

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 874**

51 Int. Cl.:

**B01D 3/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2015 PCT/EP2015/079774**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16096844**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2015 E 15808669 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.09.2018 EP 3233228**

54 Título: **Un proceso para renovar una planta para la producción de ciclohexanona**

30 Prioridad:

**15.12.2014 EP 14197946**

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

**22.11.2018**

73 Titular/es:

**CAP III B.V. (100.0%)  
Mauritslaan 49  
6129 EL Urmond, NL**

72 Inventor/es:

**TINGE, JOHAN THOMAS y  
VERSCHUREN, IRIS**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 690 874 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

Un proceso para renovar una planta para la producción de ciclohexanona

5 La presente invención se refiere a un proceso para construir una planta química para la producción de ciclohexanona.

10 La ciclohexanona es un intermediario en la producción de, entre otros compuestos, ácido adípico y caprolactama. Estos son monómeros de uso común en la producción de poliamida-6,6 y poliamida-6, respectivamente. La mayoría de ciclohexanona para su uso en la producción de caprolactama se produce por oxidación de ciclohexano, usando oxígeno atmosférico. Normalmente, el ciclohexano se produce a partir de la hidrogenación de benceno. La oxidación de ciclohexano produce una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona y el precursor hidroperóxido de hidroxilo que luego se descompone térmicamente y/o catalíticamente para producir ciclohexanol y ciclohexanona adicionales, y diversos subproductos. El ciclohexano constituye la gran mayoría de la mezcla resultante de la unidad de oxidación debido a que la velocidad de conversión de la reacción es baja. El ciclohexano se elimina por destilación y se recicla en el proceso. La ciclohexanona luego se separa por destilación de la mezcla que comprende ciclohexanol, ciclohexanona, ciclohexano sin reaccionar y subproductos.

15 El ciclohexanol también puede recuperarse por destilación y opcionalmente convertirse en ciclohexanona por deshidrogenación.

20 Un proceso alternativo para la producción de ciclohexanona es mediante la reducción catalítica de fenol con hidrógeno, por ejemplo usando un catalizador que comprende paladio. La reducción de fenol con hidrógeno se puede realizar en la fase gaseosa o en la fase líquida, descrita en, por ejemplo, Michael Tuttle Musser; Ciclohexanol y ciclohexanona en la enciclopedia ullmann de química industrial publicado en línea: 15 OCT 2011 DOI: 10.1002/14356007.a08\_217.pub2 Copyright © 2002 de Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (Musser); y JF Van Peppen, WB Fisher y CH Chan; "Proceso de hidrogenación de fenol" en Chemical Industries, 22 ("Catalysis of organic reactions", Ed. RL Augustine); Marcel y Dekker, NY, 355-372; (1985)). Se produce una mezcla que comprende ciclohexanol, ciclohexanona, fenol sin reaccionar y subproductos. La separación de ciclohexanona de esta mezcla se puede hacer por destilación. La composición de dicha mezcla es muy diferente a la producida por la oxidación de ciclohexano. En consecuencia, el aparato requerido para la hidrogenación de fenol es diferente al requerido para la oxidación de ciclohexanona.

35 Las plantas químicas para la producción de ciclohexanona y ciclohexanol por oxidación de ciclohexano son conocidas en la técnica, también se describen, por ejemplo, en Musser y el documento WO2014/001461. Las plantas químicas tienen una capacidad máxima. En la práctica, una planta puede funcionar a capacidades por debajo de esta. Sin embargo, surge un problema cuando se desea aumentar la capacidad de una planta química por encima del máximo del diseño actual, por ejemplo cuando se experimenta una mayor demanda de producto.

40 Una opción para la expansión es construir una nueva planta. Por ejemplo, una planta existente podría copiarse sustancialmente para proporcionar una mayor capacidad. Una desventaja importante de este enfoque es el alto costo. Como alternativa, la planta existente podría modificarse aumentando la capacidad de los componentes de la planta que limitan la velocidad, una forma de "eliminación de cuellos de botella". Esto podría ser, por ejemplo, reemplazando un componente existente con otro componente que tenga una capacidad mayor o añadiendo un componente duplicado. Sin embargo, cuando dichos componentes de limitación de velocidad son complejos, puede ser prohibitivamente costoso reemplazarlos o expandirlos.

50 Los presentes inventores han descubierto un método para aumentar significativamente la capacidad de una planta para la producción de ciclohexanona. Han desarrollado un proceso para la construcción de una planta para producir ciclohexanona a partir de la hidrogenación de fenol; basado en el equipo de una planta usada para producir ciclohexanona a partir de la oxidación de ciclohexano. Más específicamente, la presente invención proporciona un proceso para la construcción de una segunda planta química, cuya segunda planta química es adecuada para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, cuya segunda mezcla comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol, comprendiendo dicho proceso:

55 a) proporcionar una primera planta química, cuya primera planta química es adecuada para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción procedentes de la oxidación de ciclohexano, y cuya primera planta comprende:

60 i) una columna de destilación adecuada para destilar el ciclohexano de cabezas; y  
ii) una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas; y

b) inhabilitar i) dicha columna de destilación adecuada para destilar el ciclohexano de cabezas de dicha primera planta química.

65 Además, en el proceso de la presente invención, cada una de la primera planta química y la segunda planta química comprende: iii) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto

de ebullición más bajo que la ciclohexanona. Preferentemente, la columna en la segunda planta química es la misma que en la primera planta química. Más preferentemente, el proceso implica dejar en su lugar la columna de la primera planta química para construir la segunda planta química. Cuando se usa en el proceso de separación de ciclohexanona, el producto de colas de dicha columna comprende normalmente una mezcla de ciclohexanona, ciclohexanol y subproductos.

Tal como se usa en el presente documento, dejar en su lugar incluye desconectar y volver a conectar la columna al mismo o diferente aparato. En el proceso de la presente invención, cada una de la primera planta química y la segunda planta química comprende: iv) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona.

La primera planta química es adecuada para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano. La primera planta normalmente incluye una unidad de oxidación de ciclohexano para la oxidación de ciclohexano para producir una primera mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona. La unidad de oxidación de ciclohexano para la oxidación de ciclohexano comprende uno o más reactores de oxidación. En esta realización, la unidad de oxidación de ciclohexano para la oxidación de ciclohexano no es necesaria en la segunda planta. En consecuencia, la primera planta química comprende: v) una unidad de oxidación de ciclohexano adecuada para la oxidación de ciclohexano, y el proceso comprende inhabilitar dicha unidad de oxidación de ciclohexano.

Además, dado que la oxidación de ciclohexano es un proceso altamente exotérmico, en el que está presente una unidad de oxidación de ciclohexano para la oxidación de ciclohexano a una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona, una unidad de recuperación de calor para la recuperación de calor del gas residual de la oxidación de el ciclohexano también se emplea normalmente. En el proceso de la presente invención, la recuperación de calor será redundante si la oxidación de ciclohexano se vuelve redundante. En consecuencia, la primera planta química comprende: vi) una unidad de recuperación de calor adecuada para la recuperación de calor del gas residual de la unidad de oxidación de ciclohexano adecuada para la oxidación de ciclohexano, y el proceso comprende inhabilitar dicha unidad de recuperación de calor.

La primera planta comprende además:

- iii) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona;
- iv) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona;
- v) una unidad de oxidación de ciclohexano adecuada para la oxidación de ciclohexano; y
- vi) una unidad de recuperación de calor adecuada para la recuperación de calor del gas residual de la unidad de oxidación de ciclohexano adecuada para la oxidación de ciclohexano; y

en la que el proceso comprende inhabilitar cada uno de v) dicha unidad de oxidación de ciclohexano y vi) dicha unidad de recuperación de calor.

El proceso de la invención se define en la reivindicación 1. "Un proceso para la construcción de una segunda planta química a partir de una primera planta química" se define en el presente documento como un proceso en el que el equipo, es decir, al menos un aparato o línea, se elimina de la primera planta química y/o en la que el equipo, es decir, al menos un aparato o línea, se añade a la primera planta química con el fin de proporcionar la segunda planta química. La segunda planta química es el resultado de la retroadaptación de la primera planta química. La primera planta química no comprende una unidad de hidrogenación de fenol que produce una mezcla que comprende productos de reacción a partir de la hidrogenación de fenol. La segunda planta química comprende preferentemente una unidad de hidrogenación de fenol que produce una mezcla que comprende productos de reacción a partir de la hidrogenación de fenol.

Por lo tanto, el proceso para la construcción de una segunda planta química a partir de una primera planta química comprende la adición de una unidad de hidrogenación de fenol a dicha primera planta química.

