



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Elaboración de un review del proceso de obtención de combustible a través  
de la oligomerización catalizada a presión atmosférica de olefinas C5  
derivadas de alcohol isoamílico**

Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Petroquímica

Trabajo de titulación, previo La obtención del Título de Ingeniero En  
Petroquímica

MSc. Luna Ortiz, Eduardo David

12 de marzo del 2021



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: **Elaboración de un review del proceso de obtención de combustible a través de la oligomerización catalizada a presión atmosférica de olefinas C5 derivadas de alcohol isoamílico** fue realizado por el señor **Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto se cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 de marzo del 2021



Firmado electrónicamente por:  
EDUARDO  
DAVID LUNA

---

**MSc. Luna Ortiz, Eduardo David**

C.C: 1802724912

# INFORME URKUND

## URKUND

### Document Information

<b>Analyzed document</b>	MOREIRA MENDOZA JEFFERSON AURELIO.pdf (D97863133)
<b>Submitted</b>	3/10/2021 3:41:00 PM
<b>Submitted by</b>	Luna Ortiz Eduardo David
<b>Submitter email</b>	edluna@espe.edu.ec
<b>Similarity</b>	4%
<b>Analysis address</b>	edluna.espe@analysis.orkund.com



### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / ESCRITO_TESIS_MARTINEZ.pdf</b> Document ESCRITO_TESIS_MARTINEZ.pdf (D77900196) Submitted by: edluna@espe.edu.ec Receiver: edluna.espe@analysis.orkund.com	9
<b>W</b>	URL: <a href="https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76832/D%C3%ADaz%20-%20Oligomerizaci%C3%A9n%20de%20poliiminas%20en%20soluci%C3%B3n">https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76832/D%C3%ADaz%20-%20Oligomerizaci%C3%A9n%20de%20poliiminas%20en%20soluci%C3%B3n</a> Fetched: 3/10/2021 3:41:06 PM	2
<b>W</b>	URL: <a href="https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26451/TFG_ORBEZUA_FERNANDEZ_GAIZKA.pdf?">https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26451/TFG_ORBEZUA_FERNANDEZ_GAIZKA.pdf?</a> ... Fetched: 11/11/2019 2:42:53 AM	2
<b>W</b>	URL: <a href="https://addi.ehu.es/bitstream/10810/18074/2/TFG_LeireGonzalezFlores.pdf">https://addi.ehu.es/bitstream/10810/18074/2/TFG_LeireGonzalezFlores.pdf</a> Fetched: 7/3/2020 5:46:57 AM	1
<b>W</b>	URL: <a href="https://patentimages.storage.googleapis.com/9d/3f/47/9db48e58cba277/ES2360650T3.pdf">https://patentimages.storage.googleapis.com/9d/3f/47/9db48e58cba277/ES2360650T3.pdf</a> Fetched: 3/10/2021 3:42:00 PM	1
<b>W</b>	URL: <a href="https://ddd.uab.cat/pub/trerepro/2008/nd_2072_5273/PFCMonino.pdf">https://ddd.uab.cat/pub/trerepro/2008/nd_2072_5273/PFCMonino.pdf</a> Fetched: 3/10/2021 3:42:00 PM	1
<b>SA</b>	<b>Tesis Srta Ana Bucheli - biblioteca.docx</b> Document Tesis Srta Ana Bucheli - biblioteca.docx (D76829973)	1
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n57/n57a07.pdf">http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n57/n57a07.pdf</a> Fetched: 3/10/2021 3:42:00 PM	2
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v54n1/v54n1a05.pdf">http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v54n1/v54n1a05.pdf</a> Fetched: 3/10/2021 3:42:00 PM	1
<b>W</b>	URL: <a href="http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf">http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf</a> Fetched: 3/10/2021 3:42:00 PM	1

1/29



MSc. Luna Ortiz, Eduardo David

C.C: 1802724912



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo **Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio**, con cédula de ciudadanía n°1313304808, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Elaboración de un review del proceso de obtención de combustible a través de la oligomerización catalizada a presión atmosférica de olefinas C5 derivadas de alcohol isoamílico** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 12 de marzo del 2021.

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Jefferson M.".

---

Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio

C.C: 1313304808



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio**, con cédula de ciudadanía n°1313304808, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Elaboración de un review del proceso de obtención de combustible a través de la oligomerización catalizada a presión atmosférica de olefinas C5 derivadas de alcohol isoamílico** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 12 de marzo del 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jefferson M.', written over a horizontal line.

Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio

C.C: 1313304808

## **Dedicatoria**

“La confianza en sí mismo es el secreto del éxito”

Ralph Waldo Emerson

Dedicado a:

A Dios, por cada día brindarme una nueva oportunidad de levantarme y seguir adelante con las fuerzas necesarias, y buena actitud y aptitud frente a cada reto que se me presentaba en mis estudios.

A mi madre, porque sin ella no soy nada, ha sido mi pilar, mis fuerzas y mis deseos salir adelante en todo este camino universitario, para hacerla sentir orgullosa del hijo que tiene, ya que ella con su sacrificio diario me daba cada centavo que necesitaba para mis estudios y que yo me sintiera a gusto, pero cada sacrificio tiene su recompensa, “ESTE LOGRO ES SOLO TUYO MADRE”.

**Moreira Mendoza, Jefferson Aurelio**

## **Agradecimiento**

Es propio del ser humano racional, reconocer con gratitud a las personas que contribuyen de forma directa e indirecta en el logro de sus metas. El agradecimiento de este logro está dedicado sin lugar a dudas a mi madre, persona que se encargó de guiarme, apoyarme, e impulsarme a siempre seguir adelante a pesar de los obstáculos que se presentaron a lo largo del camino de este gran logro.

A mi padre, que, a pesar de ya no encontrarse a mi lado físicamente, siempre estará presente en mis pensamientos y en mi corazón., siempre ha sido mi ejemplo a seguir, el espejo de quien quiero ser.

A mis hermanos, por ser mis consejeros y mi apoyo, siempre guiándome por el camino del bien.

A mis sobrinos y cuñados, por aportar siempre con ese granito de arena para seguir adelante, brindándome todo su cariño y fuerzas para continuar y no desfallecer.

A mi compañera de vida, por ser mi mano derecha, mi confidente, mi paño de lágrimas, por estar siempre a mi lado, tal vez no físicamente, pero si a la distancia, dándome ánimos y su apoyo incondicional.

A mi tutor, porque fue el primer docente que me marco en mi época universitaria, por su forma de hacernos ver la vida, siendo un ejemplo a seguir y convirtiéndose en un amigo.

A mis docentes, que en cada clase dejaron plasmados sus conocimientos, los cuales han sido de gran importancia para llegar a este punto de mi etapa universitaria.

A mis compañeros, por ser aquellos que nos ayudan a pasar esos malos ratos, quienes nos ayudan cuando tenemos dudas, por ser prácticamente las personas que le dan sentido a esta gran etapa de vida.



## Tabla de Contenidos

Carátula .....	1
Certificación .....	2
Informe URKUND.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Tabla de Contenidos .....	9
Índice de Figuras .....	13
Índice de Tablas .....	14
Resumen .....	15
Abstract .....	16
CAPÍTULO I .....	17
Introducción .....	17
Planteamiento del Problema .....	18
Antecedentes .....	20
Justificación e Importancia .....	26
Objetivos.....	28
<i>Objetivo General</i> .....	28
<i>Objetivos Específicos</i> .....	28
Variables de la investigación .....	28
<i>Variable Dependiente</i> .....	28

<i>Variable Independiente</i> .....	28
Hipótesis .....	28
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>29</b>
<b>Marco Teórico</b> .....	<b>29</b>
<b>Materia Prima</b> .....	<b>29</b>
<b>Materia Prima Renovable</b> .....	<b>29</b>
<b>Materia Prima No Renovable</b> .....	<b>30</b>
<b>Aceite de Fusel</b> .....	<b>31</b>
<b>Definición</b> .....	<b>31</b>
<b>Propiedades</b> .....	<b>32</b>
<b>Usos y aplicaciones Industriales</b> .....	<b>32</b>
<b>Alcohol Isoamílico</b> .....	<b>33</b>
<b>Definición</b> .....	<b>33</b>
<b>Estructura</b> .....	<b>33</b>
<b>Producción</b> .....	<b>34</b>
<b>Propiedades y características</b> .....	<b>34</b>
<b>Olefinas</b> .....	<b>35</b>
<b>Definición</b> .....	<b>35</b>
<b>Fórmula</b> .....	<b>36</b>
<b>Olefinas C<sub>5</sub></b> .....	<b>37</b>
<b>Catalizador</b> .....	<b>38</b>
<b>Definición</b> .....	<b>38</b>
<b>Efecto del catalizador en la reacción</b> .....	<b>38</b>
<b>Zeolita</b> .....	<b>39</b>

Definición .....	39
Zeolita ZSM-5.....	40
Oligomerización .....	42
Mecanismo del Proceso de Oligomerización .....	43
Mecanismo del proceso de Oligomerización de Pentenos .....	45
Combustible a partir de Fuentes Renovables .....	46
Caracterización de los Productos .....	47
Cromatografía gaseosa con espectrometría de masas .....	47
Viscosidad.....	48
Densidad.....	49
Otros Análisis de Caracterización .....	50
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>51</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>51</b>
<b>Recopilación de Información .....</b>	<b>51</b>
<b>Obtención de la materia prima que se utiliza en el proceso.....</b>	<b>51</b>
<b>Tratamiento de la materia prima .....</b>	<b>51</b>
<b>Propiedades de la materia prima .....</b>	<b>51</b>
<b>Catalizadores utilizados .....</b>	<b>51</b>
<b>Condiciones de operación como cantidad de catalizador, presión, temperatura,         entre otros datos.....</b>	<b>51</b>
<b>Mecanismo del proceso de oligomerización.....</b>	<b>51</b>
<b>Caracterización de los productos obtenidos .....</b>	<b>51</b>
<b>Información relevante del uso del proceso de oligomerización como alternativa..</b>	<b>51</b>
<b>Elaboración del Review .....</b>	<b>51</b>

<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>53</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>55</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>55</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>55</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>65</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1. Biomasa utilizada para obtener materias primas con mayor valor agregado .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2. Esquema de un Torre de Destilación .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 3. Molécula de Alcohol Isoamílico .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 4. Molécula de Etileno.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5. Estructura del 1-penteno y 2-penteno.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 6. Diagrama de energía de potencial mostrando el descenso de la barrera de energía de activación para una reacción catalizada. ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 7. Unidad estructural básica de una zeolita .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 8. Estructura de la zeolita ZSM-5 .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 9. Proceso de oligomerización del propileno.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 10. Mecanismo de la oligomerización del propileno .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 11. Mecanismo de la oligomerización del 1-penteno .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 12. Mecanismo de la oligomerización del 2-penteno .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 13. Cromatógrafo en fase gaseosa Clarus SQ 8C acoplado a un espectrómetro de masas .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 14. Viscosímetro de Ostwald .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 15. Picnómetro.....</b>	<b>49</b>

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Propiedades físicas de los componentes del aceite de fusel.....</i>	<b>32</b>
<i>Tabla 2. Propiedades del alcohol isoamílico .....</i>	<b>35</b>
<i>Tabla 3. Propiedades del alcohol isoamílico .....</i>	<b>37</b>

## **Resumen**

La presente investigación, está basada en realizar una revisión bibliográfica de un proceso de obtención de combustibles dentro del rango de la gasolina y el diésel, oligomerización de olefinas ligeras a través de un catalizador zeolítico con característica ácida HZSM-5, para poder realizar un Paper Review. Se encontrará entonces razones del porque utilizar el proceso de oligomerización de olefinas, y de donde obtiene estas olefinas, para que el producto obtenido no genere contaminación en comparación con los combustibles fósiles que se obtienen a partir del petróleo crudo, principal fuente de emisión de gases contaminantes a partir del uso de sus productos finales. En lo que al marco teórico se refiere, se plantean conceptos básicos y complejos con respecto a la oligomerización, la materia prima, catalizadores, condiciones de operación, caracterización de los productos, entre otros, que permitirán al lector tener claro cuál es el objetivo del presente trabajo. Cada capítulo se encontrará estructurado de manera adecuado, por ejemplo, en el capítulo tres se presentará la metodología empleada para la elaboración del Review, las técnicas de recolección de información, así como el análisis de resultados que se presentan en el capítulo cuarto. En fin, el objetivo de esta investigación científica es realizar una revisión de diferentes estudios realizados del proceso de oligomerización de olefinas ligeras, para la obtención de combustibles utilizando una zeolita ZSM-5 como catalizador.

