SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNM
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tuxtla

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERÍA QUÍMICA

ALUMNO:

RUBEN ENRIQUE LOPEZ MENDEZ

TEMA:

"Polimerización controlada de PMMA-*b*-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel"

Opción:

Memoria de residencia

Asesor

Dr. Samuel Enciso Sáenz

Revisores

ING. Rene Cuesta Díaz

ING. Roció Farrera Alcázar

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

ENERO DE 2019

SECRETERIA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

“Polimerización controlada de PMMA-*b*-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel”

OPCIÓN:

“INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL”

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA:

RUBEN ENRIQUE LOPEZ MENDEZ

DIRECTOR DE TESIS

ASESOR INTERNO

DR. SAMUEL ENCISO SAINZ

ASESOR EXTERNO

DRA. MARIA ORTENCIA GONZÁLEZ DÍAZ

TUXLA GUTIERREZ, CHIPAS, MÉXICO 2018

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Rubén López Aguilar y Rosa Méndez Álvarez

Por el gran apoyo incondicional, moral y económico que me han brindado a lo largo de toda mi carrera y sus grandes consejos. Pero sobre todo por que sin ellos no sería lo que soy ahora

A mi asesora, Dra. María Ortencia González Díaz:

Mi más amplio agradecimiento por haberme recibido en su grupo de investigación, por su sabiduría, paciencia, apoyo y confianza además de su valiosa dirección que me brindo durante mi estancia donde he podido tener la oportunidad de aprender y realizar el presente trabajo. Agradezco de igual manera su valioso tiempo y conocimientos brindados.

A mi asesor, Dr. Samuel Enciso Sáenz

Mi agradecimiento por haberme asesorado además de su apoyo y coordinación durante el periodo de residencia y titulación.

A mis revisores, la ING. Rene Cuesta diaz y el ING. Roció Farrera Alcázar

Por su apoyo en la revisión del presente trabajo y sus aportaciones para la mejora del mismo al igual que sus conocimientos y experiencia brindada.

A mis Hermanos, Eduardo Lopez mendez y Citlaly Belén Lopez Mendez

Por dedicarme tiempo para demostrarme su preocupación por mi, tiempo para escucharme, ayudarme y mostrarme su afecto; gracias por ser mis hermanos y amigos

RESUMEN

En la actualidad, el cambio climático es una realidad debido a todas las actividades antropogénicas que el hombre ha desarrollado a partir de la revolución industrial, es por ello que industrias, gobiernos y universidades se han dedicado al desarrollo y producción de fuentes de energías ecológicas, con la intención de combatir el cambio climático, una de las soluciones a este son los biocombustibles.

Los biocombustibles pueden llegar a reemplazar parcialmente a los combustibles fósiles, que resultan agresivos al medio ambiente y son fuente de contaminación de la biosfera. Sin embargo, en el proceso de transesterificación y esterificación se involucran catalizadores homogéneos, los cuales dificultan el proceso de purificación, generando gran cantidad de aguas residuales.

Es por esto por lo que en el presente trabajo se buscó desarrollar nuevos materiales que mejoraran el proceso de la producción de biodiesel, con la obtención de membranas poliméricas que eliminaran las pérdidas de masa y presentaran mayor tiempo de vida útil en los procesos de producción de biodiesel. Se sintetizó el copolímero en bloque de PMMA-b-PAMPS con el propósito de que el bloque polimérico de PMMA permitiera optimizar las propiedades hidrófobas e hidrófilas del material, mientras que con el PAMPS se tiene un polímero con grupos sulfónicos ácidos que funcionan como los sitios activos para llevar a cabo la reacción de transesterificación.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 7

2. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN Y DEL ÁREA 10

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12

4. OBJETIVOS 13

4.1 Objetivo General 13

4.2 Objetivos Específicos 13

5. JUSTIFICACIÓN 14

6. ANTECEDENTES 15

7. MARCO TEÓRICO 16

7.1 Energías Renovables 16

7.2 La Biomasa 16

7.3 Biocombustibles 17

7.4 Biodiesel 18

7.5 Producción de Biodiesel 18

7.5.1 Parámetros que afectan la reacción de transesterificación 20

7.6 Panorama Nacional 21

7.7 Membranas Catalíticas para la Producción de Biodiesel 21

7.8 Polimerización 23

7.8.1 Polimerización por radicales libres 24

7.8.2 Tipos de polimerización vía radicales libres 26

7.8.3 Polimerización radicálica por transferencia de átomos 27

7.9 Complejos de Rutenio 28

7.10 Ácido 2-acriloamido-2-metilpropanosulfónico 29

8. METODOLOGÌA 30

8.1 Reactivos y Disolventes..... 30

8.2 Síntesis del catalizador de $[Ru(Phpy)(Phen)(NCMe)_2]PF_6$. 30

8.3 Síntesis de poli (ácido 2-acriloamido- 2-metilpropanosulfonico)..... 31

8.4 Síntesis del macroiniciador de PMMA vía ATRP 31

8.5 Síntesis de PMMA-b-PAMPS vía ATRP 32

8.6 Preparación de membrana de mezclas de PMMA-b-PAMPS..... 33

8.6.1 Pruebas de Hinchamiento (Q) y pérdida de masa (WL)..... 34

8.6.2 Determinación de capacidad de intercambio iónico (IEC) de la membrana PMMA-&-PAMS 35

9. RESULTADOS 37

10. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES..... 40

11. COMPETENCIAS DESARROLLADAS 41

12. REFERENCIAS 42

13. ANEXOS 44

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el crecimiento poblacional e industrial, aunado al calentamiento global causado por los gases de invernadero y las emisiones de CO_2 constituye un grave problema de demanda de energías renovables[1]. Una alternativa, ha sido la utilización de biocombustibles, cuyo uso ha ido en aumento debido a que son biodegradables, no tóxicos, amigables con el medio ambiente y disminuyen la elevada dependencia a los combustibles fósiles.

El biodiesel, un combustible diésel alternativo, es obtenido de recursos naturales renovables, tales como aceites vegetales y grasas de animales. Es biodegradable, presenta bajos perfiles de emisión de CO_2 y las pruebas de rendimiento en motores con biodiesel han demostrado que son eficientes y compiten con los combustibles convencionales.[2,] El método de obtención de biodiesel más conocido en la actualidad, es a través de la reacción de transesterificación de aceites vegetales con alcoholes de cadena corta por catálisis homogénea ácida o básica. Sin embargo [3], debido al alto costo de la materia prima refinada y las dificultades asociadas con el uso de catalizadores homogéneos (generación excesiva de aguas residuales, corrosión de equipos, etc.), el desarrollo de nuevos catalizadores heterogéneos está en aumento.[4]

El uso de catalizadores heterogéneos en la producción de biodiesel presenta las siguientes ventajas: fácil separación del catalizador y del producto formado, lo cual implica la reducción de la etapa de purificación; son reutilizables, lo que conlleva a la reducción de costos de producción; ocasionan menos daño al ambiente y corrosión en los equipos y pueden ser utilizados con materia prima que contenga un alto grado de acidez y por ultimo catalizan tanto reacciones de esterificación como de transesterificacion.[5] Hoy en día, se han reportado una amplia gama de compuestos que se han utilizado como catalizadores heterogéneos como por

ejemplo, óxidos de calcio, óxidos de metales alcalinotérreos, zeolitas básicas, hidrotalcitas, hatero poliácidos, titanios de sodio nano estructurado, SO4,ZrO2,[6]. Sin embargo, los catalizadores heterogéneos presentan problemas de difusión y transferencia de masa de los reactivos hacia el interior del catalizador donde se va a producir la reacción mayoritariamente y por ende se presenta reducción en la velocidad de reacción.

Por lo tanto, actualmente, se están desarrollando métodos alternativos para la producción de biodiesel, entre ellos la catálisis enzimática, la producción de biodiesel a condiciones supercríticas (sin utilizar catalizador), la destilación reactiva y los reactores de membrana polimérica (membranas catalíticamente activas).Con este último método de reactor de membrana, se puede llevar a cabo de manera simultánea la reacción de producción de biodiesel y la separación de productos y subproductos en condiciones de pervaporación y de flujo continuo. Además, pueden ser reutilizadas se elimina fácilmente de la mezcla de reacción y no provoca corrosión en los equipos[7] Otra de las ventajas de las membranas catalíticas o reactor de membrana es que se pueden utilizar como materia prima aceite de reusó o grasas con cierto contenido de ácidos grasos libres.

Las membranas catalíticas reportadas en la literatura se han elaborado incorporando catalizadores ácidos sólidos en polímeros hidrofílicos como el poliacrilonitrilo (PAN), polietersulfona (PES) y alcohol polivinilo (PVA) con posterior entrecruzamiento [5]. Recientemente, en el grupo de investigación de membranas poliméricas del Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. se reportó el desarrollo de membranas catalíticas de mezclas poliméricas entrecruzadas de PVA con poliacrilamida-2-metilpropano ácido sulfónico (PAMPS). Con este tipo de membranas se alcanzó 94-96% de producción de biodiesel en la transesterificación de aceite de soya[7]. El PAMPS resultó altamente efectivo como portador de grupos funcionales ácidos para catalizar la reacción de transesterificación. Sin embargo, la estabilidad de las membranas PVA/PAMPS en las condiciones de reacción disminuyó después de la tercera prueba, presentando pérdidas de masa de 7 a 20 % y como consecuencia disminución de su actividad catalítica.

En el presente trabajo se busca desarrollar nuevos materiales que mejoren el proceso de la producción de biodiesel, con la obtención de membranas poliméricas que eliminen las pérdidas de masa y presenten mayor tiempo de vida útil en los procesos de producción de biodiesel. Se plantea la síntesis de copolímeros en bloque de polimetacrilato de metilo (MMA)-*b*-PAMPS. Con el bloque polimérico de PAMPS tendremos un polímero con grupos sulfónicos ácidos que funcionarán como los sitios activos y el segundo bloque de PMMA, permitirá optimizar las propiedades hidrófobas e hidrófilas del material. La síntesis se llevará a cabo por polimerización radicálica por trasferencia de átomos (ATRP por sus siglas en inglés) a base de catalizador de rutenio (II) y tomando como macro iniciador (PMMA) con la adición subsecuente del monómero acrilamida-2-metilpropano ácido sulfónico (AMPS).

2. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN Y DEL ÁREA

El Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. se encuentra se encuentra ubicado en calle 43 No. 130 x 32 y 34, colonia Chuburná de hidalgo, C.P. 97205, Mérida Yucatán. Es un centro de investigación del sistema CONACYT fundado el 16 de noviembre de 1979 como parte de los programas de descentralización de la actividad científica y tecnológica, e inicialmente orientado a la búsqueda de soluciones tecnológicas a problemas regionales[11].

"Con la labor de formar, de compartir las herramientas del conocimiento y establecer las bases para que las generaciones continúen con este esfuerzo"[12]

La misión y visión de este centro de investigación son:

Misión

Realizamos investigación científica, formamos recursos humanos, divulgamos conocimiento, desarrollamos y transferimos tecnología e impulsamos el desarrollo de la sociedad en armonía con el medio ambiente[11].

Visión

Ser una institución líder, reconocida local, nacional e internacionalmente, innovadora en la generación y aplicación del conocimiento en beneficio de la humanidad[11]

El (CICY) Está enfocado a investigaciones básicas y aplicadas en el área de biología, materiales y disciplinas afines orientadas hacia la solución de problemas nacionales, estatales y locales con una amplia gama de unidades de investigación como: bioquímica y biología molecular de plantas, biotecnología, ciencias del agua, energía renovable, materiales y recursos naturales.

La Unidad de Materiales donde actualmente se lleva a cabo la residencia profesional, se trabaja en el desarrollo de nuevos materiales, así como las técnicas para su procesamiento y/o reciclaje. En particular, la línea de investigación en Materiales para Aplicaciones Especializadas se destaca por sus investigaciones en el área de membranas a partir de polímeros de ingeniería que presentan una alta resistencia a la temperatura y son útiles en la separación de gases, mezclas de líquidos y producción de energía. En esta última área (membranas para producción de energía) se encuentra enmarcado el tema de residencia desarrollado, formando parte del proyecto de Investigación Científica Básica CONACYT No. 286973 “Síntesis de copolímeros funcionalizados de estructura controlada y su aplicación como membranas catalíticas para la producción de biodiesel" bajo la asesoría de la Dra. María Ortencia González Díaz”

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el calentamiento global, la contaminación ambiental y los precios cada vez más altos de los combustibles derivados del petróleo, surge una necesidad urgente de encontrar nuevas alternativas de fuentes de energías limpias, amigables con el medio ambiente y sobre todo más baratas. El biodiesel es una opción atractiva, sin embargo, aún no ha sido ampliamente comercializado debido a su alto costo en comparación a los combustibles fósiles[13].

La producción de biodiesel vía esterificación o transesterificación utiliza catalizadores homogéneos para promover la reacción, pero a pesar de la alta conversión de biodiesel que se alcanzan, presentan algunos inconvenientes, como: corrosión de equipos, dificultes para separación de productos, así como la formación de emulsiones que repercuten en altos costos de operación[14]. Tomando en cuenta esta problemática es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de biodiesel. Recientemente, la tecnología de producción de biodiesel usando membranas catalíticamente activas ha llamado la atención, ya que combinan la reacción de producción de biodiesel y la separación en una sola etapa. La reacción es directa y con alto rendimiento, no requieren de aditivos químicos y la reacción se lleva a cabo a temperatura moderada[14]. Por lo tanto, el desarrollo de nuevos materiales poliméricos con características adecuadas para funcionar como catalizadores es de suma importancia y plantea una solución a la problemática planteada.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Sintetizar el copolímero en bloque polimetacrilato de metilo (PMMA)-b-poliacrilamida-2-metilpropano ácido sulfónico (PAMPS) mediante la técnica de polimerización radicálica por transferencia de átomos (ATRP) catalizada por rutenio y su aplicación como membrana catalítica para la producción de biodiesel.

4.2 Objetivos Específicos

- Sintetizar el copolímero PMMA-b-PAMPS por ATRP usando catalizadores de rutenio.
- Caracterizar por técnicas espectroscópicas y GPC el copolímero obtenido.
- Obtener membranas a partir de los copolímeros sintetizados mediante la técnica de evaporación lenta de disolvente.
- Caracterizar las membranas, mediante su capacidad de: hinchamiento, pérdida de masa y capacidad de intercambio iónico (IEC).
- Determinar el rendimiento catalítico de la membrana polimérica en la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales.

5. JUSTIFICACIÓN

A diario se observa que la contaminación ambiental es obra principal del hombre, debido al desarrollo de la evolución industrial y el alto consumo de combustibles fósiles, lo cual genera un empobrecimiento de los recursos naturales. Por ello, crece la necesidad de buscar nuevas alternativas como el biodiesel, con el fin de preservar los recursos naturales, así como de evitar el incremento de la contaminación[2].

En el área de polímeros, las aplicaciones enfocadas al desarrollo de materiales para producción de biocombustibles son de gran importancia. En particular, el desarrollo de membranas poliméricas catalíticas para la producción de biodiesel. Aunque ya existe en la literatura investigaciones relacionados con la elaboración de membranas catalíticas para la producción de biodiesel[7], también se reporta que, con la reusabilidad de las membranas, se presenta disminución de la actividad catalítica debido a la pérdida del catalizador ácido sólido incorporado en la matriz polimérica. Por ello, es este trabajo se tiene como objetivo sintetizar nuevos materiales para elaborar membranas catalíticas para la producción de biodiesel[2]. Los materiales serán obtenidos a partir de copolímeros funcionalizados de estructura controlada, donde la unión de los bloques poliméricos por enlaces covalentes aumentará la estabilidad de las membranas poliméricas en el medio de reacción, incrementando su vida útil y reutilización en los procesos de producción de biodiesel.

La importancia de la realización de este trabajo es enfocada a brindar una nueva alternativa de producción de biodiesel que genere cambios ambientales, industriales y económicos. Esta tecnología para la producción de energía alternativa es fundamental para garantizar la seguridad energética y un ambiente limpio, no reduciendo totalmente la contaminación, pero sí ayudando a que no se incremente.

6. ANTECEDENTES

A finales del siglo XIX se da comienzo a la historia de los biocombustibles, la posibilidad del empleo de aceites vegetales como combustibles fue planeada por primera vez en la exposición mundial de 1900 con sede en París. Ahí se presentó por primera vez, cinco modelos de motor diésel, uno de los cuales empleaba aceite de cacahuete como combustible[14,]

Durante la crisis energética de 1970-1980 surgió nuevamente el interés por la investigación de las fuentes de energía alternativas. En este contexto, los aceites vegetales fueron retomados como una fuente viable para producción de diésel alternativo[15]. Por lo tanto, a fínales de los años 80`s los investigadores plantearon cuatro métodos para la obtención del biodiesel los cuales fueron pirolisis, dilución de aceites en diésel derivado del petróleo, micro emulsificación y transesteríficación[16]

En 1985 se hicieron las primeras pruebas de obtención de combustibles mediante transesteríficación a partir de vegetales como canola y soya". Sin embargo, la eficiencia energética del biocombustible obtenido no fue el esperado en los motores de prueba[13], debido a la calidad del biocombustible y, por lo tanto, no competían con los combustibles tradicionales (diésel) [14].

A principios del 2003, empezaron a tomar en cuenta el impacto que se tenía al medio ambiente por el uso de hidrocarburos en vehículos que iba en aumento. A finales del 2006, la contaminación por CO_2 ya era un problema serio, contribuyendo a una grave destrucción de ecosistemas[14].

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Energías Renovables

La energía se obtiene de fuentes renovables y no renovables. Las fuentes no renovables como su nombre lo indica están limitadas en cuanto a su cantidad total disponible, ejemplo de estas son el petróleo, el gas y el carbón[15]. Por otra parte, las fuentes renovables se generan en procesos cíclicos, con periodos de tiempo cortos, por lo que su la cantidad disponible para generar energía no está limitada, ejemplo de ello son la biomasa y la energía obtenida del sol y el aire. En los últimos años la generación de energía renovable ha cobrado gran importancia, debido a que la energía obtenida de fuentes no renovables ha aumentado su costo y su dificultad de obtención. Además, el uso de la energía no renovable a partir de fuentes como el petróleo han ocasionado efectos negativos como la lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono y el cambio climático global[15].

El uso de fuentes renovables surge como una alternativa para la obtención de “energía limpia”, estos recursos ayudan a reducir los impactos ambientales, producir residuos secundarios mínimos, disminuir la dependencia de combustibles fósiles una reducción del efecto invernadero y el cambio climático[16]. La obtención de energía renovable ha sido tal que hoy en día ha logrado establecer un porcentaje alto de la demanda total de la energía del mundo, y se esperan que en los próximos años aumente entre un 30% y 80%.

7.2 La Biomasa

La biomasa se define como la metería orgánica originaria de un proceso biológico espontaneo o provocado, que puede utilizase como fuente de energía[7]. Se considera biomasa a los productos que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica, excluyendo combustibles fósiles y las materias orgánicas derivadas de éstos (los plásticos y la mayoría de los productos sintéticos). Por otra

parte, la Food and Agriculture Organization of the United Natios (FAO) define a la biomasa como el conjunto de plantas terrestres y acuáticas, junto con sus derivados, subproductos y residuos producidos en su trasformación.

En la actualidad el uso de la biomasa como productora de energía ha aumentado el interés de las investigaciones, de tal manera que el 56% de las publicaciones relacionadas con energía renovable se centra en la biomasa como materia prima[7]. El uso de la biomasa se ha enfocado a la obtención de biocombustibles líquidos, gaseosos o electricidad. A pesar de las grandes ventajas que ofrece la obtención de electricidad, la generación de biocombustibles líquidos ofrece dos grandes ventajas: su almacenaje y su trasporte[16].

