

**MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE ETILENO (C₂H₄) A PARTIR DE LA
DESHIDRATACIÓN CATALÍTICA DE BIOETANOL CRUDO QUE INCLUYE
UN CATALIZADOR ZSM-5 DOPADO CON DIFERENTES RELACIONES
SI/AL Y SU MÉTODO DE OBTENCIÓN.**

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se ubica dentro del campo técnico de la ingeniería química, y más específicamente, en el campo de la mejora de los procesos para la obtención de etileno (C₂H₄) a partir de bioetanol proveniente de una destilación simple y que se incorpora un catalizador selectivo de ZSM-5 que no pierde la selectividad por las impurezas del bioetanol crudo. Adicionalmente, la presente invención revela un método para obtener el catalizador ZSM-5 dopado con (Ce) o Cobre (Cu).

15

Así, la presente invención está dirigida a proponer un procedimiento de obtención de C₂H₄ mediante la deshidratación catalítica de bioetanol el cual requiere que dicho bioetanol se someta a un proceso de destilación simple; pero, no requiere de procesos de purificación rigurosos, como la destilación al vacío o el uso de tamices moleculares, que incrementan considerablemente el costo del bioetanol esto resulta en una gran ventaja tanto en términos de costos como en términos energéticos. Así, la invención revela las condiciones de operación específicas necesarias para obtener C₂H₄ con un catalizador selectivo dopado con Cerio (Ce) o Cobre (Cu) a partir de bioetanol destilado mediante destilación simple.

25

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente, muchos de los procesos tradicionales para obtención de reactivos esenciales para las industrias han migrado de procesos que se pueden considerar altamente contaminantes o que dependan de fuentes no renovables para su obtención, a procesos menos contaminantes y que utilicen fuentes renovables. De esta manera, la obtención de productos demandados por la

30

industria a partir de fuentes renovables como la biomasa se ha convertido en un paradigma de la sostenibilidad y la solución para suplir la demanda de estos reactivos esenciales. Uno de estos reactivos de gran interés es el C_2H_4 , el cual se usa en la producción de polímeros, refrigerantes, medicamentos, fibras y fertilizantes y en el corte y pulverización térmica de metales. Es por esta versatilidad que el C_2H_4 es el compuesto orgánico más comercializado en el mundo, alcanzando una demanda anual de 168 Mt en 2020.

Una de las problemáticas de la obtención de C_2H_4 es que la misma se obtiene a partir de fuentes no renovables. El C_2H_4 se produce convencionalmente a través del craqueo catalítico de nafta de petróleo con vapor a temperaturas superiores de los 700 °C. Así, el proceso convencional para producir C_2H_4 tiene un gran consumo energético ($94.95 \text{ GJ t } C_2H_4^{-1}$), emite grandes cantidades de CO_2 ($1.47 \text{ t } CO_2 \text{ ton } C_2H_4^{-1}$), por lo que resulta importante implementar alternativas sostenibles para su producción.

Una ruta sostenible para obtener C_2H_4 corresponde a la deshidratación catalítica de bioetanol. La obtención de C_2H_4 a partir de bioetanol es un proceso bien conocido, donde el catalizador, la temperatura y el tipo de bioetanol son las variables más importantes para escalar el proceso industrialmente. Los catalizadores ácidos como la alúmina (Al_2O_3) y las zeolitas son los más promisorios. La porosidad y el bajo costo han puesto a los catalizadores basados en $\gamma-Al_2O_3$ como los más usados en la industria. Por ejemplo, la empresa Braskem produce anualmente más de 200 kt de C_2H_4 a partir de bioetanol de caña de azúcar en Brasil, usando catalizadores basados en alúmina, a temperaturas entre 400 a 500 °C y utilizando etanol con purezas superiores al 90 %, lo que lo convierte en un insumo costoso. Adicionalmente, la $\gamma-Al_2O_3$ es susceptible a desactivarse debido a su naturaleza hidrofílica, además de requerir temperaturas altas para su funcionamiento ($>400 \text{ °C}$). Por lo anterior, se ha abierto la posibilidad al uso de catalizadores de zeolitas que son más estables, selectivos y requieren menores temperaturas de operación (p.ej., $\leq 350 \text{ °C}$).

