



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

USO DE UN CATALIZADOR FCC REGENERADO EN
RECICLAJE QUÍMICO DE POLIETILENTEREFALATO (PET)
MEDIANTE GLUCOLISIS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: JUAN ANTONIO NARANJO SILVA

DIRECTOR: Ing. PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES, MSc.

Riobamba - Ecuador

2022

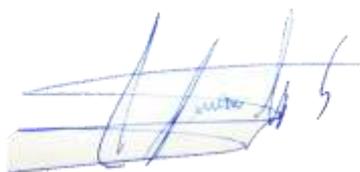
©2022, Juan Antonio Naranjo Silva

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Juan Antonio Naranjo Silva, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 9 de enero de 2023

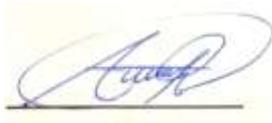


Juan Antonio Naranjo Silva

060440487-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de investigación, **USO DE UN CATALIZADOR FCC REGENERADO EN RECICLAJE QUÍMICO DE POLIETILENTEREFTALATO (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS**, realizado por el señor: **JUAN ANTONIO NARANJO SILVA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Adrian Alejandro Rodríguez Pinos. MSc PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-22
Ing. Paul Gustavo Palmay Paredes MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-22
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas. MSc ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-22

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi principal fuente de inspiración y motivación: mi familia en especial a mis padres Juan y Ximena por el extraordinario esfuerzo que han realizado al apoyarme a cumplir cada uno de mis sueños y anhelos, a mi abuelo que desde el lugar del infinito que nuestro padre Dios lo haya ubicado es y será la razón ferviente de persistir y conseguir cada logro. Ejemplos de superación quienes nunca dieron una negativa por respuesta a mi formación profesional, quienes con mano blanda formaron mi carácter y personalidad.

Juan

AGRADECIMIENTO

Mi eterno sentimiento de agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Facultad de Ciencias Carrera de Ingeniería Química y sus docentes, fuente del conocimiento, apoyo y comprensión quienes supieron guiar y solucionar incógnitas a lo largo de mi formación profesional.

Agradezco al Ing. Paul Palmay y al Ing. Marco Chuiza por la paciencia y el apoyo para realizar el presente trabajo de integración curricular.

Juan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	4
HIPÓTESIS	5
OBJETIVOS	6

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO.....	7
1.1.	Antecedentes de investigación	7
1.2.	Referencias teóricas.....	8
1.2.1.	<i>Plásticos</i>	8
1.2.2.	<i>Polímeros</i>	8
1.2.3.	<i>Clasificación de los polímeros</i>	9
1.2.3.1.	<i>Según su origen</i>	9
1.2.3.2.	<i>Según sus técnicas y mecanismos de polimerización</i>	9
1.2.3.3.	<i>Según sus aplicaciones</i>	9
1.2.3.4.	<i>Composición química</i>	9
1.2.3.5.	<i>Según el comportamiento ante la variación de temperatura</i>	10
	Termofijo.....	10
	Elastómeros.	10
	Termoplástico	10
1.2.4.	<i>Quimisorción</i>	12
1.2.5.	<i>Micromeritics AutoChem 2920</i>	12

1.2.6.	<i>Acetato de zinc</i>	13
1.2.7.	<i>Propiedades físicas del acetato de Zinc</i>	13
1.2.8.	<i>Reciclaje químico</i>	13
1.2.9.	<i>Glucólisis</i>	16
1.2.10.	<i>Métodos de Glucólisis</i>	17
1.2.10.1.	<i>Glucólisis Catalizada</i>	17
1.2.10.2.	<i>Asistida por solventes</i>	18
1.2.10.3.	<i>Supercrítica</i>	18
1.2.11.	<i>Análisis Estadístico de varianza (ANOVA)</i>	18

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	19
2.1.	Enfoque de investigación	19
2.2.	Nivel de investigación	19
2.2.1.	<i>Exploratoria</i>	19
2.2.2.	<i>Descriptiva</i>	19
2.3.	Diseño de investigación	20
2.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	20
2.4.	Tipo de estudio	20
2.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	21
2.5.1.	<i>Población</i>	21
2.5.2.	<i>Tamaño de muestra</i>	21
2.5.3.	<i>Selección de muestra</i>	21
2.5.4.	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	21
2.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	22
2.6.1.	<i>Metodología de regeneración</i>	22
2.6.1.1.	<i>Secado</i>	22
2.6.1.2.	<i>Tratamiento químico</i>	22
2.6.1.3.	<i>Tratamiento térmico</i>	22
2.6.2.	<i>Preparación de muestra</i>	23
2.6.3.	<i>Secado del catalizador</i>	23
2.6.4.	<i>Tratamiento químico</i>	23

2.6.5.	<i>Tratamiento térmico</i>	24
2.6.6.	<i>Espectroscopía FTIR</i>	24
2.6.7.	<i>Espectrofotómetro infrarrojo</i>	25
2.6.8.	<i>Metodología para la determinación del espectro FTIR del poli tereftalato de etileno</i>	25
2.6.8.1.	<i>Materiales y equipos reactivos</i>	25
2.6.8.2.	<i>Procedimiento</i>	25
2.6.9.	<i>Poli tereftalato de etileno (PET)</i>	26
2.6.10.	<i>BHET bis (2-hidroxietil) tereftalato</i>	27
2.6.11.	<i>Metodología para la determinación de acidez por medio de desorción de amoníaco (micromeritics autochem 2920)</i>	27
2.6.11.1.	<i>Materiales y equipos reactivos</i>	28
2.6.11.2.	<i>Procedimiento</i>	28
2.6.12.	<i>Metodología de glucolisis catalizado</i>	28
2.6.12.1.	<i>Materiales</i>	28
2.6.12.2.	<i>Reactivos</i>	29
2.6.12.3.	<i>Equipos</i>	29
2.6.12.4.	<i>Procedimiento</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	31
3.1.	Rendimiento de BHET producido	31
3.1.1.	<i>Acetato de zinc</i>	31
3.1.2.	<i>Catalizador regenerado</i>	31
3.1.3.	<i>Catalizador comercial</i>	32
3.1.4.	<i>Rendimientos (media porcentual)</i>	32
3.2.	Caracterización por espectros infrarrojos FTIR	33
3.2.1.	<i>Espectroscopia de PET por FT-IR</i>	33
3.2.2.	<i>Espectroscopia de BHET por FT-IR</i>	35
3.3.	<i>Acetato de zinc</i>	35
3.3.1.	<i>Análisis de numero de onda</i>	36
3.3.2.	<i>Catalizador comercial</i>	37
3.3.3.	<i>Análisis de numero de onda</i>	37

3.3.4.	<i>Catalizador regenerado</i>	38
3.3.5.	<i>Análisis de numero de onda</i>	38
3.4.	Análisis estadístico	40
3.4.1.	<i>Análisis ANOVA</i>	40
3.4.1.1.	<i>Cantidad de catalizador (A) $P>0.05$</i>	41
3.4.1.2.	<i>Aceptamos la hipótesis nula</i>	41
3.4.2.	<i>Interacción cantidad y tipo de catalizador (A*B) $P>0.05$</i>	41
3.4.3.	<i>Test de tukey</i>	41
3.5.	<i>Discusión</i>	42
 CONCLUSIONES		44
RECOMENDACIONES		45
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Propiedades Físicas del Acetato de zinc	13
Tabla 1-3: Rendimiento ACETATO DE ZINC	31
Tabla 2-3: Rendimiento CATALIZADOR REGENERADO	31
Tabla 3-3: Rendimiento CATALIZADOR COMERCIAL.....	32
Tabla 4-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del PET	34
Tabla 5-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del BHET	36
Tabla 6-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del BHET	37
Tabla 7-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del BHET	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1-1: Comportamiento del plástico y aplicaciones	11
Ilustración 2-1: equipo Micromeritics AutoChem 2920	12
Ilustración 3-1: Estructura química del Acetato de zinc	13
Ilustración 4-1: Métodos de degradación química del PET 1	14
Ilustración 5-1: Métodos de degradación química del PET 2	15
Ilustración 6-1: Esquema de glucólisis de Poli tereftalato de Etileno	16
Ilustración 7-1: Mecanismo de glucólisis.....	17
Ilustración 8-1: Catalizadores de procesos de despolimerización por glucólisis	17
Ilustración 1-2: Espectrofotómetro de infrarrojo de la Facultad de Ciencias.....	25
Ilustración 2-2: Espectro IR de PET.....	26
Ilustración 3-2: Absorción espectral del PET.....	26
Ilustración 4-2: Espectro IR de BHET	27
Ilustración 1-3: Media Porcentual de cada catalizador.....	32
Ilustración 2-3: Rangos de número de onda en los que algunos grupos funcionales y clases de compuestos absorben en el infrarrojo medio y lejano	40
Ilustración 3-3: Análisis ANOVA Rendimientos.....	40
Ilustración 4-3: Test TUKKEY comparativa rendimiento cat com y cat regen	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Histograma de medias porcentuales de rendimientos	32
Gráfico 2-3: Caracterización IR de la muestra de PET	33
Gráfico 3-3: Espectro IR de la muestra de BHET (acetato de zinc)	35
Gráfico 4-3: Espectro IR de la muestra de BHET (Catalizador comercial	37
Gráfico 5-3: Espectro IR de la muestra de BHET (Catalizador regenerado).....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PESAJE DE REACTIVOS