El posible uso de residuos de la biomasa para generar estos biocombustibles no solo permitirá la utilización de estos desechos, si no que implementados en motores de combustión interna ayudarían a disminuir los gases de efecto invernadero producidos por la quema de combustibles fósiles (gasolina y petróleo) generado por la industria y trasporte en general

7.3 Biocombustibles

Los combustibles de origen biológico que no se han fosilizado son llamados biocombustibles, en la actualidad el uso de biocombustibles ha aumentado debido a las diversas ventajas que presenta, por ejemplo: no son contaminantes, son accesibles, seguros y son obtenidos de fuentes renovables[17]. Por otra parte, el uso de biocombustibles ha sido considerado como una nueva tecnología que está al alcance tanto de países en desarrollo, como de países avanzados, añadiendo además que los países en desarrollo presentan diversas ventajas, tales como disponibilidad de suelo, las condiciones climáticas y los bajos costos laborales.

Los biocombustibles específicamente para motores de combustión interna han llamado la atención debido a su capacidad de renovación y disponibilidad, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Dentro de los

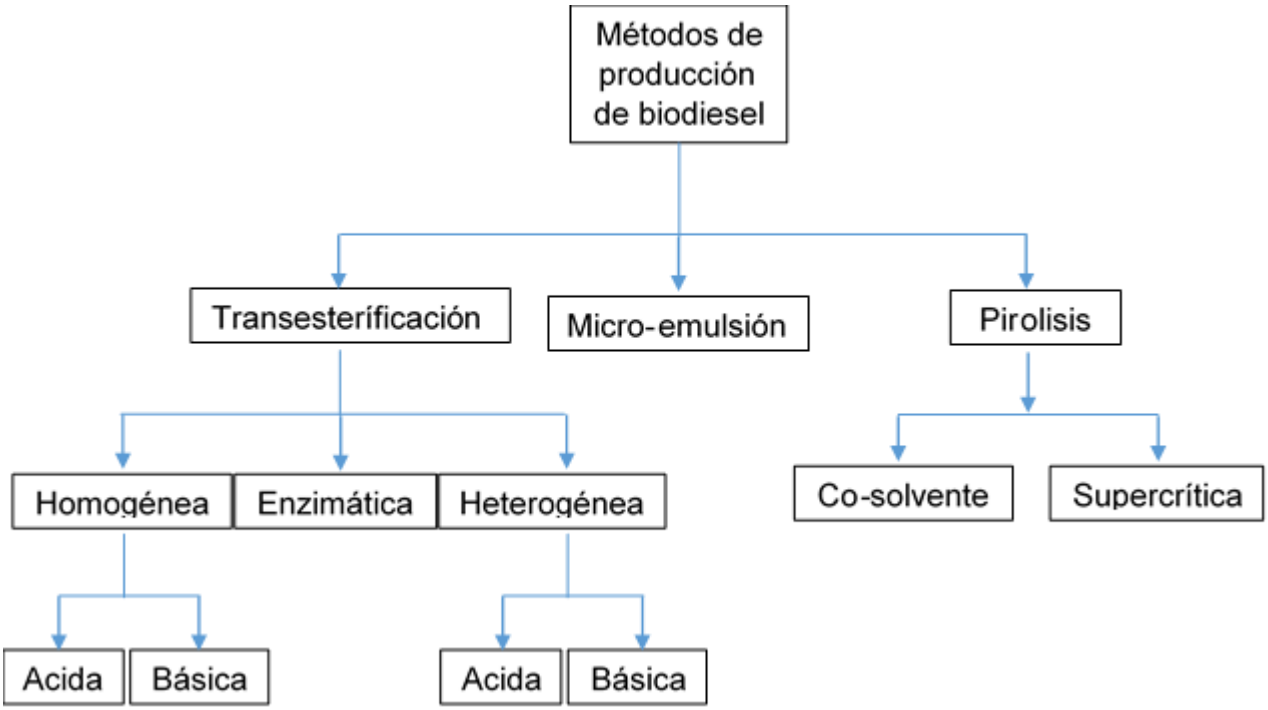
Biocombustibles líquidos, el biodiesel ha cobrado importancia en los últimos años debido a la cantidad de beneficios que ofrece al ser empleados en el trasporte[17.]

7.4 Biodiesel

El biodiesel es un combustible diésel alternativo derivado de los aceites vegetales grasas animales y aceites de reuso. El biodiesel es una mezcla de esteres alquílicos que está conformado por dos cadenas de hidrocarburos, una corta y una larga. La cadena larga es llamada cadena de ácidos grasos, mientras que la cadena corta varía de acuerdo con el alcohol empleado en la reacción de transesterificación.

7.5 Producción de Biodiesel

Existen varias tecnologías para producción de biodiesel como son: dilución o mezcla de hidrocarburos, micro-emulsión, craqueo térmico (pirolisis) y transesterificación. En el esquema 1 se resumen los principales procesos de obtención de biodiesel.



Esquema 1. Técnicas de producción de biodiesel.

Hoy en día, el principal método para producción de biodiesel es la transesterificación de aceite vegetal, animal, o aceites de reuso con alcoholes de cadena corta (generalmente metanol o etanol) en presencia de un catalizador[18]

Esta reacción produce ésteres de ácidos grasos mediante un proceso de tres etapas, donde los triglicéridos se transforman inicialmente a glicéridos, los cuales en una segunda etapa producen monoglicéridos y finalmente generan glicerina. La mezcla de esteres alquílicos de ácidos grasos es conocida como biodiesel[17].

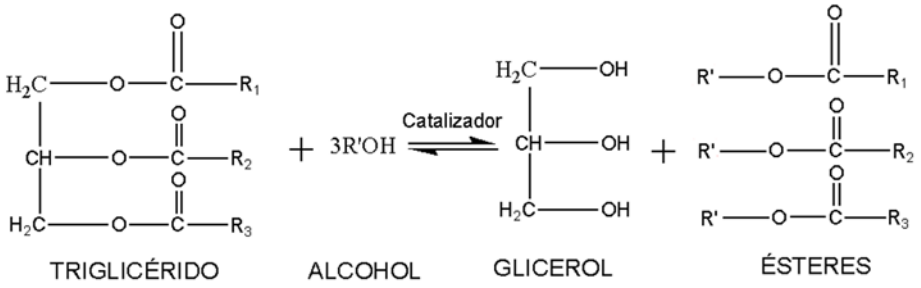


Figura 1. *Reacción de transesterificación.*

Para llevar a cabo la reacción de transesterificación es necesaria una relación adecuada de alcohol/triglicéridos. Generalmente, se requiere que la proporción de alcohol este en exceso con la finalidad de obtener un mayor rendimiento. La optimización de la reacción está influenciada por varios parámetros, con el objetivo de incrementar el rendimiento y reducir los costos de reacción. Estos parámetros son: la relación molar de alcohol/triglicérido, la temperatura de reacción, el tipo de catalizador empleado y el alcohol utilizado.

7.5.1 Parámetros que afectan la reacción de transesterificación

Los parámetros que afectan la reacción de transesterificación se pueden dividir en dos grupos

1) Las condiciones de reacción
2) Las características del aceite

- *Temperatura de reacción*

Al incrementar la temperatura el rendimiento aumenta y el tiempo de reacción se reduce, se recomienda que la temperatura no exceda el punto de ebullición del alcohol, porque se vaporiza y forma burbujas de limitan la reacción en las interfaces alcohol/aceite/biodiesel. Aunque en algunos casos se lleva a cabo desde 20°C como es el caso del aceite de resino y 95 para el de fritura[18].

- *Tipo de alcohol*

Comercialmente el metanol es el alcohol más utilizado a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas (alcohol polar y cadena corta) aunque se pueden utilizar otro como: etanol, propanol, etc. Se ha encontrado que durante la reacción se forma una emulsión que desaparece formando dos fases liquidas cuando se utiliza metanol, pero dicha emulsión permanece al emplear etanol, evitando la separación y purificación de las faces

- *Aceite*

El biodiesel puede producirse a partir de una gran variedad de cultivos oleaginosos, de grasas animales y de aceites y grasas recicladas, también se puede emplear aceite reciclado. Los ácidos grasos insaturados son los que se encuentran en aceites y grasas, (frituras, reciclados etc.) presentan dificultad en su aislamiento y caracterización, por lo que, en comparación con estos, se tiene mejor información de su comportamiento y características fisicoquímicas de los saturados.

7.6 Panorama Nacional

El uso de la energía renovable en México ha sido deficiente, debido a ellos se han establecido leyes para aumentar el uso de bioenergía. Actualmente se cuenta con dos leyes que permiten el desarrollo de bioenergéticos, como por ejemplo la ley de promoción y desarrollo de biocombustibles (LPDB) publicada en 2008. Esta ley se concentra en la promoción de etanol y biodiesel como sustitutos de la gasolina y el diésel, la aplicación de estas leyes ha ayudado a aumentar el interés de energías renovables demostrando todos los beneficios que estas ofrecen.

7.7 Membranas Catalíticas para la Producción de Biodiesel

Una membrana es una barrera que permite el paso selectivo de sustancias a través de ella. El flujo de estas sustancias puede venir determinada por diferentes "fuerzas impulsoras", principalmente: la presión, concentración y potencial eléctrico. La selectividad permitirá enriquecer o empobrecer una corriente o carga en una o varias sustancias[10]

Las membranas poliméricas se pueden clasificar, teniendo en cuenta su composición en celulósicas, celulósicas modificadas y sintéticas, aunque actualmente se tiende a definirlas en relación con sus características y propiedades.

