

Recibido: 21 de enero de 2013 • Aceptado: 29 de abril de 2013

Oxidación catalítica de tolueno y 2-propanol sobre óxidos mixtos de Mn y Co obtenidos por coprecipitación

Resumen

Usando el método de coprecipitación, se prepararon óxidos mixtos de manganeso y cobalto con relaciones molares $M^{2+} + Mg^{2+}/M^{3+}=3$ y $M^{2+}/Mg^{2+}=1$. Los sólidos se caracterizaron mediante las técnicas de difracción de rayos X (XRD), reducción a temperatura (TPR- H_2) y adsorción de N_2 ; fueron empleados para la oxidación catalítica de una mezcla de dos compuestos orgánicos volátiles representativos (COVs): el tolueno, el 2-propanol. Los catalizadores fueron activos en la oxidación de los dos COVs, siendo el tolueno el compuesto más difícil de oxidar. En la oxidación de tolueno los catalizadores mostraron 100% de conversión hacia CO_2 y agua, mientras que con el 2-propanol se produjo acetona, la cual posteriormente se oxidó hasta CO_2 . Las temperaturas de conversión de tolueno y 2-propanol, en la mezcla de COVs, fueron superiores a las temperaturas obtenidas en la oxidación individual del tolueno y del 2-propanol. Este resultado sugiere un posible efecto de inhibición en la oxidación de los COVs, cuando se tiene la mezcla de los mismos. El óxido mixto de manganeso logró una oxidación del 100% de la mezcla de COVs, mientras que el óxido mixto de cobalto no alcanzó una oxidación total. Adicionalmente, las temperaturas de oxidación con este último catalizador fueron las menores. El excelente desempeño catalítico del óxido de manganeso puede asociarse con su comportamiento redox superior en comparación con el del óxido mixto de cobalto.

Palabras clave: coprecipitación, óxido mixto, compuestos orgánicos volátiles, COVs.

Catalytic oxidation of toluene and 2-propanol over Mn and Co mixed oxides obtained by coprecipitation method

Abstract

Manganese and cobalt mixed oxides with $(M^{2+} + Mg^{2+}) / M^{3+} = 3$ and $M^{2+} / Mg^{2+} = 1$ ratios were obtained by the coprecipitation method. The solids were characterized using X-ray diffraction (XRD), temperature programmed reduction (H_2 -TPR), N_2 adsorption and in the catalytic oxidation of toluene, 2-propanol and their mixture. Catalysts were active in the oxidation of the single VOCs, where the toluene was more difficult to oxidize. The mixed oxides showed 100% conversion to CO_2 in the oxidation of toluene while the 2-propanol was first oxidized to acetone. Remarkable mixture effects were observed on the catalytic performance. In the mixture, 2-propanol and toluene oxidation are inhibited by the presence of the other VOC and is more evident in the case of 2-propanol. Manganese mixed oxide reached 100% conversion in the mixture of VOCs while cobalt mixed oxide did not achieve a complete oxidation. Manganese mixed oxide showed the lowest oxidation temperatures and the highest catalytic performance which is associated to its better redox behavior.

Keywords: Coprecipitation, mixed oxides, volatile organic compounds, VOCs.

A oxidação catalítica de tolueno e 2-propanol em óxidos mistos de Mn e de Co, obtidos por coprecipitação

Resumo

Os óxidos mistos de manganês e cobalto, com proporções molares $M^{2+} + Mg^{2+} / M^{3+}=3$ e $M^{2+}/Mg^{2+} = 1$ foram preparados pelo método de coprecipitação. Os sólidos foram caracterizados por técnicas de difração de raios-X (XRD), redução a temperatura programada (TPR- H_2) e N_2 adsorção, e foram empregados para a oxidação catalítica de compostos orgânicos representativos de dois COVs (compostos orgânicos voláteis), o tolueno e 2 - propanol. Os catalisadores foram ativos na oxidação nos dois COVs sendo o tolueno o composto mais difícil de oxidar. Na oxidação de tolueno os catalisadores mostram uma conversão de 100% para o CO_2 e água, enquanto com 2-propanol produz acetona, a qual é, subsequentemente, oxidada a CO_2 . As temperaturas de conversão de tolueno e 2-propanol na mistura de COVs foram maiores às temperaturas obtidas na oxidação individual de tolueno e 2-propanol. Este resultado sugere um possível efeito inibitório na oxidação dos COVs, quando se tem a mistura dos mesmos. O óxido misto de manganês alcançou uma oxidação de 100% da mistura de COVs, enquanto que o óxido de cobalto não alcançou uma oxidação completa. Além disso, as temperaturas de oxidação com este catalisador são mais baixas. O excelente desempenho catalítico de óxido de manganês pode ser associado com o comportamento redox maior que o de óxido misto de cobalto.