ANEXO B: DESPOLIMERIZACIÓN DE PET VIA GLUCOLISIS

ANEXO C: BHET51

ANEXO D: OBTENCIÓN Y PESAJE DE BHET

ANEXO E: RESULTADOS DE ACIDEZ DE CATALIZADORES POR DESORCIÓN DE
AMONIACO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ASTM:	American society for testing materials
BHET:	Bis (2-hidroxietil) tereftalato
CIEL:	Center for International Environmental Law
FCC:	Craqueo catalítico de fluidos o fraccionamiento catalítico fluidizado
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
PET:	Poli tereftalato de Etileno
TPD:	Desorción a temperatura programada
TPO:	Oxidación a temperatura programada
TPR:	Reducción a temperatura programada

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo el análisis del uso de catalizador regenerado en el proceso de despolimerización (degradación química) a través de glicólisis de polietilentereftalato (PET). Se usó un diseño metodológico en la cual se recuperó catalizador envenenado posterior a su uso en la unidad Fcc para regenerarlos y de este modo aplicarlos en glicólisis catalítica de Pet post consumo, en la reacción con etilenglicol se hizo variar la cantidad y tipo de catalizador para de este modo comparar los rendimientos obtenidos de cada uno de los catalizadores, Se realizó un diseño factorial de 2 niveles con un punto central utilizado para verificar la influencia del tipo y cantidad de catalizador, como parámetros de entrada y sus efectos sobre el rendimiento de BHET siendo este la variable de respuesta. Por lo cual se obtuvo como resultados los diferentes rendimientos obtenidos teniendo en cuenta que el acetato de zinc tuvo el rendimiento más alto. Finalmente se pudo concluir que la cantidad de catalizador regenerado usado en el proceso de despolimerización de PET es un tanto irrelevante puesto que se trabajó con 2 relaciones 100 a 2 y 100 a 1, las dos variaciones tuvieron datos sumamente parecidos que son imperceptibles gráficamente, es por eso que la comparativa por medio de datos numéricos da una diferencia de 0.33 siendo la relación 100-1 la superior en rendimientos, además según el análisis ANOVA se descartó la hipótesis que la variación de la cantidad del catalizador influye en el rendimiento de la reacción.

Palabras claves: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <RECICLAJE QUÍMICO>, < POLIETILENTEREFTALATO (PET)>, <GLUCOLISIS>, <DESPOLIMERIZACIÓN>, <REGENERACIÓN DE CATALIZADORES>

0140-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this study consisted of analyzing the use of a regenerated catalyst in the depolymerization process (chemical degradation) through glycolysis of polyethylene terephthalate (PET). A methodological design was used in which poisoned catalysts were recovered after their use in the Fcc unit to regenerate them and thus apply them in catalytic glycolysis of post-consumer PET. In the reaction with ethylene glycol, the amount and type of catalyst were varied in order to compare the yields obtained from each of the catalysts, A 2-level factorial design with a central point was used to verify the influence of the type and amount of catalyst as input parameters and their effects on the BHET yield, this being the response variable. Therefore, the different yields obtained were obtained as results, taking into account that zinc acetate had the highest yield. Finally it could be concluded that the amount of catalyst regenerated in the PET depolymerization process is somewhat irrelevant since it was worked with 2 ratios 100 to 2 and 100 to 1, the two variations had extremely similar data that are imperceptible graphically; that is why the comparison by means of numerical data gives a difference of 0.33 being the ratio 100-1 the superior one in yields, in addition according to the ANOVA analysis the hypothesis that the variation of the amount of catalyst influences the yield of the reaction was discarded.

Key words: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <CHEMICAL RECYCLING>, <POLYETHYLENTEREFTALATE (PET)>, <GLUCOLYSIS>, <DEPOLYMERIZATION >, <REGENERATION OF CATALYZERS>



Mgs. Ana Gabriela Reinoso Espinosa

C.I. 1103696132

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de integración curricular se basó en el proceso investigativo de la regeneración de un catalizador agotado, y el rendimiento que tiene el mismo al ser usado en el proceso de glucolisis, trabajo en el cual se consideraron los parámetros adecuados para este proceso, así como también las variables de estudio.

Actualmente la industria petrolera, así como sus derivados e industrias afines se encuentran entre uno de los principales ingresos económicos de nuestro país, para el procesamiento del crudo es necesario de la acción de otros productos tales como catalizadores que aumentan el rendimiento y la velocidad de etapas que requieran mecanismos de reacción como por ejemplo el Cracking de ciertas moléculas, dichos catalizadores al ser utilizados de forma reiterada pierden propiedades y son desechados de forma que estos se convierten en desechos contaminantes, por lo que es adecuado regenerarlos mediante procesos y métodos los cuales reactiven las propiedades catalíticas de los mismos.

Ecuador al ser un país dependiente del petróleo cuenta con varios campos de procesamiento del mismo, como son la refinería de Esmeraldas, Shushufindi, y La Libertad, refineries las que trabajan al máximo de su capacidad, actualmente su procesamiento conjunto es de 175 mil barriles diarios datos obtenidos por EP Petroecuador

Para el debido procesamiento y refinación del crudo se emplea una relación del 5 al 10% de catalizador con la cantidad de petróleo a destilar en la unidad FCC. Por la gran cantidad de petróleo que se procesa en dicha unidad se producen grandes cantidades de catalizador que pierden sus propiedades siendo estos desactivados y envenenados luego de que este ha cumplido su vida útil dentro del proceso, es por esa razón que se realizó tratamientos térmicos y químicos con el fin de regenerarlos y que tengan nuevamente sus propiedades y características catalíticas cabe resaltar que al regenerarlos estos pueden ser utilizados en procesos en los que no sea necesaria una estricta selectividad de los mismos, es decir procesos no tan específicos y formulados, pero sí que cumplan la función de fraccionamiento adecuado.

El poli tereftalato de etileno (PET) es un poliéster termoplástico materia prima de los plásticos usados a diario en envases de un solo uso, debido a sus propiedades y bajos costos de producción, material el cual no se degrada con facilidad tardando de 100 a 1000 años en degradarse, problema el cual hace que día a día se generen residuos, convirtiéndose en un agente contaminante el cual amenaza el medio ambiente

Según (Yasir et al., 2017) el cual menciona en su artículo que la naturaleza química del PET es considerada apta para su reutilización, así como también el reciclado, actualmente se destacan diferentes métodos de reciclaje, como por ejemplo el mecánico, térmico y químico en el cual haremos énfasis puesto que actualmente es un tipo de investigación que se encuentra en auge por sus beneficios puesto que nos brinda la capacidad de generar nuevos productos y aumentar así el

ciclo de vida útil de los plásticos. La glucólisis de PET, es sencillamente la despolimerización molecular haciendo uso de etilenglicol, disolvente usado en la transesterificación de los grupos funcionales ésteres presentes en el PET, obteniendo así principalmente monómeros de Bis (2-hidroxietil) tereftalato (BHET).

Según (Bahramian, 2021) experimentalmente ha demostrado que los rendimientos de reacción de glucólisis de PET son mejorables con la adición de catalizadores, puesto que sin el uso de estos la reacción podría llegar a un punto en el que superen las 8 horas de iniciado el proceso. Es así como se usará el catalizador regenerado en la reacción de glucólisis haciendo referencia a los métodos de caracterización del catalizador regenerado así como también a la metodología de glucólisis, para seguidamente determinar el tipo y diseño de investigación, así determinar rendimientos cuantitativos y cualitativos de la obtención del monómero BHET.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente Se calcula que cada año se vierten en los océanos 8 millones de toneladas de plástico. En 2025 nuestros océanos tendrán 1 tonelada de plástico por cada 3 de pescado y en 2050 habrá más plástico que peces, esto se debe específicamente a la utilización consecutiva de materiales plásticos por la sociedad, como en el caso de varias bebidas las cuales usan botellas como envases los que son desechados posteriormente, generando así grandes problemas de contaminación ambiental dentro de ello esta acumulación de envases plásticos se las puede evidenciar en las riberas de Ríos y filos de playas afectando de este modo a la flora y fauna aledañas a este tipo de afluentes (Gonçalves et al., 2020).

De acuerdo con los datos emitidos por la Organización de las Naciones Unidas ONU, se determina que en el mundo existe alrededor de 300 millones de toneladas de residuos plásticos y dentro de ello está que por lo menos unos 13 000 000 de toneladas de plásticos al año son arrojadas a los océanos, factor crítico que afecta a la biodiversidad, tanto como a la economía y salubridad de las personas y de otros seres vivos.

Es por ese motivo que el uso extremo de productos plásticos en la actualidad llama mucho la atención y genera interés dentro del ámbito ambiental específicamente en el reciclaje y reutilización de estos teniendo en cuenta varios aspectos, es por esa razón que este trabajo de integración curricular va en dirección del campo de reciclaje Químico, el cual hace énfasis en el reciclado de diferentes tipos de PET además de la reutilización de catalizadores de zeolitas regenerados poniendo en práctica técnicas de reciclaje químico como la glucólisis de Poli tereftalato de Etileno,

Problema general de investigación

El uso excesivo de producto plásticos en el escenario actual genera una preocupación a nivel mundial puesto que la difícil degradación de estos plantea desafíos ecológicos y medioambientales es por ese motivo que se ha despertado un intenso interés en métodos de reciclaje siendo las técnicas de reciclaje químico una de las soluciones propuestas como por ejemplo la glucólisis de Poli tereftalato de Etileno la cual degrada al PET convirtiéndolo en BHET materia prima para generar nuevos tipos de polímeros (Ramírez et al., 2010).