En este sentido, se han agrupado de acuerdo con su grado de incompatibilidad, permeabilidad, eficacia depuradora, distribución simétrica o asimétrica según la distribución y el tamaño de los poros, polaridad, y propiedades hidrofilias e hidrofóbicas.

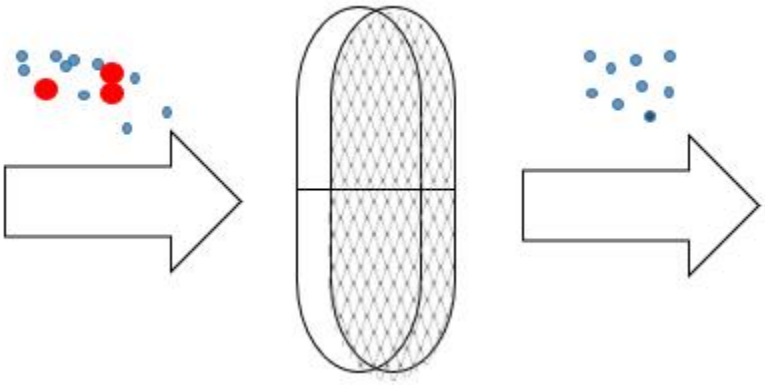


Figura 2. *Separación en una membrana.*

Las membranas orgánicas o poliméricas constituyen el campo más amplio y desarrollado de las membranas, tanto desde el punto de vista de volumen de fabricación, como desde el campo de las diversas aplicaciones posibles[19].

El principal interés en la investigación de este tipo de membranas está relacionado con la versatilidad de los compuestos que la conforman, aspecto que se puede resumir en tres características básicas:

1. La posibilidad de ejercer cierto control sobre las configuraciones moleculares de los polímeros, que impactan directamente en las propiedades de los materiales.

2. Los polímeros pueden adoptar con facilidad diferentes formas físicas, lo cual presenta una ventaja en el plano tecnológico.

3. La gran variedad de polímeros existentes, permite escoger aquellos más interesantes para diseñar una membrana determinada.

La tecnología de separación por membranas ha tenido un alto crecimiento en los últimos años, debido a que puede llegar a ser un proceso muy selectivo para separaciones y reacciones especificas a escala molecular, además de operar con gatos energéticos relativamente bajos y ser un proceso amigable con el medio ambiente[19]

7.8 Polimerización

Consiste en crear una cadena macromolecular a partir de dos monómeros de naturaleza distinta. La polimerización de dos o más diferentes tipos de monómeros al mismo tiempo, produce un copolímero, o sea, un polímero que contiene dos o más tipos de unidades monoméricas en la misma molécula. Mediante este proceso es posible obtener materiales con propiedades especiales, que difieren a las de los homopolímeros que se preparan a partir de cada uno de los monómeros involucrados en la polimerización. Sin embargo, las propiedades obtenidas en el copolímero van a depender de la distribución de las unidades repetitivas a lo largo de la cadena. Por otro lado, esta distribución es afectada por las reactividades de los monómeros. En general, será mayor la probabilidad de incorporación en el copolímero cuanto mayor sea la reactividad del monómero y de la estabilidad del radical.

Como se muestra en el esquema 3 los copolímeros que se pueden obtener basándose en estos dos factores son copolímeros al azar o aleatorios y copolímeros alternados. Los copolímeros al azar se obtienen cuando cualquiera de los radicales se puede unir a cualquiera de los monómeros para generar un copolímero cuyas unidades monoméricas se hallan distribuidas al azar a lo largo de la molécula, mientras que los copolímeros alternados son aquellos que contienen dos unidades monoméricas en una cantidad equimolar y en una distribución alternada regular.

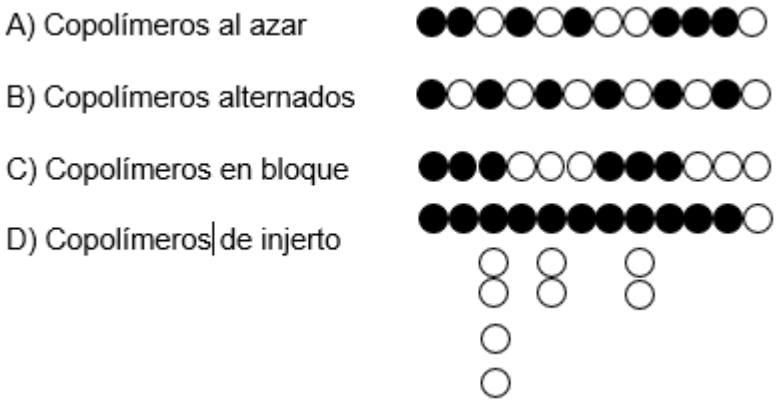


Figura 3. *Tipos de copolímeros.*

Las cadenas de polímeros pueden organizarse en bloques si se controla la reacción de polimerización para permitir que muchas unidades consecutivas en la cadena sean del mismo monómero. Por otra parte, cuando el segundo tipo de monómeros forma una cadena ramificada y se une al sitio activo con la cadena principal se genera una distribución diferente que se denomina copolímero de injerto.

7.8.1 Polimerización por radicales libres

La Polimerización vía radicales libres es la más común de todos los mecanismos de polimerización por adición. Cuando los radicales libres son generados en presencia de monómeros insaturados, el radical se añade a un doble enlace y otro radical libre es generado como resultado de un electrón no compartido. Este radical libre reacciona con otra unidad manométrica y así la molécula del polímero crece, añadiéndose más unidades manométricas manteniéndose un radical libre al final de cada cadena viviente. La cadena sigue creciendo hasta que el radical es terminado o se trasfiere otra cadena y así el mecanismo se completa [21]

La polimerización vía radicales libres presenta como características, altos pesos moleculares a altas conversiones de polímero, además de la presencia de monómero en toda la polimerización

El proceso de la polimerización puede ser cuantificado por la conversión del monómero, definido como la fracción del monómero inicial que ha sido convertido a polímero en un determinado tiempo[21]

La cinética de la polimerización por radicales libres se divide en tres etapas: Iniciación, propagación y terminación.

- *Iniciación*

Esta se lleva a cabo en dos pasos; el prime es la formación de un radical libre por la descomposición del iniciador, y el segundo es la adición del uno de esos radicales a una molécula del monómero

$1 \xrightarrow{kd} 2R^*$ Kd= coeficiente cinético de descomposición

$R^*+M \xrightarrow{Ki} RM^*$ Ki = Coeficiente cinético de iniciación

- *Propagación*

Es el crecimiento de la cadena de polímero por la rápida y sucesiva adición de moléculas de monómero al centro activo

$RM^*+M \xrightarrow{kp} RMM+ M \longrightarrow RMMM^* + M \longrightarrow$

K_p = coeficiente cinético de propagación

- *Terminación*

Los electrones dispares de dos radicales en crecimiento se cambian de nuevo para formar un enlace covalente, es decir, se unen para formar una sola cadena

$\boldsymbol{M\ /m * +M\ /M *\ \ Kk\ \ \ M\ /m +/n}$

Kk= Coeficiente cinético de terminación

7.8.2 Tipos de polimerización vía radicales libres

- *Polimerización en masa*

El monómero líquido se polimeriza por la acción del calor en presencia de un iniciador (sin disolvente). Al avanzar la reacción se incrementa la viscosidad del medio y se puede llegar a solidificarse. Por esta técnica pueden obtenerse polímeros muy puros, pero también con alta polidispersidad. Además, las reacciones suelen ser exotérmicas y producen aceleraciones que pueden llegar a tomar carácter explosivo

- *Polimerización en solución*

En la polimerización en solución, además el monómero y del iniciador, se emplea un disolvente, formando un sistema homogéneo. En este método el polímero puede ser soluble en el disolvente o precipitar a partir de cierto grado de polimerización. El disolvente debe ser eliminado del polímero y recuperado para producir el costo de fabricación. Es útil cuando el producto final se emplea en forma disuelta, como el caso de adhesivos y barnices. Se considera un ligante lábil cuando el enlace entre el ligante y el metal se pueden romper fácilmente, siendo este definitivamente sustituido por otro ligante o grupo donador. La hemilabilidad por su parte se refiere a ligantes polidentados los cuales tiene al menos dos grupos donadores con propiedades diferentes en reacciones de sustitución frente a un centro metálico (uno hábil y uno inerte). Estos ligantes forman complejos donde un grupo donador es fácilmente desplazado del centro metálico mientras que el otro permanece fuertemente enlazado, esto es muy importante cuando se trata de posibles aplicaciones para complejos con ligantes lábiles y hemilabiles, ya que estos incrementan l reactividad de un catalizador comparándolos con ligantes que no poseen estas características.

7.8.3 Polimerización radicálica por transferencia de átomos

Es una técnica de polimerización radicálica controlada, la cual nos permite la síntesis de polímeros con características deseadas y/o específicas de una forma simple y controlada. Permite obtener homopolímeros y copolímeros en bloques bien definidos, con peso molecular predeterminado, distribución de peso molecular estrecho y alto grado de funcionalidad.

Es una técnica considerada como un sistema multicomponente, ya que está formado por monómeros, iniciadores, complejos organometálicos (catalizadores), ligantes y disolventes. En ciertos sistemas se requiere además de aditivos o co-catalizadores[20]

Obtención de información a partir de la respuesta de un material al ser perturbado por una señal. Estas pruebas son necesarias debido a la importancia de conocer o predecir las propiedades de un material y así valorar su utilidad en diversas aplicaciones. Información como la composición, estructura química, topología, topografía, morfología y propiedades (Color, Temperatura, etc.) que son las que pueden arrojar este tipo de pruebas[20]

La mayoría de los procesos ATRP requieren de la adición o formación de la formación in situ de tres componentes esenciales. Una molécula que actúe como iniciador, la cual debe poseer al menos un átomo o grupo trasferible como lo son los halogenuros organometálicos, R-X donde X= Cl, Ru, I, un catalizador compuesto por un complejo de metal de transición y ligantes adecuados, uno o más monómeros polimerizables vía radical

La ATRP comienza con el clivaje homofílico del enlace carbono – halógeno del iniciador, dando como resultado una especie de radical que seguidamente reacciona con el monómero y el halógeno que es trasferido al complejo de metal de transición derivado en la oxidación de este. Posteriormente el radical resultante del proceso anteriormente descrito abstrae el halógeno del complejo oxidado

Restituyendo el catalizador inicial y una especie halogenada inactiva a partir de la cual se vuelve a inicial el proceso completo repetidas veces

Los radicales activos se generan con una velocidad de activación de constaste K_{act}. Así mismo se propagan con una velocidad de propagación dependiente de K_p y reversiblemente se desactivan con velocidad de constante K_{deact}, también pueden terminarse con la velocidad de k_t.

