(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 370 823**

(51) Int. Cl.:

B01D 53/86	(2006.01)
B01D 53/88	(2006.01)
B01J 21/06	(2006.01)
B01J 23/30	(2006.01)
B01J 35/00	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **04753527 .3**

(96) Fecha de presentación: **27.05.2004**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1628745**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2006**

(54) Título: **MÉTODO Y APARATO PARA PURIFICAR AIRE USANDO UN FOTOCALIZADOR.**

(30) Prioridad:
30.05.2003 US 449752

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.12.2011

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.12.2011

(73) Titular/es:
CARRIER CORPORATION
ONE CARRIER PLACE
FARMINGTON, CONNECTICUT 06034-4015, US

(72) Inventor/es:
WEI, Di;
OBEE, Timothy, N.;
HAY, Stephen, O.;
VANDERSPURT, Thomas, H.;
SCHMIDT, Wayde, R. y
SANGIOVANNI, Joseph, J.

(74) Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 370 823 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

Método y aparato para purificar aire usando un fotocalizador

La presente invención se refiere, en general, a un sistema de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

El aire de interiores puede incluir cantidades traza de contaminantes, incluidos compuestos orgánicos volátiles como formaldehido, tolueno, propanal, buteno y acetaldehido. Filtros absorbedores de aire, como los de carbono activado, se han empleado para eliminar estos contaminantes del aire. Como el aire circula a través del filtro, el filtro bloquea el paso de contaminantes, lo que permite que el aire que sale del filtro esté exento de contaminantes. Un inconveniente de emplear filtros es que solamente bloquean el paso de contaminantes y no los destruyen.

El dióxido de titanio se ha empleado como un fotocatalizador en un purificador de aire para destruir los contaminantes. Cuando el dióxido de titanio es iluminado con luz ultravioleta, los fotones son absorbidos por el dióxido de titanio, lo que promociona un electrón desde la banda de valencia a la banda de conducción, produciendo de ese modo un hueco en la banda de valencia y añadiendo un electrón a la banda de conducción. El electrón promovido reacciona con oxígeno, y la carga positiva libre que queda en la banda de valencia reacciona con agua, formando radicales hidroxilo reactivos. Cuando un contaminante se adsorbe sobre el fotocatalizador de dióxido de titanio, los radicales hidroxilo atacan los contaminantes y los oxidan hasta formar, agua, dióxido de carbono y otras sustancias. Un inconveniente del fotocatalizador de dióxido de titanio de la técnica anterior es que tiene una reactividad limitada. Además, la humedad puede afectar enormemente al comportamiento fotocatalítico del dióxido de titanio y, por tanto, a la velocidad de oxidación de los contaminantes. El documento WO 03/037509 describe un fotocatalizador que comprende dióxido de titanio y carburo de silicio acoplados con trióxido de tungsteno. Los documentos US 6.135.838, US 6.136.186 y US 6.309.611 describen purificadores fotocatalíticos que tienen dióxido de titanio y otros óxidos metálicos. Un artículo de Fuerte et al., en el Journal of Catalysis 212, páginas 1 a 9, 2002, describe un óxido mixto de dióxido de titanio impurificado con tungsteno que puede usarse para degradar los contaminantes.

Los fotocatalizadores de óxido metálico/dióxido de titanio se han empleado como un fotocatalizador en fase acuosa para eliminar los contaminantes de un flujo de agua. La química en fase acuosa es significativamente diferente de la química en fase aérea. Los mecanismos de reacción son, en general, diferentes en cada fase. Por tanto, un catalizador diseñado para la química en fase acuosa no se comporta de la misma forma que un catalizador diseñado para la química en fase gaseosa. Además, el radical hidroxilo puede difundirse alejándose de la superficie del fotocatalizador en una fase acuosa, y el radical hidroxi no se difunde alejándose de la superficie del fotocatalizador en la fase gaseosa. Finalmente, en la fase acuosa, el agua y las especies iónicas en el agua rivalizan con los contaminantes por los sitios de adsorción en el fotocatalizador, reduciendo también el rendimiento fotocatalítico.

Se han empleado procesos de revestimiento sol-gel para crear una suspensión fotocatalítica que se aplica a un sustrato para crear un revestimiento fotocatalítico. El proceso de revestimiento sol-gel logra la carga fotocatalítica deseada y el elevado comportamiento de adherencia a través de múltiples procesos de revestimiento por inmersión. Un inconveniente de los procesos de revestimiento sol-gel es que se requieren precursores de titanio caros (como isopropóxido de titanio) y complicados procedimientos de reflujo/sonicación. Por tanto, el proceso de revestimiento sol-gel es costoso y laborioso.

En consecuencia, existe la necesidad de un fotocatalizador basado en aire para oxidar los contaminantes con una reactividad aumentada, una menor sensibilidad a las variaciones de humedad, y un proceso a un coste eficaz para revestir el fotocatalizador a un sustrato.

De acuerdo con la presente invención, se ha proporcionado un sistema de purificación de aire según la reivindicación 1. En sus realizaciones preferidas al menos, el revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio purifica el aire en un edificio o en un vehículo oxidando cualquier contaminante del aire que se adsorba sobre el revestimiento hasta formar agua, dióxido de carbono y otras sustancias.

Un ventilador impulsa aire a un sistema de purificación de aire. El aire circula primero a través de un filtro de partículas que filtra el polvo o cualquier otra partícula grande. El aire circula después a través de un pasillo o canal abierto de un panal. La superficie del panal está revestida con un catalizador fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio. Una fuente de luz ultravioleta colocada entre panales sucesivos activa el revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio. Las paredes del sistema de purificación de aire están preferiblemente forradas con un material reflectante para reflejar la luz ultravioleta sobre la superficie interna de los pasillos abiertos del panal.

Cuando los fotones de la luz ultravioleta son adsorbidos por el revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, un electrón es promovido desde la banda de valencia a la banda de conducción, produciendo una carga positiva libre en la banda de valencia. Los electrones en la banda de conducción son capturados por el oxígeno. Las cargas positivas libres en la banda de valencia reaccionan con agua que es adsorbida en el revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, formando radicales hidroxilo reactivos.

