

# Hidrogenación de óxido de estireno con catalizadores de Pt/ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> y su efecto con las propiedades básicas

Romero Hernández Adrian<sup>1</sup>, Manríquez Ramírez María Elena<sup>2</sup>, Reza San German Carmen<sup>2</sup>, Estrada Flores Miriam.<sup>2</sup> Ortiz Islas Emma Elisa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, ESQIE-IPN, Ciudad de México, 07738, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Investigación en Fisicoquímica y Materiales, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Edif. Z, sección 5, 2do Piso, Ciudad de México, 07738, México. Laboratorio de Nanotecnología, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, Insurgentes Sur 3877, Col. La Fama, 14269 Ciudad de México, México

\*Autor para correspondencia: [adrianrh.fo@gmail.com](mailto:adrianrh.fo@gmail.com)

## Recibido:

13/mayo/2018

## Aceptado:

19/julio/2018

## Palabras clave:

Hidrogenación,  
estireno,  
2-feniletanol

## Keywords:

Hydrogenation,  
styrene,  
2-phenylethanol

## RESUMEN

En la búsqueda de un catalizador óptimo para la hidrogenación de óxido de estireno como nueva alternativa para la obtención de 2-feniletanol, se reporta en este trabajo con el uso de catalizadores de TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> impregnados variando la molar de 1, 2 y 3% molar de Pt. La selectividad se vio afectada por la temperatura de reacción, así como las propiedades ácido-base del soporte de TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>. Cuando la acidez es mayor, mejora la selectividad para obtener el 2-feniletanol, la acidez de los catalizadores se determinó mediante la adsorción de piridina, utilizando la técnica de FTIR, viéndose afectada por el contenido de Platino en los catalizadores. Las técnicas de caracterización fueron: adsorción de N<sub>2</sub> para medición de área superficial BET, espectroscopia infrarroja (FTIR), Microscopia de Fuerza Atómica (MFA), Difracción de rayos X para determinar fases cristalinas y su efectividad catalítica en la reacción de hidrogenación de óxido de estireno, para obtener el 2-feniletanol.

## ABSTRACT

In the search for an optimal catalyst for the hydrogenation of styrene oxide as a new alternative for obtaining 2-phenylethanol, this paper reports the use of impregnated TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> catalysts varying the molar of 1, 2 and 3% molar of Pt. The reaction temperature, as well as the acid-base properties of TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> support affected the selectivity. When the acidity is greater, the selectivity improves to obtain the 2-phenylethanol, the acidity of the catalysts was determined by the adsorption of pyridine, using the FTIR technique, being affected by the Platinum content in the catalysts. The characterization techniques were N<sub>2</sub> adsorption for BET surface area measurement, infrared spectroscopy (FTIR), Atomic Force Microscopy (MFA), X-ray diffraction to determine crystalline phases and their catalytic effectiveness in the hydrogenation reaction of oxide styrene, to obtain 2-phenylethanol

## Introducción

El 2-feniletanol que es obtenido de la hidrogenación de óxido de estireno y es un compuesto requerido ampliamente en la industria y se puede obtener de las siguientes formas: Sintéticamente mediante reacciones con catalizadores, (los cuales funcionan adecuadamente bajo condiciones controladas de reacción), poseen alta actividad catalítica y permiten mayor estereo selectividad. Proveniente de la naturaleza, de la biotransformación tanto de frutos como de las propias rosas con ayuda de biocatalizadores (Bergadá, 2007). La estereo selectividad y quiralidad del catalizador o biocatalizador es muy importante ya que de ello depende la actividad del enantiómero presente y la producción de un compuesto principal u otro (secundario) en mayor porcentaje, en este caso el 2-feniletanol en relación con los compuestos secundarios (Telkar et al., 2004).

La investigación en la obtención de la esencia de aroma de rosas obtenido a partir de 2-feniletanol, debido a que ese compuesto presenta el aroma de rosas, es un campo muy grande ya que existe una gran demanda de este compuesto en la elaboración de diferentes productos como jabón de baño, shampoo, perfumes, entre otros, por esta alta demanda se ha empleado diversos métodos de obtención de 2-feniletanol, en los cuales, se desea principalmente tener una mayor producción a un buen precio en el mercado, siendo las reacciones sintéticas las que logran este objetivo ya que los métodos naturales son tardados y la obtención como producto principal no es tan abundante. (Gallo y Albarracin, 2003).

De tal forma que las principales rutas o reacciones sintéticas para la obtención del 2-feniletanol son las siguientes: Friedel-Craft, Grignard e hidrogenación del óxido de estireno. (Kirm et al., 2007).