Problemas específicos de investigación

Además, somos conscientes del uso de catalizadores en la industria de materiales poliméricos los cuales son desechados posteriormente a su uso, estos pueden ser regenerados por medio de

prácticas y tratamientos adecuados haciéndolos nuevamente útiles e incluso disminuyendo costos de producción.

Se desconoce las propiedades y características intrínsecas de los catalizadores que serán usados en la experimentación.

El rendimiento de la reacción difiere con la utilización de diferentes tipos de catalizador.

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

El reciclaje químico es una alternativa sumamente viable y la cual está en boga para el tratamiento de desechos de diferentes tipos de PET, del cual se puede obtener varias materias primas orgánicas las que posteriormente son usadas para producir otros tipos de PET, aptos para diferentes usos, siempre y cuando teniendo en cuenta el grado de pureza que presenten los monómeros obtenidos. Para aumentar la eficiencia se tratará con un catalizador el cual mejore el rendimiento y por ende aumente su pureza además de conocer la influencia del mismo en la glucólisis catalizada.

Es fundamental mencionar la importancia de la investigación dentro del campo ingenieril, el presente trabajo va dirigido y se enfoca en buscar alternativas incluso técnicas científicas amigables con el medio ambiente, para así obtener un producto a través del reciclaje químico de PET procedente de botellas desechadas, haciendo uso de un catalizador previamente regenerado con el cual aumentaremos la eficiencia y mediante los análisis expuestos conocer cuál es la influencia, así como también el rendimiento del mismo en la reacción.

Es importante conocer cada una de las técnicas convencionales de reciclaje químico que involucran reacciones de escisión de cadenas solvólicas en las que interviene la utilización de varios disolventes, algunos ejemplos son: Aminólisis, Hidrólisis Metánolisis, y sobre todo la Glucólisis proceso químico en el cual conlleva la formación del monómero Bis (2-hidroxietyl) Tereftalato (BHET), siendo este la principal materia prima para la producción de PET o a su vez en la síntesis de copolímeros y poliésteres insaturados (Bertolotti et al., 2005).

Justificación metodológica

El BHET (bis (2 hydroxyethyl) terephthalate) es el producto principal fruto de la reacción de despolimerización del polietilentereftalato (PET) tratado con etilenglicol este tiene un amplio campo de aplicación entre las principales destaca, la producción de revestimientos de poliuretano, es decir artículos como espumas de poliuretano, como plastificante en resinas de poliéster insaturado, resina epoxi, hormigón polimérico, poliuretanos rígidos o flexibles.

Justificación práctica

La importancia de la presente investigación se fundamenta en el reciclaje químico teniendo como objetivo buscar alternativas, técnicas, científicas para obtener un producto a través del reciclaje de botellas mediante la identificación de la influencia del tipo de catalizador en el rendimiento de reacción de glucólisis de poli tereftalato de etileno (PET).

El objetivo del reciclaje químico es reutilizar los desechos plásticos y por ende disminuir la tasa de porcentaje de plásticos en los botaderos, además de que es una alternativa eco amigable para preservar los recursos fósiles como los hidrocarburos, además evitar el deterioro del medio ambiente.

HIPÓTESIS

Hipótesis general

- Cuál será la cantidad óptima y adecuada de catalizador regenerado en la reacción de despolimerización mediante degradación química de Poli Tereftalato de Etileno (PET). Dicha experimentación será probada desde un punto de vista estadístico tomando en cuenta la cantidad de catalizador regenerado en función del rendimiento y del producto glucolizado.

Hipótesis específicas

- Es posible la reutilización de un catalizador previamente usado en la Unidad Fcc regenerándolo mediante tratamientos térmicos y químicos los cuales atribuyan nuevamente características y propiedades inherentes de dicho catalizador. En esta experimentación se tomará en cuenta el rendimiento de este comparándolo con el catalizador comercial el cual no ha sido usado además de la comparativa con otros tipos de catalizadores y sus rendimientos respectivos
- El catalizador regenerado puede tener propiedades y particularidades similares a otros es por ende que la caracterización de estos se denotara por medio de técnicas de desorción de amoniaco comparándolas con curvas de calibración predefinidas para establecer la acidez, así como también técnicas de espectrofotometría de infrarrojo a través del reconocimiento de los principales grupos funcionales que lo componen.
- La variación de la cantidad del catalizador a usar es una de las variables a tomar en cuenta haciendo que el rendimiento varíe según la aplicación de esta es por esa razón que por medio de un análisis ANOVA , se conocerá entonces cual será la cantidad óptima en función de los rendimientos obtenidos

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar experimentalmente la cantidad optima de catalizador regenerado en el proceso de despolimerización (degradación Química) a través de glucólisis en diferentes tipos de polietilentereftalatos (PET).

Objetivos específicos

- Regenerar catalizador agotado de la unidad fcc mediante tratamiento térmico y tratamiento químico.
- Caracterizar el catalizador regenerado a usarse en la glucólisis.
- Usar el catalizador regenerado en el proceso de glucólisis y determinar el rendimiento del proceso.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de investigación

Una de las principales problemáticas medioambientales de nuestro tiempo es la contaminación por residuos plásticos debido al consumo de estos ya que no son debidamente reciclados, motivo por el cual cada año aumenta drásticamente la tasa de porcentaje de desechos plásticos a nivel global. En consecuencia, el reciclaje Químico se ha convertido actualmente en uno de los temas de estudio de interés, principalmente para la reducción del impacto que causa la generación excesiva de estos desechos en el medio ambiente ya que conduce a la acumulación de residuos no biodegradables.

Es de suma importancia tener en cuenta que los plásticos representan gran parte del consumo en lo que corresponde a la sociedad, con aplicaciones las que involucran el uso del mismo que va desde la creación de envases desechables, hasta piezas de automóviles y materiales de construcción, siendo este el material de preferencia, debido a sus características, propiedades y cualidades como por ejemplo el peso ligero que posee, durabilidad, excelente desgaste, resistencia química y bajos costos de producción.

Mundialmente, los envases de PET desechados son uno de los principales contribuyentes a la generación de residuos plásticos a pesar de no ser un material nocivo, poseen gran resistencia a la degradación, en el año 2018, la producción total de plástico a nivel mundial fue de 359 millones de toneladas en donde solamente el 9% de los residuos han sido reciclados, el 12% de los residuos es la fracción correspondiente a la incineración y finalmente el 79% termina en los vertederos contaminando el medio ambiente (Schwarz et al., 2021).

Fundamentándonos en base al estudio elaborado por el (CIEL) Center for International Environmental Law menciona lo siguiente, en el año de 2019, la polución resultante de la producción global de plásticos y su posterior incineración sería igual a las emisiones de 189 centrales eléctricas a carbón considerándose como un gran problema medioambiental aumentando así la huella de carbono en el planeta (Hernández Flechas & Corredor González, 2017).

Cabe resaltar también que el 4% de la fracción de petróleo y gas natural considerados como recursos naturales no renovables, producido anualmente, son utilizados para la producción de polímeros, cada vez más escasos. Debido a el notable aumento en la generación de residuos plásticos se ha desarrollado un importante interés sobre el desarrollo de estrategias eco-eficientes para su debido tratamiento y reutilización de estos. Al obtener compuestos monoméricos estos constituyen la vía de reciclaje más atractiva ya que nos permite aumentar de forma notable el periodo de vida de estos materiales plásticos (Bertolotti et al., 2005).

En busca de una solución a dicha problemática medio ambiental se han planteado varias técnicas para el tratamiento de residuos plásticos, entre ellas, el reciclado químico que consiste en varios métodos, estos siendo: despolimerización, gasificación, pirólisis, glucólisis etc. (Mancheno et al., 2016). Debido a que las propiedades químicas y físicas del PET, permiten expandir su uso en varias áreas, sin restringirse a alguno en particular, como son de fabricación, embalaje, construcción, aplicaciones médicas, etc.

Diferentes autores han planteado el diseño de un sinnúmero de procesos para el debido tratamiento de residuos de PET post-consumo, abarcando todo este proceso desde la conversión del polímero por glicólisis transformándolo en BHET, incluyendo el estudio de las condiciones de operación y el modelado cinético (Bertolotti et al., 2005).

1.2. Referencias teóricas

1.2.1. Plásticos

El American society for testing materials (ASTM), un plástico se define como aquel material que contiene en su composición como elemento esencial una sustancia orgánica que tiene un peso molecular sumamente elevado, manteniendo un estado final sólido mientras que haya presentado durante varias etapas de manufactura, distintos estados de fluidización. Además, el plástico también es considerado como un derivado del petróleo, teniendo en su estructura principalmente hidrocarburos caracterizados como polímeros y se diferencia de otros productos petroquímicos por su proporcionalidad resistiva y alta densidad, permitiendo así su moldeo mediante presión y temperaturas altas, igualmente presentan propiedades las que permiten a los plásticos tener características de aislamiento térmico y eléctrico (Bachtar et al., 2020).

