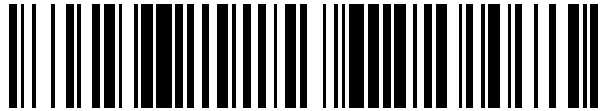


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 420 755**

51 Int. Cl.:

C07F 9/655 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2009 E 09784120 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2013 EP 2431375**

54 Título: **Complejos de fosfina-paladio para la telomerización de butadieno**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.08.2013

73 Titular/es:

**DOW GLOBAL TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
2040 Dow Center
Midland, MI 48674, US**

72 Inventor/es:

**LEEUWEN, PETRUS V.;
TSCHAN, MATHIEU;
GARCIA-SUAREZ, EDUARDO J.;
FREIXA, ZORAIDA y
HAGEN, HENK**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 420 755 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

Complejos de fosfina-paladio para la telomerización de butadieno

5 La producción de 1-octeno vía telomerización de butadieno típicamente ocurre cuando está presente metanol con un catalizador basado en fosfina-paladio en un procedimiento de tres etapas. En la etapa 1, la telomerización de butadieno da 1-metoxi-2,7-octadieno (MOD-1). En la etapa dos, la hidrogenación de MOD-1 da metil-octil-éter. En la etapa tres, el metil-octil-éter se somete a la escisión del éter para dar 1-octeno y metanol.

Una telomerización catalítica de una combinación de una sal de paladio (Pd) y trifenilfosfina (TPP) proporciona resultados poco deseables en cuanto a rendimiento de 1-octeno. Esto parece ser debido, por lo menos en parte, a reacciones secundarias que conducen a la formación de 3-metoxi-1,7-octadieno (MOD-3) y 1,3,7-octatrieno.

10 Los que producen 1-octeno vía telomerización de butadieno desean un catalizador de telomerización con más alta productividad en cuando a kilogramos (kg) de MOD-1 producidos por (g) de catalizador de Pd en gran parte debido al coste del Pd.

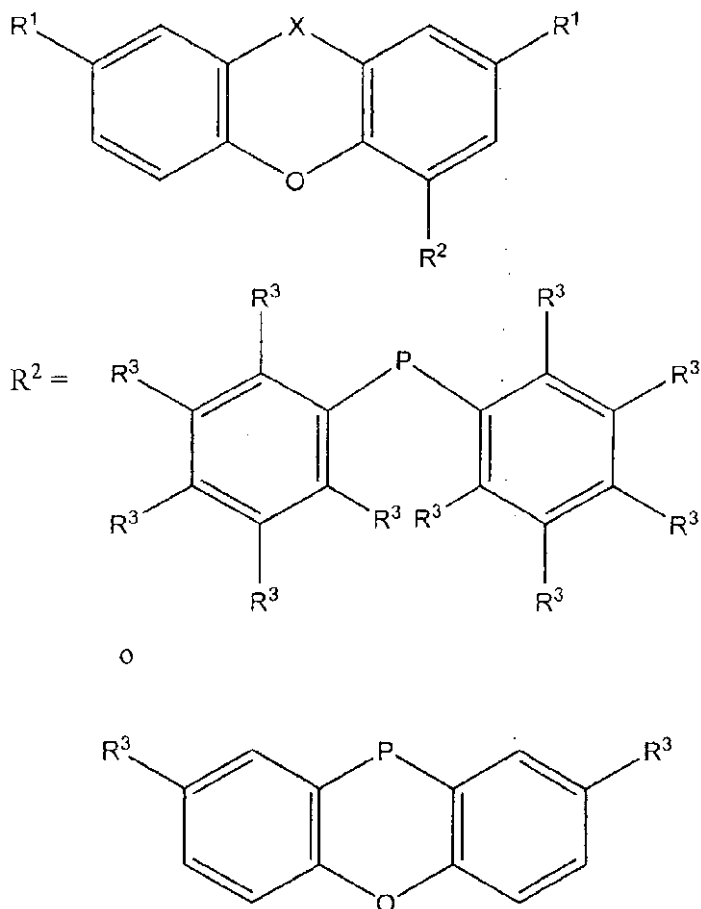
15 Los profesionales expertos reconocen de las enseñanzas descritas en la publicación de patente europea (EP) 461222 y la EP 561779 que los ligandos de aril-fosfina con sustituyentes de orto-metóxido tienden a mejorar la selectividad a MOD-1 sobre los productos secundarios de reacción tales como MOD-3 y 1,3,7-octatrieno. La selectividad incrementada es compensada por la más baja estabilidad del complejo de Pd como se evidencia por lo menos por uno de más baja productividad de catalizador e incrementadas pérdidas de Pd (por ejemplo, vía precipitación), especialmente cuando se incrementa la concentración de metanol (MeOH).