El éxito de la ATRP radica en la baja concentración de radicales intermediarios en un tiempo dado, además de su rápida y reversible trasformación hasta la correspondiente especie inactiva antes de experimentas una nueva adición de monómero; otro factor importante es que el crecimiento de las cadenas sea uniforme, esto.

7.9 Complejos de Rutenio

Los complejos de rutenio (II) han sido probados como catalizadores en polimerización viviente. Un ejemplo de ello es el complejo [Ru(phypy)(CH3CN)4PF6, en el cual presenta ligantes acetonitrilo lábiles, permitió su uso en catálisis ATRP[22] permitiendo la polimerización de diferentes monómeros como el metacrilato de metilo y el estireno a partir del éxito obtenido en polimerización viviente con este complejo, en 2012 se probó un sistema catalítico fotoactivo basado nuevamente en complejos ciclometalados de Rutenio (II) con ligantes bidentados, los cuales como se había se había visto en trabajos anteriores están fuerte mente coordinados (fenilpiridina, bipiridina, fenantrolina) y utilizando una vez más ligantes más ligantes acetonitrilo como ligantes lábiles. Estos complejos se usaron en polimerización de tres monómeros: metacrilato de metilo (MMA), estireno (St) y acrilato de n-butilo, produciendo altas conversiones bajo irradiación de luz visible.

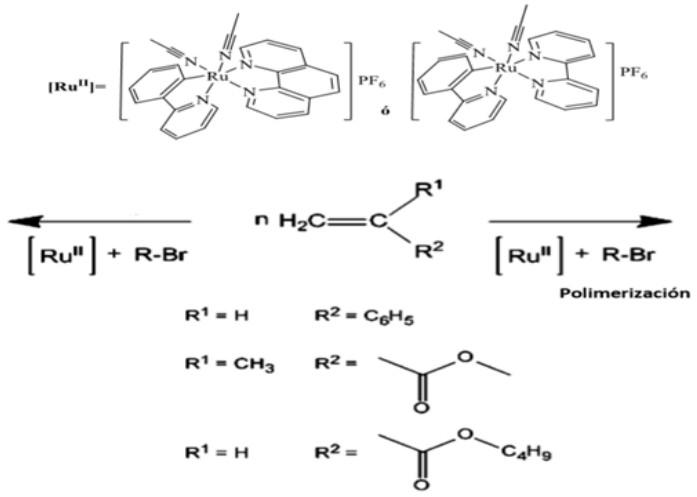


Figura 4. *Complejos de rutenio utilizados en ATRP.*

7.10 Ácido 2-acriloamido-2-metilpropanosulfónico

El AMPS es un monómero aniónico, portador de un grupo sulfónico (ácido fuerte) ionizado en prácticamente todo el rango de pHs1 y debido a su carácter altamente hidrofílico (asociado a su carácter iónico) y a su estabilidad hidrolítica, térmica y mecánica, tiene gran interés como componente activo de fibras acrílicas, adhesivos, látex, en el tratamiento de aguas y aceites, etc.

En el área industrial siendo utilizado para la producción de biodiesel presenta una serie de características que le hacen enormemente atractivo: por una parte, presenta una excelente capacidad de absorción de agua (sus derivados pueden considerarse en algún caso como supe absorbente) lo que le hace útil en formulaciones de hidrolisis. Además, puede formar complejos con polielectrolitos catiónicos y tiene propiedades lubricantes y es un componente biocompatible. Pero si se debe resaltar una propiedad en este terreno, es la asociada a la naturaleza sulfónica de sus grupos iónicos, la cual es responsable de sus características anticoagulantes por su mimetismo con la heparina (molécula natural con gran actividad antitrombogénica y portadora de grupos sulfónicos[14]

8. METODOLOGÌA

8.1 Reactivos y Disolventes

El monómero metacrilato de metilo MMA previo a su uso, se pasó por una columna empacada de alúmina básica para remover el inhibidor.

El metanol, diclorometano, acetona, dimetilformamida, éter dietílico anhidro, acetonitrilo anhidro y 2-bromoisobutirato de etilo, cloroformo deuterado se obtuvieron comercialmente de Sigma Aldrich y se usaron como se recibieron

8.2 Síntesis del catalizador de $[Ru(Phpy)(Phen)(NCMe)_2]PF_6$.

El complejo $[Ru(Phpy)(Phen)(NCMe)_2]PF_6$ se sintetizó en un matraz Schlenk previamente desgasificado, en el cual se colocó 0.5 g del dímero de rutenio, 0.08 g de hidróxido de sodio y 0.7 g de hexafluorofosfato de potasio (KPF_6). Se agregaron 30 ml de acetonitrilo anhidro y 0.3 ml de 2-fenilpiridina se purgó nuevamente y la reacción se dejó por 19 horas con agitación y a 45°C en un baño de aceite. Se evaporó el disolvente a presión reducida y se purificó en una columna empacada con alúmina utilizando diclorometano. Se colectó la fracción amarilla en un matraz de tres bocas y nuevamente se evaporó a sequedad, después se lavó con éter dietílico anhidro y se guardó en atmósfera de nitrógeno hasta agregar 1,10-fenantrolina y 30 ml de acetonitrilo, la reacción se efectuó con agitación y a temperatura ambiente por 19 horas. Al término de la reacción se evaporó a presión reducida y se purificó en una columna de alúmina utilizando una mezcla de diclorometano/acetonitrilo. Se colectó la fracción café oscuro en un matraz de tres bocas y nuevamente se evaporó a presión reducida, el catalizador obtenido se lavó con éter dietílico y se secó a vacío.

8.3 Síntesis de poli (ácido 2-acriloamido- 2-metilpropanosulfonico)

Inicialmente el catalizador y el monómero fueron pesados y agregados a un matraz Schlenk de 25 ml para después desgasificarlo mediante ciclos de vacío-nitrógeno. Se hizo una mezcla de dimetilformamida (DMF)/agua en una proporción 50/50 y se desgasificó por 20 minutos para después ser agregado al matraz. Se congeló el matraz con nitrógeno líquido para desgasificarlo con ciclos de vacío-nitrógeno. Finalmente se agregó el iniciador de etil α- bromoisobutirato (EBiB).

La reacción se llevó a cabo con agitación a una temperatura de 80°C en baño de aceite para controlar la temperatura y se dejó reaccionar durante 24 horas.

Tabla 1. *Relaciones molares.*

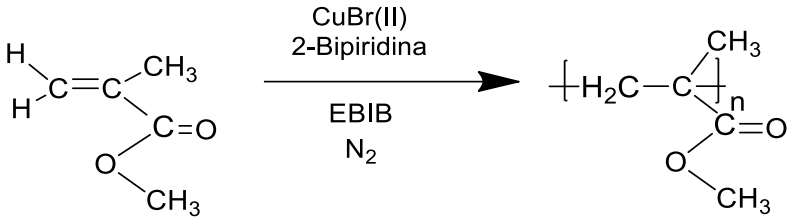
AMPS	200
Iniciador	1
Catalizador	1

8.4 Síntesis del macroiniciador de PMMA vía ATRP

La síntesis del copolímero se llevó a cabo a través de la técnica ATRP. Como primer paso se lleva a cabo la síntesis del macroiniciador PMMA. En un matraz *Schlenk* de 25 ml se adicionaron 3.5 ml de MMA (previamente purificado a través de una columna removedora de inhibidor) y tolueno como disolvente. El sistema fue previamente desgasificado (para remover el oxígeno) con 3 ciclos de vacio-nitrógeno.

A continuación se agregaron 23 mg de catalizador Ru (II) y 46 mg de ligante 2-bipiridina (bpy). Se llevó a cabo un ciclo más de vacío-N_2 y se agregó 3.6 µl del iniciador 2-bromo isobutirato de etilo (EBIB) (ver esquema 4). Durante este proceso el

sistema se mantuvo en un flujo constante de nitrógeno. Posteriormente el matraz se colocó en un baño de aceite a 80°C y se mantuvo en agitación por 4 h. El polímero resultante se vertió en una caja Petri y se dejó evaporar el disolvente.



Esquema 4. *Reacción de polimerización ATRP del MMA*

Posteriormente, el polímero seco, se disolvió en 5 ml de THF y se pasó por una columna de alúmina para eliminar el catalizador. La solución final se disolvió de nuevo en 3 ml de THF y se precipitó en metanol para finalmente ser filtrado a vacío. El polímero obtenido se secó a 60°C en un horno a vacío por 24 h.

8.5 Síntesis de PMMA-b-PAMPS vía ATRP

En un matraz *Schlenk* de 25 ml se adicionó el macroiniciador sintetizado anteriormente, el catalizador de rutenio y el monómero de AMPS previamente pesados para después ser desgasificado mediante ciclos de vacío-nitrógeno. Los disolvente utilizados fueron DMF/agua en una proporción 50/50 los cuales fueron desgasificados por 20 minutos, pasado este tiempo se agregó disolvente a la reacción para después congelar con nitrógeno líquido y nuevamente desgasificar mediante ciclos de vacío-nitrógeno. Finalmente se colocó la reacción en un baño de aceite a una temperatura de 80ºC por 24 horas.