Se sabe que los procesos basados en la oxidación del ciclohexano para producir ciclohexanona esencialmente pura consumen grandes cantidades de energía, normalmente suministradas industrialmente como vapor. Se conocen consumos específicos de vapor de más de 5 toneladas de vapor por tonelada de ciclohexanona purificada. Se consumen grandes cantidades de vapor para calentar el ciclohexano alimentado al reactor de oxidación; la eliminación de ciclohexano sin reaccionar y la deshidrogenación de ciclohexanol. Una ventaja adicional de un proceso de construcción de una planta para llevar a cabo un proceso diferente de acuerdo con la presente invención es que el consumo de energía por unidad de peso de ciclohexanona producida puede reducirse.

La eficiencia de carbono típica de la hidrogenación de fenol a ciclohexanona es superior al 98 % y, en general, incluso superior al 99 %, mientras que la eficacia del carbono de la oxidación de ciclohexano a ciclohexanona es normalmente del 75 % al 90 %. Una ventaja adicional más de la construcción de una planta de acuerdo con la

presente invención es que se requiere menos material de partida para producir una determinada cantidad de ciclohexanona. Además, se puede reducir la cantidad de subproductos y, por lo tanto, los residuos producidos por unidad de peso de ciclohexanona producida. La producción de ciclohexanona por la oxidación de ciclohexano está normalmente sujeta a estrictas regulaciones de seguridad debido al riesgo de ignición de mezclas explosivas de ciclohexano-oxígeno. Como resultado, el aumento de la capacidad de una planta puede conducir a mayores medidas de seguridad, por ejemplo, un círculo de seguridad más grande, que necesita ser presentado. Todavía una ventaja adicional del proceso de la presente invención es que se evita el riesgo de explosión de mezclas de ciclohexano-oxígeno, porque no se usa ciclohexano en el proceso de la planta construida. Por lo tanto, las medidas de seguridad asociadas no son necesarias.

La presente invención por lo tanto también proporciona una planta química según la reivindicación 9 adecuada para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, cuya segunda mezcla comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol, cuya planta química comprende junto con la unidad de hidrogenación:

- a) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona;
- b) una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas;
- c) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1;
- d) una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol adecuada para la deshidrogenación de ciclohexanol para formar una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona; y
- e) una línea de alimentación adecuada para reciclar dicha mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona formados en d) desde d) hasta a);

caracterizada porque al menos uno de a) y d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano; y en la que al menos uno de c) y d) tiene una capacidad mayor que la necesaria para la separación de ciclohexanona de la segunda mezcla, basado en la planta química que funciona a plena capacidad de a) y b).

Como se usa en el presente documento, una planta química es todos los aparatos necesarios para producir ciclohexanona. Esto incluye unidades para una o múltiples operaciones químicas o físicas, por ejemplo, destilación, extracción y reacción. Incluye todos los equipos auxiliares, por ejemplo unidades de reflujo, suministro de vapor, bombas y tuberías. El aparato exacto depende del material de partida.

De acuerdo con la presente invención, la construcción de una segunda planta química significa la modificación de una primera planta química. Al menos algunos aparatos de la primera planta química están presentes en la segunda planta. En efecto, la segunda planta química reemplaza a la primera planta química.

La presente invención proporciona además un proceso según la reivindicación 11 para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, cuya segunda mezcla comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol, comprendiendo dicho proceso junto con la unidad de hidrogenación:

- a) destilar por cabezas en una columna de destilación, los componentes de la columna de destilación que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona;
- b) destilar por cabezas en una columna de destilación la ciclohexanona;
- c) destilar por cabezas en una columna de destilación una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona en un relación peso:peso de al menos 4:1;
- d) deshidrogenar en una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol el ciclohexanol destilado por cabezas en c) para formar una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona;
- e) reciclar la mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona formada en d) desde d) hasta a);

caracterizado porque al menos uno de la columna de destilación de a) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano; y en el que al menos uno de c) y d) se lleva a cabo a una velocidad por debajo de la capacidad de, respectivamente, la columna de destilación de c) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d).

Tal como se usa en el presente documento, los productos de reacción de la hidrogenación de fenol significan compuestos resultantes de la hidrogenación de fenol. Normalmente, esto comprende ciclohexanona, ciclohexanol, al menos un subproducto característico y fenol (sin reaccionar). El contenido de fenol de la segunda mezcla es normalmente al menos 0,2 % en peso. Preferentemente es al menos 0,3 % en peso; más preferentemente al menos 0,4 % en peso. El contenido de fenol es preferentemente inferior a 50 % en peso; más preferentemente inferior a 20 % en peso; lo más preferentemente inferior a 10 % en peso. El contenido de ciclohexanona de la segunda mezcla es normalmente al menos 80 % en peso. Preferentemente es al menos 85 % en peso; más preferentemente al menos 90 % en peso. El contenido de ciclohexanol es preferentemente inferior a 15 % en peso; más preferentemente inferior a 10 % en peso; lo más preferiblemente inferior a 5 % en peso. Normalmente, la segunda mezcla comprende

al menos un subproducto característico.

Los productos de reacción de la oxidación de ciclohexano son compuestos resultantes de la oxidación de ciclohexano. Normalmente, esto comprende ciclohexanol, ciclohexanona, al menos un subproducto característico y ciclohexano (sin reaccionar). El contenido de ciclohexano de la primera mezcla es normalmente al menos 80 % en peso. Preferentemente es al menos 85 % en peso; más preferentemente al menos 90 % en peso. El contenido de ciclohexanol es preferentemente inferior a 10 % en peso; más preferentemente inferior a 7 % en peso; lo más preferentemente inferior a 5 % en peso. El contenido de ciclohexano de la primera mezcla es normalmente inferior a 10 % en peso. Preferentemente es inferior a 7 % en peso; más preferentemente inferior a 5 % en peso. Normalmente, la segunda mezcla comprende al menos un subproducto característico.

La inhabilitación de dicha primera planta química significa eliminar de cualquier manera del proceso que se llevará a cabo por la segunda planta química. Esto incluye desconectar la columna de destilación, por ejemplo, simplemente cerrando la tubería o quitando la tubería que la conecta a otro aparato de la primera planta química. También incluye eliminar completamente la columna de la primera planta química.

Una unidad de deshidrogenación es el equipo usado para convertir el ciclohexanol en una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona. En otras palabras, parte del ciclohexanol está deshidrogenado. Normalmente, una primera mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona se alimenta a la unidad de deshidrogenación y una segunda mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona sale de la unidad de deshidrogenación. La primera mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona es normalmente la producida por destilación por cabezas. Por lo tanto, normalmente tiene una relación peso:peso de ciclohexanol a ciclohexanona de al menos 4:1, preferentemente de al menos 5:1, más preferentemente de al menos 6:1 e incluso más preferentemente de al menos 10:1. La segunda mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona tiene una mayor proporción de ciclohexanona que la primera mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona. El gas de hidrógeno es coproducido. Además, se podrían formar varios subproductos. Las cantidades de estos subproductos dependen, entre otros, del tipo de catalizador usado, la temperatura de funcionamiento y la edad del catalizador en la unidad de deshidrogenación. Uno de estos subproductos es fenol, que está presente normalmente en una cantidad de 0 % en peso a menos de 0,3 % en peso en la segunda mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona que sale de la unidad de deshidrogenación.

La oxidación de ciclohexano se puede realizar de varias maneras. Más comúnmente, el ciclohexano se oxida con oxígeno del aire a presiones que varían de 500 kPa a 2000 kPa y a temperaturas que varían de 140 °C a 200 °C para producir hidroperóxido de ciclohexilo, que posteriormente se descompone en ciclohexanona y ciclohexanol. Además de estos componentes deseados, se forman varios subproductos. La conversión por paso de ciclohexano en una unidad de oxidación de ciclohexano varía de 2 % a 10 % con el fin de limitar la formación de subproductos. La oxidación de ciclohexano puede realizarse en presencia de un catalizador o en ausencia de un catalizador. La relación de ciclohexanona a ciclohexanol en la mezcla de reacción que se obtiene después de la descomposición del hidroperóxido de ciclohexilo es normalmente de 0,3 a 2. La mezcla de reacción que se obtiene comprende ciclohexanona, ciclohexanol, subproductos y ciclohexano (sin reaccionar) y se purifica en un tren de destilación de múltiples etapas. Opcionalmente, el ciclohexanol se convierte en ciclohexanona por lo que el gas de hidrógeno se coproduce.

La primera mezcla normalmente comprende uno o más de los siguientes componentes: 2-metilciclohexanona, 3-metilciclohexanona, 4-metilciclohexanona, ciclohexilidenciclohexanona, biciclohexilo, éter dicitclohexílico, hexanal, pentanal, 2-heptanona, 3-heptanona, 4-heptanona, 1,3 -ciclohexanodiona y 1,4-ciclohexanodiona. Estos son subproductos característicos de la oxidación de ciclohexano. Preferentemente, la primera mezcla comprende cada uno de los componentes mencionados anteriormente.