20 La patente de los Estados Unidos (USP) 7.425.658 (Edwards) describe un método para producir 1-octeno de butadieno dimerizando y alcoxilando butadieno en presencia de uno o más ligandos de fosfina substituida con alcoxi en condiciones de alcoxidimerización con un catalizador de alcoxidimerización. Los ligandos de fosfina ilustrativos incluyen tris-(2,4,6-trimetoxifenil)fosfina y tris-(4-metoxifenil)fosfina.

25 La solicitud de patente provisional de los Estados Unidos (USPPA) 61/088186, presentada el 12 de agosto de 2008 (Briggs et al.) enseña la polimerización de 1,3-butadieno en presencia de un compuesto hidroxilado orgánico, un catalizador de paladio y un ligando de fosfina. Los ligandos de fosfina ilustrativos incluyen tris-(2-metoxifenil)fosfina, tris-(2,4-dimetoxifenil)fosfina, bis-(2-metoxifenil)fenilfosfina, tris-(2-metoxi-4-fluorofenil)fosfina, y tris-(2-metoxi-4-clorofenil)fosfina.

El documento USP 7.026.523 (Röttger et al.) proporciona un método para la telomerización de olefinas no cíclicas que incluye el uso de un complejo de carbeno-paladio como catalizador.

30 En algunos aspectos, esta invención es un ligando de fosfina apropiado para uso en telomerización catalizada por Pd de butadieno a MOD-1. El ligando de fosfina comprende dos grupos fenilo, un xanteno, teniendo el xanteno un átomo de oxígeno incorporado dentro de una estructura de anillo rígido que consiste en dos anillos aromáticos, y un resto de unión de fósforo, estando representado el ligando por una fórmula como sigue:



en la que, los R^1 son iguales y son cada uno terc-butilo. Todos los R^3 son iguales o distintos, y son cada uno H, alquilo de C_1 - C_{20} lineal, ramificado o cíclico, arilo de C_6 - C_{18} , halógeno, trifluorometilo, alcoxi de C_1 - C_{20} , o dialquilamino de C_1 - C_{20} . X es un resto puente que consiste en un átomo de carbono sustituido con dimetilo ($-CMe_2$).

- 5 En algunos aspectos, esta invención es un procedimiento para sintetizar el ligando de fosfina que contiene xanteno, comprendiendo el procedimiento las etapas secuenciales a) monobromar un xanteno, b) litiar el xanteno monobromado, y c) efectuar la sustitución nucleófila del xanteno monobromado litiado usando una fosfina. La recuperación del ligando ocurre vía tecnología convencional, por ejemplo, filtración y retirada del disolvente. Los reactantes preferidos incluyen 2,7-di-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno como xanteno y clorodifenilfosfina como fosfina.