Palavras-chave: coprecipitação, óxidos mistos, compostos orgânicos voláteis, COVs.

Introducción

LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs) son aquellos compuestos que a la temperatura de 293.15 K presentan una presión de vapor de 0.01 kPa o superior, o una volatilidad equivalente a las condiciones particulares de uso (1). De acuerdo con la EPA (Environmental Protection Agency de los EUA) los COVs se definen como compuestos de carbono que tienen una alta actividad fotoquímica (capacidad de reaccionar con los óxidos de nitrógeno y otros contaminantes atmosféricos en presencia de la luz solar para formar oxidantes fotoquímicos); de tal definición se excluyen el carbono, el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y los compuestos con enlaces metal-carbono (2).

Debido a los efectos adversos ocasionados por los COVs, existen acuerdos internacionales y nacionales que regulan y previenen la emisión de estos compuestos contaminantes a la atmósfera y al medio ambiente. Por ejemplo, en Colombia rige la Resolución 610 de 2010 que establece la normatividad de calidad del aire con el fin de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana causados por la concentración de contaminantes en el aire. Así, para el tolueno el nivel máximo permitido es de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en una semana, mientras que para el benceno el nivel permitido es de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por un tiempo de exposición de un año (3).

Con el fin de cumplir las regulaciones establecidas para emisiones de COVs, y teniendo en cuenta el impacto negativo que ejercen estas sustancias, es necesario implementar tecnologías que permitan su eficiente destrucción a un costo energético y económico razonable. Entre los sistemas más empleados para la eliminación de COVs se encuentran la oxidación térmica y la oxidación catalítica.

La oxidación térmica se lleva a cabo en un rango de temperaturas entre 700 y 1000°C, lo que puede producir niveles altos de óxidos de nitrógeno (NO_x) provenientes del nitrógeno presente en el aire, lo que requeriría de un tratamiento posterior de la corriente. Por su parte, la oxidación catalítica disminuye las temperaturas de oxidación entre 300 y 500°C y, en consecuencia, generan menor cantidad de NO_x y una disminución considerable de energía (4, 5, 6). En la mayoría de los casos, la oxidación catalítica parece ser la tecnología óptima para reducir drásticamente las emisiones de COVs. Sin embargo, la formulación catalítica encuentra algunas limitaciones que se atribuyen a la

gran variedad de moléculas de COVs y la naturaleza compleja de las mezclas de los mismos, lo que mantiene el interés en la búsqueda de nuevos materiales catalíticos que logren una mayor eficiencia en la eliminación de estos compuestos contaminantes.

Los óxidos mixtos se encuentran dentro de los catalizadores más empleados para la oxidación de COVs. Uno de los métodos más interesantes para su obtención es a través de precursores tipo hidrotalcita (HTs). Los óxidos obtenidos por el tratamiento térmico de las HTs presentan propiedades únicas como alta área superficial, buena estabilidad térmica, interdispersión homogénea entre los elementos y propiedades básicas, las cuales son características útiles en las reacciones de oxidación (7, 8).

En la búsqueda de catalizadores activos para la oxidación de una amplia gama de COVs, en este trabajo se evaluaron óxidos de manganeso y cobalto provenientes del tratamiento térmico de precursores tipo hidrotalcita, obtenidos por el método de coprecipitación. Estos catalizadores fueron probados en la oxidación individual de tolueno, 2-propanol y su respectiva mezcla, teniendo en cuenta que las emisiones industriales contienen mezclas de COVs y que, según los conocimientos actuales, aún no ha sido reportada la oxidación catalítica de tales mezclas de COVs con catalizadores de este tipo.