Palabras clave:

- **OLIGOMERIZACIÓN DE OLEFINAS**
- **OLEFINAS C5**
- **CATALIZADOR ZEOLÍTICO**
- **ZEOLITA HZSM-5**
- **REVIEW**

## **Abstract**

This research is based on carrying out a bibliographic review of a process for obtaining fuels within the range of gasoline and diesel, oligomerization of light olefins through a zeolitic catalyst with an acid characteristic HZSM-5, to be able to carry out a Paper Review. Reasons will then be found as to why to use the olefin oligomerization process, and from where it obtains these olefins, so that the product obtained does not generate pollution compared to the fossil fuels obtained from crude oil, the main source of gas emissions. contaminants from the use of their end products. As far as the theoretical framework is concerned, basic and complex concepts are raised with respect to oligomerization, raw material, catalysts, operating conditions, product characterization, among others, which will allow the reader to be clear about the objective of the present work. Each chapter will be properly structured, for example, in chapter three the methodology used to prepare the Review, the information gathering techniques, as well as the analysis of results presented in chapter four will be presented. Finally, the objective of this scientific research is to carry out a review of different studies carried out on the oligomerization process of light olefins, to obtain fuels using a ZSM-5 zeolite as a catalyst.

Key words:

- **OLIGOMERIZATION OF OLEFINS**
- **OLEFIN C5**
- **ZEOLITHIC CATALYST**
- **ZEOLITE HZSM-5**
- **REVIEW**



## CAPÍTULO I

### 1. Introducción

La oligomerización es un proceso reciente, siendo el principal motivo para no encontrar información abundante del tema, como la materia prima, proceso de producción, condiciones de operación, entre otros. Al ser un proceso nuevo los investigadores que tienen en mente la elaboración de un estudio de la oligomerización catalizada de olefinas desisten en la búsqueda y optan por otro tipo de investigación debido a la falta de información del proceso. El proceso de oligomerización olefinas catalizada por la zeolita ZSM-5 utilizando materia prima renovable [fermentación de conos, patatas, granos, arroz, trigo, cebada, entre otros] es una gran alternativa a los procesos de obtención de combustible a partir de materia prima no renovable [petróleo crudo], debido al grado alto de contaminación que se genera en los procesos de producción por la presencia de gases contaminantes, principalmente los derivados del azufre que no están presentes en las materias primas renovables. (Awad et al., 2017)

La oligomerización catalizada de olefinas es un proceso de polimerización que se realiza hasta un grado definido, a pesar de que este proceso es nuevo y no se cuenta con gran cantidad de información se ha venido empleando en los últimos años para producción de combustibles amigables con el ambiente debido a la utilización de materia prima renovable, que en muchas ocasiones es un desecho [subproducto] de otro proceso, obteniendo un combustible que tenga bajo contenido de azufre y de compuestos aromáticos, para que se reduzcan la emisión de gases contaminantes y por ende la contaminación. (Díaz Rey, 2016)

La materia prima de la oligomerización son las olefinas ligeras, en rango de  $C_2$  a  $C_6$ , que, obtenidas a partir de los procesos de degradación de plátano, trigo, caña de azúcar, madera, de donde se obtienen alcoholes que posteriormente pasan por un proceso de deshidratación para obtener las olefinas. Debido a que las olefinas son

obtenidas de fuentes renovables, el proceso de oligomerización es una alternativa viable, económica y amigable con el ambiente que se puede encontrar para la sustitución de los procesos de obtención de combustibles a partir de la refinación del petróleo crudo. (Bellussi et al., 2012)

Los combustibles que se obtienen de los procesos de refinación de crudo generan una gran cantidad de emisión de gases contaminantes, aparte de ser la principal fuente de combustible, debido a la alta demanda, altos costos de procesos de producción, se busca una alternativa para producción de combustibles a través de fuentes renovables que en muchos casos son residuos de otros procesos, como lo es el aceite de fusel [Residuo de la destilación de etanol], este aceite está compuesto alcoholes desde el  $C_3$  hasta el  $C_5$  siendo el principal constituyente el alcohol isoamílico. (Díaz Rey, 2016)

El proceso de producción de combustibles a través de la oligomerización de olefinas catalizado por la zeolita ZSM-5 es una de las principales alternativas, al proceso de producción de combustible mediante el crudo, debido a que la materia prima para la oligomerización es un subproducto de otros procesos, que prácticamente son desechados, generando así un mayor grado de contaminación. En este documento se presenta la elaboración de Review del proceso de Oligomerización de olefinas catalizada por la zeolita ZSM-5 a partir de materia prima renovable, obteniendo un producto que no genere tanta contaminación comparada con el combustible obtenido a partir de materia prima no renovable [petróleo crudo]. (Kresnawahjuesa et al., 2002)

### **1.1. Planteamiento del Problema**

La falta de información de procesos de producción de combustibles a partir de biomasa, es un problema actual que se presenta debido a la falta de estudios con respecto al tema, y al ser estos procesos los sustitutos amigables con el ambiente, tomando en cuenta que la producción de combustibles se realiza a partir de fuentes

hidrocarburíferas que desde el proceso de extracción hasta el uso de los combustibles en los diferentes automotores genera alta contaminación por los componentes que presenta la materia prima [crudo] utilizada. Tomando en cuenta estos factores de contaminación es apremiante buscar nuevas alternativas, que deben ser estudiadas de manera exhaustiva para ponerlos en práctica.

La Industria del petróleo es una de las principales fuentes de contaminación a nivel mundial, debido a la presencia de azufre, compuestos aromáticos, y otros componentes que presenta en su composición, los cuales al ser quemados generan gases contaminantes, principalmente en la producción de combustibles como la gasolina, el diésel, combustibles para aviones, entre otros. Estos gases contaminantes que se generan son conocidos como los gases de efecto invernadero, gases que generan la destrucción de la capa de ozono, por ende, la problemática es la contaminación, que puede ser disminuida con la producción de combustibles que generen menor impacto negativo al medio ambiente. (Lanzafame et al., 2014)

El crudo de petróleo es la principal fuente de producción de combustibles, debido a la alta demanda que existe a nivel mundial. Aparte de esto los procesos de extracción de crudo, así como los procesos de refinación, generan alta cantidad de perjuicios medioambientales, debido a que estas actividades se realizan principalmente en zonas donde se encuentran gran cantidad de áreas verdes, que son el hábitat de cientos de especies que allí se encuentra. Debido a estos factores tanto económicos, de contaminación y alta demanda, se ha optado por la búsqueda de nuevas alternativas en la producción de combustibles, siendo una de las principales el proceso de oligomerización catalizada de olefinas, mediante un catalizador ácido zeolítico [ZSM-5]. (Moñino Aguilera & Galdos Balzategi, 2008)

Las olefinas son la materia prima del proceso de oligomerización, son obtenidas a través de la deshidratación de alcoholes, que se los puede obtener como residuo del proceso de destilación de etanol, que utiliza como material de partida cebada, arroz, remolacha, entre otros [materia prima renovable], como aceite de fusel, mezcla de

alcoholes desde  $C_3$  hasta  $C_5$  siendo el componente con mayor proporción el alcohol isoamílico [ $C_5H_{10}O$ ]. (Ferreira et al., 2013)

En Ecuador la demanda de combustibles fósiles es alta, siendo en el año 2016 de 80000 barriles por día, ocasionando una gran preocupación por el alto grado de contaminación que se genera en el país, razón por la cual cada día se aumenta la búsqueda de alternativas para la producción de combustibles que sean amigables por el ambiente, o que tengan menor impacto de contaminación. La elaboración de un artículo científico del proceso de oligomerización de olefinas es una alternativa altamente viable debido a que la materia prima para este proceso es desecho de otro debido a su bajo valor agregado, por ende, el proceso de oligomerización es de gran ayuda para disminuir la contaminación por dos lados, la reutilización de desechos de bajo valor agregado para darle un mayor valor, y la reducción de la emisión de gases contaminantes generados en la utilización de combustibles.

## **1.2. Antecedentes**

La producción de alcohol etílico se da a través del proceso de destilación, donde se genera subproductos, presentes en menor proporción, como lo es el aceite de fusel, subproductos que son generados como impurezas en el proceso de producción de etanol. La cantidad de subproducto generado va a depender de la naturaleza de la materia prima empleada para la destilación. En el aceite de fusel se encuentra la presencia de alcoholes desde  $C_2$  hasta  $C_5$ , siendo el componente de mayor proporción el alcohol isoamílico, que sirve como materia prima para la producción de olefinas y a su vez estas pueden ser utilizadas en el proceso de oligomerización catalizado por zeolitas. (Téllez Mosquera & Cote Menéndez, 2006)

Para la oligomerización de 1-hexeno y eteno se trabaja con las siguientes condiciones de operación: temperatura de 200° C y una presión de 35 bar. En su estudio realiza la oligomerización de estas dos olefinas [1-hexeno y eteno], utilizando dos tipos de zeolitas: ZSM-5 y H-beta, siendo modificadas sus propiedades incluyendo

en su composición Ni y Si/Al en la misma proporción para ambos catalizadores, para determinar cuáles son las que brindan los mejores resultados. Las zeolitas ZMS-5 y H-beta de 5 nm de diámetro de mesoporo cristalino, fueron los que presentaron mejores resultados, con una selectividad mayor al 80% para hidrocarburos de cadena larga, siendo eficiente para la producción de diésel. (Moon et al., 2018)

Debida a la gran demanda de combustibles fósiles [derivados de materia prima no renovable, crudo] y la reciente crisis energética que ha tomado fuerza en la última década, causando emisiones de gases de efecto invernadero [GEI] que generan problemas de calentamiento global. Por este motivo se ha impulsado la obtención de biocombustibles. Los combustibles para avión, también conocido como Jet fuel o JP1, pueden ser obtenidos a través del proceso de oligomerización de etileno, proceso que se lleva a cabo a través de un catalizador de Ni/Al-MCM-41 en un reactor de lecho fijo utilizando diferentes condiciones de operación. El catalizador puede ser caracterizado por Fisisorción de nitrógeno, DRX, FT-IR, PY-IR y SAXS, mientras que los productos líquidos y gaseosos se analizan por Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas [CG-EM]. La reacción de oligomerización produjo una conversión del 85% y los productos generados fueron dos: la biogasolina y la bioturbinsosa [combustible de aviones]. El mayor rendimiento de bioturbinsosa se encontró a 130 °C y un WHSV de 1,14 h<sup>-1</sup>. La implementación de Al en el catalizador utilizado generó la formación de alquenos ramificados, es decir, con sustituyentes alquílicos, mejorando las propiedades de los hidrocarburos obtenidos. (Quevedo Pérez, 2018)

El catalizador zeolítico HZSM-5 puede ser mejorado mediante la incorporación de Ni, estudiado en la oligomerización de 1-buteno a presión atmosférica y una temperatura de 275 °C, condiciones a las que se obtiene un alto rendimiento hacia la producción de gasolina y un rendimiento bajo de gases. La incorporación de Ni en el catalizador zeolítico HZSM-5 reduce la rapidez de la oligomerización de 1-buteno, por lo contrario, tiene el efecto favorable de mayor estabilidad del catalizador, teniendo

una mayor actividad en comparación con un catalizador HZSM-5 puro, debido a que pasiva centros activos fuertes y reduce la acidez. (Orbezua Fernández, 2017)

En la investigación realizada por (Díaz Rey, 2016), se realiza la comparación de catalizadores zeolíticos ZSM-5 tipo MFI y FER en el proceso de oligomerización de olefinas C5 para la obtención de fracciones con moléculas más grandes que constan de mayor cantidad de átomos de carbono, a condiciones de operación de 400 °C de temperatura y 40 *bares* de presión. La selectividad con respecto a los productos líquidos la zeolita tipo MFI y la zeolita FER presentan un mayor grado de selectividad hacia la gasolina y un grado menor hacia el diésel.