1.2.2. Polímeros

Es una sustancia la cual está compuesta por macromoléculas orgánicas constituidas por la unión repetitiva de las mismas por medio de enlaces covalentes de una o varias moléculas monoméricas que son producto de los procesos de polimerización aditiva o por condensación, están constituidos por átomos de carbono e hidrógeno siendo éstos la clase de polímeros más comunes, sin embargo, existen otros tipos de polímeros compuestos de heteroátomos como nitrógeno, silicio, oxígeno y fósforo.

1.2.3. Clasificación de los polímeros

Debido a su gran variedad los polímeros se clasifican según sus propiedades y parámetros específicos ya sea en función de su estructura, su origen, aplicaciones y usos, técnicas o mecanismos de polimerización, además según las fuerzas intermoleculares del que depende las propiedades poliméricas y el comportamiento de estos ante la variación de temperatura.

1.2.3.1. Según su origen

- Naturales
- Semisintéticos
- Sintéticos

1.2.3.2. Según sus técnicas y mecanismos de polimerización

- Adición
- Condensación
- Formados por reacción en cadena
- Reacción por etapas

1.2.3.3. Según sus aplicaciones

- Elastómeros
- Adhesivos
- Fibras
- Plásticos
- Recubrimientos

1.2.3.4. Composición química

- Polímeros orgánicos
- Polímeros inorgánicos
- Polímeros vinílicos
- Polímeros estirénicos
- Poliolefinas

- Polímeros halogenados vinílicos
- Polímeros orgánicos no vinílicos
- Poliéster
- Poliamidas
- Poliuretanos

1.2.3.5. Según el comportamiento ante la variación de temperatura

- **Termofijo.** Estos presentan estructuras mucho más complejas en relación con los termoplásticos siendo esta la diferencia principal entre estos dos, los termofijos no son susceptibles a fundición y se deforman al ser expuestos a temperaturas altas, alterando su composición y transformándose así en otros tipos de sustancias. El reciclado por medio de calor no es posible con los plásticos termoestables (Aguilar, 2001).
- **Elastómeros.** Estos están constituidos por macromoléculas formando así una red que tiene la capacidad de contraerse y estirarse siempre y cuando se encuentren bajo procesos de compresión dándoles así, la característica de ser elásticos y flexibles. Sin embargo, estos se degradan a temperaturas medias, dando como resultado, plásticos que no soportan el calor y en consecuencia, no pueden ser reciclados por métodos que involucren calor (Aguilar, 2001).
- **Termoplástico.** Estos tienen características termo reductoras ya que se funden con el calor debido a su composición por cadenas lineales y ramificadas de hidrocarburos, manteniendo un estado sólido al enfriarse logrando así adoptar nuevas formas. Estos mantienen su composición, y propiedades independientemente del número de veces que éste sea procesado, siendo esta la principal característica la cual facilita el reciclaje de este tipo de polímeros (Correa et al., 2003).

<i>Código</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Nombre</i>	<i>Aplicaciones</i>	<i>Propiedades</i>	<i>Punto de fusión (°C)</i>
	PET	Poliétilentereftalato (Polyethylene Terephthalate)	Botellas de refrescos, agua, tarros de mantequilla de mani y mermelada, aparatos Electrónicos	Claridad, fuerza/dureza, resistencia a la grasa y al calor.	250 °C
	HDEP	Poliétileno de Alta Densidad (High Density Polyethylene)	Botellas de leche, jugo y agua, bolsas, algunas botellas de shampoo	Es resistente a las bajas temperaturas, tiene alta resistencia a la tensión, compresión y tracción. Es Impermeable e Inerte (al contenido), baja reactividad. No tóxico.	130 °C
	PVC	Policloruro de vinilo (Polyvinyl Chloride)	Películas adhesivas para uso no alimentario, cables eléctricos; tuberías, discos de vinilo	Versatilidad, facilidad de mezclar, fuerza y dureza, la resistencia a grasa y aceites, la resistencia a los químicos, claridad, bajo costo.	240 °C
	LDPE	Poliétileno de Baja Densidad (Low Density Polyethylene)	Bolsas de alimentos congelados, botellas comprimibles de miel, mostaza, películas adhesivas, tapas de contenedores flexibles	Fácil de procesar, resistente a la humedad, flexible, fácil de sellar y bajo costo.	120 °C
	PP	Polipropileno (Polypropylene)	Vajillas reutilizables para microondas, baterías, envases de yogur y mantequilla, recipientes desechables para microondas, vasos desechables, tapas de botellas de refrescos, platos	Tiene menos densidad que el PEBD. Su temperatura de reblandecimiento es más alta, y es más resistente a altas y a bajas temperaturas	173 °C
	PS	Poliestireno (Polystyrene)	Vajillas reutilizables para microondas, baterías, envases de yogur y mantequilla, recipientes desechables para microondas, vasos desechables, tapas de botellas de refrescos, platos	Versatilidad, fácil procesamiento, claridad, aislamiento y bajo costo.	100 °C
	OTROS	poliuretano (PU) Acrilonitrilobutadieno-estireno (ABS) Policarbonato (PC)	Se usa en galones de botellas de agua, bolsas para cocción, piezas vehiculares, CDs, aislantes, tuberías, garrafones de agua.	Depende de la resina o combinación de resinas.	-----

Ilustración 1-1: Comportamiento del plástico y aplicaciones

Fuente: (Kumar & Singh, 2020).

1.2.4. Quimisorción

Las superficies de los catalizadores son muy reactivas lo cual permite formar enlaces químicos afines a ciertos gases, a diferencia de la fisisorción en la cual las fuerzas de interacción entre el adsorbente y el adsorbato son muy débiles, en la forma química los enlaces son sumamente fuertes a estos espacios en los que existe reactividad se los denomina sitios activos estos ensayos denotan cuantitativamente el número de sitios activos en la superficie del catalizador, dichos sitios activos son los que luego actuaran para facilitar y acelerar la reacción.

Los equipos de quimisorción fundamentan su principio en los métodos de detección basada en cambios presión, así como también en cambios de conductividad térmica, obteniéndose así isothermas de adsorción, valoraciones por pulsos de gas, capacidad de monocapa, área metálica, dispersión, etc.

Los principales gases empleados en la Quimisorción son Hidrógeno, Monóxido de Carbono y Oxígeno además se puede determinar cantidades de sitios ácidos y básicos mediante la adsorción de gases Amoniacales o de Dióxidos de Carbono.

1.2.5. Micromeritics AutoChem 2920

Es un Equipo el cual lleva a cabo una amplia gama de estudios de adsorción química y reacciones a temperatura programada con una alta precisión este permite al investigador obtener información valiosa referente a las propiedades físicas y químicas de los catalizadores y de otros materiales. Además, se denotará el área de superficie activa del metal, acidez superficial, distribución y fuerza de los sitios activos, área superficial BET, y muchas particularidades más. El AutoChem es capaz de realizar quimiorción de pulso, reducción de temperatura programada (TPR), desorción (TPD), oxidación (TPO), ejecutando varios experimentos con la misma muestra.



Ilustración 2-1: equipo Micromeritics AutoChem 2920

Fuente: (Bohuis et al., 2015).

1.2.6. Acetato de zinc

Es un compuesto químico cuya fórmula es $Zn(O_2CCH_3)_2$ mismo que se encuentra de forma hidratada o de forma de anhídrido, encontrándose en estado sólido incoloro o como un polvillo fino de color blanquecino, sus usos generalmente son la síntesis química puesto que forma parte de los compuestos metálicos más usados como catalizadores para la reacción de glucólisis de PET, este es producido por la acción del ácido acético sobre el carbonato de zinc.

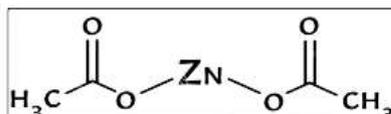


Ilustración 3-1: Estructura química del Acetato de zinc

Fuente: (Johnson et al., 1981).

1.2.7. Propiedades físicas del acetato de Zinc

Tabla 1-1: propiedades físicas del acetato de zinc

Propiedades Físicas del Acetato de Zinc	
Propiedades	Especificaciones
Formula Química	$C_4H_6O_4Zn$
Peso molecular	219.427
Sistema cristalino	Monocíclico
Punto de congelación	510 K
Punto de Fusión	600 K
Densidad	1.73 g/cm ³
Número de CAS	5970-45-6

Fuente: (Bohuis et al., 2015).

Realizado por: Naranjo, J.(2022).

1.2.8. Reciclaje químico

El termino reciclaje químico hace alusión a los nuevos procesos tecnológicos que se enfocan en la descomposición de plásticos, mismos que son transformados en combustibles o son repolimerizados creando así plásticos nuevos. Los métodos convencionales de reciclaje químico son la pirolisis y la gasificación puesto que estos métodos hacen uso del calor y la presencia de oxígeno, limitándose para descomponer los polímeros y que no exista combustión (Ram et al., 2007).