Más preferentemente, la primera mezcla comprende ciclohexanol, ciclohexanona, ciclohexano y al menos un compuesto seleccionado de entre hexanal, pentanal, 2-heptanona, 3-heptanona, 4-heptanona, 1,3 -ciclohexanodiona y 1,4-ciclohexanodiona. El contenido de ciclohexano de la primera mezcla es normalmente inferior a 0,4 % en peso. Preferentemente, es inferior a 0,3 % en peso; más preferentemente inferior a 0,2 % en peso; lo más preferentemente inferior a 0,1 % en peso.

La reducción de fenol con hidrógeno puede realizarse en la fase gaseosa o en la fase líquida. El catalizador de hidrogenación puede ser en principio cualquier catalizador de hidrogenación (soportado) capaz de catalizar la hidrogenación de fenol. Normalmente, el catalizador comprende uno o más metales catalíticamente activos seleccionados de entre paladio, platino, rutenio, rodio, iridio, rubidio y osmio. El paladio, el platino o una combinación de los mismos son metales catalíticamente activos preferentes.

En general, la conversión por paso del fenol en la unidad de reacción es más del 90 %. Opcionalmente, el gas de hidrógeno sin reaccionar y los inertes se separan de la mezcla de reacción. Normalmente, el gas de hidrógeno que no ha reaccionado se vuelve a usar en el proceso de hidrogenación de fenol.

La segunda mezcla que comprende los productos de reacción se purifica en un tren de destilación de múltiples

etapas. El fenol recuperado puede volver a usarse en el proceso de hidrogenación de fenol. Opcionalmente, el ciclohexanol se puede convertir en ciclohexanona por lo que el gas de hidrógeno se coproduce. Opcionalmente, el hidrógeno coproducido se vuelve a usar en el proceso de hidrogenación de fenol. Además, se podrían formar varios subproductos. Las cantidades de estos subproductos dependen, entre otros, del tipo de catalizador usado, la temperatura de funcionamiento y la edad del catalizador en la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol.

La segunda mezcla comprende normalmente uno o más de los siguientes componentes: 2-metilciclohexanona, 3-metilciclohexanona, 4-metilciclohexanona, ciclohexilidenciclohexanona, benceno, biciclohexilo, éter dicitclohexílico, 2-fenilciclohexanol, 3-fenilciclohexanol, 4-fenilciclohexanol, éter ciclohexilfenílico, benzofurano, 2,3-dimetilbenzofurano, 3-metil-4-octanona, 4-metil-3-octanona, 3-metil-3-octanona, metil-isopropilciclohexanol, metil-isopropilciclohexanona y 1-(4-metilpentano-2-il)-benceno-fenol. Estos son subproductos característicos de la hidrogenación de fenol. Preferentemente, la segunda mezcla comprende cada uno de los componentes mencionados anteriormente.

Más preferentemente, la segunda mezcla comprende ciclohexanol, ciclohexanona, fenol y al menos un compuesto seleccionado de entre 2-fenilciclohexanol, 3-fenilciclohexanol, 4-fenilciclohexanol, éter ciclohexilfenílico, benzofurano, 2,3-dimetilbenzofurano, 3-metil-4-octanona, 4-metil-3-octanona, 3-metil-3-octanona, metil-isopropilciclohexanol, metil-isopropilciclohexanona y 1-(4-metilpentano-2-il)-benceno-fenol.

La primera mezcla y la segunda mezcla son, por lo tanto, normalmente diferentes entre sí en al menos los siguientes aspectos: i) la primera mezcla puede comprender uno o más de: ciclohexano, hexanal, pentanal, 2-heptanona, 3-heptanona, 4-heptanona, 1,3-ciclohexanodiona y 1,4-ciclohexanodiona que están esencialmente ausentes de la segunda mezcla; y ii) la segunda mezcla puede comprender uno o más de: 2-fenilciclohexanol, 3-fenilciclohexanol, 4-fenilciclohexanol, éter ciclohexilfenílico, benzofurano, 2,3-dimetilbenzofurano, 3-metil-4-octanona, 4-metil-3-octanona, 3-metil-3-octanona, metil-isopropilciclohexanol, metil-isopropilciclohexanona y 1-(4-metilpentano-2-il)-benceno-fenol que están esencialmente ausentes de la primera mezcla.

La relación de ciclohexanona a ciclohexanol en la primera mezcla normalmente difiere de la relación de ciclohexanona a ciclohexanol en la segunda mezcla. La relación de ciclohexanona a ciclohexanol en la primera mezcla es en general inferior a 4, que está muy influenciada por la presencia, si la hay, y el tipo y concentración de catalizador en la unidad de oxidación de ciclohexano. Preferentemente, es inferior a 3; más preferentemente inferior a 2. La relación de ciclohexanona a ciclohexanol en una primera mezcla es en general más de 0,1; más preferentemente más de 0,2; incluso más preferentemente más de 0,3. Preferentemente, es de 0,3 a 2. La relación de ciclohexanona a ciclohexanol en una segunda mezcla es en general más de 4. Normalmente es más de 5; preferentemente es más de 6; más preferentemente es más de 10.

Normalmente, en el proceso de la presente invención, dicha segunda planta química comprende una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas, en la que dicha ciclohexanona es parte de una tercera mezcla, cuya tercera mezcla comprende dicha segunda mezcla a partir de la cual los componentes que tienen un punto de ebullición menor que la ciclohexanona se han eliminado. La tercera mezcla normalmente comprende la segunda mezcla en la que los componentes que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona se han eliminado mediante una destilación por cabezas. Por lo tanto, la segunda planta química puede comprender: ii) una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas; y un iii) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona.

Normalmente, en el proceso de la presente invención, cada una de la primera planta química y la segunda planta química comprende: iv) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1. Preferentemente, la columna de destilación de iv) es adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 5:1. Más preferentemente la relación peso:peso es de al menos 6:1; aún más preferentemente de al menos 10:1. Preferentemente, la columna en la segunda planta química es la misma que en la primera planta química. Más preferentemente, el proceso implica dejar en su lugar la columna de la primera planta química para construir la segunda planta química. En el proceso de separación de ciclohexanol, además de un flujo de cabeza gaseoso que se descarga desde la columna de destilación también se puede extraer opcionalmente un flujo de líquido que comprende principalmente ciclohexanol desde la columna de destilación entre el punto de alimentación y la parte superior de la columna de destilación. Cuando se usa en el proceso de separación de ciclohexanol, el producto de colas de dicha columna comprende subproductos con un punto de ebullición más alto que el ciclohexanol (conocido como "materiales pesados").

La segunda planta química es adecuada para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla que comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol. El fenol tiene un punto de ebullición más alto que cada uno de ciclohexanol y ciclohexanona. En consecuencia, no se destila de manera preferente por cabezas en relación con estos componentes; más bien forma parte del producto de colas cuando se destila el ciclohexanol por cabezas. Es deseable recuperar dicho fenol.

Normalmente, el proceso de la presente invención comprende la adición a la primera planta química de una columna

de destilación adecuada para la recuperación de fenol del producto de colas de iv) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1. Más preferentemente, el proceso comprende la adición de dos columnas de destilación adecuadas para destilar el fenol por cabezas. El fenol así recuperado se puede eliminar como un subproducto, o se puede reciclar al proceso. El producto de colas de dicha columna normalmente se elimina como residuo.

Normalmente, el proceso comprende además la adición a la primera planta química de una línea de alimentación de la columna de destilación adecuada para la recuperación de fenol del producto de colas de una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1 a una unidad de hidrogenación de fenol para la hidrogenación de fenol. De esta manera, el fenol que se destila por cabezas se puede reciclar a una unidad de hidrogenación de fenol. Allí, se hidrogenará y los productos de reacción volverán al proceso. De esta manera, el fenol que no ha reaccionado en un primer paso a través de una unidad de hidrogenación de fenol se hace reaccionar en última instancia pasando por otros tiempos. Además, no hay residuos de fenol del proceso para separar la ciclohexanona.

Normalmente, cada una de la primera planta química y la segunda planta química comprende: vii) una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol adecuada para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona. Preferentemente, la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol en la segunda planta química es la misma que en la primera planta química. Más preferentemente, el proceso implica dejar en su lugar la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de la primera planta química para construir la segunda planta química.

Una primera planta química típica comprende una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona. Esta unidad de deshidrogenación de ciclohexanol tiene normalmente una capacidad relativamente grande, debido a que la relación de ciclohexanol a ciclohexanona en la mezcla de reacción que se obtiene después de la descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo es normalmente de 0,3 a 2. También tiene un diseño complejo. Un reactor de deshidrogenación de ciclohexanol funciona a temperaturas relativamente altas, normalmente de 200 °C a 450 °C, entre otras, dependiendo del tipo y la edad del catalizador. En consecuencia, una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol es difícil de producir y, por lo tanto, es costosa.