Para el proceso de oligomerización el catalizador que presenta las mejores condiciones con respecto a selectividad de combustible, es la zeolita HZMS-5, puesto que con variar las condiciones de operación [presión y temperatura] se puede obtener ya sea combustible en el rango de la gasolina o en el rango del diésel, siendo el principal catalizador que se utiliza para este proceso. Las condiciones favorables para la producción sostenible de diésel a través de la oligomerización de olefinas ligeras son temperaturas menores a 300 °C en el rango de 200 – 220 °C y presiones en el rango de 30 a 50 *bares*, mientras que, para la producción sostenible de gasolina, las condiciones favorables son temperaturas por encima de los 300 °C y presión atmosférica, ya que a estas condiciones predominan los hidrocarburos de cadena corta y aromáticos. El mecanismo del proceso de oligomerización sobre un catalizador ácido sólido tiene lugar a través de la formación de carbocationes. (Gonzalez Flores, 2015)

La oligomerización de olefinas ligeras, como etileno, propileno, butileno, penteno, significa alternativa industrial y sostenible dentro de la producción de combustibles líquidos [diésel, gasolina, combustible para aviones] sin presencia de derivados de azufre y de compuestos aromáticos. El proceso de oligomerización facilita la obtención de combustibles en el rango del diésel y de la gasolina de acuerdo a las condiciones de operación con las que se lleva a cabo la reacción y el tipo de catalizador empleado. La

producción de combustible en el rango de la gasolina se ve favorecida a bajas presiones,  $\leq 30$  bar y temperaturas mayores a 300 °C, mientras que el producto en el rango del diésel se ve favorecido a altas presiones y temperaturas bajas. Las zeolitas son los catalizadores que se utilizan en la mayor parte de los procesos de oligomerización debido a su alta selectividad para formar olefinas dentro del rango del diésel y de la gasolina, mediante el mecanismo de formación de iones carbenio.

(Corma Canós & Martínez Sanchez, 2014)

En el estudio de (Corma, 2011) se establece que la mayoría de reacciones de oligomerización de olefinas ligeras son llevadas a cabo con catalizadores zeolíticos para la producción de combustibles sin contenido de azufre ni aromáticos en su composición, ya sean estos diésel o gasolina, dependiendo de las condiciones de operación: Presión, temperatura, cantidad de catalizador. Los catalizadores utilizados en la mayoría de los procesos de oligomerización catalizada es la zeolita ácida HZSM-5 debido a su gran selectividad hacia la producción de combustibles, que pueden variar siendo gasolina o diésel de acuerdo a la temperatura y presión con las que se esté llevando a cabo el proceso. Las zeolitas de poro medio, corresponde a los mejores catalizadores para el proceso de oligomerización.

La mejora en las propiedades y calidad del combustible, es uno de los principales objetivos en la actualidad para la disminución de la contaminación ambiental, en esta investigación se plantea el proceso de oligomerización de olefinas lineales [1-penteno, 1-hexeno, 1-octeno] catalizados a través de resinas, este proceso se lleva a cabo a una presión de 2 bar, una temperatura de 100 °C en un reactor discontinuo durante 6 horas. Aparte se realizan los estudios de otras variantes de condiciones de operación.

(Cadenas Hernández, 2011)

Un artículo publicado por (Santa Arango et al., 2011), es la recopilación del trabajo de grado realizado por (Santa Arango, 2009) con la ayuda de otros colaboradores, donde indica que la demanda de diésel se ha incrementado en un 30%

aproximadamente en los últimos años, y seguirá aumentando debido al mejor rendimiento y al bajo costo del diésel comparado con el precio y rendimiento de la gasolina. Se realiza la oligomerización de propeno utilizando zeolita modificada con Cr y W, trabajando en un reactor tubular de 1 cm de diámetro, 270 °C, 2,5 MPa, la mezcla de alimentación constituida por 5% propeno y 95%  $N_2$  con un flujo de  $44 \frac{mL}{min}$ , y un gramo de catalizador pre tratado a 120 °C y 270°C. El proceso de oligomerización consta de 2 pasos que son la propagación donde se da la unión de los monómeros y eliminación del hidrógeno para la recuperación del centro ácido de la zeolita.

Otra investigación elaborada por (Santa Arango, 2009) basada en la producción de diésel mediante la oligomerización de olefinas ligeras con catalizadores zeolíticos, trabajando en un reactor PFR a 270 °C de temperatura, 363 *psi* de presión, 5% de olefina en mezcla con gas  $N_2$  y 1 gramo de catalizador en el lecho. El catalizador fue pretratado a 120 °C por 30 minutos y 1 hora a 270 °C a presión atmosférica con flujo de  $N_2$  de  $60 \frac{mL}{min}$ . La utilización de diésel obtenido a partir de procesos de producción tradicionales como los procesos de refinación del crudo, generan un impacto negativo al medio ambiente por la emisión de gases contaminantes que se encuentran presentes en la materia prima, por esto la oligomerización catalizada de olefinas es una alternativa altamente viable para disminuir en cierto grado la contaminación generada, además que cada vez se aumenta el uso de diésel debido a su precio en las diferentes máquinas utilizadas en las grande industrias.

El proceso de oligomerización de olefinas ligeras, es decir, de pocos átomos de carbono, para obtener productos de mayor cantidad de átomos de carbono y a su vez de mayor valor agregado con respecto al producto inicial. Este proceso se realiza a través de la reacción catalizada por un catalizador sólido, produciendo dímeros, trímeros, tetrámeros entre otros, lo cual dependerá del producto que se requiere obtener, modificando los parámetros de la operación como son: la temperatura, el



tipo de catalizador, cantidad de catalizador, presión y flujo de carga del reactivo [olefinas] de acuerdo al tipo de reactor. La ventaja principal del proceso de oligomerización para la producción de combustible, es que el producto final no contiene azufre y tiene poca cantidad de compuestos aromáticos, a diferencia de los otros procesos de refinación utilizados en el campo de petroquímica y que generan los mismos productos. (Cupart et al., 2009)

Para el proceso de oligomerización del 1-buteno con la zeolita ZSM-5 (Perego et al., 2006) trabaja con diversas condiciones de operación, obteniendo los mejores resultados a una temperatura de 260 °C, una presión de 1 atm, y una velocidad espacial de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , donde la selectividad para compuestos en el rango de  $C_{12}$  a  $C_{20}$  es mayor que con las otras condiciones experimentadas, pero la cantidad de aromáticos aumenta considerablemente y el número de cetanos disminuye comparado con el experimento realizado a 230 °C, 1 atm, y una velocidad espacial de  $2,03 \text{ h}^{-1}$  donde la cantidad de aromáticos es mínima, el número de cetanos aumenta, y se tiene una conversión del 99,9%.

La reacción de oligomerización es un proceso que tiene gran importancia en la industria del petróleo, debido a que ayuda al aprovechamiento de las olefinas ligeras generadas de procesos de craqueo, y así poder obtener hidrocarburos de mayor peso molecular dentro del rango de destilados medios y de la gasolina, pudiendo obtener ya sea uno u otro producto variando las condiciones de trabajo y las necesidades, es decir, la demanda de cualquiera de los combustibles mencionados. Los catalizadores utilizados en el proceso de oligomerización son las zeolitas, principalmente la ácida HZSM-5, aunque en los últimos años se ha implementado la modificación de la zeolita, a través de la adición de metales como el Ni, Zn, Al entre otros para modificar sus propiedades y obtener un mayor rendimiento y selectividad hacia los productos. (Rodríguez Escudero, 2006)

(Kresnawahjuesa et al., 2002) en su trabajo realiza el proceso de oligomerización de 1-buteno, trabajando a temperatura de 573 K, utilizando 500 mg de Zeolita ZSM-5 y 0,15 atm de 1-buteno en nitrógeno seco. La velocidad espacial se mantuvo a  $0,63 \frac{g_{1-buteno}}{g_{catalizador} \cdot h}$ . Los productos obtenidos de la reacción de oligomerización se los caracterizó a través de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier [FTIR]. La activación de la zeolita ácida HZSM-5 se la realiza llevando a cabo a cabo el proceso de calcinación a 450 K durante un tiempo de 2 días.

Existen otras investigaciones como la realizada por (Quanm et al., 1988) que aseveran que la oligomerización es un proceso en el cual se puede transformar olefinas ligeras en olefinas de mayor cantidad de átomos de carbono y por ende de mayor peso molecular, la composición del producto que se obtiene así como su peso molecular cambia de acuerdo a las condiciones de operación [presión y temperatura] que se estén empleando. En este trabajo se indica que la oligomerización de olefinas ligeras catalizadas por ZSM-5 a temperaturas bajas entre 200-300 °C y presiones altas en el rango de 30-100 bar lleva a la producción de hidrocarburos de peso molecular en el rango del diésel, por lo contrario, para temperaturas altas y presiones bajas se favorece a la producción de moléculas con peso molecular en el rango de la gasolina.

### **1.3. Justificación e Importancia**

La escasez de trabajos científicos respecto al proceso de producción de combustibles es un obstáculo que se presenta al momento de iniciar con el estudio de este tema y posterior puesta en práctica, razón principal que justifica y fortalece la elaboración de estudios, para así aumentar la cantidad de estudios bibliográficos, teniendo así mayor variedad de material bibliográfico que ayudará a discernir en las futuras investigaciones y estudios prácticos que se realicen con respecto a la producción de combustibles a partir de materia prima renovable.

Actualmente a nivel mundial uno de los principales objetivos es la búsqueda de alternativas en procesos de producción que disminuyan la contaminación,

fomentando así el desarrollo sostenible, estos procesos alternativos deben basarse en una mínima generación de desechos, requerimientos mínimos de energía, y principalmente en la utilización de materia prima no convencional que provenga de recursos naturales renovables, es decir amigables con el medio ambiente. Debido a que la principal fuente de obtención de combustibles fósiles es el petróleo, recurso natural no renovable, y la contaminación generada por la extracción, producción, refinación y todos los procesos relacionados con él petróleo, es de vital importancia buscar fuentes alternativas para la obtención de combustibles, que disminuyan la emisión de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global.

La obtención de la materia prima para el proceso de oligomerización parte del tratamiento del aceite de fusel residual del proceso de producción de etanol de destilerías, en Ecuador se obtiene 350000 litros de aceite de fusel por año, subproducto que es de bajo costo, que puede ser utilizado para su posterior transformación en combustibles, a través de la destilación del aceite de fusel para obtener productos más puros y su posterior deshidratación para obtener olefinas, y llegar a ser catalizadas por la zeolita HZSM-5 y convertidas en combustibles a través del proceso de oligomerización.

Considerando los problemas ambientales producidos por los combustibles fósiles, la alta demanda de petróleo crudo y la cantidad de aceite de fusel producido como subproducto a través de fuentes naturales renovables de materia prima, la elaboración de un artículo científico de la obtención de combustibles a través del proceso de oligomerización de olefinas C5 es de gran importancia para la realización de futuras investigaciones, debido a que se tendrá información referente a este proceso con bajos costos de la materia prima, al ser un desecho de otro proceso, que puede ser convertido en un producto de mayor valor agregado. Por otra parte, los productos obtenidos en el proceso de oligomerización de olefinas generan menor cantidad de gases de efecto invernadero, por la ausencia de azufre en su composición y la baja cantidad de compuestos aromáticos, motivos que indican que este

combustible puede ser considerado como amigable con el ambiente. Por esto es de gran importancia tener una gran gama de estudios científicos referentes al proceso de olefinas en general, y no solo de olefinas C5.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Realizar un Review del proceso de oligomerización catalizada a presión atmosférica de olefinas C5 derivadas de alcohol isoamílico.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Buscar información de los desechos producidos como subproductos de otros procesos que utilizan materia prima renovable y que pueden generar productos de mayor valor agregado como las olefinas.
- Investigar el proceso de transformación de olefinas C5 mediante la oligomerización catalizada por la zeolita ZSM-5 a presión atmosférica para obtener combustible.
- Indagar sobre las condiciones de operación, como la temperatura, cantidad de catalizador que generan mejores resultados en cuanto a eficiencia y efectividad para la obtención del combustible.
- Elaborar un review a partir de la información investigada y verificada del proceso de oligomerización de olefinas C5 catalizado por la zeolita HZSM-5.

## **1.5. Variables de la investigación**

### **1.5.1. Variable Dependiente**

Precisión en la información

### **1.5.2. Variable Independiente**

Artículos Científicos

## **1.6. Hipótesis**

¿Es posible elaborar un Review del proceso de obtención de combustible a través de la oligomerización catalizada a presión atmosférica de olefinas C5 derivadas de alcohol isoamílico?