Materiales y métodos

Síntesis de los óxidos mixtos de Mn (Mn-Mg-Al) y de Co (Co-Mg-Al)

Se adicionaron gota a gota nitratos de Mg^{2+} , Al^{3+} , $\text{Mn}^{2+}/\text{Co}^{2+}$ a una solución 0.2 M de K_2CO_3 con agitación constante y manteniendo el pH entre 9.5 y 10.5 (mediante adición de una solución 1M de NaOH) y relaciones $\text{M}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / \text{M}^{3+} = 3$ y $\text{M}^{2+} / \text{Mg}^{2+} = 1$ (donde M = Mn o Co). El precipitado que se obtuvo fue envejecido durante 18 h sin agitación. Posteriormente, el sólido se lavó y secó a 60°C en aire por 18 h y se calcinó a 500°C por 16 h para obtener el respectivo óxido mixto identificado como CPMn1.0 para el óxido mixto de manganeso y CPCo1.0 para el óxido mixto de cobalto (9).

Caracterización y ensayo catalítico

Los catalizadores se caracterizaron por difracción de rayos X (DRX), reducción a temperatura programada (TPR-H₂) y área superficial BET. Los sólidos fueron probados en la oxidación individual de 250 ppm de tolueno, 250 ppm de 2-propanol y en la mezcla de los dos COVs manteniendo las mismas concentraciones.

Los patrones de difracción de rayos X fueron tomados con un difractómetro SHIMADZU LAB-XRD-6000 equipado con un ánodo de cobre. Los tamaños de partícula fueron estimados empleando la ecuación de Scherrer y la señal correspondiente al plano 311 del Co_3O_4 para el sólido CPCo1.0 y el plano 211 de Mn_3O_4 para el sólido CPMn1.0.

Los análisis de reducción a temperatura programada (TPR-H₂) fueron realizados en un CHEMBET 3000 QUANTACHROME equipado con un detector de conductividad térmica. Para el análisis, los óxidos fueron desgasificados a 400°C durante 1 hora en presencia de Ar y reducidos empleando una mezcla al 10% (v/v) H_2/Ar , un flujo de 30 mL min^{-1} y una rampa de calentamiento de 10°C/min. En la determinación del área superficial (BET) se empleó un sortómetro ASAP 2020 MICROMERITICS. Las muestras fueron desgasificadas a 350°C durante 4 horas y posteriormente se realizó la isoterma de adsorción-desorción de N_2 a 77K.

El desempeño catalítico de los sólidos fue evaluado en la oxidación catalítica de 250 ppm de COV (tolueno o 2-propanol) y una mezcla de

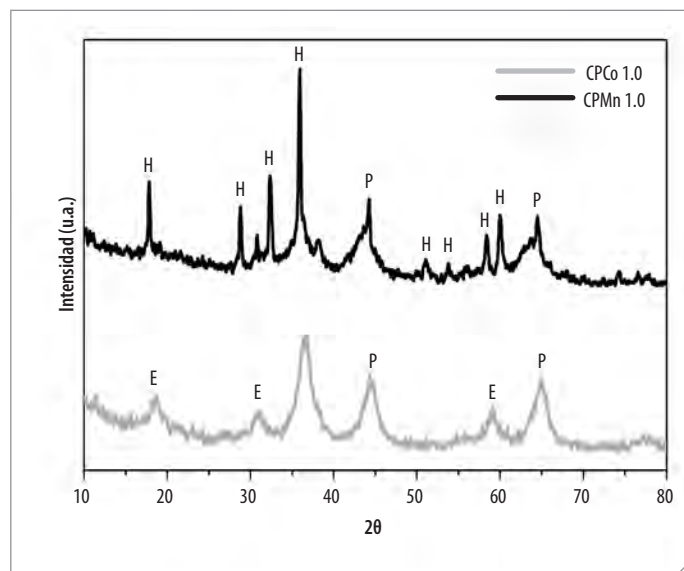


Figura 1. Difractograma de los óxidos mixtos de manganeso y cobalto: (P) MgO ; (H) Mn_3O_4 ; (E) CoAl_2O_4 , Co_2AlO_4 y Co_3O_4 .

Tabla 1. Tamaños de partícula de los óxidos (d), temperaturas de reducción (T_I y T_{II}), consumos de H_2 , área superficial (SBET) y volumen de mesoporo (V_{mes}) de los catalizadores Mn-Mg-Al y Co-Mg-Al.