El óxido de tungsteno forma una monocapa sobre el dióxido de titanio. Cuando un contaminante en el aire es adsorbido en el revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, el radical hidroxilo ataca al contaminante, sustrayendo un átomo de hidrógeno del contaminante y oxidando los contaminantes para formar agua, dióxido de carbono y otras sustancias. El revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio tiene una baja sensibilidad a la humedad. Por tanto, la humedad tiene un efecto muy inferior sobre la actividad fotocatalítica del óxido de tungsteno/dióxido de titanio comparado con el fotocatalizador de dióxido de titanio de la técnica anterior.

Estas y otras características de la presente invención se comprenderán mejor a partir de la siguiente memoria descriptiva y de los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Las diversas características y ventajas de la invención resultarán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada de la presente realización preferida. Los dibujos que se adjuntan a la descripción detallada pueden describirse brevemente de la forma siguiente:

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una realización de un entorno cerrado, tal como un edificio, vehículo u otra estructura, incluido un espacio interior y un sistema HVAC;

La Figura 2 ilustra esquemáticamente el sistema de purificación de aire de la presente invención;

La Figura 3 ilustra esquemáticamente el panal del sistema de purificación de aire;

La Figura 4a ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo del proceso de fabricación de un producto fotocatalítico;

La Figura 4b ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo del proceso de aplicar el producto fotocatalítico a un sustrato;

La Figura 5 ilustra esquemáticamente una monocapa de óxido de tungsteno sobre el dióxido de titanio del revestimiento fotocatalítico;

La Figura 6 ilustra esquemáticamente un gráfico que ilustra la velocidad intrínseca de la oxidación del acetaldehido como una función de la humedad relativa;

La Figura 7 ilustra esquemáticamente un gráfico que ilustra la velocidad intrínseca de la oxidación de propanal como una función de la humedad relativa;

La Figura 8 ilustra esquemáticamente un gráfico que ilustra la velocidad intrínseca de la oxidación de tolueno como una función de la humedad relativa;

La Figura 9 ilustra esquemáticamente un gráfico que ilustra la velocidad intrínseca de la oxidación de buteno como una función de la humedad relativa; y

La Figura 10 ilustra esquemáticamente un gráfico que ilustra la eficiencia del fotocatalizador de la presente invención como una función del contenido en moles de óxido de tungsteno.

Descripción detallada de la realización preferida

La Figura 1 ilustra esquemáticamente un edificio, vehículo u otra estructura 10 que incluye un espacio interior 12, tal como una habitación, un despacho o una cabina de un vehículo, tal como de un coche, tren, autobús o avión. Un sistema HVAC 14 calienta o enfría el espacio interior 12. El aire del espacio interior 12 es impulsado por un camino 16 hasta el sistema HVAC 14. El sistema HVAC 14 cambia la temperatura del aire impulsado 16 desde el espacio interior 12. Si el sistema HVAC 14 está funcionando en modo de enfriamiento, el aire se enfría. Alternativamente, si el sistema HVAC 14 está funcionando en modo de calentamiento, el aire se calienta. El aire se devuelve después por un camino 18 al espacio interior 12, cambiando la temperatura del aire del espacio interior 12.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente un sistema de purificación de aire 20 empleado para purificar el aire del edificio o vehículo 10 oxidando los contaminantes del aire, tales como los compuestos orgánicos volátiles, para formar agua, dióxido de carbono y otras sustancias. Los contaminantes pueden ser unas especies oxidables como el monóxido de carbono o unas especies reducibles como el ozono. Por ejemplo, los contaminantes pueden ser un compuesto orgánico volátil, un compuesto orgánico semivolátill como tolueno, propanal, buteno o acetaldehido. Los contaminantes pueden ser también aldehídos, cetonas, alcoholes, aromáticos, alquenos o alcanos. El sistema de purificación de aire 20 puede purificar el aire después de que sea impulsado a lo largo del camino 16 hasta el sistema HVAC 14 o puede purificar el aire que deja el sistema HVAC 14 antes de que sea soplado a lo largo del camino 18 hacia el espacio interior 12 del edificio o vehículo 10. El sistema de purificación de aire 20 puede ser también una unidad independiente que no sea empleada con un sistema HVAC 14.

Un ventilador 34 impulsa aire en el sistema de purificación de aire 20 a través de una entrada 22. El aire circula a través de un filtro de partículas 24 que filtra polvo o cualesquiera otras partículas grandes bloqueando el flujo de estas partículas. El aire circula después a través de un panal 28. En un ejemplo, el panal 28 se fabrica de aluminio o de una aleación de aluminio. La Figura 3 ilustra esquemáticamente una vista frontal del panal 28 con una pluralidad de pasillos o canales hexagonales abiertos 30. Las superficies de la pluralidad de pasillos abiertos 30 se revisten con un revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio (WO_3/TiO_2) que oxida los contaminantes que se adsorben sobre el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio cuando se activa mediante la luz ultravioleta. Como se explica más adelante, cuando el aire circula a través de los pasillos abiertos 30 del panal 28, los contaminantes del aire que se adsorben sobre la superficie del revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio se oxidan a dióxido de carbono, agua y otras sustancias.

En un ejemplo, el dióxido de titanio es Millennium titania, Degussa P-25, o un dióxido de titanio equivalente. Además, el óxido de tungsteno se emplea como revestimiento. Este óxido metálico puede combinarse también con un aditivo metálico como oro, plata, paladio, platino y rutenio.

Una fuente de luz 32 colocada entre panales 28 sucesivos activa el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio sobre la superficie de los pasillos abiertos 30. Como se muestra, los panales 28 y la fuente de luz 32 se alternan en el sistema de purificación de aire 20. Es decir, las luces ultravioleta 32 se colocan entre cada uno de los panales 28. Preferiblemente, la fuente de luz 32 es una fuente de luz ultravioleta que genera luz con una longitud de onda en el intervalo de 180 nanómetros a 400 nanómetros.