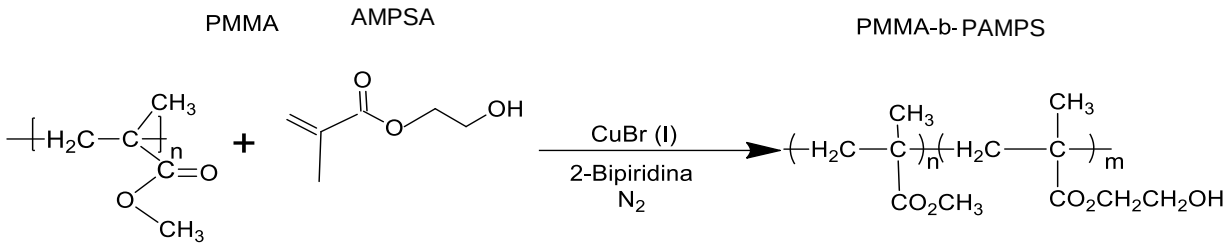


Figura 5. *Reacción de polimerización ATRP del PMMA-b-PAMPS*

La reacción de polimerización se llevó a cabo por 6 h. Pasado el tiempo de reacción la solución fue retirada y disuelta en la solución 1-propanol/2-butanona, para posteriormente ser purificada a través de una columna de alúmina.

8.6 Preparación de membrana de mezclas de PMMA-b-PAMPS

Para la elaboración de las membranas, en un matraz Erlenmeyer de 25 ml se pesó 365 mg del copolímero sintetizado y se disolvió en 6 ml de DMF, se colocó en una parrilla con agitación y a temperatura ambiente por 24 horas.

Se preparó el molde para la membrana cubriendo un cuadro de vidrio con teflón y colocando sobre este un aro de metal, se niveló la parrilla con el molde y después de eso se virtió la mezcla sobre este para dejarlo por 24 horas a una temperatura de 60ºC. Transcurrido este tiempo se metió a la estufa de vacío para secar por 24 horas a 60ºC.

Para la elaboración de las membranas, en un matraz Erlenmeyer de 25 ml se pesó 0.6 g del copolímero sintetizado para después disolverlo en 9.23 ml de una mezcla metanol/agua en una proporción 70/30, se colocó en una parrilla con agitación y a una temperatura de 60°C por 24 horas. El matraz se envolvió en papel aluminio para mantener la temperatura. Transcurridas las 24 horas se dejó enfriar y se agregó 0.057 g de ácido succínico para nuevamente dejar disolviendo por 24 horas a temperatura ambiente.

Se realizó un molde para la formación de la membrana, utilizando un aro de metal sobre un cuadro de vidrio forrado con teflón. Posterior a eso, se niveló la parrilla a utilizar con la ayuda de un nivel y se colocó el molde sobre la parrilla nivelada.

Pasadas las 24 horas mencionadas anteriormente se colocó la solución sobre el molde y se dejó evaporar el disolvente por otras 24 horas a una temperatura de 60°C

8.6.1 Pruebas de Hinchamiento (Q) y pérdida de masa (WL)

Se cortó la membrana de 1x1 cm aproximadamente, se secó a 60°C a vacío por 24 horas. (Para eliminar el agua),

Figura 6. *Membrana seca.*

Se pesaron las muestras secas, para después sumergir las membranas en 5 ml de disolvente puro (agua, metanol, aceite vegetal), pasado las 24 horas se secaron las membranas con papel filtro cuidando que no se rompieran.

Se pesaron e inmediatamente y se sumergió por otras 24 horas hasta alcanzar un peso constaste. Luego se secó a 60° a por otras 24 horas y se realizaron los cálculos

Tabla 2. *Pruebas de hinchamiento.*

Solución	prueba	Peso inicial	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Aceite	1	4.1	4.4	4.6	4.8	4.9
Metanol	2	5.1	x	x	x	x

Durante el proceso las pruebas con la solución de metanol no fueron las esperadas debido a que la membrana se disolvió, y solo se continuaron con las pruebas de aceite.

8.6.2 Determinación de capacidad de intercambio iónico (IEC) de la membrana PMMA-&-PAMS

Se determinó el (IEC) la cual indica el numero equiválete de iones (H+) de los grupos sulfonicos por gramo de membrana se realizó por la técnica de titulación Acido-base y se realizaron por duplicado.

Se cortaron dos membranas de 3x3 cm aproximadamente, se secaron a 60° por 24 Hrs para eliminar el agua, una vez secas se pesaron las dos membranas y se sumergieron en 10 ml de agua destilada a temperatura ambiente por 24 hrs.

Posteriormente se limpió el exceso de agua de la superficie de la membrana con papel filtro y se sumergieron en 5 ml de una solución de HCl 1M a temperatura ambiente por 24 hrs con el fin de protonar los grupos sulfato (H+).

Pasado las 24 hrs se le quito el exceso de HCl con agua destilada, se tituló con ayuda de un potenciómetro hasta que se obtuvo un pH neutro, luego se sumergió en una solución de NaCl 1M a temperatura ambiente por 24 hrs para remplazar los protones por iones de sodio.

Se sacó la membrana de la solución y se agregaron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con una solución de NaOH 0.01 molar y se tomaron lecturas de pH, hasta alcanzar un pH neutro.

9. RESULTADOS

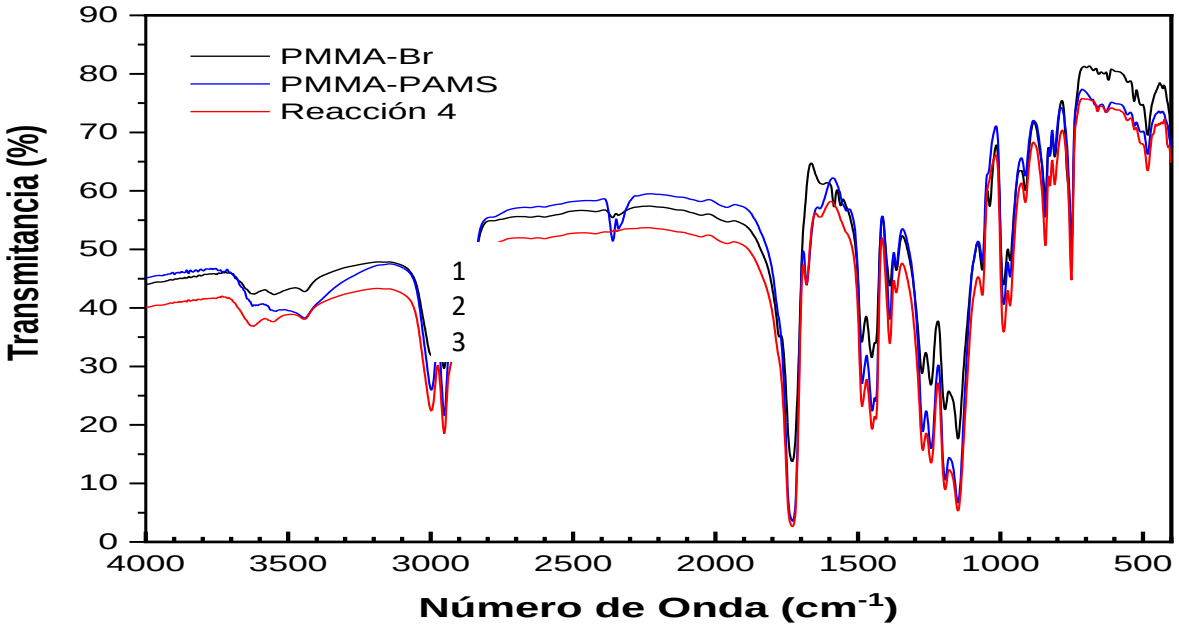


Figura 7. *Espectros de FTIR de PMMA-Br (1), PMMA-PAMPS (2), PMMA-b-PAMPS (3)*

Tabla 3. *Bandas de absorción utilizadas en infrarrojo.*

3420	N-H AMIDAS
1150-1725	CARBONILOS
1050-1200	SULFONICOS

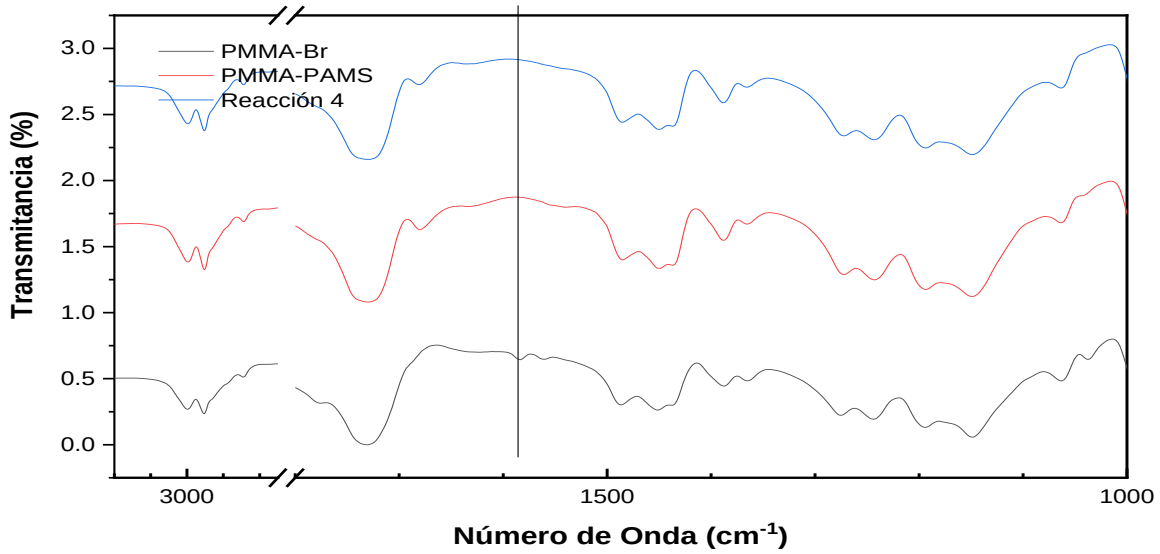


Figura 8. *Espectros de FTIR Normalizadas de PMMA-Br (1), PMMA-PAMPS (2), PMMA-b-PAMPS (3)*

El espectro (1) del PMMA-Br mostraba bandas de absorción en los intervalos 1150-1725.