Catalizador	d (nm) ± 3 nm	T_I (°C)	T_{II} (°C)	Consumo de H_2 (mmol/g) $T < 500^\circ\text{C}$	SBET (m^2/g)	V_{mes} (cm^3/g)
CPMn 1.0	36	386	490 552 766	2.4	186	0.815
CPCo 1.0	7	400	865	1.8	153	0.528

250 ppm de tolueno y 250 ppm de 2-propanol, empleando un caudal de 500 mL/min y 0.200 g de catalizador (tamizado $< 250\mu\text{m}$). Los productos de reacción fueron evaluados mediante espectrometría de masas (equipo MASS SPECTROMETER BALZERS OMNISTAR®) siguiendo las señales $m/z=91$, $m/z=45$, $m/z=44$, $m/z=43$ y $m/z=41$, correspondientes al tolueno, 2-propanol, CO_2 , acetona y propeno, respectivamente.

Resultados y discusión

La Figura 1 presenta los patrones de difracción de los óxidos de manganeso y cobalto obtenidos a partir del precursor hidrotalcita. El difractograma de CPMn 1.0 exhibe las señales propias de la fase periclase MgO (JCPDS N°. 045-0946) y hausmanita Mn_2O_3 (JCPDS N°. 024-0734) las cuales se pueden solapar con las fases espinela del tipo Mn_2MgO_4 y Mn_2AlO_4 (JCPDS N°. 023-0392 y JCPDS N°. 029-0881).

Para el caso del óxido de cobalto CPCo 1.0, no se observó la formación de los óxidos CoO y Co_2O_3 . Sin embargo, los iones $\text{Co}^{3+/2+}$ pueden encontrarse en estructuras espinela del tipo CoAl_2O_4 , Co_2AlO_4 y Co_3O_4 (JCPDS N°. 044-0160; JCPDS N°. 030-0814; JCPDS N°. 042-1467) cuyas señales se superponen sin que puedan diferenciarse. La señal a $19^\circ 2\theta$ podría indicar que $\text{Co}^{3+/2+}$ o Co_3O_4 se encuentra incorporado dentro la fase espinela Mg-Al (10). Los tamaños de partícula de los óxidos CPMn1.0 y CPCo1.0 se calcularon empleando la ecuación de Scherrer y aparecen en la Tabla 1.

La Figura 2 muestra los perfiles de reducción de los óxidos CPMn1.0 y CPCo1.0, respectivamente. El perfil de TPR- H_2 para CPMn1.0 es re-

lativamente complejo en razón a los múltiples estados de oxidación del manganeso y a los diferentes ambientes químicos en los que se encuentra. Se caracteriza fundamentalmente por tener dos regiones de reducción, a bajas y altas temperaturas, localizadas en los rangos $150\text{--}400^\circ\text{C}$ y $400\text{--}800^\circ\text{C}$, respectivamente. Las señales en el rango de bajas temperaturas (T_I) se atribuyen a la reducción de $\text{MnO}_2/\text{Mn}_2\text{O}_3$ hasta Mn_3O_4 , mientras que las correspondientes a temperaturas mayores (T_{II}) se deben a la reducción de Mn_3O_4 hasta MnO y a la reducción de especies oxidicas del manganeso que se encuentran dentro de la solución sólida. Es evidente la presencia de especies de manganeso en diferentes estados de oxidación en el óxido CPMn1.0 (11, 12).

El perfil de reducción de CPCo1.0 presenta igualmente dos señales a bajas y altas temperaturas. La señal a bajas temperaturas (T_I) se atribuye a la reducción de Co_3O_4 hasta Co metálico y la señal a altas temperaturas (T_{II}) se deriva de la reducción de especies Co-Al que se encuentran dentro de la solución sólida (12). Las temperaturas máximas de reducción para las dos zonas señaladas se indican en la Tabla 1, donde se incluye igualmente el consumo de hidrógeno necesario para verificar la reducción respectiva.