El aire purificado sale después del purificador de aire a través de una salida 36. Las paredes 38 del sistema de purificación de aire 20 se forran preferiblemente con un material reflectante 42. El material reflectante 42 refleja la luz ultravioleta sobre la superficie de los pasillos abiertos 30 del panal 28.

La Figura 4a ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo del método de preparar un fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio. Se prepara una solución acuosa que contiene aproximadamente 1,0-3,0 mg/ml de para-tungstato de amonio ($(NH_4)_{10}W_{12}O_{41}$). Preferiblemente, la solución contiene aproximadamente 2,0 mg/ml de paratungstato de amonio. Un peso fijo de dióxido de titanio 62 se añade y se dispersa en la solución de paratungstato de amonio para formar una suspensión.

La suspensión resultante se agita 64 durante la noche y después se homogeneiza durante aproximadamente 10-30 minutos empleando un homogeneizador 66 con un generador de dispersión. En un ejemplo, la suspensión se homogeneiza a una velocidad de 7.500 rpm, y el generador de dispersión tiene un diámetro de 30 mm y 15 ranuras.

Un dispositivo de secado 68, tal como un evaporador rotativo de vacío, evapora la suspensión resultante hasta sequedad. El producto se seca adicionalmente durante la noche en un vacío 70 a una temperatura entre 60-80ºC. Preferiblemente, el producto se seca a una temperatura de 70ºC.

El producto se calcina después 72 calentando el producto a una velocidad de 1-5ºC por minuto a una temperatura entre 350-500ºC en presencia de aire o haciendo circular una mezcla de gases oxígeno y argón. Preferiblemente, el producto se calienta a una velocidad de 1,5ºC por minuto. El producto se calienta preferiblemente a una temperatura de 450ºC, ya que esta temperatura ofrece una actividad fotocatalítica ligeramente superior. Una vez se ha alcanzado la temperatura deseada, la temperatura se mantiene durante aproximadamente 0,5-3 horas. Preferiblemente, la temperatura se mantiene durante una hora. En presencia de oxígeno, la calcinación descompone el paratungstato de amonio hasta formar óxido de tungsteno, agua y amoníaco.

La Figura 4b ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo del método de aplicar el producto fotovoltaico a un sustrato. Como ejemplo, el polvo de óxido de tungsteno/dióxido de titanio resultante se añade al agua destilada 74 para hacer una suspensión acuosa del 25% en peso. La suspensión se homogeneiza después 76 durante 10-30 minutos usando el homogeneizador con el generador de dispersión a una velocidad de 7.500 rpm. La suspensión de óxido de tungsteno/dióxido de titanio resultante se aplica después 78 a la superficie del panal 28. Preferiblemente, el panal 28 se limpia previamente con acetona y metanol para eliminar la suciedad y el aceite y se limpia la superficie para realzar la adherencia del revestimiento aplicado al panal 28.

La suspensión se aplica a la superficie del panal 28 por pulverización, electroforesis y revestimiento por inmersión. Después de que se aplica la suspensión, la suspensión se deja secar, formando un revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio en el panal 28.

El proceso de homogeneización tiene un efecto significativo sobre el comportamiento del revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio. Se sugiere que las fuerzas de cizalla generadas por el homogeneizador 66 rompen los grandes aglomerados de óxido de tungsteno/dióxido de titanio en partículas mucho más pequeñas, permitiendo que el fotocatalizador esté muy repartido por el panal 28. Por tanto, la carga de fotocatalizador requerida puede lograrse por un único proceso de pulverización o de inmersión de la suspensión homogeneizada. Adicionalmente, el revestimiento fotocatalítico tiene buen comportamiento de adherencia. Cuando se pulveriza la suspensión sobre el panal 28, el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio está muy disperso sobre el

panal 28 y sólo se requiere un único proceso de revestimiento para depositar la mínima carga fotocatalítica requerida.

El proceso homogeneizador tiene un efecto significativo sobre la carga del peso y el comportamiento global del revestimiento fotocatalítico 40. La carga de revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio está en el intervalo de 0,1 mg/cm^2 a 1,7 mg/cm^2 o, de forma equivalente, el revestimiento fotocatalítico 40 tiene un espesor de 1 a 20 micrómetros. Preferiblemente, el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio tiene una carga en el intervalo entre 0,5 mg/cm^2 a 1,0 mg/cm^2 o, de forma equivalente, el revestimiento fotocatalítico 40 tiene un espesor de 4 a 8 micrómetros. Al emplear un único proceso de revestimiento por pulverización o por inmersión, la carga del peso es de aproximadamente 0,8 mg/cm^2, que supera la carga mínima de 0,5 mg/cm^2 del comportamiento fotocatalítico.

Durante el funcionamiento del sistema de purificación de aire 20, la fuente de luz 32 se ilumina para activar el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio sobre la superficie del panal 28. Cuando los fotones de la luz ultravioleta son absorbidos por el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, un electrón es promovido desde la banda de valencia a la banda de conducción, produciendo una carga positiva libre en la banda de valencia. El revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio debe estar en presencia de oxígeno y agua para oxidar los contaminantes hasta formar dióxido de carbono, agua y otras sustancias. Los electrones que son promovidos hasta la banda de conducción son capturados por el oxígeno. Las cargas positivas en la banda de valencia reaccionan con moléculas de agua adsorbidas en el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio para formar radicales hidroxilo reactivos.

Cuando un contaminante del aire es adsorbido sobre el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, el radical hidroxilo ataca al contaminante, sustrayendo un átomo de hidrógeno del contaminante. En este método, el radical hidroxilo oxida los contaminantes y produce agua, dióxido de carbono y otras sustancias.

Como se muestra en la Figura 5, el óxido de tungsteno del revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio está muy disperso y forma una monocapa sobre la superficie del dióxido de titanio. Una fase separada de óxido de tungsteno no se observa empleando mediciones de difracción de rayos X y de microscopía electrónica de transmisión. Se cree que el óxido de tungsteno es injertado en la superficie del dióxido de titanio a través de la reacción de paratungstato de amonio ($(NH_4)_{10}W_{12}O_{41}$) con los grupos hidroxilo de la superficie del dióxido de titanio. La monocapa completa resultante de óxido de tungsteno puede cubrir completamente la superficie de dióxido de titanio con un espesor atómico o la monocapa parcial resultante de óxido de tungsteno puede cubrir parcialmente la superficie de dióxido de titanio. Cargas superiores de óxido de tungsteno sobre el dióxido de titanio (mayores del 6% en moles) pueden dar como resultado multicapas de óxido de tungsteno sobre la superficie de dióxido de titanio, haciendo el catalizador menos activo.