Una segunda planta química típica de acuerdo con la presente invención comprende una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona. Normalmente, cada una de la primera planta química y la segunda planta química comprenden una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona. La mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona producida a partir de la hidrogenación de fenol tiene una relación significativamente mayor de ciclohexanona a ciclohexanol, que la de una mezcla típica que comprende ciclohexanol y ciclohexanona producida a partir de la oxidación de ciclohexano. En consecuencia, la capacidad requerida de una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona en una segunda planta es significativamente menor que la de una primera planta. No obstante, la función de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona en una segunda planta es la misma que en una primera planta. Preferentemente, la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona de la primera planta química es la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona de la segunda planta química. Esto significa que para la segunda planta no es necesario diseñar e instalar una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de reemplazo para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona (una unidad compleja y por lo tanto costosa).

En el proceso de oxidación de ciclohexano, se usa baja conversión, lo que significa que la mezcla oxidada comprende principalmente ciclohexano (sin reaccionar). La primera etapa después de la descomposición a una mezcla que comprende ciclohexanona y ciclohexanol es normalmente eliminar (y recuperar) ciclohexano. El ciclohexano normalmente se destila por cabezas y se devuelve a la unidad adecuada para la oxidación de ciclohexano. En el proceso de hidrogenación de fenol para producir una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona, no existe dicho exceso de ciclohexano. Por lo tanto, dicha columna de destilación para destilar ciclohexano por cabezas es innecesaria. En consecuencia, en el proceso de acuerdo con la presente invención, normalmente se inhabilita.

Una columna de destilación adecuada para destilar el ciclohexano de cabezas produce normalmente un producto de colas que comprende una mezcla de ciclohexanona, ciclohexanol y subproductos.

Por una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas se entiende una columna de destilación que es adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas esencialmente pura. En el proceso de separación de ciclohexanona de acuerdo con la presente invención, preferentemente la ciclohexanona esencialmente pura se destila por cabezas. El producto de colas de dicha columna comprende una mezcla de ciclohexanona, ciclohexanol y subproductos.

Tal como se usa en el presente documento, el significado de "esencialmente puro" es más de 98 % en peso. Preferentemente, es más de 99 % en peso; más preferentemente más de 99,5 % en peso; incluso más

preferentemente más de 99,9 % en peso.

Una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas es normalmente grande, y por lo tanto costosa. Debe ser alta con un gran reflujo, con el fin de separar eficazmente la ciclohexanona esencialmente pura de la mezcla relativamente impura alimentada a esta columna. También debe ser amplia, como resultado de los requisitos de procesar grandes volúmenes de ciclohexanona y de hacer funcionar la columna de destilación a temperaturas relativamente bajas con el fin de minimizar la dimerización de la ciclohexanona dando como resultado condiciones de alto vacío. Una planta química típica de acuerdo con la presente invención comprende una columna para la destilación de ciclohexanona a partir de una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona. Normalmente, la primera planta química comprende una columna de destilación para la recuperación de ciclohexanona por destilación a partir de una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona que se produce por oxidación de ciclohexano; y la segunda planta química comprende una columna de destilación para la recuperación de ciclohexanona por destilación a partir de una mezcla que comprende fenol, ciclohexanol y ciclohexanona que se produce por hidrogenación de fenol.

15 La columna de destilación en la planta química de acuerdo con la presente invención no necesita ser idéntica a la de la planta original, por ejemplo, la disposición de reflujo puede modificarse y las conexiones y la superestructura pueden adaptarse. Sin embargo, la estructura básica debe permanecer intacta.

20 Una planta preferente para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla comprende al menos las siguientes unidades:

- a) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona;
- b) una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas;
- 25 c) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una primera mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1;
- d) una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol adecuada para la deshidrogenación de ciclohexanol para formar una segunda mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona;
- 30 e) una línea de alimentación adecuada para reciclar dicha segunda mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona formados en d) desde d) hasta a); y f) o g) o ambos f) y g);
- f) una columna de destilación adecuada para destilar el fenol de cabezas del producto de colas de la etapa c);
- g) una unidad de hidrogenación de fenol adecuada para la hidrogenación de fenol para formar una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanol.

35 Preferentemente, la planta comprende tanto f) como g) y está presente una alimentación desde f) hasta g).

Como se ha mencionado anteriormente, un objetivo de la presente invención es mejorar la capacidad de una planta para la separación de ciclohexanona. Por capacidad se entiende la masa de ciclohexanona separada en un tiempo dado. Las unidades típicas son toneladas por año; comúnmente expresado como kilotoneladas por año o kta. Normalmente, la capacidad de la segunda planta química para separar ciclohexanona es al menos 10 % mayor que la capacidad de la primera planta química para separar ciclohexanona. Preferentemente, es al menos un 15 % mayor. Más preferentemente, la capacidad es al menos un 20 % mayor. Todavía más preferentemente, la capacidad de la segunda planta química es al menos 25 %, más preferentemente 30 % mayor que la capacidad de la primera planta química.

45 En la planta química de la presente invención, e) la línea de alimentación adecuada para reciclar dicha mezcla que comprende ciclohexanona y ciclohexanol formada en d) desde d) hasta a), puede pasar directamente desde d) hasta a); o puede pasar indirectamente desde d) hasta a) a través de una o más etapas del proceso.

50 En la planta química de la presente invención, al menos uno de a) y d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano. Preferentemente, tanto a) como d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano. Normalmente, al menos uno de a) y d) se usaron anteriormente en una planta química para la producción de ciclohexanona a partir de ciclohexano. Preferentemente, tanto a) como d) se usaron anteriormente en una planta química para la producción de ciclohexanona a partir de ciclohexano.

60 En el proceso para la separación de ciclohexanona de la presente invención, e) la línea de alimentación adecuada para reciclar dicha mezcla que comprende ciclohexanona y ciclohexanol formada en d) desde d) hasta a), puede pasar directamente desde d) hasta a); o puede pasar indirectamente desde d) hasta a) a través de una o más etapas del proceso.

65 En el proceso para la separación de ciclohexanona de la presente invención, al menos uno de a) y d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano. Preferentemente, tanto a) como d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, cuya primera mezcla comprende

productos de reacción de la oxidación de ciclohexano. Normalmente, al menos uno de a) y d) se usaron anteriormente en una planta química para la producción de ciclohexanona a partir de ciclohexano. Preferentemente, tanto a) como d) se usaron anteriormente en una planta química para la producción de ciclohexanona a partir de ciclohexano.

5 Normalmente, en la planta química adecuada para la separación de ciclohexanona de acuerdo con la presente invención, al menos uno de c) y d) tiene una capacidad de al menos 10 % mayor que la necesaria para la separación de ciclohexanona de la segunda mezcla, basado en la planta química que funciona a plena capacidad de a) y b). Preferentemente tanto c) como d) se llevan a cabo a una velocidad por debajo de la capacidad de, respectivamente, 10 la columna de destilación de c) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d). Por debajo a la capacidad, significa preferentemente por debajo del 90 % de capacidad; más preferentemente por debajo del 80 % de capacidad; aún más preferentemente por debajo del 70 % de capacidad; todavía más preferentemente por debajo del 60 % de capacidad.

15 Normalmente, en el proceso para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, de acuerdo con la presente invención, al menos uno de c) y d) se lleva a cabo a una velocidad de como máximo el 90 % de la capacidad de, respectivamente, la columna de destilación de c) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d).

20 Cuando el proceso se lleva a cabo a una velocidad por debajo de la capacidad de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de la etapa d), la planta química, tiene un exceso de capacidad en la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol. Una velocidad inferior a la capacidad de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de la etapa d) incluye que la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol funciona de forma continua o discontinua. Normalmente se hace funcionar de forma discontinua cuando no es económico hacer funcionar la unidad continuamente a una 25 velocidad menor que su capacidad. La capacidad de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol se refiere al peso de ciclohexanol que se convierte en ciclohexanona en la deshidrogenación de ciclohexanol por unidad de tiempo. Lo más común es que se mida en toneladas por año.

30 La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol comprende un reactor de deshidrogenación de ciclohexanol. El funcionamiento continuo puede ser a velocidad constante o puede fluctuar en la velocidad a lo largo del tiempo. Sin embargo, la velocidad media está por debajo de la capacidad que se puede obtener del equipo. El funcionamiento continuo de un reactor de deshidrogenación de ciclohexanol por debajo de su capacidad también se podría obtener sellando parte del volumen del reactor, por ejemplo, taponando una fracción de las tuberías en caso de que el reactor de deshidrogenación de ciclohexanol comprenda múltiples tuberías paralelas.