Las zeolitas tipo H-ZSM-5 son las más estudiadas, ya que pueden alcanzar conversiones de etanol y selectividades a $C_2H_4 > 95\%$. Esto debido a su estabilidad térmica, estructura microcristalina y superior capacidad de intercambio catiónico, lo que favorece la deshidratación de alcoholes.

5

Por otra parte, las investigaciones referentes a la deshidratación de etanol para producir C_2H_4 se han llevado a cabo usando principalmente bioetanol sintético (i.e., una mezcla de etanol anhidro y agua destilada). Sin embargo, el bioetanol proveniente de la fermentación de biomasa contiene varias impurezas, incluyendo alcoholes (i.e., propanol, butanol, pentanol), aldehídos, aminas, ácidos y ésteres. Para eliminar estas impurezas (i.e., producir etanol anhidro) se requiere una destilación simple seguida de procesos de purificación rigurosos, como la destilación al vacío o el uso de tamices moleculares, que incrementan considerablemente el costo del bioetanol (hasta 5 veces más costoso). Por ello, se espera que la implementación industrial de la producción de C_2H_4 se logre usando bioetanol crudo el cual no involucre purificaciones rigurosas lo que aumentaría los costos y generaría que el proceso, utilizando bioetanol crudo no fuera industrialmente viable.

10

15

20

En diversas investigaciones se ha reportado que la presencia de impurezas en el bioetanol crudo afecta el desempeño catalítico durante procesos de conversión química del etanol. Se ha reportado que la presencia de impurezas como 3-methyl-1-butanol favorecerían la formación de compuestos carbonosos de cadena grande, lo que llevaba a una desactivación temprana del catalizador.

25

Sin embargo, en la literatura existente no se reportan procesos de deshidratación catalítica de bioetanol, en el que se pueda utilizar bioetanol crudo el cual no involucre purificaciones rigurosas, incluyendo un catalizador que no se desactive fácilmente y que tenga una alta selectividad para la obtención de C_2H_4 . Por lo anterior, se considera de interés contar tanto con un proceso para la obtención de C_2H_4 a partir de bioetanol crudo, así como la obtención de un catalizador selectivo para el C_2H_4 que se pueda utilizar en dicho proceso.

30

Así las cosas, en el estado del arte existe una pluralidad de divulgaciones relacionadas con procesos de obtención de C_2H_4 a partir de bioetanol, dentro de las que se encuentra el documento.

5

“Investigation of Effective Parameters Ce and Zr in the Synthesis of H-ZSM-5 and SAPO-34 on the Production of Light Olefins from Naphtha3” este artículo revela catalizadores comerciales de zeolita (SAPO-34 y H-ZSM-5) dopados con zirconio (Zr/SAPO-34 y Zr/HZSM-5) y Ce (Ce/SAPO-34 y Ce/HZSM-5), los
10 cuales se prepararon mediante un método de impregnación. Estos catalizadores se probaron en la producción de olefinas de bajo peso molecular a partir de nafta, el documento estudia diversas cargas de cerio (desde 2 a 8% p/p) y zirconio (2 – 5% p/p). Sin embargo, este documento utiliza nafta el cual corresponde a un producto refinado y proveniente de fuentes no renovables, adicionalmente los
15 catalizadores que se incluyen en este documento distan en gran medida a los revelados en la presente invención.

Por otro lado, se encuentra el documento *“Propylene and aromatics from ethylene conversion over ZSM-5: Effect of zeolite composition”* este documento
20 estudió la influencia de la incorporación de especies de tungsteno, hierro y lantano en catalizadores de zeolita ZSM-5. En el estudio se determinó que la presencia de especies de tungsteno favorece la formación de compuestos aromáticos, mientras que el lantano promovió la producción de olefinas ligeras. La densidad de sitios ácidos y la presencia de sitios con resistencia intermedia
25 influyeron en la conversión de C_2H_4 y la distribución del producto de las zeolitas impregnadas con metal. El documento concluye que la producción de olefinas y compuestos aromáticos a partir de recursos renovables se puede lograr mediante la conversión de C_2H_4 en estos compuestos. La incorporación de metales como tungsteno, hierro y lantano en catalizadores comerciales de zeolita
30 es una herramienta que permite aumentar la selectividad a olefinas o a compuestos aromáticos. Este documento estudio catalizadores diferentes a los revelados en la presente invención.