- 10 En algunos aspectos, esta invención es un procedimiento para producir 1-octeno que comprende las etapas: (i) hacer reaccionar 1,3-butadieno con un alcohol alifático primario o compuesto hidroxilado aromático que tiene la fórmula $R-H$, en presencia de un catalizador de telomerización que comprende paladio y un ligando de fosfina representado por la fórmula anterior para formar un 2,7-octadieno sustituido en 1 de fórmula $CH_2=CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH=CH-CH_2-R$ en la que R representa un resto del alcohol alifático primario o compuesto hidroxilado aromático; (ii) someter el 2,7-octadieno sustituido en 1 formado en la etapa (i) a hidrogenación en presencia de un catalizador de hidrogenación para formar un octano sustituido en 1 de fórmula $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-R$; y (iii) descomponer el octano sustituido en 1 formado en la etapa (ii) en presencia de un catalizador apropiado para formar 1-octeno. El alcohol alifático primario es apropiadamente metanol o etanol. El catalizador para la etapa (iii) es deseablemente un catalizador de alúmina.

Se conocen procedimientos para producir 1-octeno de una mezcla de producto de telomerización que comprende el 2,7-octadieno sustituido en 1; véase, por ejemplo, la publicación de solicitud de patente de EE.UU. 2005/0038305 y la patente de EE.UU. 7.030.286.

- 25 La etapa (i) preferentemente ocurre en un fluido de reacción que comprende el 1,3-butadieno, el compuesto hidroxilado, y el catalizador de telomerización. El fluido de reacción puede comprender adicionalmente uno o más componentes opcionales, tales como un disolvente orgánico, un promotor del catalizador, un estabilizador del catalizador, o un inhibidor de la polimerización del butadieno. El ligando de fosfina está preferentemente presente en

una cantidad suficiente para estabilizar el paladio. La cantidad ventajosamente proporciona una relación inicial de ligando a paladio de por lo menos 1,0, preferentemente por lo menos 1,5. La relación inicial de ligando de fosfina a paladio es ventajosamente menor de 50, y preferentemente menor de 40.

5 El procedimiento para producir 1-octeno pueden emplear cualquier catalizador de paladio o precursor de catalizador conocido en la técnica, por ejemplo, paladio metálico, un compuesto de paladio(II), un complejo de paladio(0), o una de sus mezclas.

10 El procedimiento para producir 1-octeno ventajosamente ocurre en una atmósfera inerte, tal como nitrógeno, argón, o helio, y a una temperatura de reacción suficiente para producir el 2,7-octadieno substituido en 1. La temperatura de reacción es preferentemente mayor de (>) 40° centígrados (°C), más preferentemente >50°C, y aún más preferentemente >60°C, y es preferentemente menor de (<) 120°C, más preferentemente <110°C, y aún más preferentemente <100°C.

Cuando se dan aquí los intervalos, como en un intervalo de 2 a 10, ambos puntos extremos del intervalo (por ejemplo, 2 y 10) y cada valor numérico, tanto si tal valor es un número racional o un número irracional, están incluidos dentro del intervalo a menos que se excluyan específicamente de otro modo.

15 La expresión “que comprende” y sus derivados no excluye la presencia de cualquier componente adicional, etapa o procedimiento, tanto si el mismo está descrito aquí o no. Para evitar cualquier duda, todas las composiciones reivindicadas aquí por el uso de la expresión “que comprende” pueden incluir cualquier aditivo, adyuvante o compuesto adicional polimérico o de otra manera, a menos que se diga lo contrario. En contraste la expresión “que consiste esencialmente en” excluye del alcance de cualquier lectura subsiguiente cualquier otro componente, etapa o procedimiento, exceptuando aquellos que no son esenciales para la operatividad. La expresión “que consiste en”
20 excluye cualquier componente, etapa o procedimiento no listado o descrito específicamente. El término “o” a menos que se diga lo contrario, se refiere a los miembros listados individualmente así como en cualquier combinación.

Las expresiones de temperatura pueden estar en grados Fahrenheit (°F) junto con su equivalente en °C o, más típicamente, simplemente en °C.

25 A menos que se diga lo contrario, esté implícito en el contexto, o sea usual en la técnica, todas las partes o porcentajes están basados en peso.

30 Las descripciones y ejemplos sirven para ilustrar, en lugar de definir o limitar, esta invención de cualquier modo y no constituyen un listado que incluye todo o exhaustivo de todas las posibles realizaciones de esta invención. Para los expertos en la técnica, serán evidentes otras realizaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, de la consideración de la memoria descriptiva y/o práctica de la invención como se describe aquí.