De las cuales se ha estado estudiando ampliamente la ruta de hidrogenación del óxido de estireno, ya que ofrece las posibilidades de una mayor obtención del producto deseado en comparación con las rutas de Friedel-Craft y Grignard (Bergadá, 2007).

## Metodología

El sistema  $TiO_2-ZrO_2$  se preparó de la siguiente manera: 3.3 moles de  $H_2O$  y 3.0 moles de n-butanol son puestos con agitación constante a baja temperatura (0 °C). El pH fue ajustado a pH=3 con  $HNO_3$ , posteriormente se adicionan gota a gota 50 ml de butóxido de titanio y el 10% mol Propóxido de circonio a la mezcla por dos

horas. Por último se adiciona el agua con una relación (1:4) con respecto al  $TiO_2$ . La formación del gel se observa después de la adición de agua. Una vez formado el gel se deja secar a 100°C. Este material se utilizó como soporte, de modo que una vez seco se procede a impregnarlo con platino. La adición de un promotor como el platino busca incrementar no solo la actividad catalítica de los materiales a temperaturas de reacción intermedias, sino también su estabilidad estructural, es por eso que los catalizadores fueron impregnados con este metal. Las muestras ya sintetizadas y calcinadas se impregnaron con 0.2, 0.4 y 0.6% en peso de Pt, una vez adicionado se deja secar y posteriormente cada uno de los sólidos se calcina a 400°C durante 4 horas en mufla.

**Tabla 1.** Cantidad de reactivos utilizados en síntesis para el soporte.

| Sustancia    | (Propóxido de circonio)<br>Aldrich 98% | (Butóxido de titanio)<br>Aldrich 98% | $H_2O$ | (Etanol) | $HNO_3$ |
|--------------|--|--------------------------------------|--------|----------|---------|
| Volumen (ml) | 26.73                                  | 60.89                                | 18.95  | 616.93   | 7.064   |

El catalizador se dividió en tres partes, la tabla 2 muestra los porcentajes y las cantidades con la que se prepararon los 3 catalizadores mediante el método de impregnación utilizando la cantidad descrita en la tabla 2 disuelto en 150ml de  $H_2O$ . Los materiales son llevados a sequedad y posteriormente calcinados a 400°C durante 4 Hora en una mufla.

**Tabla 2.** ml de platino según el porcentaje de concentración en cada catalizador.

| % Impregnación | ml de $H_2PtCl_6$ |
|----------------|-------------------|
| 1% mol de Pt   | 0.024             |
| 2% mol de Pt   | 0.0961            |
| 3% mol de Pt   | 0.2166            |

Los espectros de FT-IR se registraron en un Perkin-Elmer GX con el equipo de ATR; 16 espectros (con una resolución nominal de  $2\text{ cm}^{-1}$ ) se acumularon y promediaron para mejorar la relación señal-ruido. La espectroscopia Raman se realizó a temperatura ambiente en un Spex 1403 computarizado con doble monocromador, con  $1\text{ cm}^{-1}$  resolución en combinación con la línea de un láser de argón de 514.5 nm (Lexel Lasers) a un nivel de potencia en la cabeza láser de 40mW, los espectros fueron adquiridos directamente de las muestras en polvo en la geometría de retro dispersión.

## Resultados y discusión

### Isotermas de adsorción-desorción

La Figura 1 muestra que las isotermas de adsorción-desorción obtenidas para los materiales calcinados, son del tipo IV, características de materiales mesoporosos. Su isoterma de desorción forma un amplio ciclo de histéresis tipo II. Una mayor área fue determinada con el catalizador de  $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$  con un área de  $174\text{m}^2/\text{g}$  y con la adición de platino el área superficial sufrió una ligera disminución debida a que la impregnación de la fase activa (Pt) a los soportes catalíticos para la obtención de los catalizadores causa una disminución en el área superficial total, debido al bloqueo de los poros del soporte por el Platino, sin embargo se puede observar que en todos los catalizadores hay buena área superficial. El área obtenida para cada catalizador es mostrada en la Tabla 3, donde se puede ver que el diámetro promedio de poro también sufre una ligera disminución cuando se adiciona el platino.