A partir de la información anterior, es claro que los documentos existentes en el estado del arte corresponden a una serie de métodos para obtener C_2H_4 mediante la deshidratación catalítica de bioetanol. En algunos casos, se utiliza bioetanol refinado u otros catalizadores que requieren mayor cantidad de catalizador para lograr mayores rendimientos.

Así las cosas, se puede ver que, aunque estos documentos revelen procesos similares los mismos no revelan procesos de obtención de C_2H_4 mediante deshidratación catalítica de bioetanol crudo que incluya en el proceso catalizadores de zeolita H-ZSM5 con relaciones Si/Al de 371, 280 y 26 dopados con Cu y/o Ce.

De acuerdo con la información anterior, es claro para el experto en la materia que en el estado del arte existe una necesidad por proponer un método para la obtención de C_2H_4 a partir de la deshidratación catalítica de bioetanol crudo que incluye un catalizador H-ZSM5 dopado con Ce y Cu con diferentes relaciones Si/Al, así como su método de obtención de dicho catalizador.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Considerando los problemas y/o necesidades anteriormente mencionadas, los presentes inventores han propuesto un nuevo proceso de obtención de C_2H_4 a partir de la deshidratación catalítica de bioetanol crudo que proviene de la fermentación de caña de azúcar, el cual se purifica en una columna de destilación simple, pero no se le aplican pasos posteriores de purificación rigurosa previo ingreso al proceso. Así, la invención revela un método para la obtención de C_2H_4 a partir de la deshidratación catalítica de bioetanol crudo, dicho método inicia mezclando una corriente de N_2 con el bioetanol crudo el cual se alimenta a un reactor, dicho reactor está empacado con un catalizador de zeolita H-ZSM5 dopado con Ce y Cu y que tiene diferentes relaciones de Si/Al.

En el método propuesto previo al inicio de la reacción en el reactor, el catalizador se desgasifica en atmósfera de N₂.

Adicionalmente, el catalizador que se utiliza en el método de deshidratación catalítica corresponde a un catalizador de zeolita H-ZSM5 que presenta una relación Si/Al de 371, 280 y 26.

En otro aspecto de la invención se describe un método de obtención del catalizador donde la zeolita H-ZSM5 se obtiene mediante el calentamiento de zeolita durante 10 h en una atmósfera inerte, se agrega la zeolita H-ZSM-5 a una solución acuosa Ce (NO₃)₃·6H₂O, ajustando hasta un pH de 5, se agita esta mezcla y posteriormente se seca y se calcina para obtener así el catalizador de zeolita H-ZSM5. Este catalizador puede presentar una relación Si/Al de 26, 280 y 371, 280 y 26.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La presente invención se entiende de forma más clara a partir de las siguientes figuras donde se muestran algunas pruebas de obtención del catalizador, así como la selectividad del mismo, en donde las figuras no pretenden limitar el alcance de la invención, el cual está únicamente dado por las reivindicaciones adjuntas, en donde:

La Figura 1. (a, b) muestra la conversión de bioetanol y (c, d) muestran selectividad a C₂H₄ durante la deshidratación de bioetanol en función de la temperatura de las zeolitas con relaciones Si/Al de 26, 280 y 371 (llamadas Z280, Z26 y Z371, respectivamente). Condiciones: 50 mg catalizador, velocidad espacial (WHSV, weight hourly space velocity) de 35 h⁻¹, muestra top bioetanol.

La Figura 2. Muestra Espectros XRD de zeolitas dopadas con Ce y Cu, con nomenclatura: a) Z26, Ce-Z26, y Cu-Z26, y b) Z371, Ce-Z371 y Cu-Z371. La muestra Z280 se incluye como comparación.

La Figura 3. Muestra *in-situ* DRIFT durante la deshidratación de bioetanol de las zeolitas a) Z26, b) Z280, c) Z371 a 300 °C.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5

La presente invención está dirigida a método para la obtención de C_2H_4 a partir de la deshidratación catalítica de bioetanol crudo que incluye un catalizador ZSM-5 dopado con Ce o Cu con diferentes relaciones Si/Al y su método de obtención.

10

En donde el método de obtención de C_2H_4 comprende o consiste esencialmente, en general, sin limitaciones, de las siguientes etapas.