## CAPÍTULO II

### 2. Marco Teórico

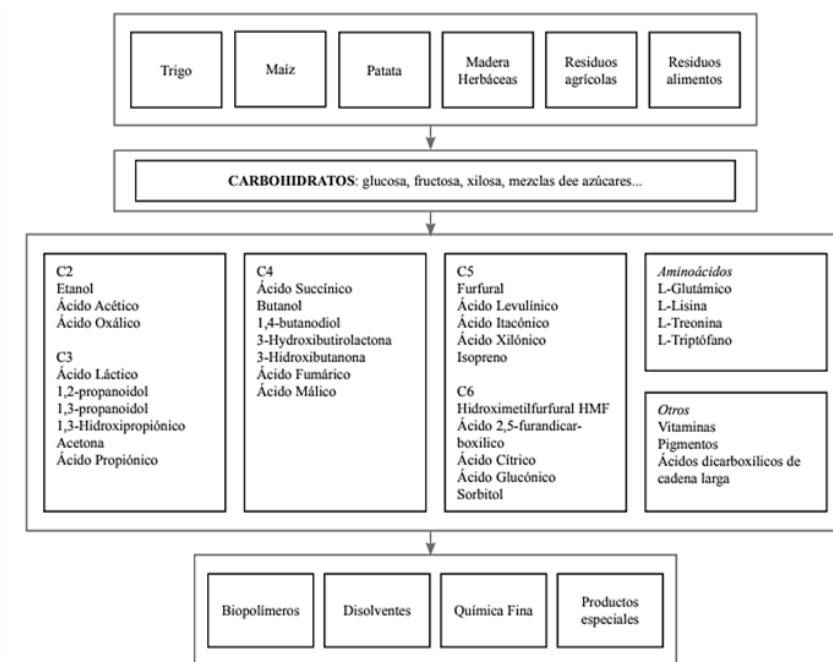
#### 2.1. Materia Prima

##### 2.1.1. Materia Prima Renovable

La materia prima renovable es aquella materia que puede volver a reutilizarse tomando en consideración el ciclo de vida humana, la materia prima renovable se deriva de materias orgánicas como sistemas biológicos y de plantas, siendo un ejemplo el dióxido de carbono, ya que se puede reutilizar para otros procesos, la principal materia prima renovable conocida es la biomasa [materiales orgánicos que se derivan del mundo vegetal, animal o de los microorganismos]. En la siguiente imagen se muestra un esquema de las materias primas renovables y los productos de mayor valor agregado que se pueden producir a través de estos.

**Figura 1**

*Biomasa utilizada para obtener materias primas con mayor valor agregado*



*Nota: Tomado de (Martínez Merino & Gil, 2012)*

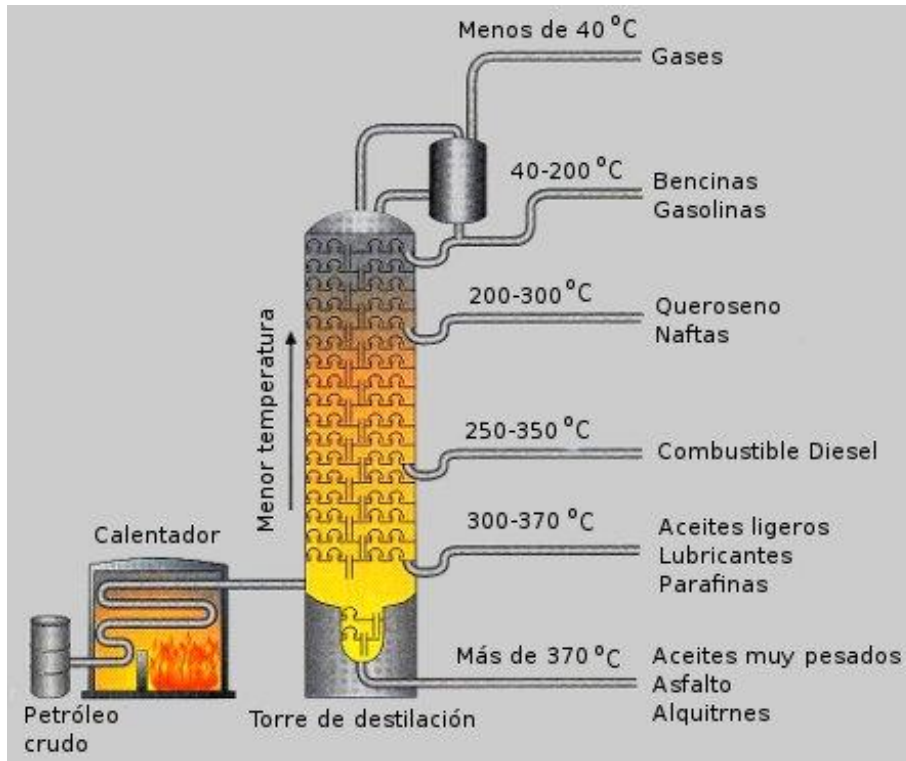
### **2.1.2. Materia Prima No Renovable**

También conocida como materia prima agotable, es aquella materia prima que no se puede renovar es decir volver a utilizar a corto tiempo, sino al pasar miles y miles de años, derivados de procesos geológicos, y que al pasar de los años puede llegar a un tope y agotarse, debido al uso desmesurado y la demanda creciente de los productos obtenidos a partir de la materia prima no renovable, un ejemplo claro de materia prima no renovable es el petróleo crudo. A pesar de ser conocida como agotable, también se la puede considerar como materia prima renovable, pero a largo plazo. Del petróleo se pueden obtener un sin número de productos que son usados a diario, y que cada vez aumenta la demanda, pero que a su vez generan un alto grado de contaminación por los derivados de azufre presente en los productos finales y la cantidad considerable de compuestos aromáticos. El principal producto obtenido a partir del petróleo crudo son los combustibles gasolina, diésel, combustible para aviones, que son quemados al momento de ser consumidos en su uso exclusivo generando emisiones de gases contaminantes.

En la figura 2 se muestra el proceso básico al cual es sometido el petróleo crudo, así como los diversos productos que se pueden obtener del proceso de destilación, donde los productos se encuentran separados de acuerdo a su punto de ebullición:

**Figura 2**

*Esquema de una Torre de Destilación*



*Nota: Tomado de (Martínez Merino & Gil, 2012)*

## 2.2. Aceite de Fusel

### 2.2.1. Definición

Es un subproducto que se obtiene mediante la fermentación de productos agrícolas como conos, patatas, granos, patatas dulces, arroz, trigo, cebada y remolacha. Los principales compuestos del aceite de fusel son los siguientes 3 alcoholes: Alcohol isoamilo, alcohol isobutilo y el alcohol etílico, por esto el aceite de fusel es considerado como una fuente natural de alcoholes de amilo, a través de un proceso de destilación. (Awad et al., 2017)

El aceite de fusel es un producto residual del proceso de destilación de alcohol fermentado [en su mayoría en la producción de etanol], residuo formado por alcoholes desde C<sub>2</sub> a C<sub>5</sub>, motivo que lo hace una fuente renovable y barata de

alcoholes, siendo su constituyente principal el alcohol isoamílico. El aceite de fusel residual del proceso de destilación, es muy poco utilizado para fines comerciales.

(Urresta, 2014)

### 2.2.2. Propiedades

En la tabla 1 se muestra las propiedades y la composición de los alcoholes presentes en el aceite de fusel.

**Tabla 1**

*Propiedades físicas de los componentes del aceite de fusel*

Constituyente	Fórmula Química	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	Peso Molecular [g/mol]	Punto de Congelación [°C]	Punto de Ebullición [°C]	%Molar
Alcohol i-amílico	$C_5H_{12}O$	0.8104	88.148	-117.2	131.1	61.52
Alcohol i-butílico	$C_4H_{10}O$	0.802	74.122	-108	108	15.87
Alcohol n-butílico	$C_4H_{10}O$	0.8098	74-122	-89.5	117.73	0.708
Alcohol n-propílico	$C_3H_8O$	0.8034	60.09	-126.5	97.1	0.704
Etanol	$C_2H_6O$	0.789	46.07	-114.3	78.4	8.98
Agua	$H_2O$	1	18	0	100	12.23

*Nota: Tomado de (Awad et al., 2017)*

### 2.2.3. Usos y aplicaciones Industriales

A partir del proceso de destilación de materia prima fermentada, además del producto de interés, principalmente el etanol, se obtiene otros subproductos o también considerados residuos, siendo el principal componente de estos residuos el aceite fusel, que presente en su composición alcoholes como etanol, isobutanol, y alcohol isoamílico, siendo este último el que presenta mayor porcentaje dentro de la composición. El aceite de fusel que se deriva de los diversos procesos de



destilación tiene usos industriales, para contrarrestar la demanda de esteres, para ser utilizados en las industrias de cosméticos, farmacéutica, alimenticia, entre otras, el uso del aceite de fusel residual es de gran ayuda tanto para las empresas destiladoras como para las industrias que pueden darle uso para obtener sus materias primas y convertirlos en productos de mayor valor agregado. (Devora-Rodríguez et al., 2017)

## **2.3. Alcohol Isoamílico**

### **2.3.1. Definición**

El alcohol isoamílico es un compuesto orgánico, es decir, constituido principalmente por átomos de carbono e hidrógeno enlazados entre sí, su fórmula es  $[CH_3]_2CHCH_2CH_2OH$ . El alcohol isoamílico constituye uno de los isómeros del pentanol, llamados alcoholes amílicos y es un alcohol primario ramificado. El alcohol isoamílico al es un líquido incoloro a temperatura ambiente, propiedad de los alcoholes de bajo peso molecular, permitiendo que sea utilizado como solvente en distintas aplicaciones. (Morrison & Boyd, 1973)

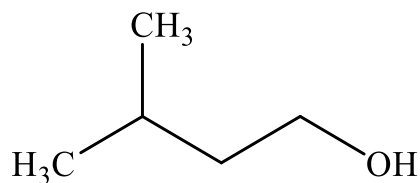
### **2.3.2. Estructura**

El alcohol isoamílico es un compuesto orgánico que presenta 5 átomos de carbono en su estructura acompañado de un grupo hidroxilo  $[OH^-]$ , grupo que le da la característica de alcohol

La estructura química del alcohol isoamílico en formato lineo angular se muestra en la figura 3:

**Figura 3**

*Molécula de Alcohol Isoamílico*



*Nota: Tomado de (Wade, 2011a)*

### **2.3.3. Producción**

Según (Ferreira et al., 2013) el alcohol isoamílico se deriva de la destilación del aceite de fusel, producto residual de las destilerías de etanol, obteniéndose 2,5 litros de aceite de fusel por cada 1000 litros de etanol producido. El alcohol isoamílico es la materia prima para la reacción catalizada para la producción de olefinas C5. El alcohol isoamílico se genera en grandes cantidades como subproducto del proceso de destilación de etanol formando parte del aceite de fusel, donde puede ser desechado o en ocasiones utilizado para darle un mayor valor agregado.

### **2.3.4. Propiedades y características**

El alcohol isoamílico es el constituyente principal del aceite de fusel, siendo un compuesto orgánico de 5 átomos de carbono que presenta como fórmula molecular C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>O. Sus características principales son: Volatilidad moderada, incoloro y presente una toxicidad cuatro veces mayor que la del etanol. El alcohol isoamílico es empleado como disolvente de lacas, gomas, tintas de impresión, así como en las reacciones de esterificación como intermediario. (Urresta, 2014)

A continuación, se muestran algunas propiedades del alcohol isoamílico:

**Tabla 2**

*Propiedades del alcohol isoamílico*

Gravedad Específica [ $H_2O$ : 1] a 20 °C	0.81
Masa Molecular	88.15 g/mol
Presión de Vapor a 24 °C	28 mmHg
Punto de Congelación / fusión	-117.2 °C
Punto de Ebullición	131 °C
Punto de Inflamación	43 °C
Temperatura de autoignición	350 °C

*Nota: Tomado de (Pohanish, 2017a)*

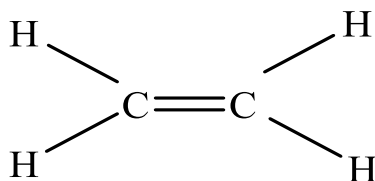
## 2.4. Olefinas

### 2.4.1. Definición

Las olefinas o también llamadas alquenos son hidrocarburos conformados por al menos un enlace doble carbono=carbono. El término olefina es derivado de gas olefinante, que significa “gas formador de aceite”, nombre recibido por parte de las primeras personas que investigaron estos compuestos, quienes observaron la apariencia aceitosa de los productos que se derivan de las olefinas. Las olefinas se los encuentre entre los compuestos industriales de mayor importancia, aparte gran parte de las olefinas se los puede encontrar en plantas y animales. El etileno [ver figura 4] es la olefina de mayor volumen industrial, siendo su principal uso para la producción de polietileno. (Wade, 2011a)

**Figura 4**

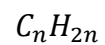
*Molécula de Etileno*



*Nota: Tomado de (Wade, 2011a)*

### 2.4.2. Fórmula

Según (Wade, 2011a) la fórmula de los hidrocarburos saturados que tienen por lo menos un enlace doble C=C [alquenos u olefinas] es la siguiente:



Donde n es el número de átomos de carbono presentes en el compuesto.