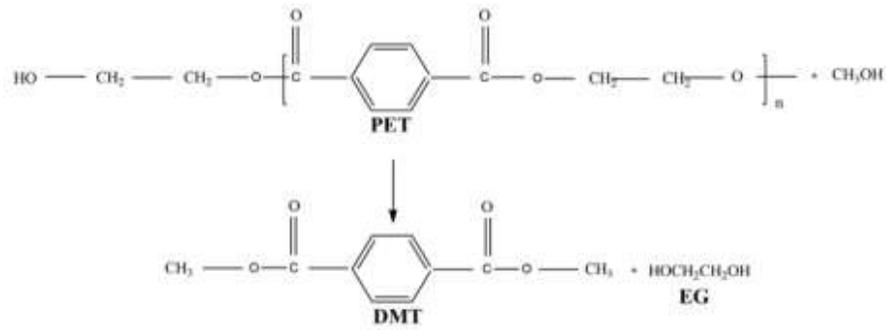
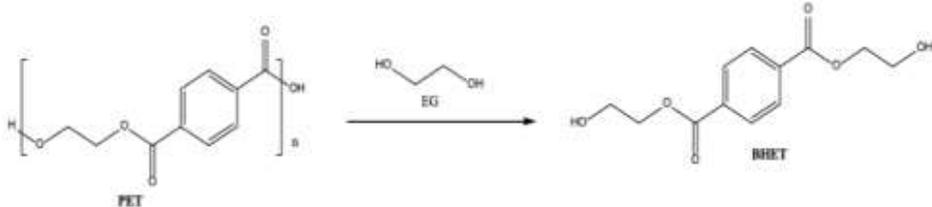
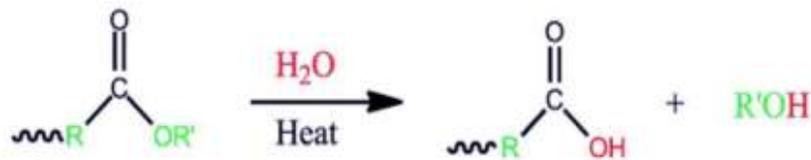
Método	Agentes solvólicos	Monómeros	Reacción
Metanólisis	Metanol	Tereftalato de dimetilo (DMT) Etilenglicol (EG)	
Glucólisis	Etilenglicol Dietilenglicol Propilenglicol Trietilenglicol	Tereftalato de bis (2-hidroxietilo) BHET.	
Hidrólisis	Alcalina: H_2O ; $NaOH$ Ácida: H_2O ; H_2SO_4 ; HNO_3 Neutra: H_2O	Ácido Tereftálico (TPA) Etilenglicol (EG)	

Ilustración 4-1: Métodos de degradación química del PET 1

Fuente: (Raheem et al., 2019).

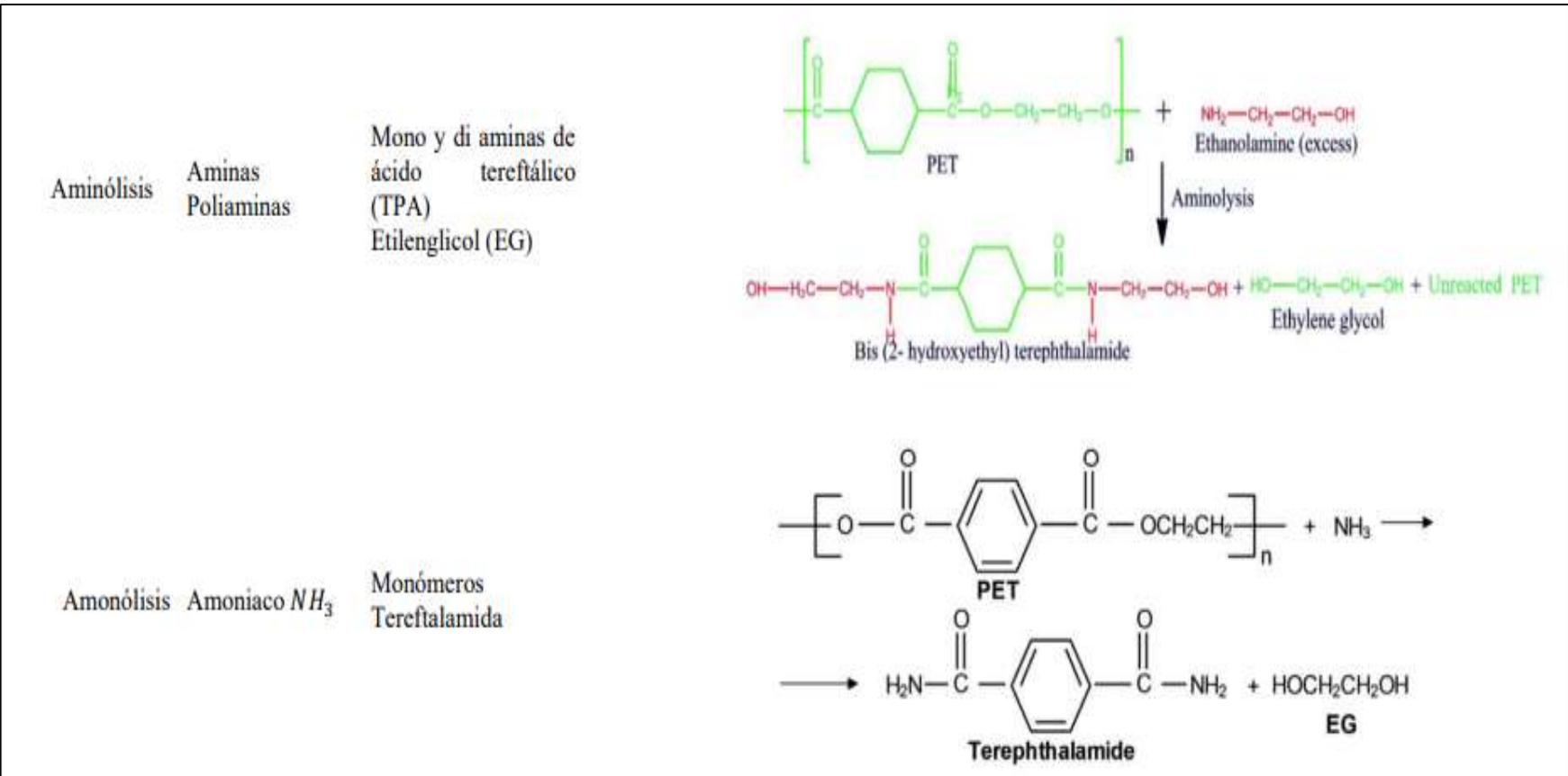


Ilustración 5-1: Métodos de degradación química del PET 2

Fuente: (Raheem et al., 2019).

1.2.9. Glucólisis

La glucólisis es una reacción de solvólisis que consiste en el reciclaje químico o despolimerización del polietilentereftalato (PET) por acción de un glicol, entre los cuales se puede mencionar: Etilenglicol, Propilenglicol, trietilenglicol, entre otros. Químicamente, es una reacción de degradación molecular del polímero polietilentereftalato (PET), siendo el etilenglicol (EG) el glicol más utilizado (Shojaei et al., 2020).

La conversión del dímero en un monómero BHET es una reacción reversible que se da bajo la acción de catalizadores de transesterificación, dándose la rotura de los enlaces éster y remplazándose con terminales hidroxilo, de esta manera se obtiene el monómero de BHET (Sheel & Pant, 2019).

La glucólisis del polímero polietilentereftalato (PET) se da en 2 pasos:

- Paso 1: El carbonilo del éster es atacado por el par de electrones libres que se encuentran en el etilenglicol.
- Paso 2: El grupo hidroxil etilo de los enlaces del etilenglicol con el carbonilo del polietilentereftalato descompone el polímero largo en oligómeros cortos, posteriormente se da otra rotura que forma dímeros y por último se obtiene la formación del monómero de BHET (Sheel & Pant, 2019).

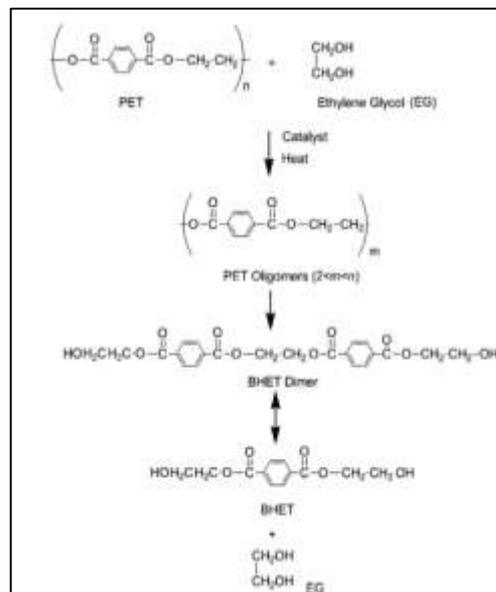


Ilustración 6-1: Esquema de glucólisis de Poli tereftalato de Etileno

Fuente: (Sheel & Pant, 2019).

1.2.10. Métodos de Glucólisis

1.2.10.1. Glucólisis Catalizada

Este tipo de glucólisis se caracteriza por usar un catalizador con el fin de aumentar la tasa de glucólisis del polietilentereftalato (PET). Según estudios cinéticos se determina que la reacción sin uso de un catalizador es muy lenta, con una duración de aproximadamente 8 horas, asimismo, la energía de activación cuando la reacción no es catalizada es de 32 kcal/mol y para la reacción catalizada únicamente consume 19 kcal/mol para una despolimerización óptima (Langer et al., 2020).