- mezclar una corriente con un WHSV de entre 28.4 a 40.2 h^{-1} ;
- 15 - alimentar la mezcla a un reactor vertical el cual en algunas realizaciones puede corresponder, pero no limitarse a un reactor vertical de cuarzo o metal, dicho reactor vertical opera a una temperatura de entre 150° C a 400°C;
 - o donde el reactor esta empacado con un catalizador de zeolita H-ZSM5 dopada con cerio (Ce - ZSM5) o con cobre (Cu - ZSM5);

20

En una modalidad la salida del reactor se puede condensar para posteriormente recolectar tanto el líquido condensado como el gas no condesando, estos condensados generados se recirculan como alimentación al reactor.

25

En otra modalidad de la invención el reactor puede corresponder, pero no limitarse a un reactor vertical de cuarzo y el mismo puede operar a presión ambiental. Dicho reactor puede incluir en la parte superior del lecho catalítico lana de cuarzo antes de llegar al catalizador. Adicionalmente y previo a iniciar la
30 reacción, el catalizador se desgasifica en atmósfera de N_2 durante 4 h a 550 °C con una rampa de 1 °C min^{-1} .

En otra modalidad de la invención la relación de Si/Al del catalizador se selecciona de entre 371, 280 y 26.

5 En otra modalidad de la invención se emplea 50 mg de catalizador mezclado con 50 mg de cuarzo triturado y donde el tamaño de partícula del cuarzo triturado se encuentra entre 0.18-0.12 mm.

En donde el método de obtención del catalizador comprende o consiste esencialmente, en general, sin limitaciones, de las siguientes etapas.

10

Obtener zeolita H-ZSM5 calentando 1 g de zeolita $1\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 h en atmósfera inerte, usando una corriente de 100 mL min^{-1} de He, agregar la zeolita H-ZSM5 que presente una relación Si/Al que puede seleccionarse de 371, 280, 26 (1 g de zeolita por cada 100 mL de solución) a
15 una solución acuosa 0.1 M de $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ grado analítico, ajustando hasta un pH de 5 con una solución de 0.1 M NH_4OH , agitar a 300 rpm durante 24 h a temperatura ambiente, secar durante 24 horas a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en mufla y finalmente se calcina a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 h usando una rampa de $1\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$. Los catalizadores obtenidos tienen una relación de Si/Al de entre 371, 280 y 26.

20

Se mostrarán algunas características relevantes de los catalizadores desarrollados, así como del proceso de obtención de C_2H_4 , los cuales pretenden mostrar algunas características de dichos métodos, pero no deben considerarse como limitativos.

25

Evaluación de la actividad catalítica

Se evaluó de la actividad catalítica de los catalizadores obtenidos, dicha evaluación se llevó a cabo entre $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, a una presión atmosférica de
30 0.75 atm en un reactor vertical de cuarzo (diámetro interno de 16 mm) cubierto por un horno de calentamiento (Applied Test Systems, USA) con sistema de control de temperatura. Se usó lana de cuarzo en la parte superior del lecho

catalítico para generar turbulencia en la corriente de reacción antes de llegar al catalizador. En todos los experimentos se emplearon 50 mg de catalizador mezclado con 50 mg de cuarzo triturado (tamaño de partícula entre 0.18-0.12 mm). Previo a la reacción, las muestras de catalizador se desgasificaron en atmósfera de N₂ durante 4 h a 550 °C con una rampa de 1 °C min⁻¹. 0.034 mL min⁻¹ de bioetanol se alimentaron al reactor, usando una bomba dosificadora Simdos 02 (KNF Neuberger, USA). Antes de ingresar al reactor, el bioetanol se mezcló con N₂ (350 mL min⁻¹) como gas de arrastre.

La salida del reactor se conectó a un condensador que operaba a 4 °C para recolectar el etanol y agua que no reaccionaron. Los productos no condensables se cuantificaron en línea mediante cromatografía de gases (GC) en un equipo Clarus 580 (Perkin Elmer, USA), equipado con una columna HP-PLOT Q, (30 m x 0,53 mm x 40 µm, Agilent J&W) conectada a un detector de conductividad térmica (TCD), mientras que para los productos condensables se empleó un detector ionizado de llama (FID). Para las pruebas de estabilidad realizadas se siguió el mismo procedimiento, tomando muestras del condensado cada hora por triplicado con el fin de evaluar la conversión.