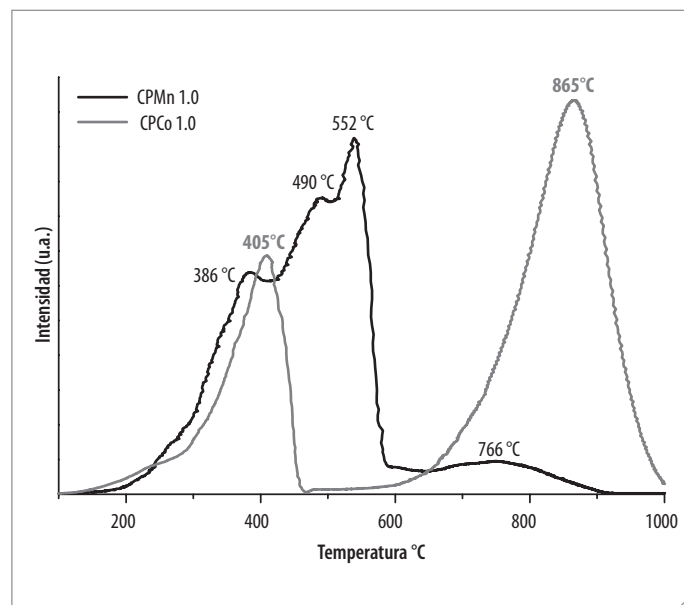
De acuerdo a estos resultados el sólido CPMn1.0 presenta el mayor consumo de hidrógeno en las condiciones empleadas durante la reacción catalítica ($< 500^\circ\text{C}$). Dicho resultado refleja mejores movibilidades electrónica y de oxígeno, lo que probablemente hace de este sólido un catalizador más eficiente si se tiene en cuenta que, en los óxidos mixtos, la oxidación de COVs se lleva a cabo a través de un mecanismo redox conocido como mecanismo Mars van Krevelen (13).

En cuanto al análisis textural se obtienen isotermas tipo II (IUPAC) en ambos óxidos, las cuales son características de materiales no porosos (14). El área específica de estos sólidos se atribuye a la formación de poros resultantes de la destrucción de los espacios laminares de la hidrotalcita después de la calcinación (pérdida de agua y carbonatos) (15). El óxido mixto CPMn1.0 presentó una mayor área superficial y volumen de mesoporo.

La Figura 3 presenta los resultados de la oxidación individual de tolueno y 2-propanol sobre los catalizadores evaluados. En la oxidación de 2-propanol se encuentra primero la formación de acetona como producto intermediario, la cual es posteriormente oxidada hasta CO_2 y H_2O . Estos resultados son consistentes con los reportes de literatura en donde la acetona se reporta como producto intermediario en la combustión de 2-propanol (16). La máxima formación de acetona sobre el óxido de manganeso CPMn1.0, se lleva a cabo a bajas temperaturas ($\sim 190^\circ\text{C}$), por lo que la oxidación completa se logra a menor temperatura ($\sim 290^\circ\text{C}$) que la requerida por el sólido de cobalto CPCo1.0 ($\sim 340^\circ\text{C}$).

De otro lado, la oxidación completa del tolueno es más difícil de completar que la del alcohol, requiriendo temperaturas más elevadas (310°C y 350°C para CPMn1.0 y CPCo1.0, respectivamente), siendo el agua y el CO_2 los únicos productos en la oxidación total de tolueno sobre ambos catalizadores.

Los resultados revelan que los óxidos de Mn y Co, sintetizados a través de la coprecipitación de precursores tipo hidrotalcita, presentan un buen desempeño catalítico por lo que fueron evaluados en la oxidación de una mezcla de tolueno y 2-propanol.