35 La síntesis del ligando ocurre vía un procedimiento multietapa. En la etapa uno, monobromar un xanteno, preferentemente 2,7-di-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno. En la etapa dos, litiar el xanteno monobromado. En la etapa tres, efectuar la substitución nucleófila del xanteno monolitiado usando una fosfina, preferentemente clorodifenilfosfina. En la etapa cuatro, efectuar la recuperación del ligando, por ejemplo, por filtración y retirada de disolvente.

Ejemplo 1

40 Añadir 11 equivalentes molares de NBS (N-bromosuccinimida) a un matraz que contiene una disolución de 2,87 gramos (g) de 2,7-di-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno en 100 ml de una mezcla volumétrica 1:1 de DMF (dimetilformamida) y tetrahidrofurano (THF). Cubrir el matraz con lámina de aluminio y agitar su contenido durante la noche.

45 Monitorizar la conversión de 2,7-di-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno a 4-bromo-2,7-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno (producto monobromado) por cromatografía de gases (GC) diariamente, añadiendo suficiente NBS según sea necesario para mantener un exceso molar de NBS. Después de cuatro días y una adición total de catorce (14) equivalentes molares, el análisis de GC revela dos picos, uno del xanteno de partida y uno de los productos monobromado y dibromado en una relación molar de xanteno de partida a producto monobromado a producto dibromado de 7:90:3.

50 Recuperar los contenidos sólidos del matraz evaporando el disolvente hasta sequedad. Lavar el sólido con agua y a continuación extraer el producto en bruto con éter dietílico. Evaporar el éter dietílico para dar un sólido amarillo. Purificar el sólido amarillo por filtración sobre sílice con hexano como eluyente para dar 2,8 g de un producto sólido blanco que contiene 90 por ciento en moles (% en moles) de producto monobromado, 7% en moles del xanteno de partida y 3% en moles del producto dibromado, estando basado cada % en moles en los moles combinados de producto monobromado, xanteno de partida y producto dibromado. Usar este producto sin purificación adicional en la síntesis de fosfina.

55 Añadir lentamente, con agitación, 1,1 equivalentes molares de n-butilitio (n-BuLi) 2,5 molar a una disolución de 1,53 g del producto sólido blanco (3,44 milimoles (mmol) de producto monobromado) en 30 mililitros (ml) de THF que se

mantiene a una temperatura programada de -78°C, Mantener la temperatura programada y continuar agitando durante una hora antes de añadir un (1) equivalente (0,67 ml) de clorodifenilfosfina. Continuar agitando durante una hora a la temperatura programada y a continuación durante una hora adicional a temperatura ambiente (nominalmente 25°C).

- 5 Evaporar el disolvente a vacío para dar un sólido húmedo, a continuación añadir 20 ml de diclorometano al sólido húmedo para formar una disolución y a continuación filtrar la disolución y evaporar el disolvente para dar un sólido blanco.

10 Purificar el sólido blanco vía cromatografía en una columna de gel de sílice usando una mezcla de relación de volumen 4:1 de hexano y diclorometano como eluyente. El sólido purificado (0,95 g o 1,87 mmol) representa un rendimiento del 55%, basado en los materiales de partida y es 4-(difenilfosfino)-2,7-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno (1).

Ejemplo 2

15 Repetir el Ejemplo 1 con cambios para sintetizar 4-(di-p-trifluorometilfenilfosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno. Substituir la clorodifenilfosfina usada en el Ejemplo 1 por 1,2 g (3,44 mmol) de cloro-bis-p-trifluorometilfenilfosfina. Usar 1,53 g (3,44 mmol) del producto sólido blanco que contiene 90 por ciento en moles (% en moles) de producto monobromado. Cambiar la relación en volumen de la mezcla en la columna de gel de sílice a 8:1. El sólido purificado representa un rendimiento del 55%.