Las especies de óxido de tungsteno sobre la superficie de dióxido de titanio modifican las propiedades de la superficie del dióxido de titanio. Por ejemplo, el pH del revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio es 1,7, mientras que el pH del revestimiento de fotocatalizador de dióxido de titanio es de 9,5. La carga de óxido de tungsteno sobre dióxido de titanio cambia el dióxido de titanio desde ligeramente básico a fuertemente ácido. Se cree que el incremento en la acidez de la superficie del dióxido de titanio incrementa la afinidad de las moléculas de contaminantes hacia la superficie del fotocatalizador, incrementando por tanto la resistencia a la adsorción del fotocatalizador. La actividad fotocatalítica es mejorada por la mejorada capacidad de adsorción. Adicionalmente, el incremento de la acidez de la superficie incrementa la densidad de grupos radicales hidroxilo sobre la superficie, y por tanto proporciona una incrementada cantidad de radicales hidroxilo para facilitar la reacción fotocatalítica.

El dióxido de titanio del revestimiento fotocatalítico 40 contiene la fase rutilo del cristal. En un ejemplo, el dióxido de titanio del revestimiento fotocatalítico 40 incluye aproximadamente 20% de fase rutilo del cristal y aproximadamente 80% de fase anatasa del cristal.

El revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio de la presente invención tiene gran estabilidad a las variaciones de humedad que normalmente tienen lugar en sistemas HVAC. Típicamente, un sistema HVAC 14 funciona en un intervalo de humedad de 10-60% en edificios. El comportamiento fotocatalítico del revestimiento de dióxido de titanio de la técnica anterior se ha visto afectado por el vapor de agua en el aire porque el vapor de agua y los contaminantes gaseosos rivalizan por sitios de adsorción en el fotocatalizador de dióxido de titanio. El fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio de la presente invención incrementa la afinidad de los contaminantes sobre las moléculas de agua. Por tanto, la humedad tiene un efecto reductor sobre el comportamiento oxidativo del revestimiento fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio. Dicho de otra forma, el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio compensa los efectos de la humedad.

La Figura 6 ilustra un gráfico de la velocidad intrínseca de la oxidación de acetaldehido como una función de la humedad relativa. Como se muestra, la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de titanio de la técnica anterior y el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio de la presente invención disminuyen ambos con un incremento de la humedad. Sin embargo, la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio es mayor que la velocidad de oxidación del fotocatalizador de dióxido de titanio a todos

los niveles de humedad. A medida que se incrementa la humedad, la actividad fotocatalítica del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio disminuye a una velocidad que es menor que la disminución de la actividad fotocatalítica del dióxido de titanio.

La Figura 7 ilustra un gráfico de la velocidad intrínseca de la oxidación de propanal como una función de la humedad relativa. Como se muestra, la humedad no tiene un gran impacto sobre la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio y la velocidad de oxidación permanece estable a medida que aumenta la humedad. La velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de titanio de la técnica anterior disminuye con el incremento de la humedad. La velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio es de nuevo mayor que la velocidad de oxidación del fotocatalizador de dióxido de titanio a todos los niveles de humedad.

La Figura 8 ilustra un gráfico de la velocidad intrínseca de la oxidación de tolueno como una función de la humedad relativa. Como se muestra, la humedad no tiene tampoco un gran impacto sobre la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, y la velocidad de oxidación permanece estable a medida que aumenta la humedad. La velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de titanio de la técnica anterior también permanece relativamente estable con el aumento de la humedad. Sin embargo, la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio es mayor que la velocidad de oxidación del fotocatalizador de dióxido de titanio a todos los niveles de humedad.

La Figura 9 ilustra un gráfico de la velocidad intrínseca de la oxidación de buteno como una función de la humedad relativa. Como se muestra, la humedad tiene un impacto sobre la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio y la velocidad de oxidación disminuye con el aumento de la humedad. La velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de titanio de la técnica anterior disminuye también con el aumento de la humedad. Sin embargo, la velocidad de oxidación del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio es mayor que la velocidad de oxidación del fotocatalizador de dióxido de titanio a todos los niveles de humedad.

Diferentes volúmenes de la suspensión de paratungstato de amonio se aplican para lograr diferentes cargas de óxido de tungsteno sobre dióxido de titanio en el fotocatalizador resultante. En un ejemplo, 6,396 g de dióxido de titanio se añadieron separadamente a 100 ml, 300 ml y 500 ml de la suspensión que contiene aproximadamente 2,0 mg/ml de paratungstato de amonio. De forma correspondiente, pueden lograrse una serie de cargas de óxido de tungsteno de 1% en moles, 3% en moles y 5% en moles en el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio resultante.

La Figura 10 ilustra un gráfico de la eficiencia del fotocatalizador como una función del contenido de óxido de tungsteno. Como se muestra, para las oxidaciones de propanal, tolueno y buteno, el revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio tiene la mayor eficiencia cuando el óxido de tungsteno tiene una concentración de aproximadamente 2 a 4 % en moles. Cuando se emplea un fotocatalizador al 3% en moles de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio duplicaba la velocidad de reacción intrínseca de la oxidación de propanal sobre el fotocatalizador de dióxido de titanio de la técnica anterior. Existe un aumento del 80% en la velocidad de reacción intrínseca de la oxidación de tolueno sobre el fotocatalizador de dióxido de titanio de la técnica anterior. La velocidad de reacción intrínseca de la oxidación de buteno es triplicada sobre el fotocatalizador de dióxido de titanio de la técnica anterior.