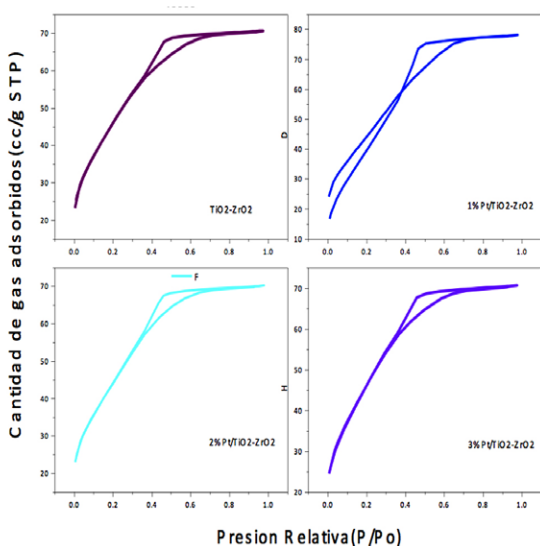


Figura 1. Isotermas de absorción-desorción del sistema  $\text{Pt/ZrO}_2\text{-TiO}_2$

Tabla 3. Área superficial, volumen y tamaño de poro de  $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ .

| Material                          | Sg $\text{m}^2/\text{g}$ | Vp $\text{cm}^3/\text{g}$ | Diámetro nm |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|
| $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$       | 173.689                  | 0.09                      | 3.1         |
| 1%Pt/ $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ | 171.689                  | 0.121                     | 2.9         |
| 2%Pt/ $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ | 166.37                   | 0.1087                    | 2.6         |
| 3%Pt/ $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ | 165.6                    | 0.01093                   | 2.5         |

\*Calcinados a  $500^\circ\text{C}$ ,

### Espectroscopía FTIR

El espectros FTIR de los catalizadores  $\text{Pt/ZrO}_2\text{-TiO}_2$  se muestran en la Figura 2. Las bandas entre  $1440\text{-}1450\text{ cm}^{-1}$  corresponden a la vibración de grupos orgánicos del propóxido y butóxido de circonio y titanio respectivamente no hidrolizados.

Asimismo son visibles en los espectros las bandas asociadas al  $\text{H}_2\text{O}$  estructural; una banda ancha alrededor de  $3450\text{ cm}^{-1}$  como resultado de la superposición de las vibraciones de estiramiento de grupos OH y moléculas de agua adsorbida. Las bandas de vibración del enlace  $\text{-CH}_2\text{-}$  y  $\text{CH}_3$  se localizan a  $2850$  y  $2920\text{ cm}^{-1}$ . La diferencia en los espectros se encuentra en la zona de  $400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ . Una banda de vibración a  $462\text{ cm}^{-1}$  se atribuyó a la vibración del enlace Zr-O y la vibración de  $606\text{ cm}^{-1}$  a la adición de  $\text{TiO}_2$ . También una banda a  $536\text{ cm}^{-1}$  puede ser asignada a la vibración del enlace mixto Zr-O-Ti. Los espectros se observan similares ya que el soporte es  $\text{ZrO}_2\text{-TiO}_2$  y lo que se varía es el contenido de Pt, el cual no es observado por esta técnica, incluso la intensidad de los bandas son similares (Krishnamurthy et al., 1973).

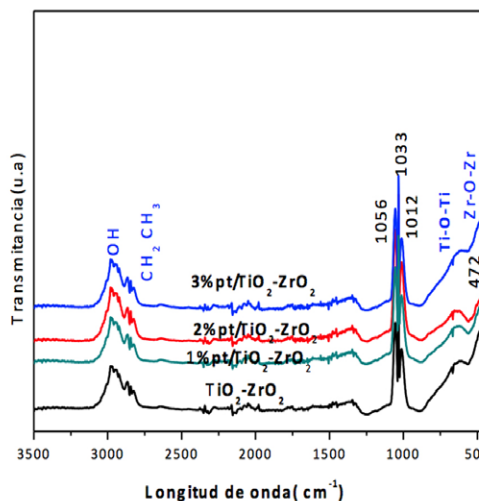


Figura 2. FTIR del sistema  $\text{Pt/ZrO}_2\text{-TiO}_2$

### Adsorción de piridina por FTIR para la determinación de la acidez

El análisis por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) de adsorción en piridina en materiales sólidos ácidos, nos permite determinar cuantitativamente y cualitativamente los sitios ácidos y diferenciar entre los diferentes tipos de sitios ácidos Lewis y/o Brönsted presentes en los materiales sólidos ácidos; así también como determinar la fuerza de estos sitios por efecto de la temperatura. Para esto se utilizan las bandas específicas que se generan en el espectro cuando la piridina en fase

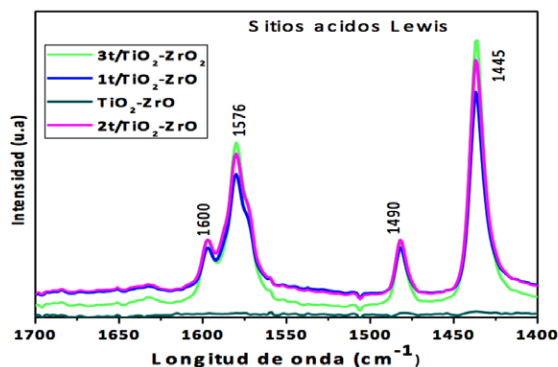
gas se adsorbe de diferentes formas en las muestras (Tabla.4) (Hiroshi Fujitsu et al., 1981).