En la siguiente tabla se presenta una lista de diversos alquenos con su respectiva fórmula molecular:

**Tabla 3***Propiedades del alcohol isoamílico*

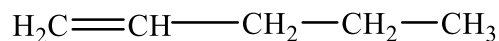
Número de Carbonos	Nombre	Fórmula
2	Eteno	$C_2H_4$
3	Propeno	$C_3H_6$
4	Buteno	$C_4H_8$
5	Penteno	$C_5H_{10}$
6	Hexeno	$C_6H_{12}$
7	Hepteno	$C_7H_{14}$
8	Octeno	$C_8H_{16}$

**2.4.3. Olefinas C<sub>5</sub>**

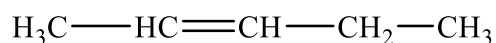
Según (Wade, 2011b) dentro del grupo de las olefinas se encuentran las olefinas C<sub>5</sub>, que son aquellas que presentan en su estructura 5 átomos de carbono y un doble enlace carbono-carbono, denominados pentenos. Los pentenos más conocidos son el 1-penteno y el 2-penteno, a continuación, en la figura 5 se muestra la estructura de estas olefinas:

**Figura 5**

*Estructura del 1-penteno y 2-penteno*



1-penteno  
pent-1-eno



2-penteno  
pent-2-eno

*Nota: Tomado de (Wade, 2011a)*

**2.5. Catalizador****2.5.1. Definición**

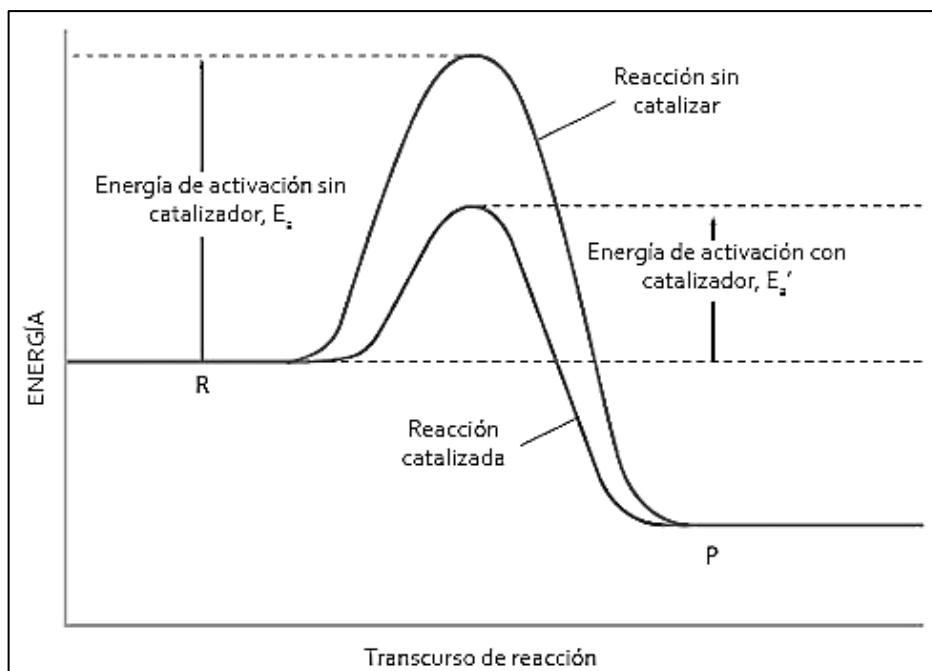
Un catalizador es una sustancia que se agrega a una reacción para aumentar su rapidez. Los catalizadores son de gran importancia en la industria química, ya que mediante el uso de estos se aumenta la eficacia del proceso, debido a que el catalizador acelera la velocidad de reacción inversa y directa en la misma magnitud y por ende esto implica que se reduzca el tiempo para que la reacción llegue al equilibrio. La presencia del catalizador no modifica la constante de equilibrio de la reacción, pero hace aumentar la velocidad con la que se alcanza. (Avery, 2002)

**2.5.2. Efecto del catalizador en la reacción**

En la figura 4 se presenta el efecto del catalizador en el camino de reacción, donde se indica que el efecto del catalizador en la reacción es disminuir la barrera de energía necesaria para que la reacción empiece. (Avery, 2002)

**Figura 6**

*Diagrama de energía de potencial mostrando el descenso de la barrera de energía de activación para una reacción catalizada.*



NOTA: Tomado de (Avery, 2002)

## 2.6. Zeolita

### 2.6.1. Definición

La zeolita es un aluminosilicato [constituido por Al, Si, Na y O] hidratado y altamente cristalino. La estructura de la zeolita es porosa y los diámetros de los poros son pequeños, en el rango de 3 a 10 Å. Su estructura forma cavidades que son ocupadas por moléculas de agua e iones grandes que tienen gran libertad para moverse, que permiten la deshidratación reversible y el intercambio iónico.

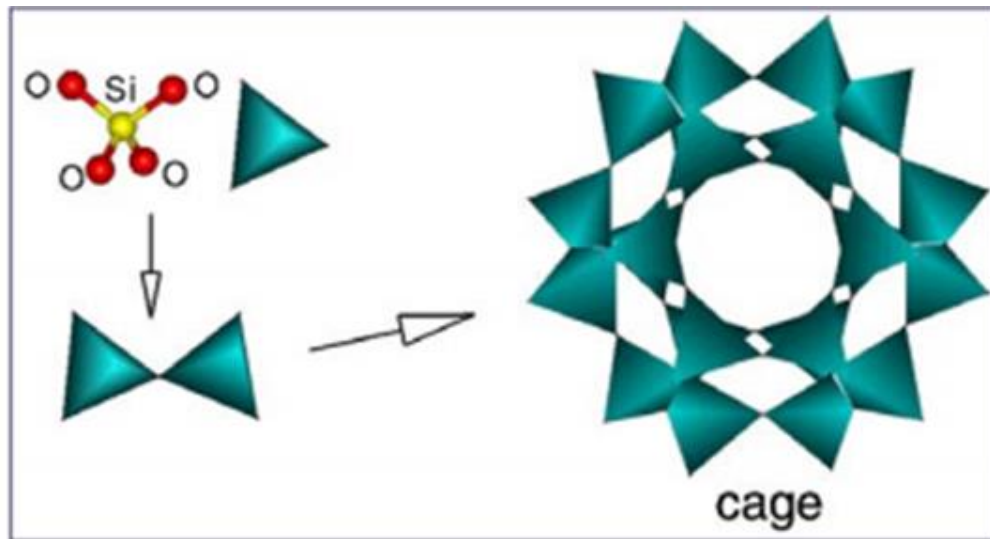
(Schifter & Bosch, 1997)

Las zeolitas están compuestas de un grupo de aluminosilicatos hidratados y cristalinos, con cationes alcalino-térreos y alcalinos, y tienen un orden tridimensional [tectosilicatos] predominando una estructura abierta, que les

facilita la capacidad para incorporar y ceder cationes y agua de su estructura, sin alterar su edificio cristalino, las zeolitas conforman el grupo de minerales más variado y extenso [ver figura 7] de todos los que conforman la corteza terrestre. (Costafreda Mustelier, 2011a)

**Figura 7**

*Unidad estructural básica de una zeolita*



*Nota: Tomado de (Costafreda Mustelier, 2011a)*

### 2.6.2. Zeolita ZSM-5

La zeolita ZSM-5 es una zeolita cristalina, representada por la siguiente composición química:



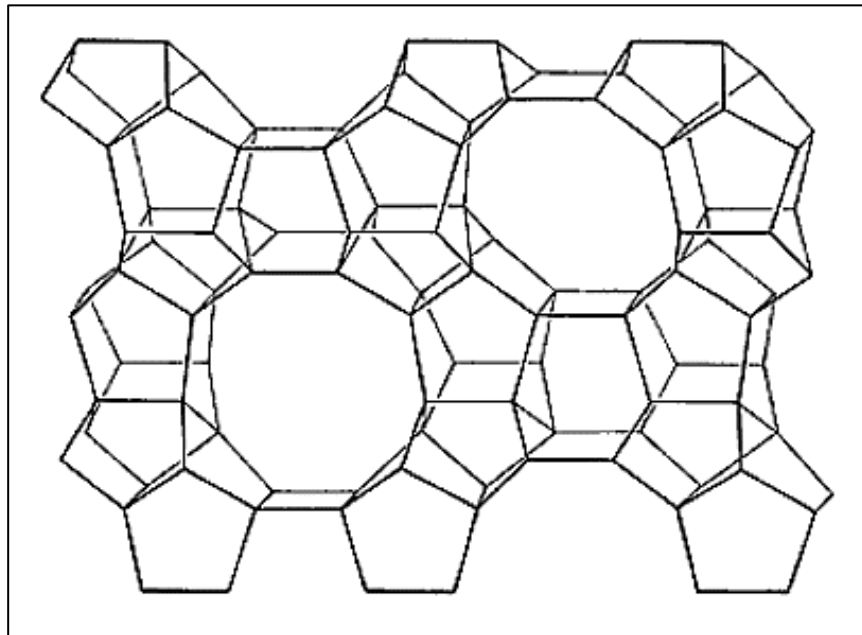
en la que M es al menos un catión, n es la valencia de dicho catión, W es un grupo que consiste en Aluminio y Galio, Y es un grupo que consiste en Silicio y Germanio, y z es el número de moléculas de agua en cada celda unitaria con valores que va de 0 a 40. Esta zeolita tiene como catión cuaternario de amonio el tetrapropilamonio [TPA] y se caracteriza por tener en su estructura un único tipo de canal, y una configuración de 12 tetraedros unidos por sus bordes para producir



cadenas que se pueden entrelazar para formar redes de estructura tridimensional. Las principales características de esta zeolita son: su alta estabilidad térmica y su elevada capacidad de intercambio iónico. (Argauer & Landolt, 1967) En la figura 8 se muestra la estructura de la zeolita ZSM-5.

### Figura 8

*Estructura de la zeolita ZSM-5*



*Nota: Tomado de (Bustillos Yaguana & Suin Arévalo, 2014)*

Según (Madon, 1991) el número de octanos de la gasolina que se fabrica en un FCC [craqueo catalítico fluidizado] puede mejorarse a través del uso de un catalizador ácido de tipo zeolita ZSM-5, siendo su principal función la de catalizar el craqueo de olefinas tanto ramificadas como normales. El incremento en el número de octanos se debe al incremento en el rendimiento de hidrocarburos C5, reducción en los rendimientos de parafinas y olefinas simples, y un aumento en la concentración aromática.