Los huecos en un panal 28 tienen típicamente forma hexagonal, pero debe comprenderse que pueden emplearse otras formas de huecos. A medida que los contaminantes se adsorben sobre el revestimiento fotocatalítico 40 de óxido de tungsteno/dióxido de titanio de la estructura en presencia de una fuente de luz, los contaminantes se oxidan hasta formar agua, dióxido de carbono y otras sustancias.

La eficiencia efectiva para un purificador de aire que funcione en aire de interiores que está contaminado por un contaminante j se define como:

$$\eta_{ef.ef.} = 1 - (\Sigma C_j^o / \Sigma C_j^i) = 1 - (\Sigma C_j^o / C_T) \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

en la que ΣC_j^i y ΣC_j^o representan la suma de concentraciones de contaminantes en el reactor y fuera de él, respectivamente.

La eficacia de un purificador de aire puede escribirse como la suma de las eficiencias de cada una de las especies en el aire ponderado por la fracción molar X_j de contaminante de esas especies:

$$CADR_{ef.ef.} = CADR_1X_1 + CADR_2X_2 + CADR_3X_3 + \ldots \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Un catalizador para la purificación de aire necesita ser eficaz para todas las especies en el aire, como se describe en la Ecuación 2, o de forma más importante para todas las especies en el aire importantes para la calidad del aire. La fracción molar X puede ser reemplazada con un factor de ponderación Z que representa la importancia de esas especies en la calidad total del aire de interior. En este caso, la Ecuación 2 pasa a ser:

$$CADR_{ef.ef.} = CADR_1Z_1 + CADR_2Z_2 + CADR_3Z_3 + \ldots \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Un potencial factor de ponderación AQI es el Índice de Calidad del Aire Z, expresado como:

$Z_j = T_j^i/AQI^i$ (Ecuación 4)

donde T es la contribución de las especies individuales j en el índice total AQI.

La importancia en definir el comportamiento de la purificación del aire se demuestra en la presente invención, en la que el comportamiento del catalizador es una suma ponderada para muchas especies de importancia para la calidad del aire de interior, y no sólo para algunas especies.

El revestimiento fotocatalítico 40 de la presente invención mejora la velocidad efectiva de suministro de aire limpio del sistema de purificación de aire 20. Además, como el revestimiento fotocatalítico 40 tiene gran estabilidad frente a variaciones de la humedad, hay un menor efecto desfavorable sobre la velocidad efectiva de suministro de aire limpio debido a la humedad.

Existen varias ventajas del fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio de la presente invención. Primero, el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio es muy activo, aumentando enormemente la velocidad intrínseca de reacción de los contaminantes frente al fotocatalizador de dióxido de titanio de la técnica anterior. Además, el fotocatalizador de óxido de tungsteno/dióxido de titanio tiene gran estabilidad frente a las variaciones de humedad en un sistema HVAC. Por último, el método del revestimiento tiene un coste eficaz, ya que sólo se necesita un ciclo de proceso de pulverización o de inmersión para depositar una mínima carga de 0,5 mg/cm^2 en el panal 28.

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema de purificación de aire (20) que comprende:

un sustrato (28);

un revestimiento fotocatalítico (40) de óxido metálico/dióxido de titanio que incluye una monocapa de óxido de tungsteno sobre dióxido de titanio, aplicado dicho revestimiento fotocatalítico (40) sobre dicho sustrato (28) y

una fuente de luz ultravioleta (32) para activar dicho revestimiento fotocatalítico (40) de óxido de tungsteno/dióxido de titanio, y dicho revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio que oxida los contaminantes del flujo de aire, que son adsorbidos sobre dicho revestimiento fotocatalítico de óxido de tungsteno/dióxido de titanio cuando es activado por dicha fuente de luz; caracterizado porque:

dicho sustrato comprende panales (28) sucesivos, teniendo cada panal una pluralidad de pasillos abiertos hexagonales (30), estando dispuesto dicho revestimiento fotocatalítico sobre las superficies de dichos pasillos (30); y por comprender:

una pluralidad de fuentes de luz ultravioleta (32), alternándose dicha pluralidad de panales (28) y dicha pluralidad de fuentes de luz ultravioleta (32).

2.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, en el que dicho sustrato (28) es uno de aluminio y de una aleación de aluminio.

3.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, que incluye además un filtro de partículas (24) para bloquear el polvo en dicho flujo de aire.

4.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, que incluye además un ventilador (34) que impulsa dicho flujo de aire a dicho sistema de purificación de aire.

5.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, que incluye además un alojamiento (38), estando el sistema de purificación de aire en dicho alojamiento, y estando dicho alojamiento forrado con un material reflectante (42).

6.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en cualquier reivindicación precedente, en el que dicha fuente de luz ultravioleta genera luz en el intervalo de 180 nanómetros a 400 nanómetros.

7.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, en el que dicho revestimiento (40) tiene una carga entre 0,1 mg/cm^2 y 1,7 mg/cm^2.

8.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, en el que el sistema de purificación de aire es empleado en un sistema HVAC (14).

9.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, en el que el dióxido de titanio de dicho revestimiento fotocatalítico (40) de óxido de tungsteno/dióxido de titanio contiene una fase rutilo del cristal.

10.- El sistema de purificación de aire (20) según se expone en la reivindicación 1, en el que dicho revestimiento fotocatalítico (40) de óxido de tungsteno/dióxido de titanio contiene una fase rutilo del cristal.