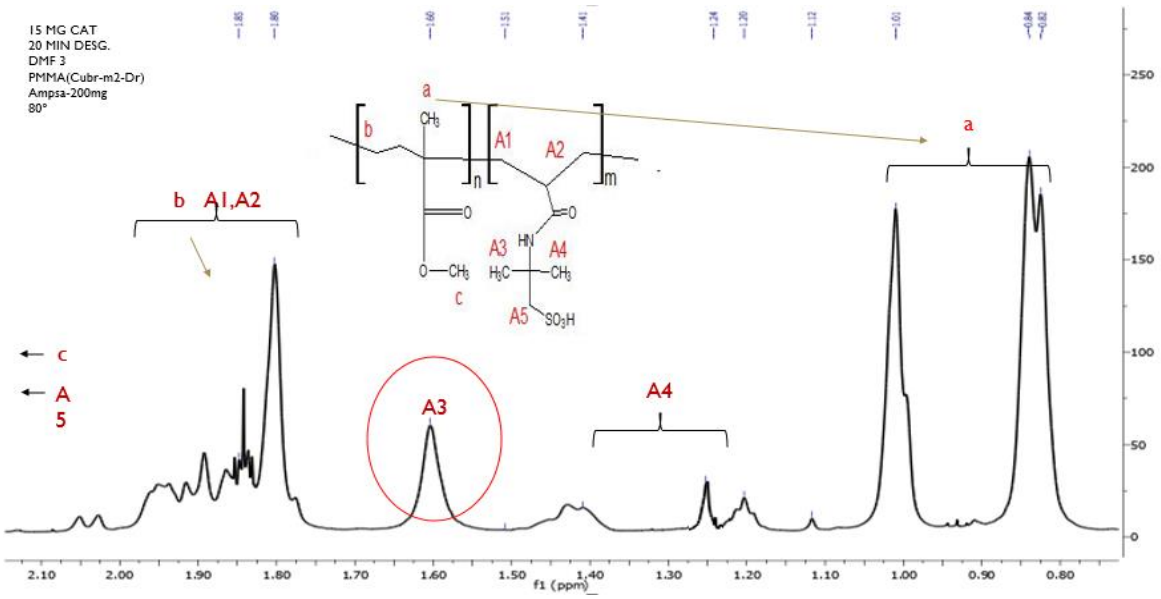


Figura 9. *Espectros de resonancia magnética nuclear para el PMMA-b-PAMPS.*

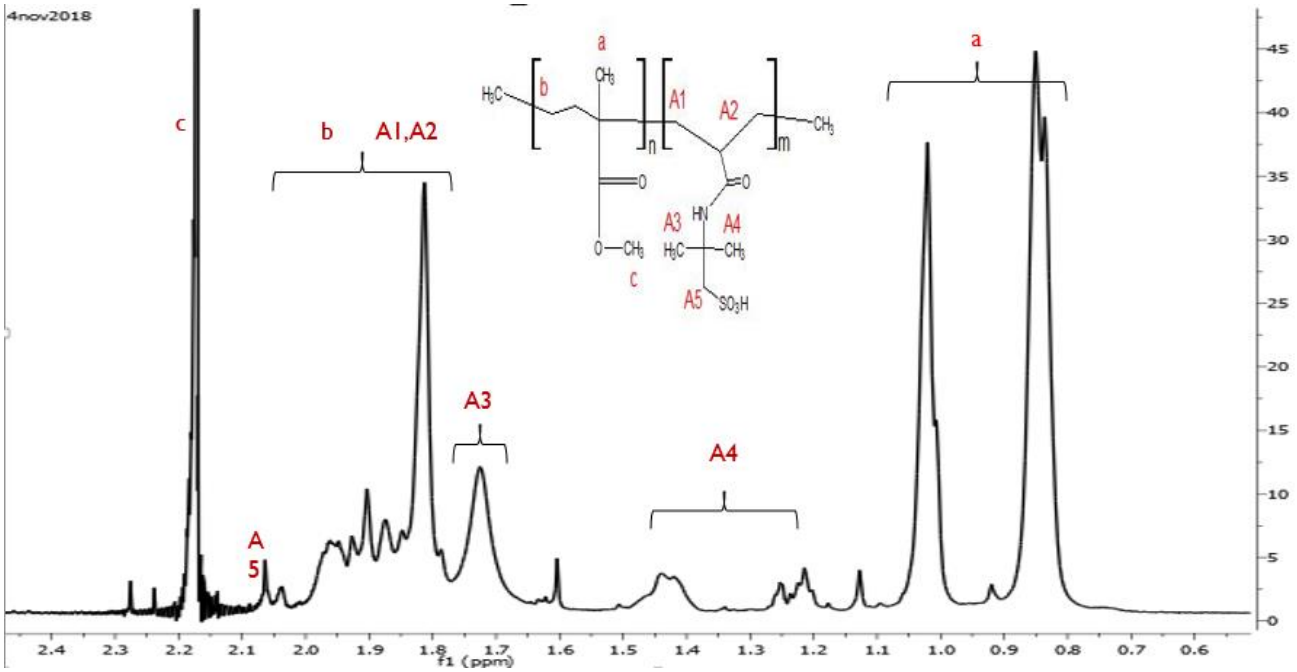


Figura 10. *Espectro de resonancia magnética nuclear para el PMMA-b-PAMPS.*

10. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los complejos de Ru (II) fueron capaces de mediar la polimerización radicálica controlada de los dos monómeros MMA Y AMPS

La polimerización aun fueron monómeros con características diferente la polimerización estuvo estable, el control mejor significativamente en presciencia de pequeñas cantidades de otro complejo de rutenio ciclo metalado que contiene la estructura byphy y phen que se encuentran fuerte mente enlazados

El complejo de Ru (II) presentó un comportamiento semejante ala polimerización radicálica controlada de monómero representativos en comparación con otros que se han estudiado

Se logró sintetizar el copolímeros PMMA-PAMPS con un 6% en el crecimiento de bloque de PAMS el cual al ser analizado demostró que desarrollo la parte hidrofilica y si resulta ser un excelente catalizador para el proceso de transesterificación, se planean hacer pruebas en un reactor con el copolímeros obtenido

Se planea agrandar el bloque del PAMS hasta un 20% lo cuan brindaría un portaje de conversión si se llegara a utilizar en un reactor

La cantidad de macronicadocatalizador utilizador utilizada es menor en comparación si afecta a la hora de sintetizar el CopolÍmero ya que el bloque de PAMPS puede dejar de reaccionar con el de PMMA

11. COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Durante el desarrollo del proyecto de residencia, se realizaron las siguientes competencias:

Realizar investigación científica y desarrollo tecnológico

Dirigir y participar en equipos de trabajo interdisciplinario y multidisciplinario en contextos nacionales e internacionales

Diseñar e implementar instrumental de alta tecnología para el desarrollo industrial,

Conocer la problemática que presentan las membranas para la producción de biodiesel desde que se lleva a cabo la síntesis del copolímeros hasta la elaboración de las membranas. Encontrar las condiciones adecuadas que incrementar su capacidad para la transesteríficación prolongando la vida útil de la membrana.

12. REFERENCIAS

1. (McNeill, 2003; Vilches y Gil, 2003)
2. F. Ma, M. A. Hanna, Biodiesel production: a review, Bioresource Technology (1999), 70, 1-15.
3. Y.-S YE, J. Rick, and B.-J. Hwang, “Water soluble polymers as proton Exchange membranes for fue cell” Polymers, vol. 4, pp.913-963,2012
4. C.caetano, L. Guerreiro, I. Fonseca, A. Ramos, J. Vital, And J.and J. castanheiro,” Esterification of fatty acids to biodiesel over polymers with sulfonic acid groups,” Applied catalyis A: General, Vol. 359,pp. 41-46, 2009.
5. C._C. Yang, s. Lue, And J,-Y.Shih,”A novel organic /Inoganic Polymer membrane based on Poly(Vinyl Alcohol)/(2-Acrylamido-2-2-Methyl-1-propanesulfonic acid/3-grycidyloxypropyl trymehoxysilane polymer electrolyte membrane for direct metanol fuel cell,” journal of power sources, vol. 196,pp. 4458-4467,2011
6. Fink, J.2010. Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics: Polyolefins and Styrene’s
7. Z. Corzo-Gonzalez, M.I. Loria-Bastarrachea, E. Hernández-Nuñez, M. Aguilar-Vega, M.O. González-Díaz, Preparation and characterization of crosslinked PVA/PAMPS blends catalytic membranes for biodiesel production (2017), Polym. Bull. 74, 2741-2754.
8. M.balat and H. balat,”progress in biodiesel processing,” appliedEnergy,vol,87,pp.1815-1835,2010
9. Odian, G. 2004. Capítulo 3. Radical chain polymerization. Principles of Polymerization7
10. John Wiley & Sons, pp: 199-332.
11. -https://www.cicy.mx/quienes-somos
12. ttps://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Ultimas_Noticias/CICY_30_Anos_de_labor_cientifica_y_educativa.pdf