Ejemplo 3

20 Repetir el Ejemplo 2 con cambios para sintetizar 4-(di-p-tolilfosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno. Substituir la cloro-bis-p-trifluorometilfenilfosfina usada en el Ejemplo 2 por 0,86 g (3,44 mmol) de cloro-bis-p-tolilfosfina. Cambiar la relación en volumen de la mezcla en la columna de gel de sílice a 10:3. El sólido purificado representa un rendimiento del 56%.

Ejemplo 4

25 Repetir el Ejemplo 3 con cambios para sintetizar 4-(di-p-metoxifenilfosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno. Substituir la cloro-bis-p-tolilfosfina usada en el Ejemplo 3 por 0,97 g (3,44 mmol) de cloro-bis-p-metoxifenilfosfina. Cambiar la relación en volumen de la mezcla en la columna de gel de sílice a 1:1. El sólido purificado representa un rendimiento del 28%.

Ejemplo 5

30 Repetir el Ejemplo 4 con cambios para sintetizar 4-(2,7-dimetilfenoxafosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno. Substituir la cloro-bis-p-metoxifenilfosfina usada en el Ejemplo 4 por 0,90 g (3,44 mmol) de cloro-2,7-dimetilfenoxafosfina. Cambiar la relación en volumen de la mezcla en la columna de gel de sílice a 5:1. El sólido purificado representa un rendimiento del 58%.

Ensayos de telomerización de butadieno

35 Realizar un ensayo en un reactor Parr de 1 litro (l) (acero inoxidable electropulido, presión máxima de trabajo 131 bar o 13.100 kPa, intervalo de temperatura de -10°C a 350°C, e intervalo de velocidad de agitación de 0 revoluciones por minuto (rpm) a 1.200 rpm. Para cada reacción, llenar el autoclave del reactor Parr con cantidades específicas de metanol, promotor (metóxido de sodio, con una relación molar de promotor a paladio de 5 a 1) e inhibidor (dietilhidroxilamina, aproximadamente 20 partes en peso por partes por millón en peso (ppm) basado en el peso total de metanol más la carga de C₄ en bruto). Cerrar el autoclave, purgarlo dos veces con nitrógeno a baja presión (de 6 bar a 600 kilopascales (kPa)) para retirar sustancialmente el oxígeno contenido en el autoclave. Presurizar el autoclave una vez con nitrógeno a alta presión (20 bar o 2.000 kPa) para analizar fugas.

45 Después del ensayo de fugas, llenar un cilindro de muestra de acero inoxidable con una corriente de C₄ en bruto que contiene aproximadamente 50% en peso de 1,3-butadieno, basado en el peso total de la corriente de C₄ en bruto y añadir a presión la corriente al autoclave con nitrógeno a baja presión (6 bar o 600 kPa). Elevar la temperatura en el autoclave hasta una temperatura de trabajo deseada (60°C, 75°C, 90°C o 100°C como se muestra en la Tabla 1 a continuación).

50 Para el Ejemplo Comparativo A, usar un catalizador estándar, acetilacetato de paladio (Pd(acac)₂) más dos equivalentes molares de trifenilfosfina y un equivalente molar de ácido acético. Preparar el catalizador en metanol disolviendo los tres componentes de tal modo que la concentración de paladio en metanol es igual a alrededor de 500 ppm. Para los ejemplos 1-5, repetir el Ejemplo Comparativo A, pero substituir la trifenilfosfina por el ligando basado en xanteno.

Pesar una cantidad de disolución de catalizador, tal que la concentración de paladio en el reactor después de la adición de todas las materias primas sea de 10 ppm basada en el peso total de materias primas, en una caja seca a continuación colocar la disolución de catalizador en un cilindro de muestra de acero inoxidable. Añadir a presión la

disolución de catalizador al autoclave usando nitrógeno a alta presión (de 19 bar a 20 bar o de 1.900 kPa a 2.000 kPa). Después de la adición de catalizador, comienza una reacción, produciendo un producto final. Tomar muestras del autoclave a tiempos fijados (cinco minutos después de la adición de catalizador y a intervalos de 30 minutos a continuación) y analizar las fases gaseosa y líquida de las muestras vía GC.