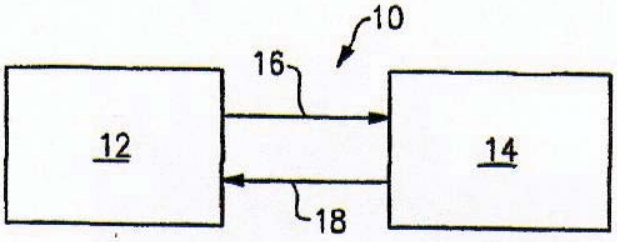

FIG.1

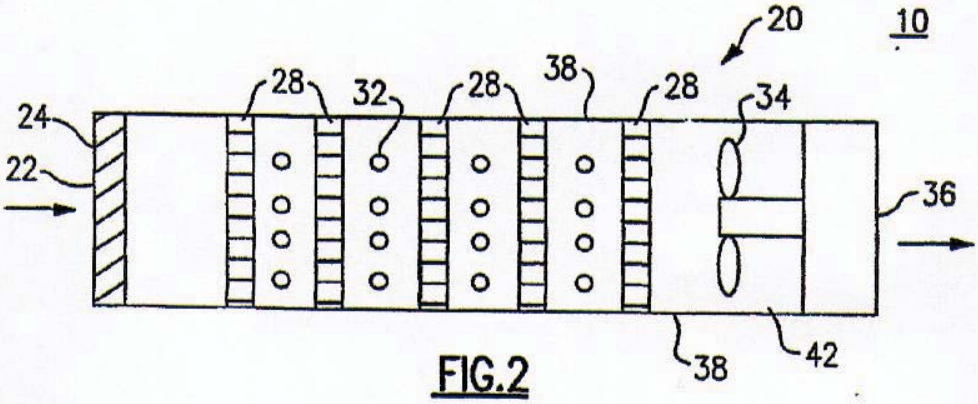

FIG.2

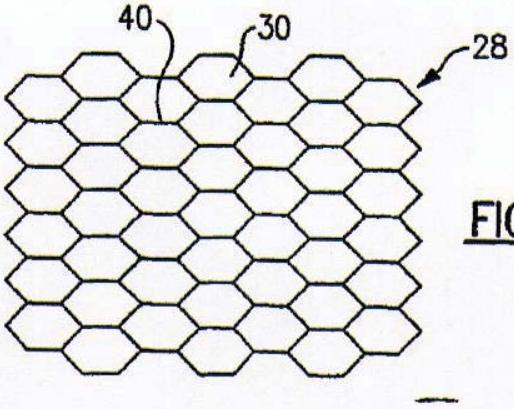

FIG.3

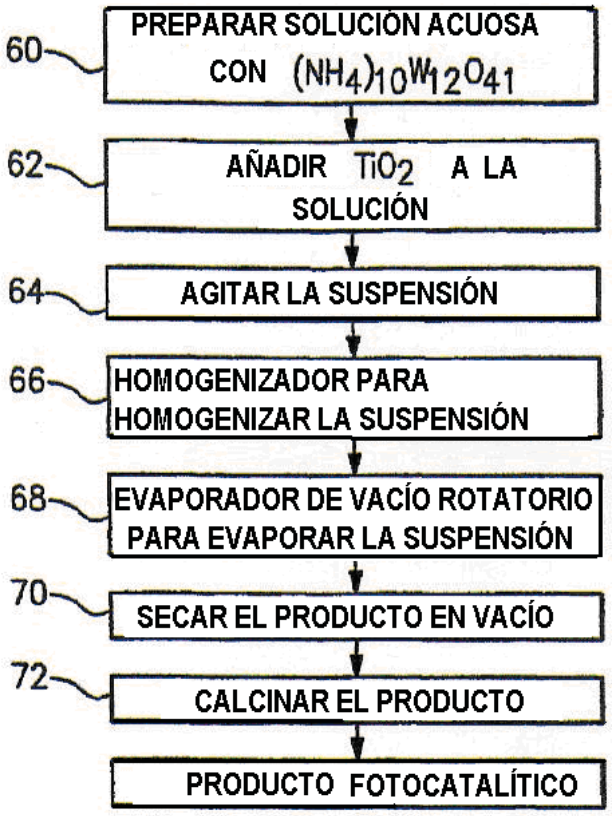

FIG.4A

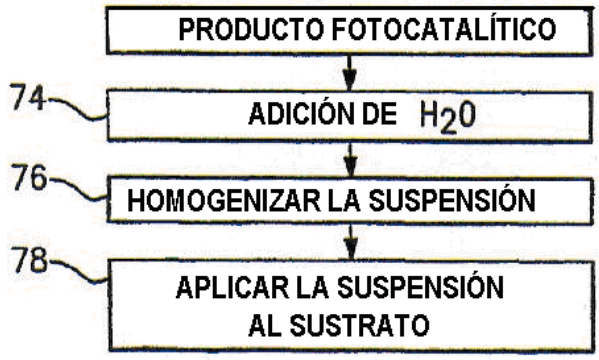

FIG.4B

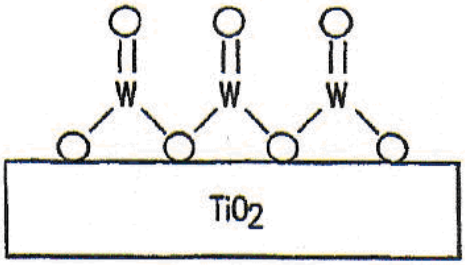

FIG.5

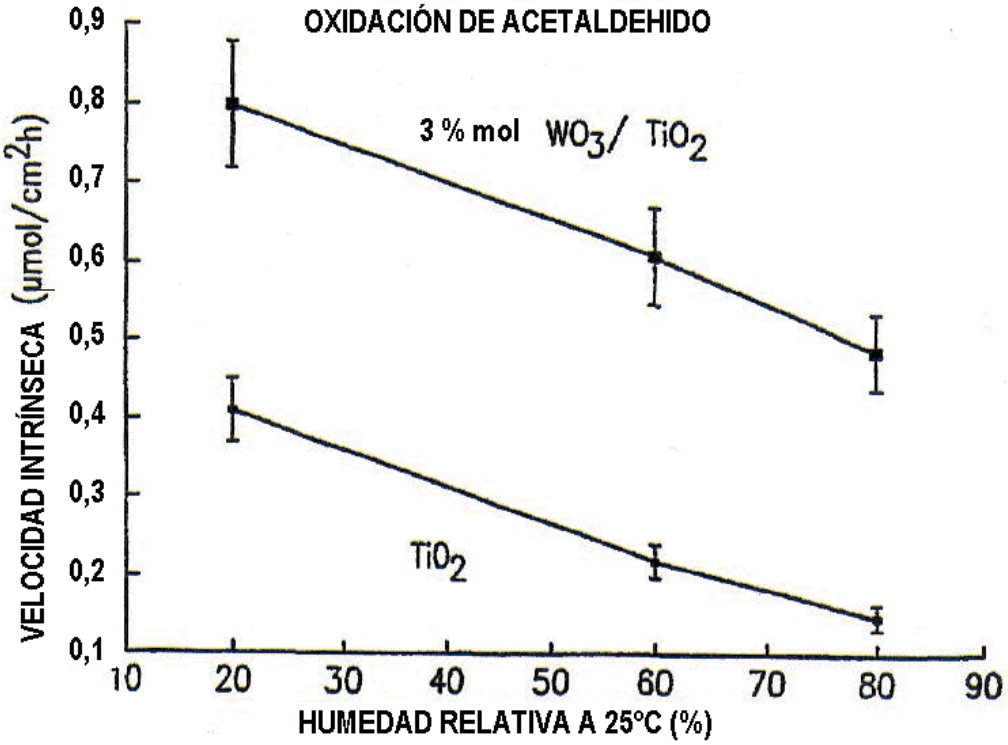
OXIDACIÓN DE ACETALDEHIDO
3 % mol WO3/ TiO2
TiO2
VELOCIDAD INTRÍNSECA (µmol/cm2h)
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
10
20
30
40
50
60
70
80
90
HUMEDAD RELATIVA A 25°C (%)