**Tabla 4.** Coordinación de la piridina sobre los sitios ácidos.

| Adsorción $\text{cm}^{-1}$ | Piridina                  | Tipo de sitio ácido |
|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1445                       | Piridina                  | Lewis               |
| 1490                       | Piridina + ión piridonio  | Lewis-Brönsted      |
| 1545                       | piridonio                 | Brönsted            |
| 1576                       | Ión piridonio             | Lewis               |
| 1600                       | Piridina                  | Lewis               |
| 1635                       | Piridina<br>Ión piridonio | Brönsted            |

En la Figura 3 se presenta la adsorción de piridina de los materiales sintetizados. Se puede ver que todos presentan la presencia de sitios tipo Lewis, sin embargo en estos materiales no se presentan acidez tipo Brönsted, ésta señal es ocasionada por iones piridonio que se forman por la transferencia de protones desde los grupos hidroxílicos ácidos del material a la base orgánica utilizada como molécula prueba (piridina). A  $1600 \text{ cm}^{-1}$  se presenta una banda que sigue un comportamiento idéntico con la banda  $1443 \text{ cm}^{-1}$ , lo que nos permite asignarla como sitios tipo Lewis fuertes, mientras que la señal a menor energía a  $1575 \text{ cm}^{-1}$  se asigna a sitios Lewis débiles. La acidez se incrementó de manera considerable cuando la adición de Pt es mayor (Medina et al 2007).

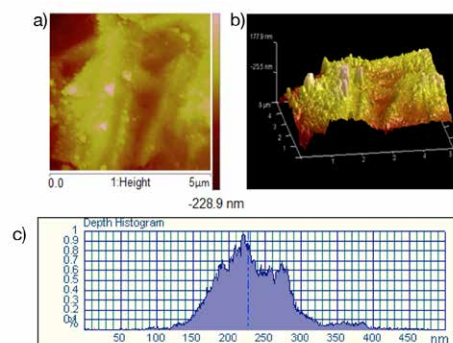
La incorporación de heteroátomos fundamentalmente metales de transición como Pt, por sustitución isomórfica del  $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$  en entornos tetraédricos (Betancourt et al., 2011), hace que estos materiales presenten nuevas propiedades ácidas de Lewis y/o redox prometedoras desde el punto de vista catalítico. Es por ello que se puede apreciar que a medida que se incrementa la cantidad de Pt la acidez aumenta, dicha acidez provoca que el material se amase selectivo a la producción de 2-Fenil-etanol, a medida que la acidez disminuye, favorece la producción de 2-fenil-acetaldehído.



**Figura 3.** Determinación de los sitios ácidos tipo Lewis mediante adsorción de piridina.

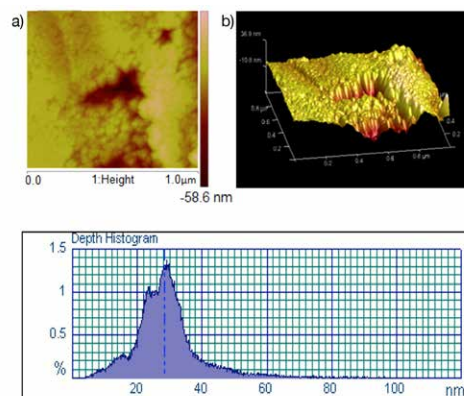
### Microscopia de Fuerza Atómica

La Figura 4a muestra la imagen del catalizador de  $1\% \text{Pt/TiO}_2\text{-ZrO}_2$ , donde se observan pequeñas partículas cristalinas de forma esférica, sobre esas partículas se definen otras con diferente contraste y de forma triangular (posibles partículas de Platino), ligeramente dispersadas sobre las partículas esféricas. La Figura 4b muestra la misma imagen de forma tridimensional, se observan partículas triangulares con una coloración más clara, las cuales presentan mayor grosor con respecto a las partículas esféricas, el tamaño promedio de estas partículas es de  $228.9 \text{ nm}$ .



**Figura 4.** Imágenes obtenidas por MFA del material a base de  $1\% \text{Pt/TiO}_2\text{-ZrO}_2$ . a) imagen en vista normal; b) imagen en 3d; c) análisis de partícula.