35 Funcionamiento discontinuo significa cualquier forma durante el funcionamiento normal en el cual la etapa no se lleva a cabo de forma continua. Esto incluye procesos discontinuos y semicontinuos, por ejemplo periódicos. En una realización, la mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona producida por cabezas en la etapa de destilación c) se alimenta a un tanque de compensación; mientras que la etapa de deshidrogenación de ciclohexanol d) no está 40 funcionando. En un momento determinado, por ejemplo cuando el tanque de compensación se llena sustancialmente, la etapa d) de deshidrogenación de ciclohexanol se lleva a cabo durante un período de tiempo definido, por ejemplo hasta que el tanque de compensación esté sustancialmente vacío, en cuyo punto se detiene la etapa d) de deshidrogenación de ciclohexanol. El proceso se repite periódicamente. La ventaja de dicha disposición es cuando la etapa de deshidrogenación de ciclohexanol d) puede llevarse a cabo de forma más eficiente a una 45 velocidad mayor que la salida desde la etapa de destilación c).

En otra realización del funcionamiento discontinuo, la mezcla que comprende ciclohexanol que queda después de la eliminación por cabezas de ciclohexanona en la etapa de destilación b) se alimenta a un tanque de compensación; mientras que la etapa de destilación c) y la etapa de deshidrogenación de ciclohexanol d) no están funcionando. En 50 un momento determinado, por ejemplo cuando el tanque de compensación se llena sustancialmente, la mezcla que comprende ciclohexanol pasa del tanque de compensación a la etapa de destilación c), que se lleva a cabo durante un período de tiempo definido, por ejemplo hasta que el tanque de compensación esté sustancialmente vacío, en cuyo punto se detiene la etapa de destilación c). La etapa d) de deshidrogenación de ciclohexanol podría hacerse funcionar al mismo tiempo que la etapa de destilación c). El proceso se repite periódicamente. La ventaja de dicha 55 disposición es cuando la etapa de destilación c) puede llevarse a cabo de forma más eficiente a una velocidad mayor que la salida de la mezcla que comprende ciclohexanol de la etapa de destilación b).

Normalmente, el reciclado en la etapa e) se realiza desde la etapa d) hasta la etapa a) hasta la etapa f) purificando 60 adicionalmente dicha segunda mezcla. Se puede hacer una purificación adicional para separar los compuestos no deseados de la mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona. El gas de hidrógeno podría (parcialmente) eliminarse de la segunda mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona.

La Figura 1 muestra una planta para la producción de ciclohexanona oxidando primero ciclohexano y luego separando ciclohexanona de la mezcla resultante de ciclohexanol y ciclohexanona, y finalmente deshidrogenando 65 ciclohexanol en una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona, es decir, la primera planta química como se define en el presente documento.

El ciclohexano se alimenta a la unidad de oxidación de ciclohexano [A] a través de la línea [1]. La unidad de oxidación de ciclohexano [A] comprende uno o más reactores de oxidación. El aire se alimenta a través de la línea [2]. Los gases residuales salen a través de la línea [3] y se cargan a una unidad de recuperación de calor (no se muestra en la Figura 1). La mezcla oxidada resultante que comprende hidroperóxido de ciclohexilo se alimenta a través de la línea [4] a la unidad de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo [B], en la que el hidroperóxido de ciclohexilo se descompone en ciclohexanona y/o ciclohexanol. La unidad de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo [B] comprende uno o más reactores de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo. La alimentación de una solución acuosa de hidróxido de sodio y un catalizador, y la eliminación de una solución acuosa de hidróxido de sodio, de la unidad de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo [B] no se muestran en la Figura 1. La mezcla descompuesta se elimina a través de la línea [5] a la unidad de destilación de ciclohexano [C]. El ciclohexano se destila por cabezas en la unidad de destilación de ciclohexano [C] y se recicla a la unidad de oxidación de ciclohexano [A] a través de la línea [6]. La unidad de destilación de ciclohexano [C] comprende una o más columnas de destilación de ciclohexano. El producto de colas que comprende una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona se alimenta a través de la línea [7] a la primera columna de destilación de ligeros [D]. Opcionalmente, este producto de colas que comprende una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona se trata con una solución acuosa de hidróxido de sodio y/o se lava con agua (no se muestra en la Figura 1). El producto de colas tratado opcionalmente se alimenta a la primera columna de destilación de ligeros [D], en la que una primera mezcla de componentes con puntos de ebullición por debajo de los de la ciclohexanona se destila por cabezas a través de la línea [8]. El producto de colas se alimenta a través de la línea [9] a la segunda columna de destilación de ligeros [E], en la que una segunda mezcla de componentes con punto de ebullición por debajo de los de la ciclohexanona se destila por cabezas y se elimina a través de la línea [10]. El producto de colas se alimenta a través de la línea [11] a la columna de destilación de ciclohexanona [F], en la que la ciclohexanona esencialmente pura se destila por cabezas a través de la línea [12]. El producto de colas se alimenta a través de la línea [13] a la columna de destilación de ciclohexanol [G], en la que una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona se destila por cabezas. El producto de colas se elimina a través de la línea [15]. La mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona se pasa a través de la línea [14] a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol [H]. La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol [H] comprende uno o más reactores de deshidrogenación de ciclohexanol. La mezcla deshidrogenada resultante que comprende ciclohexanona es, después de la separación del gas de hidrógeno (no se muestra en la Figura 1), reciclada a través de la línea [16] a la primera columna de destilación de ligeros [D]. Opcionalmente, la mezcla deshidrogenada resultante que comprende ciclohexanona es, después de la separación del gas de hidrógeno (no se muestra en la Figura 1), reciclada a través de la línea [16] a la segunda columna de destilación de ligeros [E] (no se muestra en la Figura 1).

La Figura 2 muestra una planta de acuerdo con la presente invención, para la producción de ciclohexanona hidrogenando primero fenol, luego separando ciclohexanona de la mezcla resultante que comprende ciclohexanol y ciclohexanona y finalmente deshidrogenando ciclohexanol en ciclohexanona.

El fenol se alimenta a través de la línea [17], y el gas de hidrógeno se alimenta a través de la línea [18] a una unidad de hidrogenación de fenol [J]. La unidad de hidrogenación de fenol [J] comprende uno o más reactores de hidrogenación de fenol. La mezcla resultante de productos de reacción, que comprende fenol, ciclohexanol y ciclohexanona se alimenta a través de la línea [19] a la columna de destilación de ligeros [E]. Opcionalmente, el gas de hidrógeno que no ha reaccionado y los gases inertes se separan de esta mezcla (no se muestra en la Figura 2). Una mezcla de componentes con puntos de ebullición por debajo de los de la ciclohexanona se destila por cabezas y se elimina a través de la línea [10]. El producto de colas se alimenta a través de la línea [11] a la columna de destilación de ciclohexanona [F], en la que la ciclohexanona se destila por cabezas a través de la línea [12]. El producto de colas se alimenta a través de la línea [13] a la columna de destilación de ciclohexanol [G], en la que una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona se destila por cabezas a través de la línea [14] a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol [H]. La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol [H] comprende uno o más reactores de deshidrogenación de ciclohexanol. La mezcla resultante que comprende ciclohexanona es, después de la separación de gas de hidrógeno (no se muestra en la Figura 2), reciclada a través de la línea [16] a la columna de destilación de ligeros [E]. Opcionalmente, este gas de hidrógeno se carga a la unidad de hidrogenación de fenol [J] (no se muestra en la Figura 2). El producto de colas de [G] que comprende fenol se elimina a través de la línea [20]. La línea [20] conduce a la columna de destilación de fenol [K] en la que una mezcla que contiene fenol se destila por cabezas y se alimenta a través de la línea [22] a la unidad de hidrogenación de fenol [J]. El producto de colas se elimina de la columna de destilación de fenol [K] a través de la línea [21]. Opcionalmente, los tanques de almacenamiento están presentes para almacenar el producto de colas de la columna de destilación de ciclohexanona [F] que se alimenta a través de la línea [13] y/o para almacenar la mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona que se pasa a través de la línea [14] a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol [H] y/o para almacenar la mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona que se pasa a través de la línea [16] a la columna de destilación de ligeros [E].

De acuerdo con una realización de la presente invención, una planta química de acuerdo con la Figura 2 se construye a partir de una planta química de acuerdo con la Figura 1. De una comparación de la Figura 2 con la Figura 1, se puede ver que el siguiente aparato se elimina de la primera planta química (Figura 1) al construir la segunda planta química (Figura 2): unidad de oxidación de ciclohexano [A] junto con las líneas de entrada [1] y [2] y

las líneas de salida [3] y [4]; unidad de descomposición [B] junto con la línea de salida

[5]; unidad de destilación de ciclohexano [C] junto con las líneas de salida [6] y [7]; y la primera columna de destilación de ligeros [D] junto con las líneas de salida [8] y [9]. Además, el siguiente equipo se añade a la primera planta química (Figura 1) al construir la segunda planta química (Figura 2): unidad de hidrogenación de fenol [J] junto con las líneas de entrada [17] y [18] y la línea de salida [19]; y columna de destilación de fenol [K] junto con la alimentación [20] de la columna de destilación de ciclohexanol [G], la salida [21] y la salida [22]. La línea [16] se reubica desde la alimentación [D] a la alimentación [E].