FIG.6

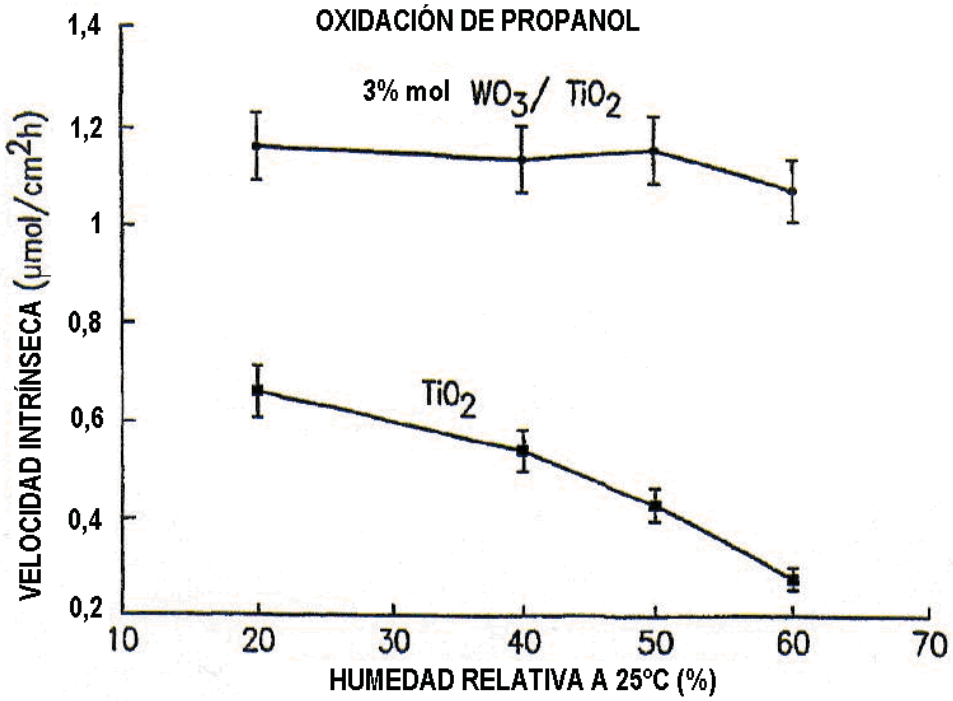
OXIDACIÓN DE PROPANOL
3% mol WO3/ TiO2
TiO2
VELOCIDAD INTRÍNSECA (µmol/cm2h)
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
10
20
30
40
50
60
70
HUMEDAD RELATIVA A 25°C (%)

FIG.7

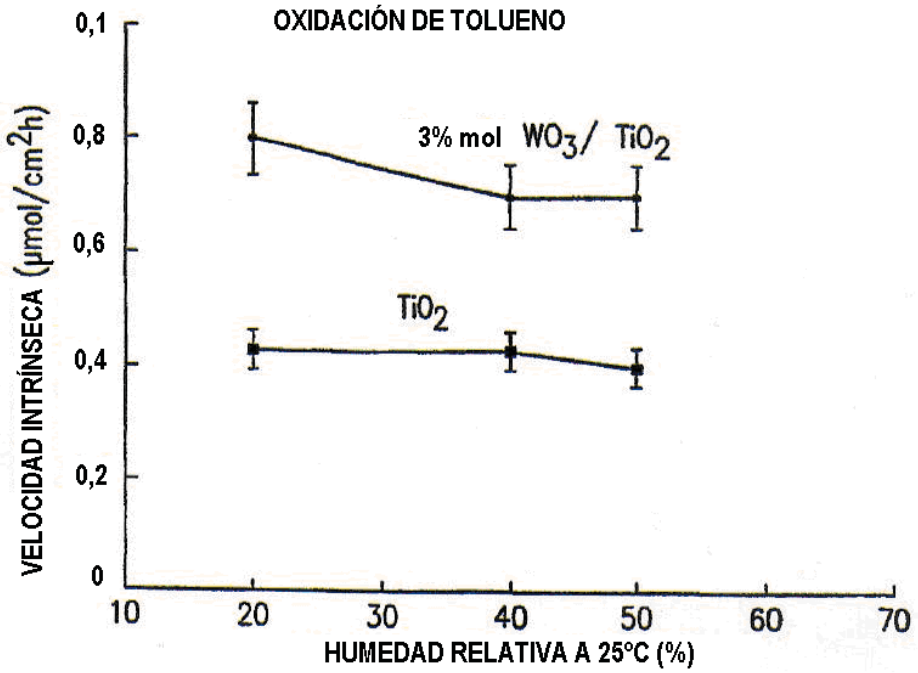
OXIDACIÓN DE TOLUENO
VELOCIDAD INTRÍNSECA (µmol/cm2h)
0,1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
3% mol WO3/ TiO2
TiO2
10
20
30
40
50
60
70
HUMEDAD RELATIVA A 25°C (%)