La Figura 5a presenta la formación de esferas bien definidas con un tamaño uniforme de  $58.6 \text{ nm}$ , las partículas de la muestra de  $2\% \text{Pt/TiO}_2\text{-ZrO}_2$  se encuentran en la definición de escala nanométrica, teniendo una disminución del tamaño de partícula de un 70% con respecto a la preparación de  $1\% \text{Pt/TiO}_2\text{-ZrO}_2$ . En la Figura 5b se vuelven a observar relieves de partículas con una coloración más clara formando agregados de partículas que pudieran ser de Pt con una coloración más clara (Lim et al., 2007).

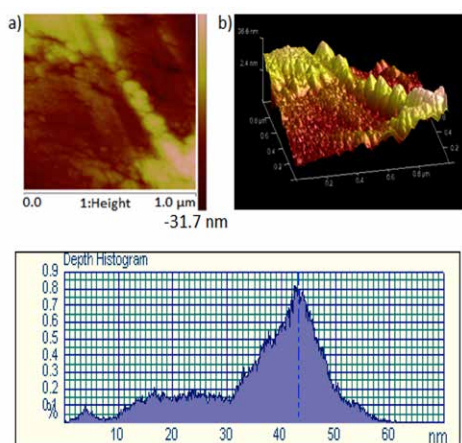


**Figura 5.** Imágenes obtenidas por mfa del material a base de  $2\% \text{Pt/TiO}_2\text{-ZrO}_2$  a una concentración a) imagen en vista normal; b) imagen en 3d; c) análisis de partícula



En la Figura 6a se observan partículas de diferentes tamaños, lo que ocasiona una morfología muy heterogénea, para el catalizador de 3%Pt/TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>, esto se puede observar de una mejor manera en la Figura 6b donde se distingue el Platino (coloración clara) del material que sirve como soporte. En esta preparación se ocurre una disminución del tamaño de partícula, el tamaño promedio es de 31.7 nm.

De tal manera, en todas las preparaciones el tamaño de partícula sigue una tendencia con la adición de Platino, es decir, que a mayor concentración del metal se obtuvieron partículas más pequeñas (Dabbawala et al.- 2012).

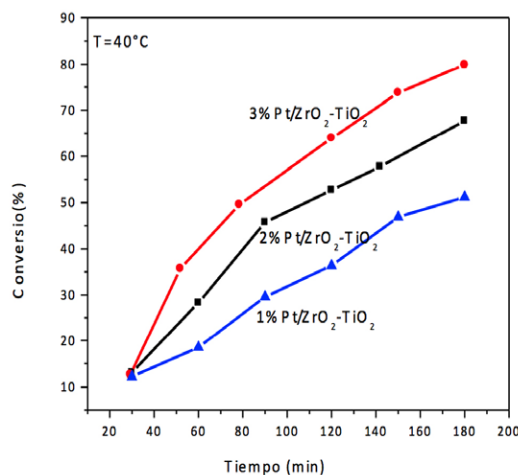


**Figura 6.** Imágenes obtenidas por MFA del material a base de 3% Pt/ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>. a) imagen en vista normal; b) imagen en 3d; c) análisis de partícula.