- 5 Determinar la precipitación de paladio en el reactor midiendo la concentración de paladio en la fase líquida después de la reacción y compararla con un número teórico basado en la cantidad total de paladio añadido y el volumen de líquido total que incluye los líquidos añadidos al comienzo de la reacción y los líquidos formados debido a la conversión del butadieno. Medir la concentración de paladio en el líquido usando espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).
- 10 La Tabla 1 a continuación presenta datos para, respectivamente, la Conversión, Selectividad a MOD-1 y Precipitación de Pd, todos a relaciones en peso de metanol (MeOH) a butadieno (Bd) de 2, 2,6 y 5.

Tabla 1 – conversión de 1,3-butadieno, selectividad a MOD-1 y precipitación de paladio

Ligando	Temp. (°C)	MeOH/Bd (peso/peso)	Conversión de Bd (%)	Selectividad a MOD-1 (%)	Precipitación de Pd (%)*
Ejemplo Comparativo A	60	2	32	91	-3
	60	2,6	29	92	8
	60	5	17	92	3
	75	2,6	62	88	0
	90	2	82	80	16
	90	2,6	85	83	17
	100	2	84	73	18
Ejemplo 1	60	2	40	94	-2
	60	2,6	36	94	2
	60	5	33	94	-4
	75	2,6	67	93	n.d.
	90	2	89	88	2
	90	2,6	93	89	6
	100	2	91	84	2
	110	2	90	81	6
	120	2	88	78	37

Tabla 1(continuación)

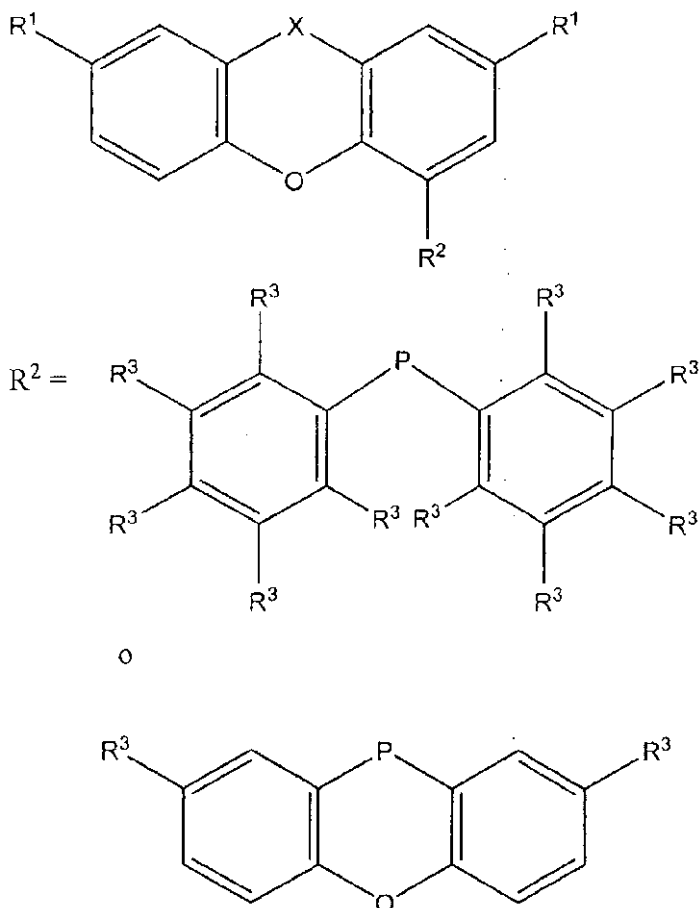
Ligando	Temp. (°C)	MeOH/Bd (peso/peso)	Conversión de Bd (%)	Selectividad a MOD-1 (%)	Precipitación de Pd (%)*
Ejemplo 2	60	2	52	90	-7
	60	2,6	62	92	2
	60	5	63	93	8
	75	2,6	73	86	16
	90	2	67	72	17
	90	2,6	75	77	20
	100	2	72	61	29
Ejemplo 3	60	2	49	94	3
	60	2,6	34	94	1
	60	5	19	93	3
	75	2,6	n.d.	n.d.	n.d.
	90	2	92	89	10
	90	2,6	93	90	14
	100	2	93	86	14
Ejemplo 4	60	2	36	94	-8
	60	2,6	22	94	2
	60	5	15	93	13
	75	2,6	n.d.	n.d.	n.d.
	90	2	92	90	20
	90	2,6	91	90	14
	100	2	91	85	22
Ejemplo 5	60	2	32	93	1
	60	2,6	12	85	-4
	60	5	13	79	5
	75	2,6	n.d.	n.d.	n.d.
	90	2	82	89	0
	90	2,6	83	91	10
	100	2	87	87	5