**Figura 2.** Perfiles de TPR- H_2 de los óxidos CPMn1.0 y CPCo1.0.

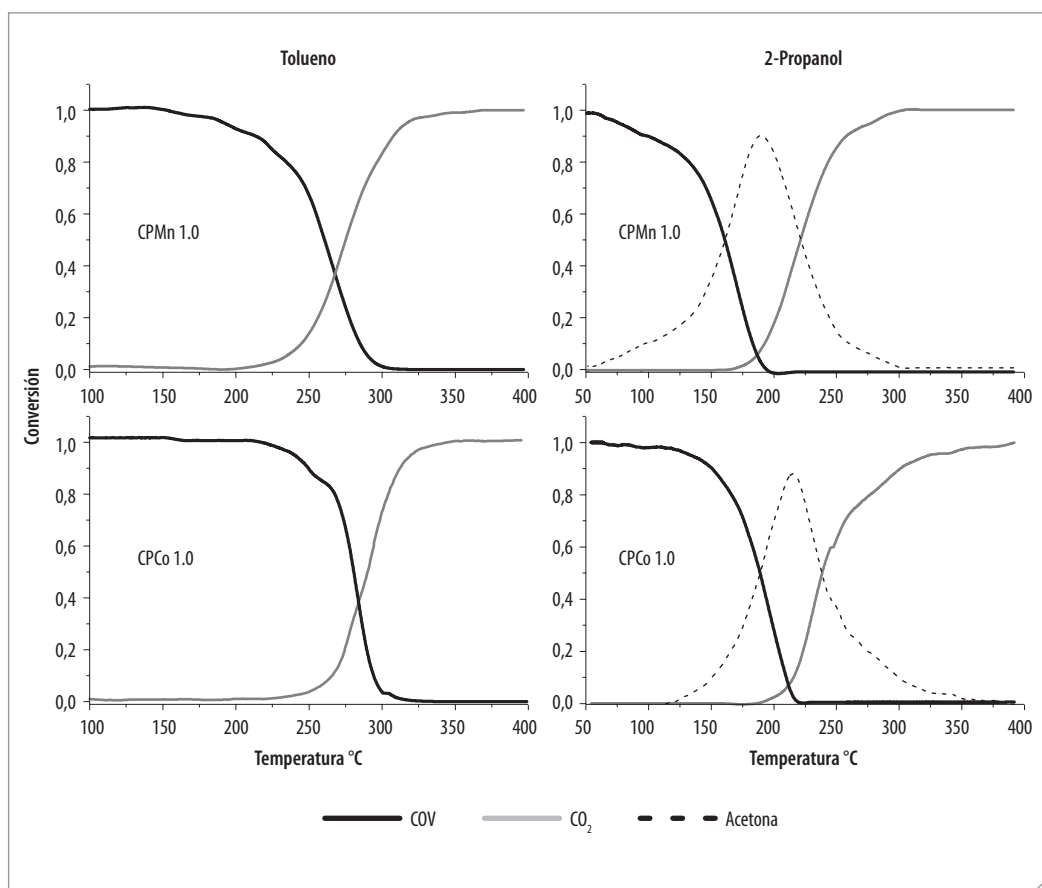


Figura 3. Desempeño catalítico de los óxidos CPMn1.0 y CPCo1.0 en la oxidación de tolueno y 2-propanol (250 ppm de COV).

La Figura 4 presenta las curvas de conversión para la mezcla de 2-propanol y tolueno sobre los óxidos de manganeso y cobalto respectivamente. Es evidente que la presencia de tolueno inhibe la oxidación de 2-propanol en ambos óxidos, ya que la temperatura correspondiente a la oxidación total del 2-propanol a CO₂ solo se alcanza cuando todo el tolueno se ha oxidado completamente, indicando que la temperatura de conversión total estará determinada por la molécula más difícil de oxidar que en este caso es el tolueno.

Adicionalmente se observa la formación de propeno como otro producto intermediario en la oxidación del 2-propanol, siendo esta una molécula que desfavorece la oxidación total del alcohol por requerir temperaturas más elevadas para alcanzar la oxidación total a CO₂. Con el óxido mixto de Co (CPCo1.0), sólo se alcanza conversión total a CO₂ a temperaturas superiores a 400°C, mientras que con el óxido mixto de Mn (CPMn1.0) se alcanza una oxidación total a 350°C, revelando que la oxidación de una mezcla de COVs inhibe en mayor proporción al óxido mixto de Co.

Las temperaturas en donde se alcanza el 50% y el 90% de conversión (T_{50} y T_{90} respectivamente) del tolueno, del 2-propanol y de cada COV en la mezcla, se muestran en la Tabla 2. Los resultados revelan

