroxi-2-metilpropionaldehído), de una forma preferible, se somete a una etapa adicional de hidrogenación del 4-hidroxibutiraldehído, en presencia de un catalizador de hidrogenación, para producir 1, 4-butanodiol (BDO). Se procede, a continuación, a añadir hidrógeno, al recipiente, para la hidrogenación. Los catalizadores apropiados de hidrogenación, incluyen a cualquier metal del Grupo VIII, tales como el níquel, el cobalto, el rutenio, el platino, y el paladio, así como también el cobre, el zinc, el cromo, y mezclas y aleaciones de éstos. Se prefieren, de una forma especial, los catalizadores de níquel. Catalizadores mayormente preferidos, son los catalizadores del tipo Raney®níquel y los catalizadores de níquel de lecho fijo.

35 La condiciones de reacción de la hidrogenación son, de una forma preferible, las consistentes en una temperatura correspondientes a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 60°C hasta los 200°C, y una presión correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 1379 kPa hasta 6895 kPa [de 200 a 1000 psig], siendo, dichas condiciones, de una forma preferible, las consistentes en una temperatura correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 80°C hasta los 140°C, y una presión correspondiente a un valor comprendido dentro de unos márgenes que van desde los 2068 kPa hasta los 6895 kPa [de 300 a 1000 psig]. De una forma general, los tiempos de reacción, correspondientes a un transcurso de tiempo que va desde 1 hora hasta 10 horas, son los apropiados. Durante la reacción de hidrogenación, se formaban el BDO y el MPD, mientras que, al alto valor de los productos lineales hasta ramificados, se retenían substancialmente, conjuntamente con otros reducidos co-productos/subproductos.

45 EJEMPLO 1: PREPARACIÓN DE DIFOSFINAS

50 1A, 1B, 1C, 1D, y 1E: Se procedió a preparar las difosfinas 1A, 1B, 1C, 1D, y 1E de la siguientes fórmula general, de la forma que se describe abajo, a continuación:





Se procede a añadir una solución de 2,2-dimetil-4,5-bis[(toluenosulfoniloximetil)metil]-1,3-dioxolano en THF seco / desgasificado (1 equivalente, 1,73 g, $3,7 \times 10^{-3}$ mol del dioxolano en 50 ml de THF), mediante procedimiento de goteo, y bajo atmósfera de argón, a una solución de la apropiada diarilfosfina (ver fórmula facilitada anteriormente, arriba), en THF seco/desgasificado (2,3 equivalentes in 100 ml de THF). La mezcla, se calienta, a reflujo, durante un transcurso de tiempo de 2 horas y, a continuación, ésta se enfría, y se redissuelve en diclorometano, se filtra a través de un lecho de sílice y, el disolvente, se elimina, bajo la acción de la presión reducida, para proporcionar 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis(diarilfosfino)butano.

Difosfina 1A: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4- dimetilfenil)fosfino]butano.

Difosfina comparativa 1B: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4- bis(bis(3,5-dimetilfenil)fosfino]butano.

Difosfina comparativa 1C: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4- bis[bis(fenil)fosfino], conocida como DIOP.

Difosfina comparativa 1D: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4- bis[bis (3,5-dimetil-4-metoxifenil)fosfino]butano.

Difosfina comparativa 1E: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4- bis[bis(2-naftenil)fosfita]butano.

Difosfina comparativa 1F: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4- bis[bis(4-metilfenil)fosfino]butano.

Difosfina comparativa 1G: 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4- bis[bis(2,4,6-trimetilfenil)fosfino]butano.

EJEMPLO 2: Reacción de hidroformilación mediante la utilización de difosfinas

Se procede a hidroformilar alcohol alílico, mediante la utilización de las difosfinas 1A – 1E, en concordancia con el siguiente procedimiento:

Se procede a añadir una solución de la difosfina deseada (2 equivalentes u $8,6 \times 10^{-5}$ mol) en tolueno seco desgasificado (15 g), a $[Rh(CO)_2(acac)]$ (1 equivalente ó $4,3 \times 10^{-5}$ moles), en una autoclave Parr de 100 ml de capacidad. La solución, se rocía tres veces, con una mezcla 1:1 de CO/H₂ y, a continuación, ésta se presuriza a presión de 1241 kPa [180 psig] con la mezcla de CO/H₂. La autoclave, se calienta, a continuación, a una temperatura de 65°C, en régimen de agitación, se procede a inyectar alcohol alílico (3,5 ml) y, la autoclave, se presuriza a una presión de 1379 kPa (200 psig), con la mezcla de CO/H₂. La autoclave, se mantiene a una presión constante correspondiente a un valor de 1379 kPa (200 psig), y se controla la absorción de gas de la reacción. Cuando ya no hay absorción de gas, se procede a enfriar la autoclave, y es ésta se despresuriza. La solución resultante, se analiza mediante cromatografía de gas, para determinar los productos de la reacción. La reacción, produce HBA, HMPA, y productos de C₃ (n-propanol y propionaldehído).

Tabla 1: Comparaciones de Difosfinas

Difosfina	Conversión (%)	HBA (%)	HMPA (%)	C ₃ (%)	Factor de relación HBA-HMPA
1A	99,8	89,7	9,5	0,2	9,5
1B*	99,7	89,8	9,4	0,2	9,5
1C*	99,8	86,2	11,7	0,2	7,4
1D*	99,9	82,2	14,7	0,3	5,6
1E*	99,8	86,0	13,2	0,3	6,5
1F*	99,98	86,51	11,27	0,19	7,7
1G*	6,33	2,15	0,53	3,43	4,1

*Ejemplo comparativo

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un procedimiento para producir 4-hidroxibutiraldehído, el cual comprende hacer reaccionar alcohol alílico, con monóxido de carbono e hidrógeno, en presencia de un disolvente, y de un catalizador que comprende un complejo de rodio y una difosfina, seleccionada de entre el grupo consistente en un trans-1,2-bis(bis(3,4-di-n-alquilfenil)fosfinometil)ciclobutano, un 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-di-n-alquilfenil)fosfino]butano, y mezclas de éstos.
- 10 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, la difosfina, es el trans-1,2-bis(bis(3,4-dimetilfenil)fosfinometil)ciclobutano.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, la difosfina es el trans-1,2-bis(bis(3,4-dietilfenil)fosfinometil)ciclobutano.
- 15 4.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, la difosfina, es el 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-dimetilfenil)fosfino] butano.
- 20 5.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, la difosfina, es el 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-dietilfenil)fosfino] butano.
- 6.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, el disolvente, se selecciona entre el grupo consistente en hidrocarburos alifáticos C₅-C₂₀, hidrocarburos aromáticos C₆-C₁₂, éteres, alcoholes y mezclas de éstos.
- 25 7.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, el disolvente, se selecciona entre el grupo consistente en tolueno, ciclohexano, metal-tert.-butiléter, y mezclas de éstos.
- 8.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, el complejo de rodio, comprende rodio y ligandos seleccionados entre el grupo consistente en hidruro, carbonilo, trialkilfosfinas, triarilfosfinas, difosfinas, ciclopentadienilos, 2,4-alcanodionatos, y mezclas de éstos.
- 30 9.- El procedimiento de la reivindicación 1, en donde, el catalizador, comprende, adicionalmente, un compuesto de monofosfina.
- 35 10.- El procedimiento de la reivindicación 1, el cual comprende adicionalmente la hidrogenación del 4-hidroxibutiraldehído, en presencia de un catalizador de hidrogenación, para formar 1,4-butanodiol.
- 11.- Un catalizador que comprende un complejo de rodio y un trans-1,2-bis(bis(3,4-di-n-alquilfenil)fosfinometil)ciclobutano.
- 40 12.- El catalizador de la reivindicación 11, el cual comprende el complejo de rodio y trans-1,2-bis(bis(3,4-dimetilfenil)fosfinometil)ciclobutano.
- 45 13.- El catalizador de la reivindicación 11, el cual comprende el complejo de rodio y trans-1,2-bis(bis(3,4-dietilfenil)fosfinometil)ciclobutano.
- 14.- Un catalizador, el cual comprende un complejo de rodio y 2,3-O-isopropiliden-2,3-dihidroxi-1,4-bis[bis(3,4-dietilfenil)fosfino]butano.