La Figura 1 muestra la conversión de etanol y la selectividad a C₂H₄ durante la deshidratación catalítica de etanol, usando las zeolitas Z26 y Z371 dopadas con Ce y Cu, con el fin de evaluar valores extremos de la relación Si/Al y el dopaje en el desempeño catalítico, los resultados obtenidos para la Z280 se incluyeron para comparación. Las Figuras 1a y b muestran la conversión de etanol obtenido con catalizadores basados en zeolitas ZSM-5. La zeolita Z26 mostró la mayor actividad, alcanzado 97.47 % de conversión de etanol a 250 °C; mientras que los demás catalizadores a la misma temperatura tienen actividades inferiores al 80 %. La relación Si/Al en las zeolitas afecta la deshidratación del etanol ya que modifica la distribución y fuerza de los sitios ácidos de Lewis y Brönsted.

En las Figuras 1 c y d se muestra la selectividad a C₂H₄ de los catalizadores basados en ZSM-5. La selectividad a C₂H₄ también es favorecida a menores

relaciones Si/Al. A 300 °C, donde todos los catalizadores alcanzan conversiones de etanol superiores a 90 %, la selectividad decrece en el orden Z26 (100%) > Z280 = ZSM5-371 (96%) > Ce-Z26 = Cu-Z26 (94%) > Ce-Z371 (83%) > Cu-Z371 (64%).

5

Estudio de la estructura de los catalizadores.

Adicionalmente se estudió La estructura cristalina de las zeolitas por medio de XRD. Los espectros se registraron a 2θ con un tamaño de paso de $0,05^\circ$, un
10 tiempo de paso de 3 s y la desviación de la posición del pico fue $\leq 0,002^\circ$.

La deshidratación del etanol sobre la superficie catalítica de las muestras de zeolitas se estudió por *in-situ* DRIFTS, utilizando un espectrómetro Nicolet iS10 (Thermo Scientific, USA) equipado con un accesorio de reflexión difusa DRK-3
15 Praying Mantis (Harrick, EE.UU.) con ventanas de SeZn. Las zeolitas se pretrataron en atmósfera inerte de N_2 (47 mL min^{-1}) desde temperatura ambiente hasta 500 °C con una rampa de $5^\circ \text{C min}^{-1}$ y se mantuvieron a esa temperatura durante 4 h. Los ensayos se realizaron a 300 °C con un flujo constante de He (50 mL min^{-1}). Con el fin de observar el mecanismo de adsorción, al alcanzar la
20 temperatura de reacción se alimentó una corriente de bioetanol (0.03 mL min^{-1}) mediante una bomba dosificadora (Simdos 02, KNF Neuberger, USA) y se mezcló con la corriente de He (50 mL min^{-1}) como carrier durante 1 h. Luego, con el fin de ver la velocidad de desorción de los intermediarios, la muestra se purgó durante 1 h con flujo de He (50 mL min^{-1}). Las mediciones de los espectros
25 se llevaron a cabo en un rango de $4000 - 600 \text{ cm}^{-1}$, con un promedio de 32 scans y una resolución de 4 cm^{-1} . Cada espectro se obtuvo restando el blanco recolectado para la zeolita a la temperatura de reacción. Antes de iniciar la desorción se tomó un blanco de la zeolita con el bioetanol adsorbido.

30 El área superficial de las muestras se determinó mediante el método BET (Brunauer-Emmett-Teller) de adsorción con N_2 líquido (-196°C) en una unidad ChemBET Pulsar (Quantachrome Instruments, FL, USA), usando una corriente

de N₂/He al 30%. Para ello, se desgasificaron 0,02 g de muestra de catalizador a 120 °C durante 2 h en gas inerte (N₂, 20 mL min⁻¹). El ensayo del área superficial se repitió por triplicado hasta tener una desviación estándar menor al 5% entre las mediciones de la misma muestra.

5

La Figura 2 muestra los espectros XRD de los catalizadores basados en zeolitas ZSM-5. Todas las muestras tienen un espectro en 2θ bien definido con picos característicos de Bragg de alta intensidad entre 22 y 25°, indicando que la zeolita ZSM-5 se formó adecuadamente con una estructura cristalina.