13. Castells, E.X (2012).Biomasa y energía. Madrid: Ediciones Díaz de Santos
14. (G knothe, J. Krahl, &j.v. Gerpen, The Biodiese Handbook. Elservier Science. 2015
15. Ahman, m., Zafar, M.,Azam,A,Sadia,H,Khan,M.A.,YSultana,S.(2011).Tecno-economic aspects of Biodiesel Production And Characterization. Energy Sources,6:166-177.
16. Chen, L., Xing, L, Han, L. (2009). Renewable Energy From Agro-Residues In china Solid Biofuels And Biomass Briquetting Tecnology, 2689.2695
17. Chai, M., Tu, Q Yan, J., Lu, M.(2014). Esterification Pretreatment Of free fatty acid in biodiesel production. Fuel Processing Technology, 106-113
18. Odian, G. 2004. Capítulo 4. Emulsion polymerization. Principles of Polymerization, JohnWiley & Sons, pp: 352-369.
19. Meira, G. R., Kiparissides, C. 2007. Capítulo 4. Free-radical polymerization: heterogeneous systems. Polymer Reaction Engineering, ed. Asua, J. M., Blackwell
20. Baer**,** J. *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, 1964 2(1), 417.1964
21. Matyjaszewski, K. ACS *Symposium Series*, 2008,1023(1), 3.
22. Díaz, F.;Le Lagadec, R,;Ryabov, A.D; Alexandrova,L. J.Pol. Science: Part A: Polym. Chem 2008, 46,4193-4204
23. Bruce M.I; Buntike M.A ; Costuas KB.G; Halen J.F.;Low P.J; Skelton B.W; White A,H. J. Organomet. Chem 2004,89,3308-3326
24. Jenkins, A. D., Jones, R.G., Moad, G. *Pure Applied Chemistry*, 2010, 82(2), 483.
25. Georges, M. K., Verregin, R., Kasmaier, P.M., Hamer, G.K. *Macromolecules*,1993, 26,

13. ANEXOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE
SEGUIMIENTO DE PROYECTO DE RESIDENCIAS PROFESIONALES

ALUMNO: RUBÉN ENRIQUE LÓPEZ MÉNDEZ — No. DE CONTROL: 14270317

NOMBRE DEL PROYECTO: POLIMERIZACIÓN CONTROLADA DE PMMA-b-PAMPS USANDO CATALIZADORES DE RUTENIO Y SU DESEMPEÑO EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL — EMPRESA: CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN A.C

ASESOR EXTERNO: DRA. MARIA ORTENCIA GONZÁLEZ DÍAZ — ASESOR INTERNO: DR. SAMUEL ENCISO SAENZ

PERIODO DE REALIZACIÓN: AGOSTO – DICIEMBRE 2018

ACTIVIDAD		SEMANAS 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investigación bibliográfica y elaboración de reporte.	P	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Síntesis de copolímero PMMA-b-PAMPS	P		X	X	X	X	X									
	R							X	X	X	X	X	X	X		
Caracterización de polímeros	P				X	X	X									
	R										X	X	X	X		
Elaboración de membranas	P						X	X	X	X						
	R														X	X
Caracterización de membranas	P									X	X	X	X			
	R															
Desempeño de las membranas en la producción de biodiesel	P												X	X	X	X
	R															
	P															
	R															

OBSERVACIONES		Septiembre 24-26	Octubre 22-24	Noviembre 20-22
ENTREGA DE REPORTES	Docente	Dr. Samuel Enciso Sáenz	Dr. Samuel Enciso Sáenz	Dr. Samuel Enciso Sáenz
	Alumno	Rubén Enrique López Méndez	Rubén Enrique López Méndez	Rubén Enrique López M
	Jefe Depto.	Mtro. Angel Rodríguez Meneses	Mtro. Angel Rodríguez Meneses	Mtro. Angel Rodríguez M

ITTG-AC-PO-007-06 Rev.0

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNM
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

CONACYT

CICY

Asunto: Terminación Residencia Profesional

DD/SAE: 448/18

M.E.H. JOSÉ LUIS MÉNDEZ NAVARRO
Director
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Presente.

At'n.: **Dr. Samuel Enciso Saenz**
Jefe del Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación

Por medio del presente, me permito informarle que el **C. Rubén Enrique López Méndez** estudiante de la carrera de **Ingeniería Química** de ese Instituto, con número de control **14270317,** ha realizado satisfactoriamente su proyecto de **Residencia Profesional** denominado **"Polimerización controlada de PMMA-b-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel"** adscrito a la Unidad de Materiales de este Centro, bajo la asesoría de la Dra. María Ortencia González Díaz, durante el periodo comprendido del 06 de agosto al 19 de diciembre de 2018, cubriendo total de 500 horas.

Se extiende la presente constancia para los fines que se consideren pertinentes en la ciudad de Mérida, Yucatán, a los diecinueve días del mes de diciembre del año dos mil dieciocho.

Atentamente,

M.A. Lilia Garcia Caue
Subdirectora de Docencia

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN A.C.
CICY

RECIBIDO
10 DIC 2018
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
Oficina de Asesorías y Servicios Profesionales

C.c.p. Asesor/Dra. María Ortencia González Díaz

Formato de Evaluación

Nombre del Residente: Rubén Enrique López Méndez Número de Control: 14270317

Nombre del proyecto: Polimerización controlada de PMMA-b-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel

Carrera: Ingeniería Química Periodo de realización de la Residencia Profesional: Agosto-Diciembre

En qué medida el Residente cumple con lo siguiente:			
Criterios a evaluar		A Valor	B Evaluar
Evaluación por el asesor externo	1.Asiste puntualmente con el horario establecido	5	5
	2.Trabaja en equipo	10	10
	3.Tiene iniciativa para ayudar en las actividades encomendadas	10	10
	4. Organiza su tiempo y trabaja sin necesidad de una supervisión estrecha.	5	5
	5.Realiza mejoras al proyecto	10	10
	6.Cumple con los objetivos correspondiente al proyecto	10	10
Para llenado de Evaluación por el Asesor Interno	1.Mostró responsabilidad y compromiso en la residencia profesional	5	5
	2.Realizó un trabajo innovador en su área de desempeño	10	9
	3.Aplica las competencias para la realización del proyecto	10	9
	4.Es dedicado y proactivo en los trabajos encomendados	10	9
	5.Cumple con los objetivos correspondiente al proyecto	10	10
	6.Entrega en tiempo y forma el informe técnico	5	4
	Calificación final		96
	Nivel de desempeño		Excelente

OBSERVACIONES: El estudiante ha demostrado dedicación, responsabilidad y compromiso en el desarrollo de su proyecto de residencia.

Dr. Samuel Eduardo [illegible]
Nombre y firma del Asesor Interno

Sello del Instituto Tecnológico
TecNM
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Dra. María Orfenda González Díaz
Asesor Externo

Sello de la Dependencia o Empresa
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN A.C.
CICY

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

"2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

ANEXO V

Formato de registro de asesoría

Instituto Tecnologico de Tuxtla Gutierrez, 24 de enero 2019

Departamento Académico: Quimica y bioquímica
Nombre del Residente: Ruben Enrique Lopez Mendez
Número de Control: 14270317 Carrera: INGENIERIA QUIMICA
Nombre del proyecto: "Polimerización controlada de PMMA-b-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel"
Periodo de realización de la residencia profesional: JUNIO-DICIEMBRE DEL 2018
Empresa, organismo o dependencia: Centro De Investigación Científica de Yucatán
Asesoría número: 2 Tipo de Asesoría: Normal
Temas a asesorar:
Marco Teórico
Desarrollo experimental

Solución recomendada:

Se revisó y se modificó el marco teórico agregando subtemas de acuerdo al tema, en la parte experimental. Se me aconsejó poner cada procediendo hecho en el laboratorio

Nombre y firma del asesor interno

Ruben Enrique Lopez Mendez
Nombre y firma del residente

Carretera Panamericana Km. 1080, C. P. 29050, Apartado postal 590
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Tels. (961) 61 54785, 61 50180, Conmut. Ext. 0
www.ittg.edu.mx

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

ANEXO V

"2018, Año del Centenario del General Emiliano José María Morelos y Pavón"

Formato de registro de asesoría

Instituto Tecnologico de Tuxtla Gutierrez, 24 de enero 2019

Departamento Académico: Química y bioquímica
Nombre del Residente: Ruben Enrique Lopez Mendez
Número de Control: 14270317 Carrera: INGENIERIA QUIMICA
Nombre del proyecto: "Polimerización controlada de PMMA-*b*-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel"
Periodo de realización de la residencia profesional: JUNIO-DICIEMBRE DEL 2018
Empresa, organismo o dependencia: Centro De Investigación Cientifica de Yucatán
Asesoría número: 3 Tipo de Asesoría: Normal
Temas a asesorar:
Metodología
Análisis de resulta
Conclusiones

Solución recomendada:

Analizar los resultados y plantear cada uno los pasos, y a su vez ir estructurando una conclusión

Nombre y firma del asesor interno

Ruben Enrique Lopez Mendez
Nombre y firma del residente

Carretera Panamericana Km. 1080, C. P. 29050, Apartado Postal 589
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Tels. (961) 61 54385, 61 50180, Conmut. Ext. 0
www.ittg.edu.mx

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

"2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

ANEXO V

Formato de registro de asesoría

Instituto Tecnologico de Tuxtla Gutierrez, 24 de enero 2019

Departamento Académico: Química y bioquímica
Nombre del Residente: Ruben Enrique Lopez Mendez
Número de Control: 14270317 Carrera: INGENIERIA QUIMICA
Nombre del proyecto: "Polimerización controlada de PMMA-*b*-PAMPS usando catalizadores de rutenio y su desempeño en la producción de biodiesel"
Periodo de realización de la residencia profesional: JUNIO-DICIEMBRE DEL 2018
Empresa, organismo o dependencia: Centro De Investigación Científica de Yucatán
Asesoría número: 1 Tipo de Asesoría: Normal
Temas a asesorar:
Estructuración de la introducción

Solución recomendada:

Se analizo se replanteo la introducción

Nombre y firma del asesor interno

Ruben Enrique Lopez Mendez
Nombre y firma del residente

Carretera Panamericana Km. 1080, C. P. 29050, Apartado Postal 599
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Tels. (961) 61 54285, 61 50380, Conmut. ext. 0
www.ittg.edu.mx