n.d. quiere decir no determinado; *Error absoluto estimado de 5% para todas las lecturas.

- 5 Los datos presentados en la Tabla 1 anterior demuestran que el ligando de fosfina que contiene xanteno de varios aspectos de esta invención proporciona resultados en cuanto a la conversión de 1,3-butadieno, selectividad a MOD-1 y precipitación de Pd que son mejores que los proporcionados por el ligando de trifenilfosfina convencional en idénticas condiciones de operación.

REIVINDICACIONES

1. Un ligando de fosfina, comprendiendo el ligando dos grupos fenilo, un xanteno, teniendo el xanteno un átomo de oxígeno incorporado en una estructura de anillo rígido que consiste en dos anillos aromáticos, y un resto de fósforo de unión, estando representado el ligando por una fórmula como sigue:



en la que,

los R^1 son iguales y son cada uno terc-butilo;

- 10 todos los R^3 son iguales o distintos, y son cada uno H, alquilo de C_1 - C_{20} lineal, ramificado o cíclico, arilo de C_6 - C_{18} , halógeno, trifluorometilo, alcoxi de C_1 - C_{20} , o dialquilamino de C_1 - C_{20} ; y

X es un resto puente que consiste en un átomo de carbono sustituido con dimetilo ($-CMe_2$).

2. El ligando de fosfina de la reivindicación 1, en el que el ligando es 4-(difenilfosfino)-2,7-terc-butil-9,9-dimetil-9H-xanteno.
3. El ligando de fosfina de la reivindicación 1, en el que el ligando es 4-(di-p-trifluorometilfenilfosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno.
- 15 4. El ligando de fosfina de la reivindicación 1, en el que el ligando es 4-(di-p-tolilfosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno.
5. El ligando de fosfina de la reivindicación 1, en el que el ligando es 4-(di-p-metoxifenilfosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno.
- 20 6. El ligando de fosfina de la reivindicación 1, en el que el ligando es 4-(2,7-dimetilfenoxafosfino)-2,7-di-terc-butil-9,9-dimetilxanteno.

7. Un procedimiento para sintetizar el ligando de fosfina de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo el procedimiento las etapas secuenciales:

a) monobromar un xanteno,

b) litiar el xanteno monobromado, y

5 c) efectuar una sustitución nucleófila del xanteno monobromado litiado usando una fosfina.

8. Un procedimiento para producir 1-octeno que comprende las etapas: (i) hacer reaccionar 1,3-butadieno con un alcohol alifático primario o compuesto hidroxilado aromático que tiene la fórmula R-H, en presencia de un catalizador de telomerización que comprende paladio y el ligando de fosfina de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para formar un 2,7-octadieno sustituido en 1 de fórmula $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{R}$ en la que R representa un resto del alcohol alifático primario o compuesto hidroxilado aromático; (ii) someter el 2,7-octadieno sustituido en 1 formado en la etapa (i) a hidrogenación en presencia de un catalizador de hidrogenación para formar un octano sustituido en 1 de fórmula $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R}$; y (iii) descomponer el octano sustituido en 1 formado en la etapa (ii) en presencia de un catalizador apropiado para formar 1-octeno.

10