10

La Figura 3 muestra los DRIFTS para las zeolitas H-ZSM-5 a las diferentes relaciones Si/Al, durante la adsorción de bioetanol seguida de una purga en atmósfera inerte. Para todas las zeolitas se observaron cambios en 3 zonas principales de los espectros: la primera zona (I en la Figura 3) entre 3500 y 3750 cm⁻¹ que corresponde a bandas asociadas a los sitios ácidos de Lewis en 3738 cm⁻¹ (p.ej. Si—OH) y a los sitios ácidos de Brönsted entre 3500 y 3670 cm⁻¹ formados por los grupos OH- unidos al Al en el marco exterior e interior de las zeolitas, respectivamente (p.je. Si—OH—Al). La segunda zona (II en la Figura 3), corresponde a la región de vibraciones simétricas y asimétricas de los grupos —CH₃ y —CH₂ de los grupos etoxi formados por la adsorción del etanol (2982 y 2934 cm⁻¹); y la tercera zona (III en la Figura 4) entre 1200 y 1900 cm⁻¹ que corresponde a los grupos formates y carbonates adsorbidos en la superficie del catalizador (C—O groups). Adicionalmente, para las tres zeolitas se observó una banda a 2345 cm⁻¹ correspondiente a la fase gaseosa molecular del CO₂ y la formación de agua como producto de la reacción en la banda en ~1330 cm⁻¹.

25

En la zona I, durante la etapa de adsorción, se observó una banda negativa en la región de 3745 – 3620 cm⁻¹ y una banda negativa centrada en ~3740 cm⁻¹ que corresponde a la adsorción del bioetanol en los grupos OH- de la zeolita. Además, se observó que se forma una nueva banda ~3560 cm⁻¹, la cual corresponde a vibración del -OH del bioetanol adsorbido, siendo más intensa en la H-ZSM-5 Si/Al 26 Z26. Es decir, a menores relaciones Si/Al, la capacidad para

30

adsorber el etanol aumenta en las zeolitas H-ZSM-5, lo que se relacionaría con la mayor actividad de la H-ZSM-5 (Figura 1). Por otra parte, durante la desorción (purga) las bandas asociadas al etanol adsorbido en las zeolitas desaparecen gradualmente, la desorción ocurre rápidamente en las muestras H-ZSM-5 Si/Al 280 y H-ZSM-5 Si/Al 371.

En la zona II (Figura 3) asociada a la formación de grupos $-\text{CH}_3$ y $-\text{CH}_2$, se observa una mayor intensidad (región $2900\text{--}2600\text{ cm}^{-1}$) para la zeolita con menor relación Si/Al (i.e., Z26, Figura 3a) que para las zeolitas con mayor relación Si/Al (Z280 y Z371 en las Figuras 3 b y c, respectivamente). Lo anterior sugiere que, además de facilitar la adsorción de etanol, la zeolita Z26 promueve la formación de C_2H_4 , el cual se confirma con las bandas a ~ 2880 y $\sim 1645\text{ cm}^{-1}$. Sin embargo, la desorción de los grupos etoxi es más lento en la zeolita Z26 (Figura 3a).

La presencia de grupos formates y carbonates adsorbidos (zona 3 en la Figura 3) también cambia a diferentes relaciones Si/Al en zeolitas H-ZSM-5. En comparación con los DRIFTS de adsorción de etanol sintético reportadas anteriormente, en estos resultados se evidencia la presencia de bandas adicionales en 1446 y 1557 cm^{-1} que estarían asociadas a vibraciones simétricas y asimétricas, respectivamente, de intermediarios como acetatos (OCO), favorecidos o causados por la presencia de impurezas en el bioetanol crudo.

Aunque la presente invención ha sido definida en términos de las modalidades y/o configuraciones preferidas que permiten obtener el resultado deseado, se entiende entonces que dentro de la presente divulgación se contemplan las múltiples modificaciones y/o alternativas que se puedan derivar de forma evidente para un experto en la materia, razón por la cual el alcance de la presente invención no está definido únicamente por las implementaciones preferidas definidas acá, sino que, por el contrario, el mismo está enteramente definido por las reivindicaciones adjuntas.