## 2.7. Oligomerización

La oligomerización es un proceso de reacción catalizado para aumentar el tamaño de una molécula hasta un tamaño definido, siendo una polimerización, pero con un grado definido. Las reacciones de oligomerización son ampliamente utilizadas para la mejora de corrientes de olefinas ligeras provenientes de procesos de formación de hidrocarburos, tales como: Craqueo a vapor, FCC, Fischer Tropsh, entre otros, para convertirlas en olefinas más pesadas a ser utilizadas en el campo de la petroquímica o de la energía. (Breuil et al., 2018)

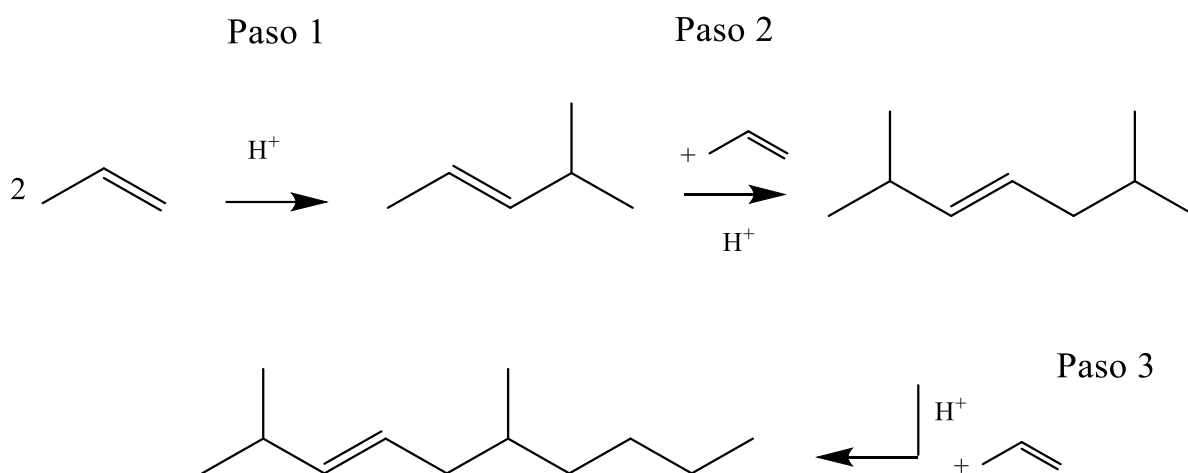
La transformación de olefinas ligeras para su transformación en olefinas pesadas, significa una ruta industrial importante para la producción de combustibles líquidos [diésel y gasolina] sintéticos amigables con el medio ambiente, es decir, libres de azufre y aromáticos. El proceso de oligomerización también representa una ruta estratégica para la producción de medicamentos, lubricantes, colorantes, aditivos, detergentes y plásticos. (Díaz Rey, 2016)

Este proceso es llevado a cabo a través de un catalizador ácido ya sea en fase heterogénea, que es utilizado para la obtención de combustibles, o con un catalizador en fase homogénea, aplicados principalmente para la producción de productos químicos de mayor valor agregado a la materia prima de partida. (Orbezua Fernandez, 2017)

A continuación, en la figura 9, se muestra el proceso de oligomerización del propileno:

**Figura 9**

*Proceso de oligomerización del propileno*



*Nota: Tomado de (Díaz Rey, 2016)*

### 2.7.1. Mecanismo del Proceso de Oligomerización

El mecanismo que se lleva a cabo en el Proceso de Oligomerización va a depender del catalizador que se utilice. Para los catalizadores ácidos sólidos como las resinas ácidas y las zeolitas, se presentan 3 etapas, en las que el proceso de oligomerización tiene lugar mediante la formación de un carbocatión. (Díaz Rey, 2016)

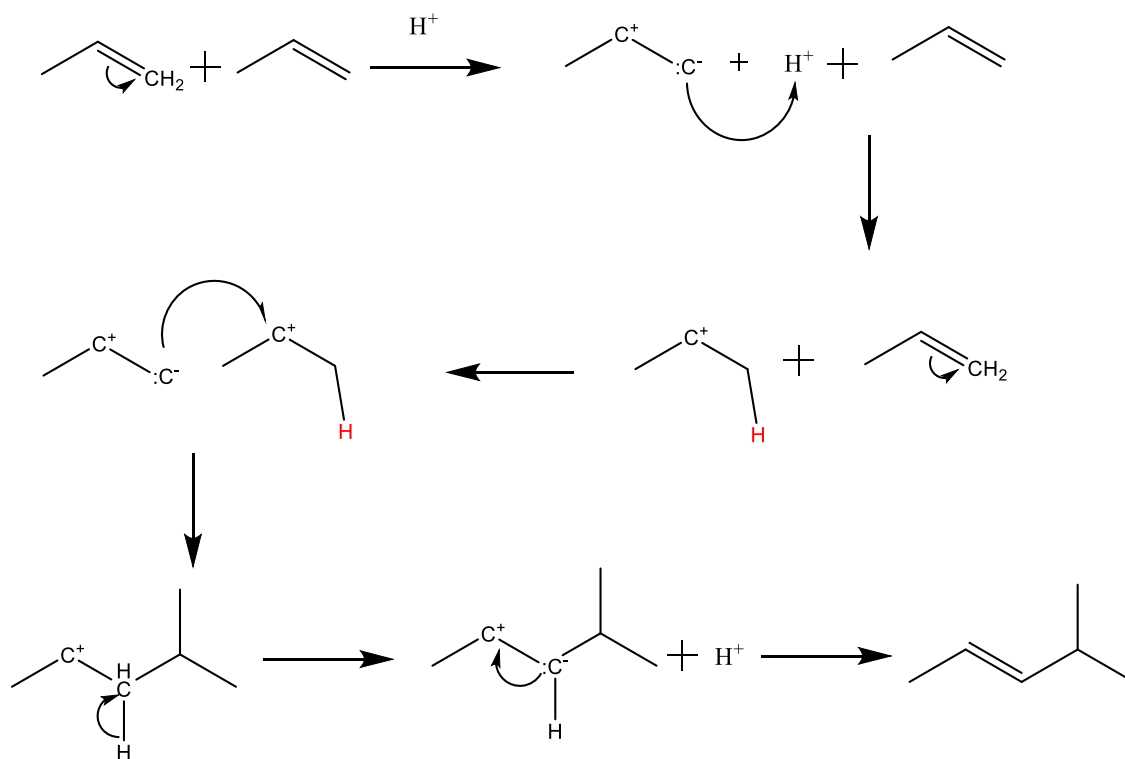
Las tres etapas del mecanismo del proceso de Oligomerización son las siguientes:

- I. Protonación de una molécula de alqueno y posterior formación de ion carbenio.
- II. Reacción con la segunda olefina para la formación del ion carbenio que corresponde al dímero.
- III. Desprotonación y recuperación del parte ácido de Brønsted original.

El mecanismo del proceso de oligomerización de propileno se muestra en la figura 10 donde se está siguiendo la regla de Markovnikov que indica que el carbocatión se debe formar en el carbono más estable o a su vez el más sustituido:

**Figura 10**

*Mecanismo de la oligomerización del propileno*



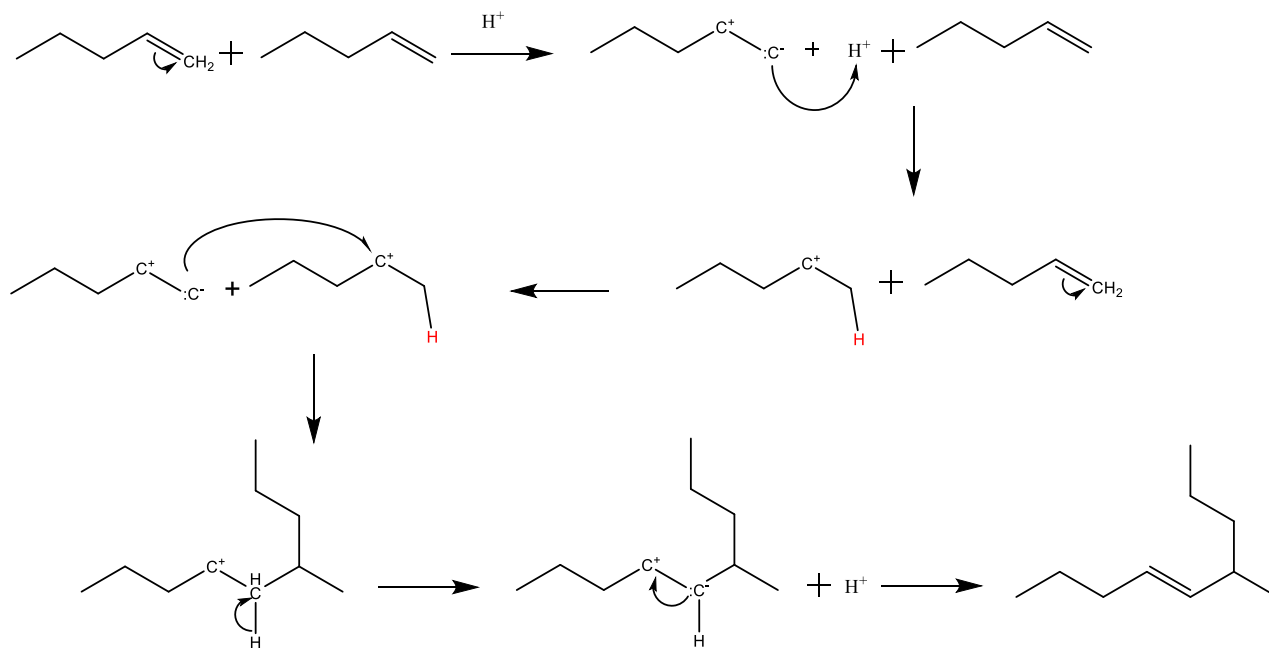
Además de estas etapas de reacción pueden ocurrir otras reacciones que son catalizadas por los centros ácidos Brønsted, tales como craqueo, isomerizaciones y transferencia de hidrógeno, aparte se da la formación de oligómeros con mayor peso molecular, es decir cadenas con mayor cantidad de átomos de carbono, dando lugar a una mezcla de hidrocarburos con un número de monómeros no múltiplo con respecto a la olefina de partida y con distinto grado de ramificación, oligomerización conocida como hetero oligomerización. (Díaz Rey, 2016)

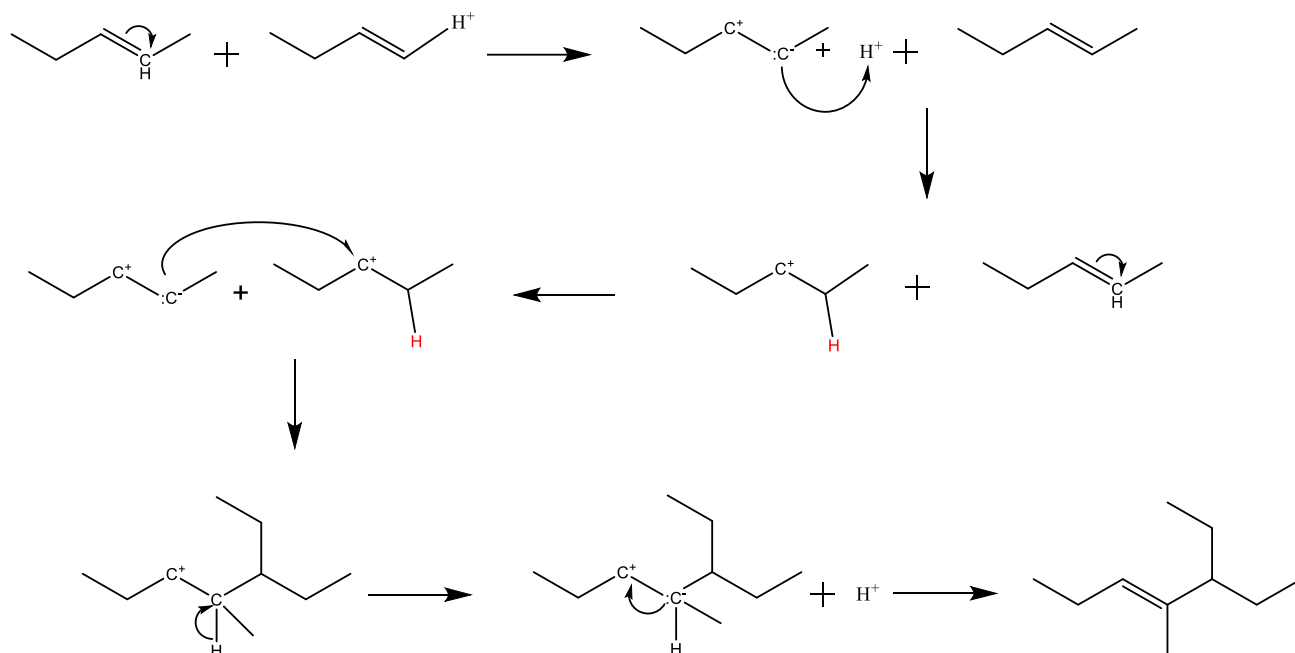
## 2.7.2. Mecanismo del proceso de Oligomerización de Pentenos

El mecanismo del proceso de oligomerización de pentenos va a depender del penteno que se encuentre participando en la reacción, ya sea el 1-penteno o el 2-penteno. A continuación, se muestra el proceso de oligomerización del 1-penteno del 2-penteno.

**Figura 11**

*Mecanismo de la oligomerización del 1-penteno*



**Figura 12***Mecanismo de la oligomerización del 2-penteno*

## 2.8. Combustible a partir de Fuentes Renovables

Es un combustible obtenido a partir de biomasa [procedencia natural renovable]. Según (Guerrero et al., 2010a) los combustibles de fuentes naturales se pueden clasificar en:

- **Combustibles de primera generación:** Se refieren a aquellos combustibles que ya están en la etapa de producción comercial, estos combustibles son procedentes de cultivos que utilizan técnicas parecidas a las de cosechas agrícolas alimenticias.
- **Combustibles de segunda generación o lignocelulósicos:** No pelean por el uso de suelos agrícolas, sino más bien que son elaborados mediante biomasa lignocelulósica tales como la que se encuentra en la hierba, paja, cañas, tallos, cáscaras, raíces, madera, entre otros. Estos combustibles están en la fase pre comercial.