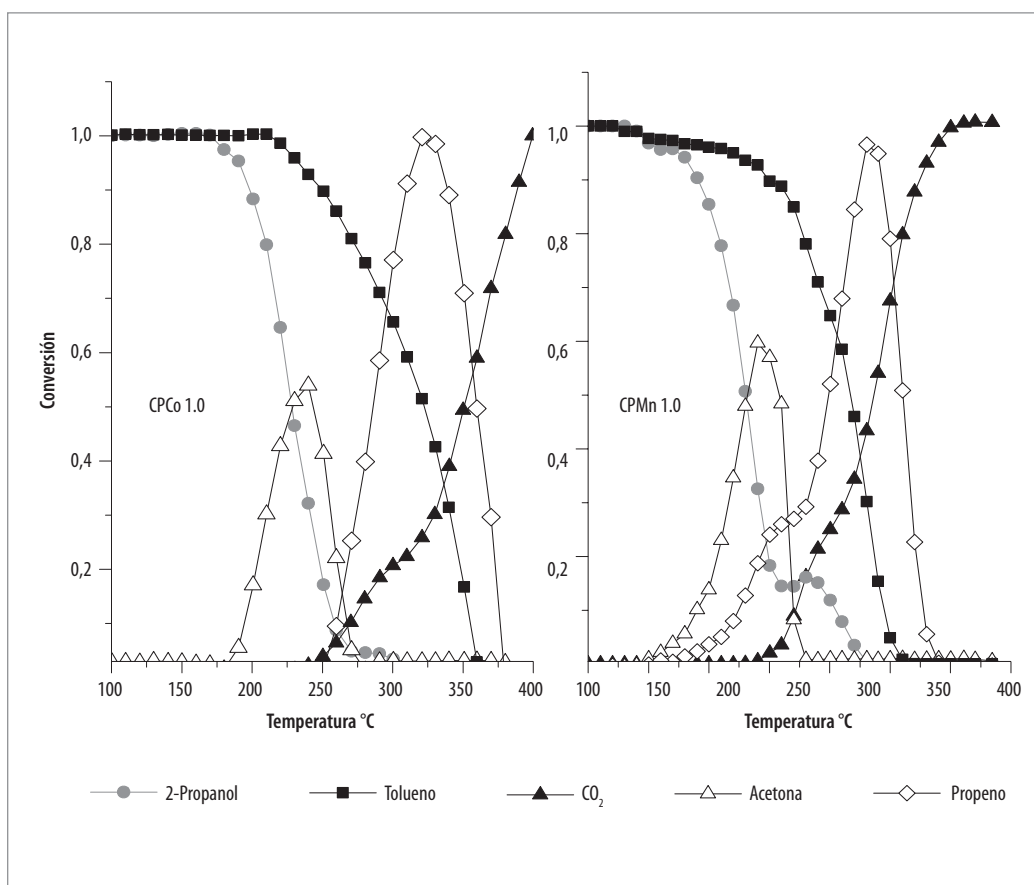
que la presencia de tolueno en la mezcla retrasa la oxidación del 2-propanol si se le compara con la oxidación individual del mismo, ya que se incrementan las temperaturas de conversión y se genera propeno como producto intermediario sobre ambos catalizadores (CPMn1.0 y CPCo1.0). Por el contrario, se observa que sobre CPMn1.0 la presencia de 2-propanol no afecta de forma importante las temperaturas de conversión del tolueno en la mezcla respecto a su oxidación individual. Comportamientos semejantes se reportan en la literatura para la oxidación catalítica de otras mezclas de COVs en las que la temperatura de conversión está gobernada principalmente por la molécula más difícil de oxidar (17, 6).

Es claro que el óxido mixto de Mn supera al de Co, tanto para las oxidaciones de COVs simples, como para la mezcla de los mismos. Este material reveló un área superficial mayor, un mayor consumo de hidrógeno bajo condiciones de reacción y, en general, mejores propiedades redox en la medida en que se puede reducir a menores temperaturas. El mayor consumo de hidrógeno a temperaturas menores de 500°C evidencia, igualmente, una mayor movilidad electrónica y movilidad de oxígeno, lo que lo hace un catalizador excelente para oxidaciones totales.

Tabla 2. Temperaturas de conversión de los COVs individuales y su mezcla sobre CPMn1.0 y CPCo1.0.

Sólido	Temperaturas de conversión del isopropanol (°C)				Temperaturas de conversión del tolueno (°C)			
	Mezcla		Individual		Mezcla		Individual	
	T_{90}	T_{50}	T_{90}	T_{50}	T_{90}	T_{50}	T_{90}	T_{50}
CPMn1.0	255	182	190	160	292	266	282	260
CPCo1.0	260	230	210	190	366	330	294	280

Figura 4. Oxidación catalítica de la mezcla de 250 ppm tolueno y 250 ppm 2-propanol sobre los catalizadores CPMn1.0 y CPCo1.0.



Conclusiones

El óxido mixto de manganeso presentó las mejores propiedades texturales, redox y, en consecuencia, el mejor desempeño catalítico en la oxidación individual y de la mezcla de dos COVs.