10 La presente invención se ilustra mediante, pero no se pretende que esté limitada a, los siguientes ejemplos.

#### EXPERIMENTO COMPARATIVO A

15 Una planta química para la producción de ciclohexanona por oxidación de ciclohexano, que comprende:

- una unidad de oxidación de ciclohexano;
- una unidad de recuperación de calor;
- una unidad de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo;
- una unidad de recuperación de ciclohexano;
- 20 - una primera columna de destilación de ligeros;
- una segunda columna de destilación de ligeros;
- una columna de destilación de ciclohexanona;
- una columna de destilación de ciclohexanol; y
- una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol;

25 como se describió anteriormente y sustancialmente como se representa en la Figura 1, se simuló en el software de ingeniería química Aspen Plus® con datos de entrada obtenidos de una planta química en funcionamiento como se describe en el presente documento. La planta simulada se diseñó con una capacidad horaria de 12,5 toneladas métricas de ciclohexanona esencialmente pura, lo que equivale a una capacidad anual de la planta de aproximadamente 100 kta de ciclohexanona esencialmente pura (suponiendo 8000 horas de producción efectiva por año).

30 La oxidación de ciclohexanona en la unidad de oxidación de ciclohexano se realizó sin adición de ningún catalizador. La mezcla de reacción que sale de la unidad de oxidación de ciclohexano se enfrió y se alimentó a la unidad de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo. En la unidad de descomposición de hidroperóxido de ciclohexilo, el hidroperóxido de ciclohexilo se descompuso en presencia de una solución acuosa de hidróxido de sodio y en presencia de sales de cobalto disueltas como catalizador.

35 La unidad de recuperación de ciclohexano comprendía tres columnas de destilación de ciclohexano que se hacían funcionar en serie. En la unidad de recuperación de ciclohexano, el ciclohexano se eliminó por destilación por cabezas de la mezcla de reacción descompuesta y se recicló a la unidad de oxidación de ciclohexano. La mezcla resultante que comprendía principalmente ciclohexanol y ciclohexanona se lavó con agua y se alimentó a la primera columna de destilación de ligeros. En la primera columna de destilación de ligeros, entre otras, el agua y el ciclohexano se destilaron por cabezas. El flujo de cola de la primera columna de destilación de ligeros se alimentó a la segunda columna de destilación de ligeros, en la que los componentes que tenían un punto de ebullición inferior al de la ciclohexanona, incluido el epóxido de ciclohexeno, se destilaron por cabezas. El flujo de cola de la segunda columna de destilación de ligeros se alimentó a la columna de destilación de ciclohexanona, en la que la ciclohexanona esencialmente pura se destiló por cabezas. El flujo de cola de la columna de destilación de ciclohexanona se alimentó a la columna de destilación de ciclohexanol, en la que los materiales pesados se separaron de una mezcla que comprende principalmente ciclohexanol. En la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol, la mezcla que comprende principalmente ciclohexanol se convirtió parcialmente en ciclohexanona. La mezcla de reacción producida fue, después de la separación del gas de hidrógeno formado, alimentada a la primera columna de destilación de ligeros.

40 45 50 55 60 La columna de destilación de ciclohexanona era una columna de destilación al vacío con un diámetro de 3,3 m, que contenía 3 lechos, cada uno de los cuales tenía una altura de 7,5 m de empaque Mellapak 250Y, de los cuales 2 lechos estaban situados por encima de la entrada de alimentación. La capacidad fraccional del empaque (Mellapak 250Y) era de aproximadamente 0,88, definida de acuerdo con la correlación de caída de presión generalizada del método Eckert, como se ilustra en la Figura 9-21C. Ernest E. Ludwig, Diseño de procesos aplicados para plantas químicas y petroquímicas, volumen 2, 3ª edición, 1997, pág. 283.

65 La columna estaba equipada con una unidad condensadora y un cambiador de calor activado por vapor. El reflujo se alimentó por encima del lecho superior. La presión en la parte superior de la columna era de aproximadamente 5 kPa. El vapor que sale de la parte superior de esta columna se licuó en una unidad condensadora con un servicio máximo de aproximadamente 18 GJ/h. Parte del líquido obtenido se alimentó a la parte superior de esta columna como reflujo, y la otra parte se descargó como ciclohexanona esencialmente pura. La energía requerida para el

proceso de destilación en la columna de destilación de ciclohexanona se introdujo mediante calentamiento indirecto a través de vapor en un cambiador de calor con un servicio máximo de aproximadamente 18 GJ/h. La concentración de ciclohexanol en la ciclohexanona esencialmente pura que se destiló por cabezas en la columna de destilación de ciclohexanona fue en promedio de aproximadamente 250 ppm en peso.

5 La velocidad máxima de alimentación a la columna de destilación de ciclohexanona fue de aproximadamente 21,8 ton/h. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la alimentación fue de aproximadamente 1,4. La velocidad de reflujo fue de aproximadamente 29,8 ton/h. El caudal de colas de la columna de destilación de ciclohexanona era de aproximadamente 9,3 ton/h y consistía principalmente en ciclohexanol y aproximadamente 6 %  
10 en peso de ciclohexanona. La velocidad de alimentación a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol fue de aproximadamente 9 ton/h. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la salida de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol fue de aproximadamente 6 a 4.

### EXPERIMENTO COMPARATIVO B

15 El proceso para la producción de ciclohexanona fue idéntico al del Ejemplo comparativo A, con las siguientes excepciones:

- 20 i) la oxidación de ciclohexanona en la unidad de oxidación de ciclohexano se realizó con la adición de sales de cobalto como catalizador; y
- ii) la mezcla resultante de la unidad de recuperación de ciclohexano que comprende principalmente ciclohexanol y ciclohexanona se trató después con una solución acuosa de hidróxido de sodio para saponificar ésteres, luego se lavó con agua y se alimentó a la primera columna de destilación de ligeros.

25 En esta planta, la columna de destilación de ciclohexanona, incluyendo todos los elementos auxiliares incluidos el cambiador de calor y la unidad condensadora, era la misma que la columna de destilación de ciclohexanona, con todos los elementos auxiliares, incluidos el cambiador de calor y la unidad condensadora, como se usa en el Experimento comparativo A. La presión en la parte superior de la columna de destilación de ciclohexanona era idéntica a la presión en el Experimento comparativo A. La concentración de ciclohexanol en la ciclohexanona  
30 esencialmente pura destilada por cabezas en la columna de destilación de ciclohexanona fue en promedio de aproximadamente 250 ppm en peso, que es igual a la del Experimento comparativo A. Esta columna de destilación de ciclohexanona se hizo funcionar a plena carga. Todas las otras partes de la planta no estaban limitando la capacidad de la planta.

35 La velocidad de alimentación a la columna de destilación de ciclohexanona fue de aproximadamente 25,9 ton/h. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la alimentación fue de aproximadamente 1,0. La velocidad de reflujo fue de aproximadamente 30,2 ton/h. El caudal de colas de la columna de destilación de ciclohexanona era de aproximadamente 13,9 ton/h y consistía principalmente en ciclohexanol y aproximadamente 6 % en peso de ciclohexanona. La velocidad de alimentación a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol fue de  
40 aproximadamente 13,3 ton/h. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la salida de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol fue de aproximadamente 6 a 4.

La capacidad horaria de la columna de destilación de ciclohexanona fue de aproximadamente 12,0 toneladas métricas de ciclohexanona esencialmente pura, lo que equivale a una capacidad anual de la planta de  
45 aproximadamente 96 kta de ciclohexanona esencialmente pura (suponiendo 8000 horas de producción efectiva por año).

En los Ejemplos 1 y 2 (de acuerdo con la invención), las columnas de destilación de ciclohexanona, con todos los elementos auxiliares, incluidos los cambiadores de calor y las unidades condensadoras, fueron las mismas que las  
50 columnas de destilación de ciclohexanona, incluidos todas los elementos auxiliares como cambiadores de calor y unidades condensadoras, en los Experimentos comparativos A y B.