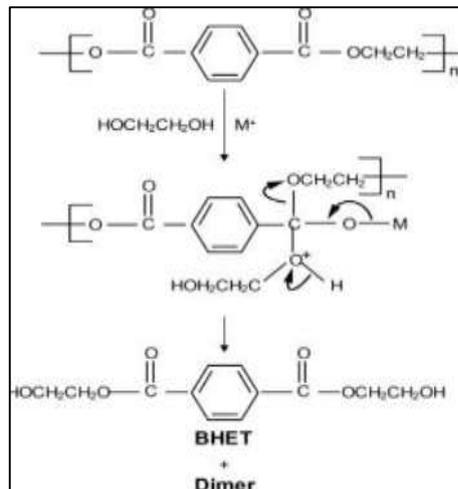


Ilustración 7-1: Mecanismo de glucólisis.

Fuente:(Al-Sabagh et al., 2016).

Tipo	Descripción
Derivados de metales	Acetatos metálicos (manganeso, zinc, plomo y cobalto) Carbonatos y Bicarbonatos de sodio Los catalizadores derivados de metales se obtiene una conversión glicolítica casi completa de PET en condiciones de temperatura de 197°C en un tiempo de 90 min.
Zeolitas	La actividad catalítica de las zeolitas se debe a la presencia de sitios activos y área superficial en sus mesoporos y microporos. La zeolitas funcionan en condiciones de una temperatura por debajo de 245°C.
Líquidos iónicos	Son sales con puntos de fusión inferiores a 100°C, presentan características como estabilidad térmica, fuerte solvatación de compuestos orgánicos e inorgánicos, estabilidad electroquímica, no volatilidad y baja inflamabilidad.

Ilustración 8-1: Catalizadores de procesos de despolimerización por glucólisis

Fuente: (Sheel & Pant, 2019).

1.2.10.2. Asistida por solventes

La glucólisis asistida por solventes es un tipo de glucólisis en el que la despolimerización de PET con Etilenglicol se lleva a cabo en presencia de otros solventes como por ejemplo el Xileno este tiene propiedades las que proporcionan capacidades de mezcla altas, por ende, mejoran la conversión y rendimiento (Mendiburu-Valor et al., 2021).

1.2.10.3. Supercrítica

En este tipo de degradación química se lleva a cabo con la acción del EG en condiciones de temperatura y presión sumamente estables propiedades las que superan las condiciones del punto crítico del EG, trabajando con temperaturas alrededor de 446°C y presiones cercanas a 8 MPa.

1.2.11. Análisis Estadístico de varianza (ANOVA)

Denominado como test ANOVA, es un método el cual trabaja con relación y en función de los valores medidos de 2 o más grupos, es realizado por medio de valores de probabilidad mismo que es utilizado como valor índice en conjunto con el nivel de significancia para aceptar o rechazar hipótesis, dicho análisis se lo efectúa con la finalidad de analizar los datos obtenidos en la etapa del diseño experimental planteado en relación con las variables como lo son el tipo y cantidad de catalizador introducido en la reacción y su variable de respuesta la cual es el rendimiento obtenido en cada una de las repeticiones, seleccionando cuál de estas será la más óptima en relación a las 2 variables En la presente investigación se desarrollará un test de 2 vías para comprobar los valores de rendimiento dependen de la interacción de las variables.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque de investigación

El presente trabajo de investigación se estudiará en base al diseño metodológico con un planteamiento mixto de carácter cualitativo y cuantitativo, debido a que es el más apropiado considerando el tema, proceso, técnica, necesidades, características y pruebas.

Con este enfoque se han trabajado las diferentes etapas:

La regeneración del catalizador, además el uso del mismo en reciclaje químico así como también reconocer la problemática medioambiental que conlleva el uso de materiales plásticos, la reutilización de PET enfocándose en varios aspectos, la revisión literaria y el estudio del arte del trabajo planteado, antecedentes y marco teórico, bosquejar hipótesis y variables las que serán desarrolladas en función de la presente investigación considerando las variables de estudio del caso como por ejemplo la variación de él y la cantidad de catalizador así como también la incidencia de cada uno en la reacción de glucólisis realizando la fase experimental con varias repeticiones para garantizar la veracidad de la investigación.

2.2. Nivel de investigación

2.2.1. *Exploratoria*

El presente trabajo de integración se caracteriza por ser de carácter exploratorio debido al énfasis realizado en los diversos análisis, investigación e interpretación de aspectos particulares y datos obtenidos para el desarrollo metódico de procesos innovadores y de fácil ejecución, en la presente investigación se desarrollarán diferentes ensayos haciendo hincapié a la degradación química del Poli etilen tereftalato (PET) post-consumo, valiéndose de la técnica de reciclaje químico en base a la glucólisis catalizada, determinando así la influencia e incidencia del tipo y cantidad de catalizador en el rendimiento de reacción, para la obtención de Bis (2- hidroxietil) Tereftalato (BHET).

2.2.2. *Descriptiva*

En la presente investigación trabajo se describirá el procedimiento para la obtención de BHET reduciendo y despolimerizando el PET así como también se procederá con la caracterización de los catalizadores así como del producto obtenido por medio de espectroscopia FTIR y se medirá la acidez de los mismos por medio de desorción de amoniaco.

2.3. Diseño de investigación

2.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

El diseño experimental del proyecto de investigación está desarrollado en base a los objetivos de obtención de BHET a partir de la Glucólisis catalizada de PET post-consumo. Se realizará un diseño factorial de 2 niveles con un punto central utilizado para verificar la influencia del tipo y cantidad de catalizador, como parámetros de entrada y sus efectos sobre el rendimiento de BHET siendo este la variable de respuesta.

Las pruebas experimentales realizadas se centran en la interacción de los diferentes parámetros estudiados para la evaluación de la metodología del cual se obtenga mejores rendimientos de reacción.

Para el alcance del objetivo general, el diseño experimental se ejecuta en base a tres diferentes etapas.

La primera etapa se enfoca en la caracterización de los diferentes tipos de catalizadores teniendo en cuenta las propiedades y particularidades inherentes de cada uno de estos, por medio de ensayos y técnicas de desorción de amoníaco aplicadas a los diferentes catalizadores estas pruebas son comparadas con curvas de calibración ya existentes se delimitará la acidez de cada uno de los mismos.

Dentro de la etapa intermedia se realizan los respectivos ensayos experimentales de Glucólisis catalizada, asistida por tres diferentes sustancias que son, Acetato de Zinc catalizador comercial y el catalizador regenerando,

La tercera etapa consiste en la caracterización de las muestras obtenidas mediante FT-IR y la evaluación del rendimiento de reacción obtenido en cada uno de los ensayos realizados de manera experimental.

2.4. Tipo de estudio

El tipo de estudio a desarrollarse es de campo, debido a que se realizarán diferentes observaciones de datos, manipulación de variables, comprobación de hipótesis y análisis de resultados que se puedan obtener a través del tratamiento.

2.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

2.5.1. Población

La población de estudio se fija en la selección aleatoria de botellas plásticas recolectadas dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido a que este producto es de fácil recolección por la cantidad de estudiantes y docentes que hacen uso de materiales plásticos por desconocimiento no se le da un debido tratamiento, estas se pueden encontrar mayormente cerca de cachas o parques de la institución.

2.5.2. Tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de muestra, se tomará un valor de 4g de Poli Tereftalato de Etileno (PET) para cada una de las repeticiones de Glucólisis catalizada, adquirido en el lapso de 3 semanas, en el proyecto de investigación se estima realizar 18 tratamientos, para lo cual es necesaria la disposición de 72 g (0,072kg) de plástico PET, teniendo en cuenta el volumen del reactor de vidrio.

2.5.3. Selección de muestra

- La selección de la muestra se realiza mediante una toma de muestras aleatorias simples de residuos plásticos.
- Se realizará un recorrido por cada una de las instalaciones de la institución con el fin de encontrar botellas plásticas transparentes mayoritariamente que no contengan algún tipo de contaminante.
- Se lavará los envases y eliminará las etiquetas con ayuda de un disolvente para evitar contaminación por los productos usados para pegar las mismas.
- Se cortará los envases en pequeños cuadros con una dimensión similar a 0.5ml.
- Se guardará la muestra previamente seleccionada y lavada y se la almacenará en un lugar limpio y fresco libre de humedad para evitar contaminación.

2.5.4. Técnicas de recolección de datos

La metodología propuesta y caracterización de las muestras para la presente propuesta de trabajo de integración curricular se llevará a cabo haciendo uso de los laboratorios de la institución para lo cual es importante el permiso y asignación de los Laboratorios de Química Analítica,

Laboratorio de Análisis Instrumental y Laboratorio de Investigación los cuales se encuentran dentro de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la Panamericana Sur km 1½, perteneciente a la ciudad de Riobamba.

La recolección de datos se realizará a través de ensayos o tratamientos con su respectivo análisis, mismo que fue verificado y complementado con la revisión bibliográfica en artículos científicos, proyectos de investigación y trabajos de titulación previos relacionados al tema de investigación.