El comportamiento catalítico de los sólidos difiere si el alimento se constituye de un COV puro o de una mezcla. El óxido mixto de Mn CPMn1.0 fue el catalizador más activo en la oxidación individual de tolueno y de 2-propanol, así como de la mezcla de los mismos, lo que revela su potencialidad en reacciones de oxidación de otros COVs o en mezclas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto DIB-UN código Hermes 14785 por la financiación parcial de este trabajo y al profesor Mario Montes de la Universidad del País Vasco (España) por su apoyo en la realización de los ensayos catalíticos.

Referencias

- Directiva 1999/13/CE del Consejo del 11 de marzo de 1999 relativa a las limitaciones de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debido al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Diario Oficial de las Comunidades Uuropeas. 1999.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Volatile Organic Compounds (VOCs). Disponible en: <http://www.epa.gov/iaq/voc2.html>. [Consultado el 7 de noviembre de 2011].
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 610 de 2010. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39330#3>. [Consultado el 22 de junio de 2013].
- Wyrwalski, F.; Lamonier, J. F.; Siffert, S.; Aboukais, A. Additional effects of cobalt precursor and zirconia support modifications for the design of efficient VOC oxidation catalysts. *Appl. Catal. B: Environmental*. 2007. **70**(1-4): 393-399.
- Everaert, K.; Baeyens, J. Catalytic combustion of volatile organic compounds. *J. Hazard. Mater.* 2004. **109**(1-3): 113-139.
- Aguero, F. N.; Barbero, B. P.; Gambaro, L.; Cadús, L. E. Catalytic combustion of volatile organic compounds in binary mixtures over MnOx/Al₂O₃ catalyst. *Appl. Catal. B: Environmental*. 2009. **91**(1-2): 108-112.
- Vaccari, A. Preparation and catalytic properties of cationic and anionic clays. *Catal. Today*. 1998. **41**: 53-71.
- Chang, K. S.; Song, H.; Park Y. -S.; Woo, J. -W. Analysis of N₂O decomposition over fixed bed mixed metal oxide catalysts made from hydrotalcite-type precursors. *Appl. Catal. A: General*. 2004. **273**: 223.
- Aguilera, D. A.; Pérez, A.; Molina, R.; Moreno, S. Cu-Mn and Co-Mn catalysts synthesized from hydrotalcites and their use in the oxidation of VOCs. *Appl. Catal. B*. 2011. **104**: 144-150.
- Berntsen, H. H.; Ochoa-Fernández, E.; Walmsley, J.; Blekkan, E.; Chen, D. Co-Ni Catalysts Derived from Hydrotalcite-Like Materials for Hydrogen Production by Ethanol Steam Reforming. *Top. Catal.* 2009. **52** (3): 206-217.
- Torres, J. Q.; Giraudon, J. -M.; Lamonier, J. -F. Formaldehyde total oxidation over mesoporous MnOx catalysts. *Catal. Today*. 2011. **176**: 277-280.
- Pérez, A.; Lamonier, J. -F.; Giraudon, J. -M.; Molina, R.; Moreno, S. Catalytic activity of Co-Mg mixed oxides in the VOC oxidation:

- Effects of ultrasonic assisted in the synthesis. *Catal. Today*. 2011. **176**(1): 286-291
13. Fierro, J. L. G. Metal oxides. New York: CRC Press. 2006.
14. Gregg, S.J.; Sing, K.S.W. Adsorption, surface area and porosity. London: Academic Press. 1982.
15. Daza, C. E.; Moreno, S.; Molina, R. Ce-incorporation in mixed oxides obtained by the self-combustion method for the preparation of high performance catalysts for the CO₂ reforming of methane. *Catal. Commun.* 2010. **12**(3): 173-179.
16. Scirè, S.; Minicò, S.; Crisafulli, C.; Satriano, C.; Pistone, A. Catalytic combustion of volatile organic compounds on gold/cerium oxide catalysts. *Appl. Catal. B*. 2003. **40**: 43-49.
17. Santos, V. P.; Pereira, M. F. R.; Órfão, J. J. M.; Figueiredo, J. L. Mixture effects during the oxidation of toluene, ethyl acetate and ethanol over a cryptomelane catalyst. *J. Hazard. Mater.* 2011. **185**: 1236-1240.

Article citation:

Castañó, M. H.; Molina, R.; Moreno, S. Oxidación catalítica de tolueno y 2-propanol sobre óxidos mixtos de Mn y Co obtenidos por coprecipitación. *Rev Colomb Quim.* 2013. **42**(1): 38-43.