- Combustibles de tercera generación: Estos combustibles están aún en una fase incipiente de desarrollo, lejos de la producción industrial. Son en su mayoría, los aceites provenientes de algas y otros microorganismos, como el hidrógeno procedente de la biomasa.

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos que consta de C5 hasta C12, que, a diferencia de la gasolina obtenida a partir de petróleo crudo, la gasolina no tiene presencia de azufre ni de compuestos aromáticos. (Hernández Toala, 2018)

Según (Tabak & Yurchak, 1995) la gasolina puede ser producida además de olefinas a partir de metanol catalizada por la zeolita ZSM-5, siendo una ruta flexible y eficiente. Dependiendo de las condiciones de operación con las que se procese el metanol se pueden obtener productos que van desde etileno a gasolina y combustibles destilados, indicando que se puede hacer el proceso de producción directo de gasolina.

## **2.9. Caracterización de los Productos**

El producto obtenido del proceso de oligomerización puede ser caracterizado a través de los siguientes análisis:

### **2.9.1. Cromatografía gaseosa con espectrometría de masas**

La Cromatografía gaseosa con Espectrometría de Masas se basa en la obtención de un cromatograma de la muestra analizada, para así comparar los resultados obtenidos con los compuestos bibliográficos guardados en el equipo, determinando así de acuerdo a los picos presentados por los compuestos presente en el producto a qué tipo de sustancia es semejante o en qué porcentaje es parecido a otro compuesto.

**Figura 13**

*Cromatógrafo en fase gaseosa Clarus SQ 8C acoplado a un espectrómetro de masas*



*Nota: Tomado de PerkinElmer*

### **2.9.2. Viscosidad**

La viscosidad cinemática del producto obtenido puede ser analizada a través de un viscosímetro mediante la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 810:1986. (Mancheno et al., 2017)

Existen diferentes tipos de viscosímetros, el viscosímetro más utilizado es el Viscosímetro de Ostwald que se presenta en la figura 14.



**Figura 14**

*Viscosímetro de Ostwald*



*Nota: Tomado de Fischer Scientific*

### **2.9.3. Densidad**

Este análisis se lleva a cabo con un picnómetro basándose en la norma NTE INEN 2903 referente al petróleo y derivados de petróleo, donde se hace referencia a la determinación de la densidad, densidad relativa y gravedad API mediante el método del hidrómetro. (Mancheno et al., 2017)

**Figura 15**

*Picnómetro*



*Nota: Tomado de NOVACHEM*

Este tipo de pruebas se pueden realizar sin ningún tipo de problemas en los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Petroquímica de la ESPE Extensión Latacunga, debido a que se cuentan con estos equipos.

#### **2.9.4. Otros Análisis de Caracterización**

Otros tipos de análisis que se pueden realizar para la caracterizar el producto combustible obtenido del proceso de oligomerización se pueden realizar en diversos laboratorios, debido a que se emplean equipos que son costosos y no se cuenta con ellos en los laboratorios de la carrera. Según (Castillo-Hernández et al., 2012) otros análisis que se le realizan a las muestras de combustibles son los siguientes:

- Número de Octano de Oxidación (ASTM D-2699)
- Número de Octano de Motor (ASTM D-2700)
- Contenido de Oxigenados (ASTM D-5599)
- Estabilidad de Oxidación (ASTM D 525)
- Presión de Vapor (ASTM D-5191)
- Curva de Destilación (ASTM D-86)
- Punto de Inflamabilidad (ASTM D-93)
- Número de Cetano (ASTM D-613)

## CAPÍTULO III

### 3. Metodología

La metodología utilizada en este trabajo es de tipo investigativo, debido a que la finalidad del mismo es elaborar una revisión bibliográfica de trabajos realizados con anterioridad sobre el proceso de Oligomerización Catalizada de Olefinas C5, y plasmarlo en un Review. Para la elaboración del Review se realizaron 2 etapas:

#### 3.1. Recopilación de Información

Esta etapa se basa en la búsqueda de toda la información referente al proceso de Oligomerización catalizada de olefinas:

- 3.1.1. Obtención de la materia prima que se utiliza en el proceso
- 3.1.2. Tratamiento de la materia prima
- 3.1.3. Propiedades de la materia prima
- 3.1.4. Catalizadores utilizados
- 3.1.5. Condiciones de operación como cantidad de catalizador, presión, temperatura, entre otros datos.
- 3.1.6. Mecanismo del proceso de oligomerización
- 3.1.7. Caracterización de los productos obtenidos
- 3.1.8. Información relevante del uso del proceso de oligomerización como alternativa.

#### 3.2. Elaboración del Review

Después de la recopilación de información se procede a la elaboración de Review, tomando en consideración modelos de artículos científicos y plasmar las ideas e información más importante y necesarias que se debe tomar en consideración para futuras investigaciones del proceso de Oligomerización catalizado de Olefinas.

El diseño de la información del Review será de 1 columna para la primera parte [Título, autor, resumen, palabras claves, abstract] mientras que el resto de la información del Review se encontrará en dos columnas. Las partes que conforman el Review son las siguientes:

- Título
- Autor
- Universidad
- Resumen
- Palabras Claves
- Abstract
- Keys Words
- Introducción
- Desarrollo
  - Oligomerización de Olefinas
  - Mecanismo del Proceso de Oligomerización
  - Alcohol Isoamílico
  - Olefinas
  - Catalizador (Zeolita ZSM-5)
  - Combustibles a partir de Fuentes Renovables
  - Condiciones de Operación
  - Caracterización de Productos Combustibles
- Resultados y Discusión
- Conclusiones
- Bibliografía

El Review final se muestra en el Anexo A.

## CAPÍTULO IV

### 4. Resultados y discusión

Debido a que el proyecto de tesis elaborado se refiere a la elaboración de un Review no se tiene resultados experimentales para ser discutidos, por otro lado, se puede acotar que dentro de la búsqueda de información del proceso de obtención de Combustible a partir de Oligomerización Catalizada de Olefinas C5 a presión atmosférica, son pocos los trabajos encontrados respecto al tema, tomando en consideración la presión atmosférica, mientras que a otras condiciones diferentes a esta se puede encontrar y discernir con la información encontrada, debido a que se encontraron varios trabajos del proceso de oligomerización de olefinas a diferentes condiciones de Presión y temperatura, utilizando como catalizador la olefina HZSM-5.

En la mayoría de estudios investigados se llega a la conclusión que las condiciones óptimas para obtener combustible con moléculas de carbono en el rango de la gasolina son a presiones bajas [ $<30$  bar], mientras que la temperatura debe ser alta, por lo contrario, para favorecer la obtención de combustible con moléculas en el rango del diésel se debe trabajar a condiciones de presiones altas y temperaturas bajas [ $<300$  °C]. Tomando en consideración lo antes expuesto y el trabajo realizado por (Orbezuza Fernanadez, 2017) se puede interpretar que la obtención de combustible a través del proceso de oligomerización de olefinas utilizando como catalizador la olefina HZSM- 5 a presión atmosférica es posible, para producir combustible en el rango de la gasolina.

La falta de información del proceso de oligomerización se debe a varios factores, siendo el principal motivo los pocos estudios realizados del tema, debido a ser un tema nuevo con respecto a la utilización de materia prima renovable. Otro de los factores que son causantes de la falta de información es que los procesos principales de obtención de combustibles son basados en los procesos de refinación, pero que a su vez esta generando que se busque alternativas, debido a que los combustibles

obtenidos de materia prima no renovable genera un alto grado de contaminación al momento de ser quemado por la emisión de gases derivados del azufre y la gran cantidad de compuestos aromáticos que se presentan en crudo y por ende en el producto final, es por esto que en los últimos años se está estimulando la búsqueda de alternativas para la obtención de combustible a partir de materia prima renovable, que no presente azufre en su composición y una pequeña cantidad de compuestos aromáticos, llegando a considerar estos combustibles como amigables con el ambiente y fomentando el desarrollo sostenible.

## CAPÍTULO V

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

La falta de información referente a la obtención de combustible a partir del proceso de oligomerización es un factor importante que puede llegar a interferir en la búsqueda de estudios referentes para tomarlos como base, y a su vez puede ocasionar que los investigadores desistan en la realización de nuevos estudios.

Con respecto al proceso de oligomerización se llega a las siguientes conclusiones:

- El aceite de fusel, que es el residuo generado de la destilación de etanol, en muchas empresas destiladoras es desechado, por esto, la utilización del aceite de fusel como materia prima sería de gran ayuda con respecto al aspecto económico, debido que al ser un residuo tiene poco valor agregado, otro aspecto importante que influye para considerar el aceite de fusel como materia prima para el proceso de oligomerización, en la reducción de la contaminación, pues los combustibles que se obtendrán tendrán poca cantidad de compuestos aromáticos y a su vez la ausencia de azufre, generando así menor cantidad de gasee contaminantes al momento de ser utilizados en su aplicativo.
- La zeolita HZSM-5 es el catalizador adecuado para la producción de combustible a partir de materia prima renovable y a su vez de materia prima renovable, debido a su alta selectividad para la formación de dímeros y trímeros, y al mismo tiempo formación de ramificaciones, al presentar su centro ácido.
- Las condiciones de operación van a depender del producto combustible que se quiere obtener, por ejemplo, si se quiere obtener un combustible en el rango del diésel las condiciones adecuadas para llevar a cabo el proceso es

temperaturas bajas por debajo de los 300 °C y presiones altas, superiores a 30 bar, mientras que para obtener un combustible que se encuentre en el rango de la gasolina las condiciones de operación recomendadas son temperaturas altas, superiores a los 300 °C y presiones bajas, por debajo de los 30 bar. Tomando en consideración lo antes expuesto se llega a la conclusión que el proceso de Oligomerización catalizado por la zeolita HZSM-5 es factible a presión atmosférica para obtener combustible en el rango de la gasolina.

- El producto del proceso de oligomerización de olefinas derivadas del alcohol isoamílico presente en aceite de fusel puede ser considerado como amigable con el ambiente, al ser obtenido a partir de materia prima renovable, es decir, que después de su proceso de aplicación puede volver a ser utilizado para otro proceso, a diferencia del combustible obtenido a partir de la refinación del petróleo crudo al ser derivado de un combustible fósil [petróleo crudo], que presentando azufre y gran cantidad de compuestos aromáticos en su composición.
- La caracterización del producto combustible obtenido se lo puede realizar a través de diversos tipos de análisis, que deben seguir las diferentes normas establecidas para los combustibles [INEN y ASTM], dentro de los análisis que se pueden realizar en los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Petroquímica están la Cromatografía Gaseosa y Espectrometría de Masas, análisis de densidad a través del picnómetro, análisis de viscosidad mediante el viscosímetro de Ostwald. Otros análisis que se realizan a los combustibles se los puede realizar en diversos laboratorios de refinerías y laboratorios de análisis químico, tales como: Número de cetanos, número de octanos, punto de inflamabilidad, entre otros.



## 5.2. Recomendaciones

- Cuando se vaya a realizar cualquier tipo de investigación, estudio científico, trabajo de grado tomar en consideración que el tema escogido tenga abundante información, para así poder discernir sobre los parámetros que sean necesarios para llevar a cabo la investigación, y así tener un modelo del cual nos podremos basar, en el caso de que el estudio no sea de tipo invención.
- Al momento de buscar la información del tema que se está investigando, asegurarse que cada dato que encontramos tenga bases científicas y que a su vez tenga las autorizaciones necesarias, es decir, que no sean publicaciones realizadas por páginas de internet como Rincón del Vago, Yahoo respuestas, entre otras, de preferencia tomar la información necesaria de libros, artículos científicos, tesis aprobadas y presentados, y todo tipo de trabajo patentado.
- Con respecto al proceso de obtención de combustible a través del proceso de Oligomerización de olefinas, tomar en consideración el tipo de producto que se quiere obtener, para así variar los diferentes parámetros que pueden afectar al producto que se quiere obtener, como es la masa del catalizador, presión y temperatura de operación.
- Para la caracterización del producto que se vaya a obtener, se debe considerar que se cuente con los equipos necesarios o a su vez que se tenga acceso económico a los laboratorios químicos especializados en este tipo de productos combustibles, para obtener resultados concretos del producto que se obtuvo.