2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

2.6.1. Metodología de regeneración

El crudo tras su transportación debe ser regulado por las normativas ASTM para su posterior refinación, primero pasando por una destilación atmosférica en la que se obtienen cierto tipo de hidrocarburos, luego se realizara una destilación a presiones muy bajas (destilación al vacío) en la cual se obtendrá compuestos más volátiles, posterior a esta etapa los residuos obtenidos se los trata en las unidades de fraccionamiento catalítico fluidizado, unidad en la cual se requiere la acción de catalizadores para acelerar la reacción y mejorar el rendimiento en la obtención de hidrocarburos sumamente limpios, tras terminar su acción catalítica estos son desechados, y no se los trata adecuadamente por lo que el motivo de la investigación es encontrar un modo con el que no solo se evite la acumulación de residuos tóxicos que contaminen (Toapanta Germania, 2015).

El catalizador sufre un envenenamiento por deposiciones de carbono en sus centros activos lo cual hace que este no cumpla su función catalítica, por esta razón, para recuperar estas propiedades inherentes del mismo se procede con tratamientos químicos y térmicos como por ejemplo la calcinación lo que hace que el coque depositado en los centros se gasifique en CO₂, recuperando así el centro activo del catalizador (Marcilla et al., 2006).

Las etapas de regeneración son:

2.6.1.1. Secado

Debido a su reducido tamaño de poro el catalizador tiene propiedades hidrofílicas es por esa razón que es necesaria la eliminación de agua para su posterior tratamiento.

2.6.1.2. Tratamiento químico

Es necesaria la aplicación de solventes como, el etanol, tolueno, disulfuro de carbono y benceno para eliminar impurezas (García Luis, n.d.).

2.6.1.3. Tratamiento térmico

Por medio de calcinación el coque adherido en la estructura del catalizador es eliminado para regenerar la superficie activa de los catalizadores.

2.6.2. Preparación de muestra

Se desgasifica la muestra a una temperatura alrededor de 200°C al vacío por un lapso de una hora aproximadamente luego se enfría para proceder con la adsorción de nitrógeno, esta etapa se lleva a cabo a una temperatura de -196°C.

2.6.3. Secado del catalizador

- Encender la estufa, hasta alcanzar la temperatura de 140 °C.
- En un vidrio reloj pesar 26.5 gr de catalizador agotado
- Colocar el vidrio reloj dentro de la estufa.
- Dejar la muestra por 2 horas y 20 minutos.
- Al finalizar las 2 horas y 20 min., sacar el vidrio reloj de la estufa.
- Colocar la muestra en un desecador por 20 min.
- Pesar el catalizador para poder cuantificar el agua eliminada

2.6.4. Tratamiento químico

- Colocar 200 mL de tolueno en un matraz erlenmeyer de 500 mL
- posteriormente introducir los reactivos en el erlenmeyer.
- Pesamos 20 gr de catalizador
- Trasvasamos el catalizador al matraz.
- Con la ayuda del agitador magnético, dejamos agitando durante 12 horas a una velocidad de agitación de 300 rpm sin encender la perilla de calentamiento
- Filtramos la muestra luego de la agitación
- Trasvasar al matraz, agitándolo y colocándolo en el sólido que se encuentra en el embudo.
- Colocar la muestra en vasos de precipitación de 250 mL.
- Dejar el tiempo suficiente para que la solución débil se separe del sólido.
- Colocar el sólido filtrado en vidrios reloj
- Colocar en la estufa a una temperatura de 120 °C durante 2 horas y 35 minutos.
- Terminado el proceso anterior, colocar en un desecador por 30 min.
- Determinar por pesos el porcentaje de pérdida de azufre

2.6.5. Tratamiento térmico

El catalizador se calentará dentro de una mufla para eliminar el coque que se adhiere a los centros activos estos serán eliminados en forma de gases como CO₂ y SO₂ Para lo cual se mantendrá a una temperatura de 100 °C hasta 450 °C, luego se subirá a 700 °C motivo por el que se realizó una rampa propia, para obtener una mejor recuperación de lantano. (Toapanta Germania, 2015)

- La mufla debe alcanzar la temperatura de 100 °C.
- Pesar 20 g de catalizador y ponerla en un crisol.
- Introducir el crisol en la mufla a 100 °C durante 20,5 horas
- Con una rampa de 50 °C h⁻¹, una vez alcanzado los 350 °C se mantiene la muestra durante una hora, luego se calienta a una velocidad de 25 °C h⁻¹ hasta 450 °C
- Se deja en esta temperatura por una hora y media, posteriormente se sube hasta 700 °C con una rampa de 50 °C h⁻¹, y se mantiene en esa temperatura por dos horas. Finalmente se apaga el equipo y se deja enfriar por dos horas.
- Dejar enfriar el catalizador
- Pesar el catalizador calcinado, para poder determinar mediante ecuaciones matemáticas el porcentaje de pérdida de materia orgánica.

2.6.6. Espectroscopía FTIR

La espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una de las técnicas más importantes y conocidas para la identificación de polímeros y caracterización de sus productos. La técnica se basa principalmente en la interacción existente entre la materia y la radiación electromagnética de longitudes de onda en la región infrarroja, misma que produce cambios vibratorios y rotacionales en la molécula distintiva de la estructura química de la sustancia analizada basándose en la teoría de que, cada grupo químico del polímero tiene un patrón de absorción de IR característico que puede correlacionarse con su estructura molecular (Shurvell, 2006).

2.6.7. *Espectrofotómetro infrarrojo*



Ilustración 1-2: Espectrofotómetro de infrarrojo de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

2.6.8. *Metodología para la determinación del espectro FTIR del poli tereftalato de etileno*

2.6.8.1. *Materiales y equipos reactivos*

- Algodón
- Muestra de Poli Tereftalato de Etileno
- Espátula
- Alcohol antiséptico.
- Espectrofotómetro Infrarrojo

2.6.8.2. *Procedimiento*

- Encender el equipo dejarlo durante 1 hora hasta que se calibre
- Iniciando el barrido introducir las variables en el software Spectra Manager
- Limpiar el área donde se colocará la muestra con ayuda de algodón y alcohol antiséptico
- Correr el primer barrido para así verificar la ausencia de sustancia en el área de muestra, cerrar la tapa del equipo y presionar el botón Start ubicado en la parte frontal.
- Realizar el barrido colocando la muestra en la superficie que se refractaran los rayos IR.
- Procesar el espectro utilizando el programa Spectra Analysis, corregir las escalas seleccionando y eliminar el CO₂ y aguas presentes
- Identificar los picos más relevantes.

- Guardaremos los datos y tablas para su posterior interpretación

2.6.9. Poli tereftalato de etileno (PET)

El Polietilentereftalato posee grupos funcionales característicos los cuales se pueden identificar con la ayuda de los números de onda que arroja el IR, cabe mencionar que dichos grupos funcionales son propios del PET, es así como a continuación se nos muestra el IR Así como el número de onda propio de cada grupo funcional

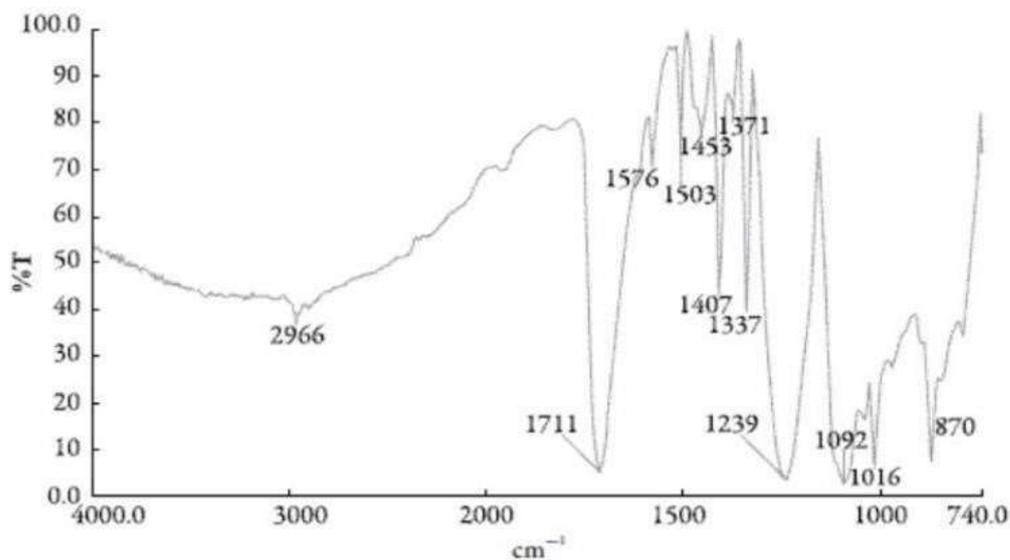


Ilustración 2-2: Espectro IR de PET

Fuente:(Zanela et al., 2018).

Absorción espectral principal en cm^{-1} de los grupos funcionales del PET	
Bandas de absorción IR	Grupo Funcional
1740-1710	-C = O éster glicol
2966	-CH glicol
1505-1454	-CH anillo
1453-1407	-C = C anillo
1239	-C - O - C éster glicol

Ilustración 3-2: Absorción espectral del PET

Fuente: (Mecozzi & Nisini, 2019).

2.6.10. BHET bis (2-hidroxietyl) tereftalato

El producto principal de la glucólisis es el monómero Bis (2-hidroxietyl) tereftalato más conocido como BHET este al ser el monómero del PET tiene grupos funcionales parecidos a las del PET es por eso que a continuación se nos muestra el IR así como también el margen de los números de onda característicos de este.