### Actividad Catalítica

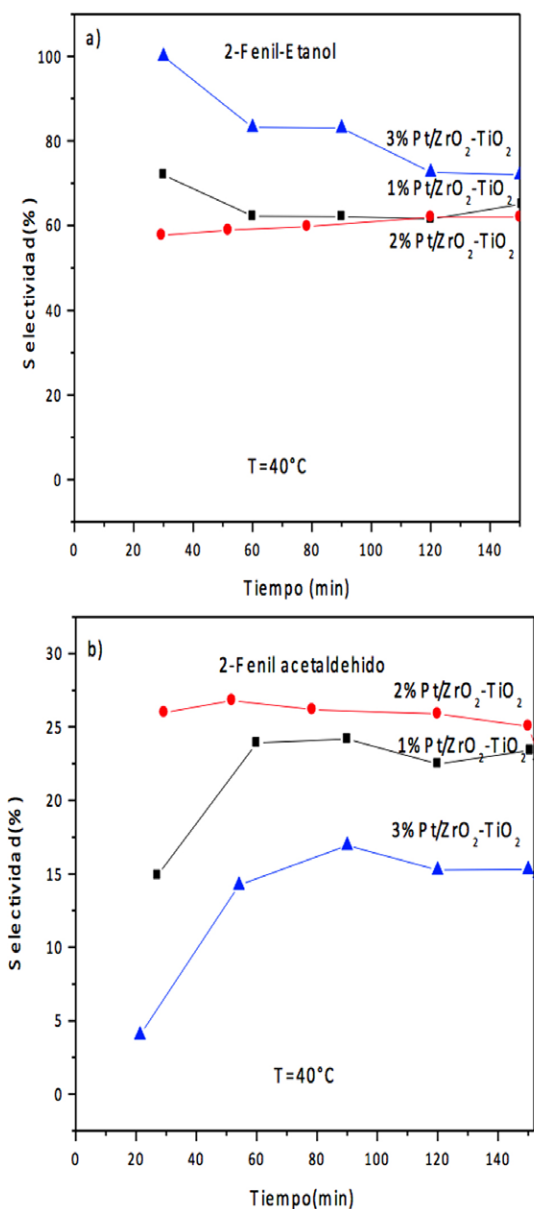
Los resultados obtenidos con estos catalizadores muestran que el efecto de la naturaleza del soporte ya sea la fuerza ácida o básica genera un efecto sobre la selectividad de los productos en la reacción de hidrogenación de óxido de estireno. En la literatura (Dabbawala et al.- 2012), se ha descrito que la hidrogenación de los epóxidos está controlada mediante la apertura del anillo del epóxido. En el caso de óxido de estireno, la apertura se puede obtener mediante dos vías: la primera es la hidrogenación selectiva que permite la formación de 2-feniletanol y la segunda es la isomerización como son la obtención de aldehídos o cetonas. La presencia de un soporte básico como la magnesia favorece la formación de fenilacetaldehído. Otro hecho a destacar, es el efecto del soporte sobre la apertura del anillo epoxídico durante el proceso de reducción con hidrógeno. Cuando el soporte es básico la apertura mediante la hidrogenación del epóxido genera de forma selectiva el 1-feniletanol, mientras que

si el soporte es más ácido (como la alúmina), se obtiene el 2-feniletanol, muchas veces como producto mayoritario. Esto puede estar relacionado con la presencia de sitios ácidos, los cuales, en presencia de hidrógeno, dan lugar a la formación de un alcohol secundario como producto mayoritario. El sistema de TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> dopado con Pt según reportes presenta una dualidad ácido-base, sin embargo, al doparlo con Pt se favorece la producción de 2-feniletanol, es decir, el producto esperado, por otro lado la dualidad ácido-base provoca la formación de aldehídos y cetonas como lo podemos ver en los gráficos de conversión. A su vez, la dualidad ácido-base con el efecto de la temperatura puede favorecer la formación de fenilacetaldehído. La reacción de hidrogenación de óxido de estireno se llevó a cabo a dos temperatura muestra la conversión del óxido de estireno realizada a una temperatura de 40°C, se puede ver que la conversión en todos los catalizadores se incrementa en función del tiempo de reacción y también cuando el catalizador contiene mayor porcentaje de Pt. Recordemos que el Pt es el agente activo para la hidrogenación del óxido de estireno, si se adsorbe débil, se mostrara bajo rendimiento en la reacción (Figura 7) (Kirm et al 2005, 2007).



**Figura 7.** Conversión de óxido de estireno utilizando catalizadores de Pt/ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> variando el contenido de Pt. a la temperatura de 40°C.

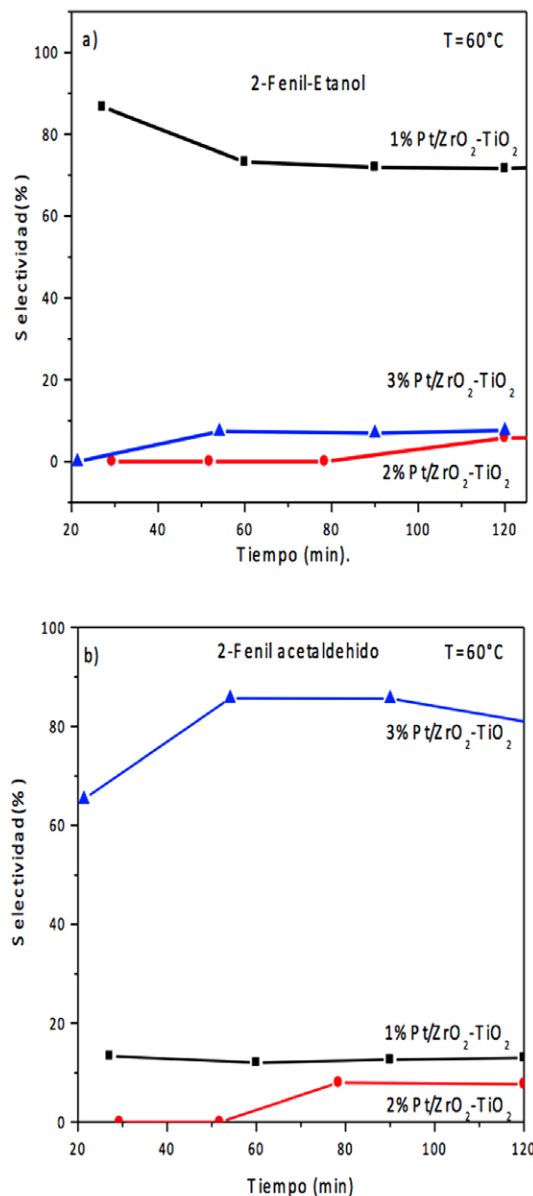
En la Figura 8 presenta las selectividades obtenidas a 40°C, se observa una selectividad mayor cuando el catalizador tiene mayor contenido de Pt, de forma contraria es la producción de 2 fenil acetaldehído y es debido a la dualidad de sitios ácido- base contenidos en el soporte. En función del tiempo se observa una disminución de 2-fenil etanol y un incremento en la producción de 2-fenilacetaldehido. Quizás por la desactivación de los sitios ácidos con la temperatura (Vasanti et al., 1998).