### **Ejemplo 1**

55 Una planta química para la producción de ciclohexanona por hidrogenación de fenol, que comprende:

- una unidad de hidrogenación de fenol;
- una columna de destilación de ligeros;
- una columna de destilación de ciclohexanona;
- 60 - una columna de destilación de ciclohexanol;
- una columna de destilación de fenol; y
- una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol;

65 como se describió anteriormente y sustancialmente como se representa en la Figura 2 se simuló en el software de ingeniería química Aspen Plus® con datos de entrada obtenidos de una planta química en funcionamiento como se describe en el presente documento. La planta simulada se diseñó con una columna de destilación de ciclohexanona

idéntica y una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol idéntica como en el Ejemplo Comparativo A. La columna de destilación de ciclohexanona limitó la capacidad global de la planta.

La hidrogenación de fenol en la unidad de hidrogenación de fenol se realizó en fase gaseosa en presencia de un catalizador que comprende paladio. La mezcla de gases resultante, que comprende fenol, hidrógeno gas, ciclohexanol y ciclohexanona, se condensó parcialmente por enfriamiento y se separó en una mezcla líquida que comprende fenol, ciclohexanol y ciclohexanona que se alimentó a la columna de destilación de ligeros y un flujo gaseoso que comprende hidrógeno.

En la columna de destilación de ligeros, los componentes con puntos de ebullición inferiores a los de la ciclohexanona se destilaron por cabezas. El flujo de cola de la columna de destilación de ligeros se alimentó a la columna de destilación de ciclohexanona, en la que la ciclohexanona esencialmente pura se destiló por cabezas. El flujo de cola de la columna de destilación de ciclohexanona se alimentó a la columna de destilación de ciclohexanol, en la que una mezcla que comprende principalmente ciclohexanol y ciclohexanona se destiló por cabezas. Esta mezcla que comprende principalmente ciclohexanol se alimentó a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol, en la que el ciclohexanol se convirtió en ciclohexanona. El hidrógeno gas formado se separó del mismo. La mezcla de reacción resultante se alimentó luego a la columna de destilación de ligeros.

El flujo de cola de la columna de destilación de ciclohexanol se alimentó a una columna de destilación de fenol en la que los materiales pesados se separaron de una mezcla que comprende principalmente ciclohexanol y fenol.

La presión en la parte superior de la columna de destilación de ciclohexanona era idéntica a la presión en el Experimento comparativo A. La concentración de ciclohexanol en la ciclohexanona destilada por cabezas en la columna de destilación de ciclohexanona fue en promedio de aproximadamente 250 ppm en peso, que es igual a la del Experimento comparativo A.

La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol fue idéntica a la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol en el Experimento comparativo A.

La velocidad de alimentación a la columna de destilación de ciclohexanona fue de aproximadamente 16,9 ton/h. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la alimentación fue casi 11. La velocidad de reflujo es de aproximadamente 27,2 ton/h. La capacidad horaria de esta columna fue de aproximadamente 15,0 toneladas métricas de ciclohexanona esencialmente pura, lo que equivale a una capacidad anual de la planta de aproximadamente 120 kta de ciclohexanona esencialmente pura.

El caudal de la cola de la columna de destilación de ciclohexanona era de aproximadamente 1,9 ton/h y el flujo consistía principalmente en ciclohexanol y fenol, y aproximadamente 6 % en peso de ciclohexanona. Este flujo de cola se alimentó a la columna de destilación de ciclohexanol, en la que el ciclohexanol se destiló principalmente por cabezas. El flujo superior de esta columna de destilación de ciclohexanol se alimentó a una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la salida de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol fue de aproximadamente 6 a 4. El flujo de salida de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol, una vez separado el gas de hidrógeno, se alimentó a la columna de destilación de ligeros. La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol se hizo funcionar aproximadamente al 15 % de su capacidad.

La comparación del Experimento comparativo A y el Ejemplo 1 muestra que la columna de destilación a vacío en la que se destiló ciclohexanona esencialmente pura (con elementos auxiliares que incluyen cambiador de calor y unidad condensadora) usada en la producción de ciclohexanona a partir de productos de reacción de la oxidación de ciclohexano, puede volverse a usar para la producción de ciclohexanona a partir de productos de reacción de la hidrogenación de fenol. La capacidad anual aumenta de aproximadamente 100 kta de ciclohexanona esencialmente pura a aproximadamente 120 kta de ciclohexanona esencialmente pura, por lo que en aproximadamente un 20 %.

Además, esta comparación muestra que una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol usada en un proceso para la producción de ciclohexanona por oxidación de ciclohexano en la cual la oxidación de ciclohexano se realiza sin adición de ningún catalizador, puede volverse a usar en un proceso para la producción de ciclohexanona por hidrogenación de fenol. En este caso, la simulación mostró que la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol tenía un enorme exceso de capacidad. En la práctica, la capacidad de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol podría reducirse fácilmente, por ejemplo, ocultando una gran parte de las tuberías en caso de que la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol comprenda un reactor calentado multitubular.

## Ejemplo 2

Una planta química para la producción de ciclohexanona por hidrogenación de fenol, que comprende:

- una unidad de hidrogenación de fenol;
- una columna de destilación de ligeros;
- una columna de destilación de ciclohexanona;

- una columna de destilación de ciclohexanol;
- una columna de destilación de fenol; y
- una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol;

5 como se describió anteriormente y sustancialmente como se representa en la Figura 2 se simuló en el software de ingeniería química Aspen Plus® con datos de entrada obtenidos de una planta química en funcionamiento como se describe en el presente documento. La planta simulada se diseñó con una columna de destilación de ciclohexanona idéntica y una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol idéntica como en el Ejemplo comparativo B. La columna de destilación de ciclohexanona limitó la capacidad global de la planta.

10 La planta de ciclohexanona simulada era idéntica a la del Ejemplo 1, excepto que incluía un vaso de compensación adicional corriente arriba y un vaso de compensación adicional corriente abajo de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol.

15 El proceso también fue idéntico al del Ejemplo 1, excepto que:

- i) la hidrogenación de fenol en la unidad de hidrogenación de fenol se realizó en la fase líquida con un catalizador que comprende paladio; y
- ii) la mezcla de reacción resultante que comprendía fenol, ciclohexanol y ciclohexanona tenía una composición similar a la del Ejemplo 1.

20 El flujo superior de la columna de destilación de ciclohexanol se alimentó al tanque de compensación situado corriente arriba de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol. La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol se alimentó desde este tanque de compensación. La unidad de deshidrogenación de ciclohexanol solo funcionaba de forma discontinua. Se inició cuando el tanque de compensación situado corriente arriba de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol se llenó aproximadamente al 80 % y se detuvo cuando este tanque se llenó menos de aproximadamente el 15 %. La relación en peso de ciclohexanona a ciclohexanol en la salida de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol es de aproximadamente 6 a 4. El flujo de salida de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol, una vez separado el gas de hidrógeno, se alimentó al tanque de compensación situado aguas abajo de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol. Desde este tanque, una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona se alimentó a la columna de destilación de ligeros de una forma continua.

35 La capacidad horaria de la planta de ciclohexanona fue de aproximadamente 15,0 toneladas métricas de ciclohexanona esencialmente pura, lo que equivale a una capacidad anual de la planta de aproximadamente 120 kta de ciclohexanona esencialmente pura.

40 La comparación del Experimento comparativo B y el Ejemplo 2 muestra que la columna de destilación a vacío en la que se destiló ciclohexanona esencialmente pura (con elementos auxiliares que incluyen cambiador de calor y unidad condensadora) usada en la producción de ciclohexanona a partir de productos de reacción de la oxidación de ciclohexano, puede volverse a usar para la producción de ciclohexanona a partir de productos de reacción de la hidrogenación de fenol. La capacidad anual aumenta de aproximadamente 96 kta de ciclohexanona esencialmente pura a aproximadamente 120 kta de ciclohexanona esencialmente pura, por lo que en aproximadamente un 25 %.

45 Además, esta comparación muestra que la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol usada en un proceso para la producción de ciclohexanona por oxidación de ciclohexano en la cual la oxidación de ciclohexano se realiza con adición de catalizador, puede volverse a usar en un proceso para la producción de ciclohexanona por hidrogenación de fenol funcionando la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol en un modo discontinuo después de la adición de solo dos tanques de compensación simples.

## REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la construcción de una segunda planta química, segunda planta química que es adecuada para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, segunda mezcla que comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol, comprendiendo dicho proceso:
- a) proporcionar una primera planta química, primera planta química que es adecuada para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, primera mezcla que comprende productos de reacción procedentes de la oxidación de ciclohexano, y comprendiendo dicha primera planta:
- i) una columna de destilación adecuada para destilar el ciclohexano de cabezas;
- ii) una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas;
- iii) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona;
- iv) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona;
- v) una unidad de oxidación de ciclohexano adecuada para la oxidación de ciclohexano; y
- vi) una unidad de recuperación de calor adecuada para la recuperación de calor del gas residual de la unidad de oxidación de ciclohexano adecuada para la oxidación de ciclohexano;
- b) inhabilitar i) dicha columna de destilación adecuada para destilar ciclohexano de cabezas de dicha primera planta química, v) dicha unidad de oxidación de ciclohexano y vi) dicha unidad de recuperación de calor, y en donde dicha segunda planta química comprende una columna de destilación adecuada para destilar ciclohexanona de cabezas, en donde dicha ciclohexanona es parte de una tercera mezcla, tercera mezcla que comprende dicha segunda mezcla a partir de la cual se han eliminado los componentes que tienen un punto de ebullición menor que la ciclohexanona; y
- c) añadir a dicha primera planta química una unidad de hidrogenación de fenol.
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera mezcla comprende ciclohexanol, ciclohexanona, ciclohexano y al menos un compuesto seleccionado de entre hexanal, pentanal, 2-heptanona, 3-heptanona, 4-heptanona, 1,3 -ciclohexanodiona y 1,4-ciclohexanodiona.
3. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la segunda mezcla comprende ciclohexanol, ciclohexanona, fenol y al menos un compuesto seleccionado de entre 2-fenilciclohexanol, 3-fenilciclohexanol, 4-fenilciclohexanol, éter ciclohexilfenílico, benzofurano, 2,3-dimetilbenzofurano, 3-metil-4-octanona, 4-metil-3-octanona, 3-metil-3-octanona, metil-isopropilciclohexanol, metil-isopropilciclohexanona y 1-(4-metilpentano-2-il)-benceno-fenol.
4. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que iv) es adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1.
5. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende la adición a la primera planta química de una columna de destilación adecuada para la recuperación de fenol del producto de colas de una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1.
6. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende la adición a la primera planta química de una línea de alimentación desde la columna de destilación adecuada para la recuperación de fenol del producto de colas de una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1 a una unidad de hidrogenación de fenol.
7. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 6, en el que cada una de la primera planta química y la segunda planta química comprende:
- vii) una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol adecuada para la deshidrogenación de ciclohexanol a ciclohexanona.
8. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la capacidad de la segunda planta química para separar ciclohexanona es al menos un 10 % mayor que la capacidad de la primera planta química para separar ciclohexanona, en donde capacidad significa la masa de ciclohexanona separada en un tiempo dado.
9. Una planta química adecuada para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, segunda mezcla que comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol, comprendiendo la planta química:
- a) una columna de destilación adecuada para destilar los componentes de cabeza que tienen un punto de

ebullición más bajo que la ciclohexanona;

b) una columna de destilación adecuada para destilar la ciclohexanona de cabezas;

c) una columna de destilación adecuada para destilar por cabezas una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1;

5 d) una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol adecuada para la deshidrogenación de ciclohexanol para formar una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona; y

e) una línea de alimentación adecuada para reciclar desde d) hasta a) dicha mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona formados en d);

10 f) una unidad de hidrogenación de fenol que produce una mezcla que comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol;

**caracterizada porque** al menos uno de a) y d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, primera mezcla que comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano; y en la que al menos uno de c) y d) tiene una capacidad mayor que la necesaria para la separación de ciclohexanona de la segunda mezcla, basado en la planta química que funciona a plena capacidad de a) y b), en donde capacidad de la planta o de la columna de destilación significa la masa de ciclohexanona separada en un tiempo dado, y en donde capacidad de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol significa el peso de ciclohexanol que se convierte en unidad de ciclohexanona por unidad de tiempo.

20 10. Una planta química de acuerdo con la reivindicación 9, en la que al menos uno de c) y d) tiene una capacidad de al menos un 10 % mayor que la necesaria para la separación de ciclohexanona de la segunda mezcla, basado en la planta química que funciona a plena capacidad de a) y b).

25 11. Un proceso para la separación de ciclohexanona de una segunda mezcla, segunda mezcla que comprende productos de reacción de la hidrogenación de fenol, comprendiendo dicho proceso:

a) destilar por cabezas en una columna de destilación, los componentes de la columna de destilación que tienen un punto de ebullición más bajo que la ciclohexanona;

b) destilar por cabezas en una columna de destilación la ciclohexanona;

30 c) destilar por cabezas en una columna de destilación una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona en una relación peso:peso de al menos 4:1;

d) deshidrogenar en una unidad de deshidrogenación de ciclohexanol el ciclohexanol destilado por cabezas en c) para formar una mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona;

e) reciclar desde d) hasta a) la mezcla que comprende ciclohexanol y ciclohexanona formada en d);

35 f) hidrogenar fenol en una unidad de hidrogenación de fenol que produce una mezcla que comprende productos de reacción a partir de la hidrogenación de fenol;

**caracterizado porque** al menos uno de la columna de destilación de a) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d) se han usado en una planta química para la separación de ciclohexanona de una primera mezcla, primera mezcla que comprende productos de reacción de la oxidación de ciclohexano; y en donde al menos uno de c) y d) se lleva a cabo a una velocidad por debajo de la capacidad de, respectivamente, la columna de destilación de c) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d), en donde capacidad de la planta o de la columna de destilación significa la masa de ciclohexanona separada en un tiempo dado, y en donde capacidad de la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol significa el peso de ciclohexanol que se convierte en unidad de ciclohexanona por unidad de tiempo.

40 12. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 11, en el que al menos uno de c) y d) se lleva a cabo a una velocidad de como máximo el 90 % de la capacidad de, respectivamente, la columna de destilación de c) y la unidad de deshidrogenación de ciclohexanol de d).

50

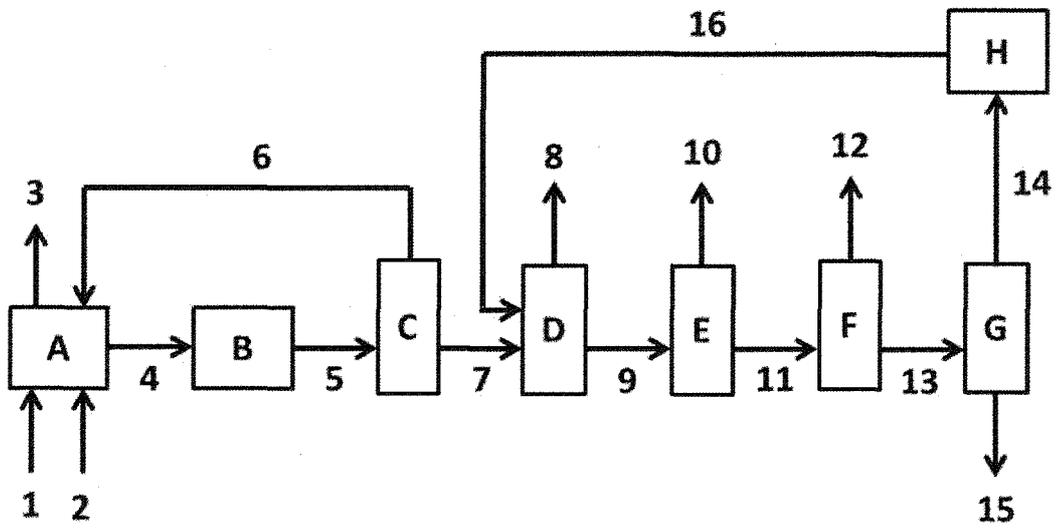


FIG. 1

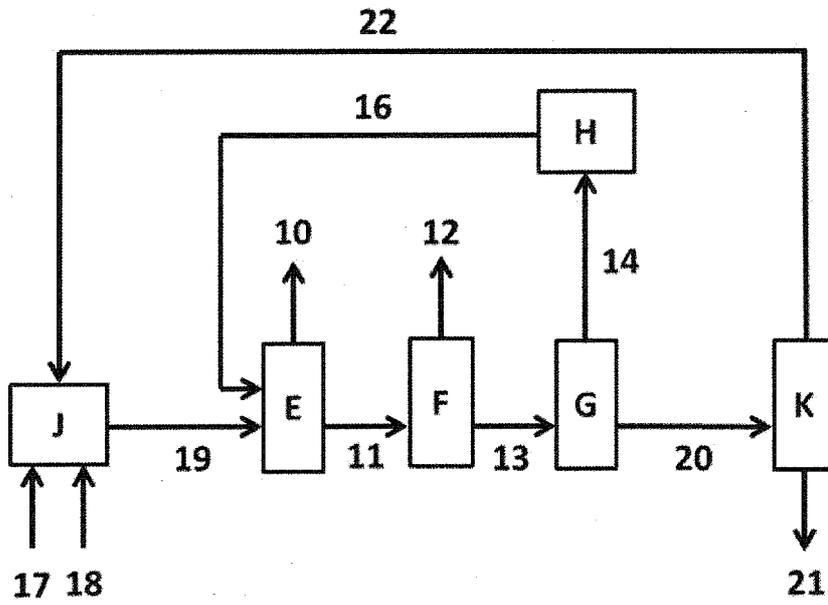


FIG. 2