FIG.8

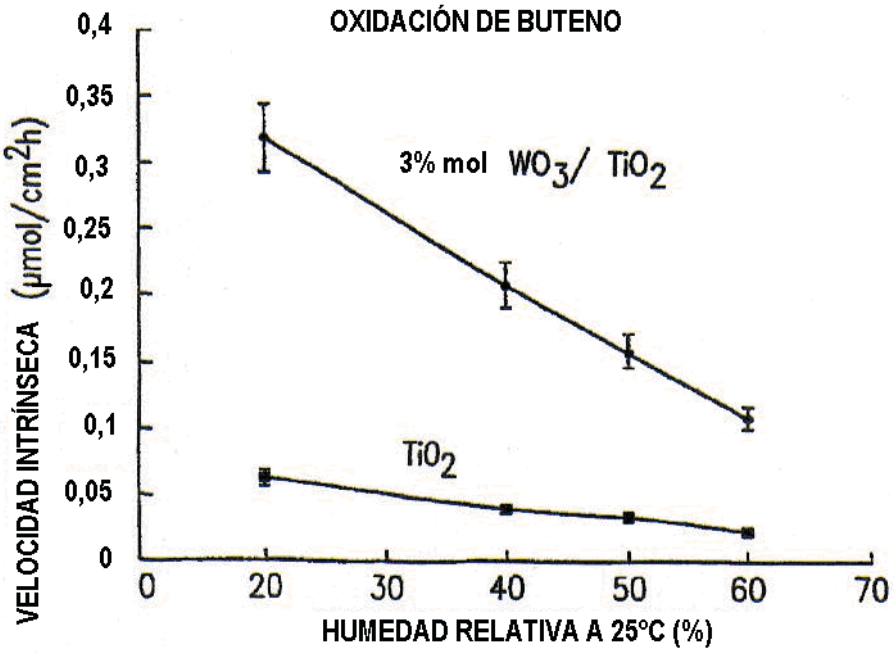
OXIDACIÓN DE BUTENO
VELOCIDAD INTRÍNSECA (µmol/cm2h)
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
3% mol WO3/ TiO2
TiO2
0
20
30
40
50
60
70
HUMEDAD RELATIVA A 25°C (%)

FIG.9

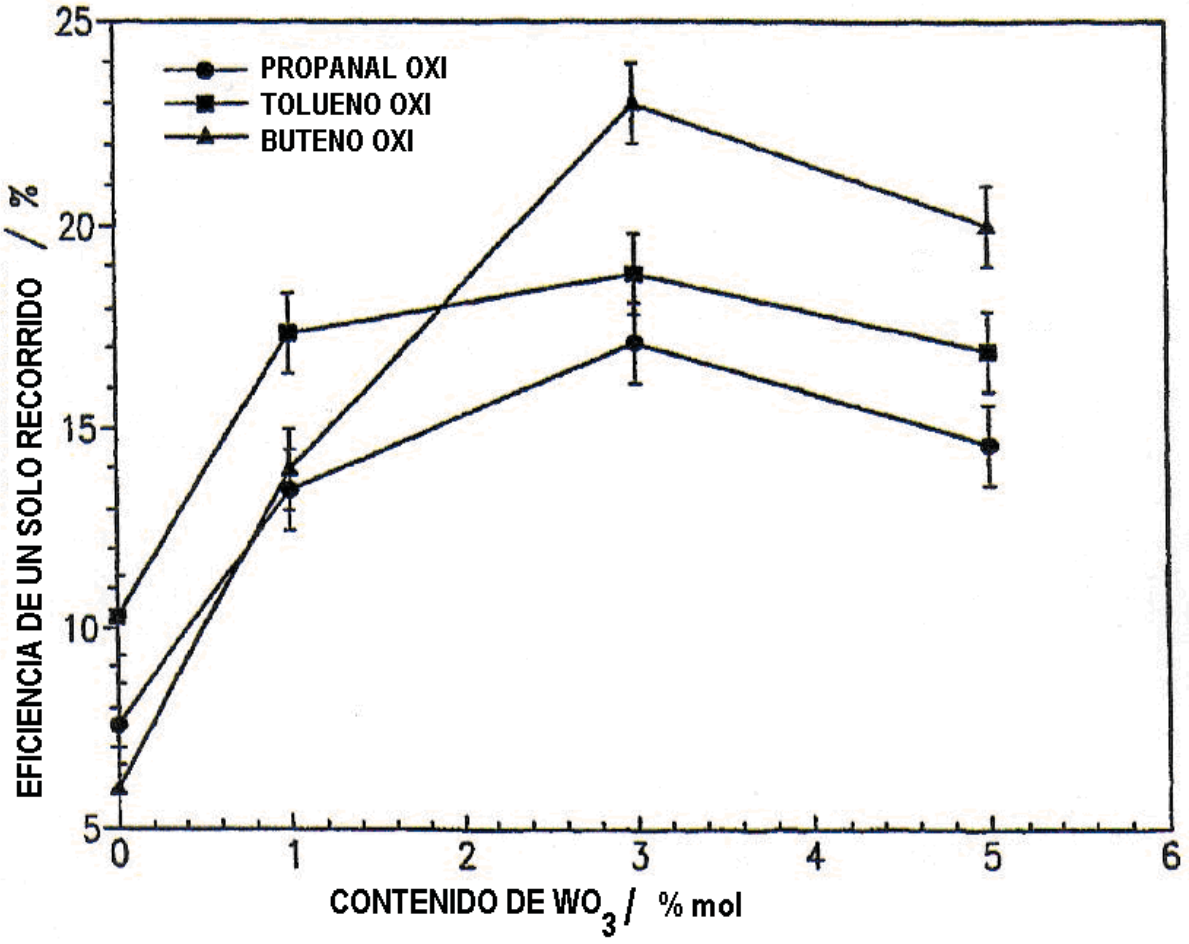
PROPANAL OXI
TOLUENO OXI
BUTENO OXI
EFICIENCIA DE UN SOLO RECORRIDO / %
CONTENIDO DE WO3 / % mol
25
20
15
10
5
0
1
2
3
4
5
6

FIG.10