**Figura 8.** Selectividad de óxido de estireno utilizando catalizadores de Pt/ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> variando el contenido de Pt. a) 2-fenil-etanol b) 2-fenil acetaldehído.

Por incremento de la temperatura (60°C) se observa un incremento de la conversión (Figura 9) pero se puede ver que la selectividad a 2-feniletano disminuye (Figura 9a) y solo se presenta un incremento en el catalizador de 1%Pt/ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>. A más temperatura casi no es observado el efecto del Pt, sin embargo se sigue observando la conversión lineal en función del tiempo, a diferencia de la reacción llevada a cabo a menor temperatura se puede observar que a los 180 minutos se convierte al 100% (ver figura 9). A mayor temperatura se observa mayor selectividad a 2-fenil-etanol para el catalizador

que contiene menos platino, el catalizador que contiene mayor cantidad de platino a mayor temperatura se hace más selectivo a 2-Fenil acetaldehído ver Figuras 10a y 10b respectivamente (Sunil et al., 2014).



**Figura 9.** Conversión de óxido de estireno utilizando catalizadores de Pt/ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> variando el contenido de pt a la temperatura de 60°C.

La Figura 10 presenta los diferentes productos obtenido mediante la hidrogenación del óxido de estireno. En el caso de los catalizadores empleados aquí se observa que solo se obtiene dos productos el 2-etil etanol y el 2-fenilacetaldehído debido a la dualidad de sitios ácido-base.

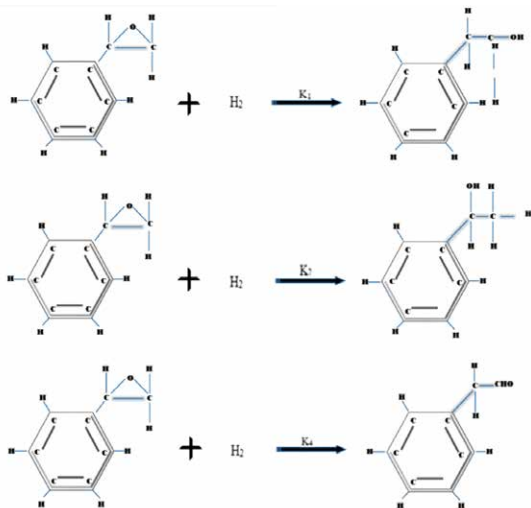


Figura 10. Mecanismo de la hidrogenación de óxido de estireno.

En la Figura 11 se presenta el mecanismo por el cual puede ser obtenido el 2-fenil etanol. Puede verse que en un principio se abre el anillo del epóxido con un agente reductor como hidruros o bien con metales alcalinos. Posteriormente se obtiene un alcohol secundario según por el camino que tome. Para finalmente dar el producto de interés.

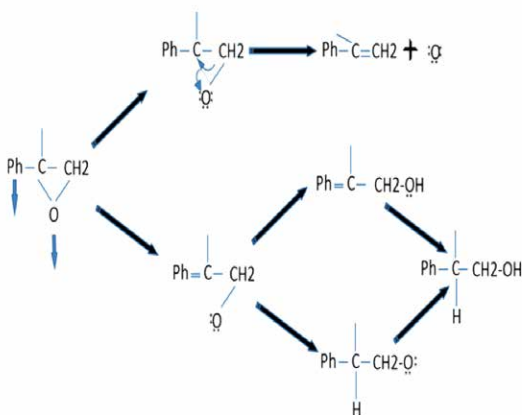


Figura 11. Mecanismo de obtención del 2-fenil etanol.