## Bibliografía

- Argauer, R. J., & Landolt, G. R. (1967). CRYSTALLINE ZEOLITE ZSM-5 AND METHOD OF PREPARING THE SAME. 993(630), 472-472. Recuperado el 10 de Diciembre del 2020, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/1f/b9/43/ff5945c7fbd9eb/US3702886.pdf>
- Avery, H. E. (2002). *Cinética química básica y mecanismos de reacción*.
- Awad, O. I., Ali, O. M., Mamat, R., Abdullah, A. A., Naja, G., Kamarulzaman, M. K., Yusri, I. M., & Noor, M. M. (2017). Using fusel oil as a blend in gasoline to improve SI engine efficiencies : A comprehensive review. 69(April 2016), 1232-1242. Recuperado el 30 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.244>
- Bellussi, G., Mizia, F., Calemma, V., Pollesel, P., & Millini, R. (2012). Oligomerization of olefins from Light Cracking Naphtha over zeolite-based catalyst for the production of high quality diesel fuel. *Microporous and Mesoporous Materials*, 164, 127-134. Recuperado el 30 de Noviembre del 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.07.020>
- Breuil, P.-a. R., Magna, L., & Olivier-Bourbigou, H. (2018). "Role of Homogeneous Catalysis in Oligomerization of olefins : focus on selected examples based on Group 4 to Group 10 transition metal complexes". Recuperado el 28 de Octubre del 2020, de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01119632/document>
- Bustillos Yaguana, A. E., & Suin Arévalo, M. A. (2014). *Diseño y construcción de un reactor químico para la obtención de zeolitas sintéticas* Recuperado el 14 de Enero del 2021, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22291>

- Cadenas Hernández, M. N. (2011). *Oligomerización de olefinas lineales catalizadas por resinas de intercambio iónico ácidas* Recuperado el 28 de Enero del 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=253647>
- Castillo-Hernández, P., Mendoza-Domínguez, A., & Caballero-Mata, P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol Analysis of Physicochemical Properties of Mexican Gasoline and Diesel Reformulated with Ethanol. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 13(número 3), 293-306.
- Corma, A. (2011). *CATÁLISIS CON ZEOLITAS : DESDE EL LABORATORIO A SU APLICACIÓN INDUSTRIAL*. Recuperado el 08 de Enero del 2021, de <https://sci-hub.tw/http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1252>
- Corma Canós, A., & Martínez Sanchez, M. C. (2014). PROCESO DE OLIGOMERIZACIÓN DE ALQUENOS UTILIZANDO LA ZEOLITA ITQ-39. (12). Recuperado el 08 de Diciembre del 2020, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/da/07/40/ec3be511faad91/WO2014013102A1.pdf>
- Costafreda Mustelieir, J. L. (2011a). *TECTOSILICATOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES: LAS ZEOLITAS NATURALES* Recuperado el 10 de Octubre del 2021, de [http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos\\_Costafreda.pdf](http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf)
- Costafreda Mustelieir, J. L. (2011b). *TECTOSILICATOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES: LAS ZEOLITAS NATURALES*.
- Coupart, V., Chaumonnot, A., & Simon, L. (2009). Procedimiento de oligomerización de olefinas utilizando un catalizador a base de sílice-alúmina. 1-22. Recuperado el 02 de Febrero del 2021, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/9d/3f/47/9db48e58cba277/ES2360650T3.pdf>

- Devora-Rodríguez, Y., López-Bello, N., De Armas Martínez, I. A. C., & Ley-chong, N. (2017). Diseño de la etapa de purificación para la obtención de acetato de isoamilo a partir del aceite de fusel. *Tecnología Química*, 37(3), 442-452. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2017.3>.
- Díaz Rey, M. R. (2016). *Oligomerización de olefinas ligeras con catalizadores zeolíticos* Recuperado el 11 de Noviembre del 2020, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76832/Díaz - Oligomerización de olefinas ligeras con catalizadores zeolíticos.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76832/Díaz%20-%20Oligomerización%20de%20olefinas%20ligeras%20con%20catalizadores%20zeolíticos.pdf?sequence=1)
- Fehér, C., Tomasek, S., Hancsók, J., Juzsakova, T., & Skoda-Földes, R. (2018). Oligomerization of light olefins with SILP catalysts. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 733-738. Recuperado el 20 de Diciembre del 2020, de <https://doi.org/10.3303/CET1870123>
- Ferreira, M. C., Meirelles, A. J. A., & Batista, E. A. C. (2013). Study of the fusel oil distillation process. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52(6), 2336-2351. Recuperado el 03 de Junio del 2020, de <https://doi.org/10.1021/ie300665z>
- Gonzalez Flores, L. (2015). OBTENCIÓN SOSTENIBLE DE COMBUSTIBLES POR OLIGOMERIZACIÓN DE OLEFINAS. 62-62. Recuperado el 08 de Agosto del 2020, de [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18074/TFG\\_LeireGonzalezFlores.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18074/TFG_LeireGonzalezFlores.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Guerrero, R., Marrero, G., Martínez-Duart, J. M., & Puch, L. A. (2010a). Biocombustibles líquidos: Situación actual y oportunidades de futuro para España.
- Guerrero, R., Marrero, G., Martínez-Duart, J. M., & Puch, L. A. (2010b). *Biocombustibles líquidos: Situación actual y oportunidades de futuro para España*.

- Hernández Toala, L. A. (2018). *Obtención de Biogasolina a partir de bioetanol producido de la cáscara y del fruto del maduro a través de la fermentación y transformación en un reactor de lecho empacado*. Escuela Politécnica Nacional].
- Kresnawahjuesa, O., Kühl, G. H., Gorte, R. J., & Quierini, C. A. (2002). An examination of Brønsted acid sites in H-[Fe]ZSM-5 for olefin oligomerization and adsorption. *Journal of Catalysis*, *210*(1), 106-115. Recuperado el 08 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1006/jcat.2002.3657>
- Lanzafame, P., Centi, G., & Perathoner, S. (2014). Evolving scenarios for biorefineries and the impact on catalysis. *Catalysis Today*, *234*, 2-12. Recuperado el 12 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2014.03.022>
- López, C. M., Sazo, V., Pérez, P., Buhman, S., Urbina, C., & García, A. (2011). Generación de mesoporosidad en zeolitas ZSM-5 sintetizadas en medio inorgánico. *Avances en Química*, *6*(2), 29-37.
- Madon, R. J. (1991). Role of ZSM-5 and ultrastable Y zeolites for increasing gasoline octane number. *Journal of Catalysis*, *129*(1), 275-287. Recuperado el 20 de Enero del 2021, de [https://doi.org/10.1016/0021-9517\(91\)90030-8](https://doi.org/10.1016/0021-9517(91)90030-8)
- Mancheno, M., Arévalo, P., Romero, J., Malo, I., & Ramos, R. (2017). ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE PIROLISIS DE CAUCHO VULCANIZADO. *La Granja: Revisyta de Ciencias de la Vida*, *26*(2), 106-118.
- Martínez Merino, V., & Gil, M. (2012). Fuentes renovables para la producción de materias. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, *108*(3), 205-214.
- Moñino Aguilera, N., & Galdos Balzategi, A. (2008). *Exposición a La Contaminación Por Actividad Petrolera Y Estado De Salud De La Comuna Yamanunka* Recuperado el 28

de Noviembre del 2020, de

[https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2008/hdl\\_2072\\_5273/PFCMonino.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2008/hdl_2072_5273/PFCMonino.pdf)

Moon, S., Chae, H. J., & Park, M. B. (2018). Oligomerization of light olefins over ZSM-5 and beta zeolite catalysts by modifying textural properties. *Applied Catalysis A: General*, 553(2010), 15-23. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2018.01.015>

Morrison, T. T., & Boyd, N. B. (1973). *Química organica* (4th ed.). Recuperado el 25 de Enero del 2021, de

[https://books.google.com.ec/books?id=IYzQAQAACAAJ&dq=Morrison,+R.+T.+y+Boyd,+RN.+\(1987\).+Química+Orgánica.+5ta+Edición.+Editorial+Addison-Wesley+Interamericana.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnpse\\_5fmAhUs2FkKHVY2BdQQ6AEIMDAB](https://books.google.com.ec/books?id=IYzQAQAACAAJ&dq=Morrison,+R.+T.+y+Boyd,+RN.+(1987).+Química+Orgánica.+5ta+Edición.+Editorial+Addison-Wesley+Interamericana.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnpse_5fmAhUs2FkKHVY2BdQQ6AEIMDAB)

Orbezua Fernanadez, G. (2017). *PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES POR OLIGOMERIZACIÓN CATALÍTICA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA DE OLEFINAS DE BAJO INTERES* Recuperado el 10 de Enero del 2020, de

[https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26451/TFG\\_ORBEZUA\\_FERNANDEZ\\_GAIZKA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/26451/TFG_ORBEZUA_FERNANDEZ_GAIZKA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Orbezua Fernández, G. (2017). *PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES POR OLIGOMERIZACIÓN CATALÍTICA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA DE OLEFINAS DE BAJO INTERES* [38].

Perego, C., Flego, C., & Marchionna, M. (2006). Process for obtaining a "diesel cut" fuel by the oligomerization of olefins or their mixtures. *EUROPEAN PATENT SPECIFICATION*, 99(19), 1-8. Recuperado el 08 de Octubre del 2020, de <https://patents.google.com/patent/EP1249486B1/en>

Pohanish, R. P. (2017a). Sittig's handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens.

- Pohanish, R. P. (2017b). *Sittig's handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens*.
- Quanm, R. J., Green, L. A., Tabak, S. A., & Krambeck, F. J. (1988). Chemistry of Olefin Oligomerization over ZSM-5 Catalyst. 565-570. Recuperado el 28 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1021/ie00076a006>
- Quevedo Pérez, I. A. (2018). *OLIGOMERIZACIÓN DE ETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE ISO OLEFINAS EN EL PROCESO ATJ* Recuperado el 18 de Febrero del 2021, de [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1178/1/PCER\\_M\\_Tesis\\_2018\\_Quevedo\\_Ixchel.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1178/1/PCER_M_Tesis_2018_Quevedo_Ixchel.pdf)
- Rodríguez Escudero, R. (2006). *Estudio de la realización de oligomerización de 1-olefinas sobre catalizadores ácidos heterogéneos* Recuperado el 22 de Enero del 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=253539>
- Santa Arango, M. A. (2009). *PRODUCCIÓN DE DIESEL USANDO CATALIZADORES TIPO ZEOLITA* Recuperado el 14 de Enero del 2020, de <https://pdfs.semanticscholar.org/db39/d7d28489c2c0f919e9484e60aa74e4d8bd8e.pdf>
- Santa Arango, M. A., Escobar Garcés, C. M., Agudelo Valderrama, J. L., Guzmán Monsalve, A., Palacio Santos, L. A., & Adriana, E. I. (2011). Oligomerization of propene over ZSM-5 modified with Cr and W. (July 2016), 57-65. Recuperado el 01 de Septiembre del 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n57/n57a07.pdf>
- Schifter, I., & Bosch, P. (1997). *La zeolita: Una piedra que hierve* (2th ed.).
- Tabak, S. A., & Yurchak, S. (1995). CONVERSION OF METHANOL OVER ZSM-5 TO FUELS AND CHEMICALS. 307-327.

Téllez Mosquera, J., & Cote Menéndez, M. (2006). ALCOHOL ETÍLICO: Un tóxico de alto riesgo para la salud humana socialmente aceptado. *54*(1), 32-47. Recuperado el 30 de Enero del 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v54n1/v54n1a05.pdf>

Urresta, J. D. (2014). Deshidratacion de los alcoholes presentes en el aceite fusel y su conversión en alquenos empleando una zeolita tipo Dehydration of alcohols present in fusel oil and its conversion to alkenes using a HZSM-5 zeolite. *Ingeniería y Competitividad*, *16*(2), 79-90. Recuperado el 18 de Diciembre del 2020, de <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.uniandes.edu.co:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=de627024-0818-4def-aa57-03a6fe6c908c@sessionmgr4001&vid=1&hid=4111>

Wade, L. G. (2011a). *Química Orgánica, Volumen 1* (Séptima Ed ed.). Recuperado el 31 de Enero del 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=rqs7PAAACAAJ&dq=wade+quimica+organica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiMio-u3f mAhWqpFkKHTldAgQQ6AEIKDAA>

Wade, L. G. (2011b). *Química Orgánica, Volumen 1*. 744.



## Anexos