## Conclusiones

La actividad catalítica se ve afectada por las propiedades ácido-base de los materiales. La incorporación de heteroátomos fundamentalmente metales de transición como Pt, por sustitución isomórfica del  $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$  en entornos tetraédricos, hace que estos materiales presenten nuevas propiedades ácidas de Lewis y/o redox prometedoras desde el punto de vista catalítico. Es por ello que se puede apreciar que a medida que se incrementa

la cantidad de Pt, la acidez aumenta, dicha acidez provoca que el material sea más selectivo a la producción de 2-Fenil-etanol, a medida que la acidez disminuye, favorece la producción de 2-fenil-acetaldehído. La acidez fue medida por adsorción de piridina.

La actividad catalítica también fue medida por efecto de temperatura, observando que a mayor temperatura, mejor conversión, pero más selectivo a 2-fenil-acetaldehído. Por eso es importante controlar la temperatura si se desea que sea más selectivo a 2-Fenil-etanol.

El área superficial medida por área BET, mostró que se tienen buenas áreas en todos los catalizadores, y que disminuye ligeramente con la adición de Pt. El diámetro promedio de poro también disminuye cuando se incorpora el Pt.

Por FTIR se encontró los grupos funcionales de Zr-O-Zr y Ti-O-Ti, siendo estas especies, las que conforman el catalizador, el Pt no es observado.

Finalmente por MFA en todos los catalizadores, el tamaño de partícula sigue una tendencia con la adición de platino, es decir que a mayor concentración del metal se obtuvieron partículas más pequeñas. Observe también el ordenamiento de las partículas con menor coloración.

## Agradecimientos

Gracias el Proyecto SIP-20180761, SIP-20181280 y SIP-20180913 otorgado por el Instituto Politécnico Nacional.

## Referencias

- Berdagá Miró O., (2007), Diseño de catalizadores para una obtención limpia de 2-fenil etanol; *Universitat Rovira I. Virgili*.
- Betancourt Galindo, and Bueno Baques D. (2007), "Preparation of hcp and fcc Ni and Ni/NiO nanoparticles using a citric acid assisted Pechini-type method," *Journal of Nanomaterials*, 19: 1096–1100.
- Dabbawala A. A., Sudheesh N., and Bajaj H. C., "Palladium supported on chitosan as a recyclable and selective catalyst for the synthesis of 2-phenyl ethanol," *Dalton Transactions*, vol. 41, no. 10, pp. 2910–2917, 2012.
- Fujitsu H., Shirahama S., Matsumura., TakeshitaK., and Mochida I., (1981). Catalytic hydrogenation of styrene oxide with cationic rhodium complexes. *J. Org. Chem.*, 1981, 46 (11): 2287–2290.

Gallo, S., Albarracín G.C., (2003), Comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando *Piper aduncum* (cordoncillo) procedente de la zona cafetera. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Kanojiya S. K., Shukla G., Sharma S., Dwivedi R., Sharma P., Prasad R., Satalkar M., and Kane S. N., (2014). Hydrogenation of Styrene Oxide to 2-Phenylethanol over Nanocrystalline Ni Prepared by Ethylene Glycol Reduction Method. Hindawi Publishing Corporation *International Journal of Chemical Engineering*, 2011:1-6.

Kirm F., Medina X., Sueiras J. E., Salagre P., and Cesteros Y. (2007) "Hydrogenation of styrene oxide in the presence of supported platinum catalysts to produce 2-phenylethanol," *J. Molecular Catalysis A: Chemical*. 261:98-103.

Kirm, F. Medina, X. Rodríguez, Cesteros Y., Salagre P., and Sueiras J. E., (2005) "Preparation of 2-phenylethanol by catalytic selective hydrogenation of styrene oxide using palladium catalysts," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 239, no. 1-2, pp. 215-221.

Krishnamurthy S., Schubert R. M., and Brown H. C., (1973), "Hydrogenation of styrene oxide forming 2-phenyl ethanol," *J. American Chemical Society*. 95: 8486.

Telkar M.M., Rode C.V., Chaudhari R.V., Joshi S.S., Nalawade A.M., (2004). Shape-controlled preparation and catalytic activity of metal nanoparticles for hydrogenation of 2-butyne-1,4-diol and styrene oxide *Appl. Catal. A: General* 273: 11-19.

Yadav V. G. and Chandalia S. B., (1998). Synthesis of Phenethyl Alcohol by Catalytic Hydrogenation of Styrene Oxide *Organic Process Research & Development*, 2:294-297.