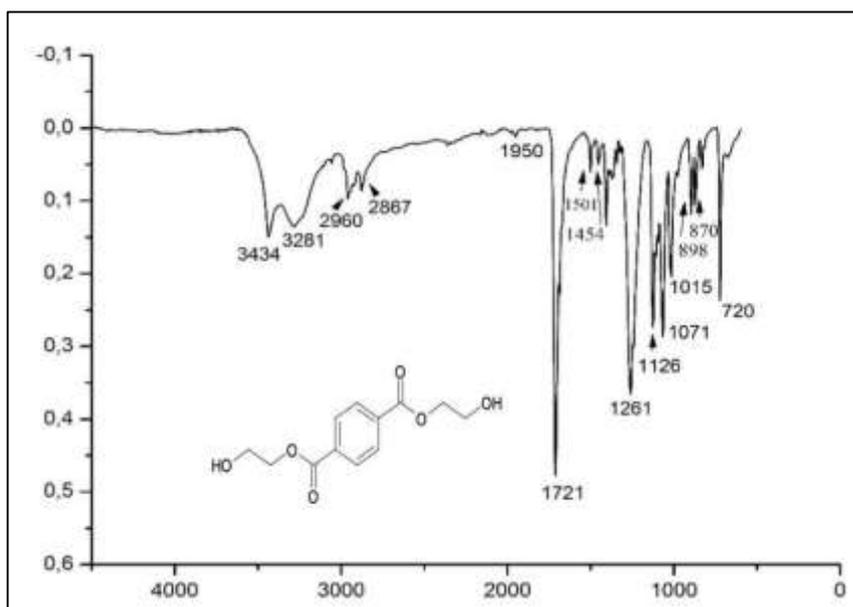


Ilustración 4-2: Espectro IR de BHET

Fuente: (Mecozzi & Nisini, 2019)

En el espectro estándar correspondiente a la molécula de BHET, en el cual son observables los picos más relevantes a 2867cm^{-1} y 2960cm^{-1} que corresponden a los picos de absorción de vibraciones de estiramiento simétricas y asimétricas de los grupos $C\text{sp}^3-H$ y $C\text{sp}^2-H$. Por otro lado, las bandas sobresalientes observadas a 3434cm^{-1} y 3281cm^{-1} son atribuidas a las vibraciones del enlace O-H en las cadenas terminales, se observa un pico a la altura de 1721cm^{-1} que corresponde grupo carbonilo $C=O$. Finalmente, las bandas en 1501cm^{-1} , 1454cm^{-1} y 720cm^{-1} corresponden a los enlaces $C=C$ del anillo aromático

2.6.11. Metodología para la determinación de acidez por medio de desorción de amoniaco (micromeritics autochem 2920)

El Amoniaco utilizado para calibrar y para la medición se obtiene del gas que se desprende de una solución concentrada de hidróxido de amonio.

2.6.11.1. *Materiales y equipos reactivos*

- Muestra de catalizador ácido
- Micromeritics AutoChem 2920
- Hidróxido de amonio

2.6.11.2. *Procedimiento*

- Las muestras son desgasificadas a 90 °C durante 1 h
- Se pesa alrededor de 0.3 g de muestra y se introduce en el vial de análisis
- En corriente de He, 25ml/min, se estabiliza el detector y se inyecta a 25°C, 10 ml (cond. Ambiente) de amoniaco.
- Se deja estabilizar la señal y se aumenta la temperatura hasta 400°C con tasa de 10°C/min
- Se obtiene el volumen de amoniaco desorbido comparado con una curva de calibración existente

2.6.12. *Metodología de glucolisis catalizado*

Posteriormente a caracterizar cada uno de los catalizadores así como también la materia prima a usar como es el PET, se procederá con la reacción de despolimerización de dicha materia prima por medio de la glucolisis se realizaran varios ensayos en función de las variables planteadas como tipo de catalizador así como también de la cantidad del mismo en reacción, teniendo en cuenta 3 catalizadores a usar el catalizador limpio o comercial sin ningún uso, el mismo catalizador después de su uso previamente regenerado así como también el acetato de zinc, debido al efecto catalítico de cada una de estas sustancias presenta.

Para la despolimerización de PET mediante glucolisis se usarán 3 diferentes catalizadores como lo son el acetato de zinc el catalizador comercial y el catalizador regenerado variando las cantidades de estos en reacción para la comparativa de resultados con el rendimiento obtenido de cada reacción, esta reacción se llevara a cabo bajo ciertas condiciones constantes como son la temperatura, que estará en un intervalo de 180-190°C para evitar la evaporación completa del etilenglicol así como también, con un tiempo de reacción de 2 horas, la cantidad de PET a utilizar al inicio de la reacción será de 4 g y la cantidad de EG de 3ml.

2.6.12.1. *Materiales*

- Balón de 2 bocas de 250 mL

- Balón de 2 bocas de 500 mL
- Tubo refrigerante
- Soportes universales
- Pinzas para soporte universal
- Mangueras
- Termómetro con escala de 0 - 400°C
- Espátula
- Vidrio reloj
- Probeta 5mL
- Mortero con pistilo
- Kitasato 250 mL
- Embudo Büchner
- Papel filtro

2.6.12.2. *Reactivos*

- PET reciclado
- Catalizador regenerado
- Catalizador limpio (comercial)
- Acetato de Zinc $Zn(OAc)_2$
- Agua destilada
- Etilenglicol grado técnico
- Agua destilada

2.6.12.3. *Equipos*

- Plancha de calentamiento
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro Infrarrojo FT-IR
- Bomba de vacío

2.6.12.4. *Procedimiento*

- Haciendo uso de la balanza analítica se pesará la cantidad necesaria de PET (4g), catalizador (variable) y etilenglicol (3ml) acorde a los ensayos a realizarse.

- Colocar los 4g de Pet pesados anteriormente dentro del balón de 2 bocas junto con el catalizador y agitaremos la muestra por un tiempo determinado para así garantizar una mezcla homogénea entre el PET y el catalizador, es importante mencionar que el proceso se da en condiciones de presión atmosférica.
- Agregar la cantidad de 3ml de etilenglicol homogenizando la mezcla.
- Armar el equipo, adaptando el balón de dos bocas con el tubo refrigerante de vidrio posicionado de forma vertical con el fin de evitar pérdidas por evaporación, así como también colocar el termómetro al extremo sobrante, éste con el objetivo de controlar constantemente la temperatura mientras ocurre la reacción.
- Colocar el balón de dos bocas previamente equipado sobre la plancha de calentamiento, encendemos la plancha de calentamiento y regulamos la perilla del equipo para mantener constante la temperatura de reacción, evitando variaciones altas en el rango de temperatura entre un valor de 180°C hasta 190°C.
- Luego de 2 horas de reacción apagar la plancha de calentamiento y se observara pet sin reaccionar, así como un precipitado blanquecino.
- Una vez que la muestra se enfría será sometida a lavado, con el efecto de disolver la mezcla.
- Con ayuda de la bomba de vacío filtraremos en el Kitasato la disolución.
- Disuelta la mezcla, filtrar el contenido al vacío obteniéndose así una fracción sólida, la torta de filtración presentada como una pasta blanca, dejar enfriar por un tiempo estimado de 5 horas a 4°C obteniéndose una especie de sustancia cristalina.
- Posteriormente la muestra obtenida después de refrigeración, secarla en una estufa a 60°C por 24 horas y posteriormente, pesar el producto obtenido en una balanza analítica.
- Como punto final triturar la mezcla para caracterizar el producto por medio de técnicas FTIR.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Rendimiento de BHET producido

Los rendimientos de la reacción glucolítica de PET fueron cuantificados de manera porcentual con la cantidad de PET al inicio de la reacción, relacionándola con la cantidad de producto producido al final de la reacción, haciendo uso de la ecuación que se muestra a continuación:

$$B(\%) = \frac{(W_{BHET})}{(W_{0\ PET})} * 100$$

DONDE:

W_{BHET} = cantidad de BHET producida al final de la reacción

$W_{0\ PET}$ = cantidad de PET al inicio de la reacción

Los rendimientos que pudimos calcular se encuentran de manera detallada en las siguientes tablas.

3.1.1. Acetato de zinc

Tabla 1-3: rendimiento ACETATO DE ZINC

Acetato de zinc						
Catalizador	0,04			0,08		
Pruebas	1	2	3	1	2	3
Cant. Catalizador	0,045	0,042	0,044	0,084	0,080	0,081
Cant. PET	4,021	4,022	4,027	4,057	4,084	4,057
Cant. BHET	3,321	3,414	3,356	3,416	3,398	3,578
Rendimiento	82,59	84,88	83,34	84,20	83,20	88,19
Media porcentual	83,60			85,20		

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.1.2. Catalizador regenerado

Tabla 2-3: Rendimiento catalizador regenerado

Catalizador regenerado						
Catalizador	0,04			0,08		
Pruebas	1	2	3	1	2	3
Cant. Catalizador	0,042	0,042	0,044	0,084	0,082	0,081
Cant. PET	4,011	4,005	4,020	4,014	4,030	4,210
Cant. BHET	3,012	3,105	3,102	3,021	3,118	3,207
Rendimiento	75,09	77,53	77,16	75,26	77,37	76,17
Media porcentual	76,59			76,26		

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.1.3. Catalizador comercial

Tabla 3-3: Rendimiento catalizador comercial

Catalizador comercial						
Catalizador	0,04			0,08		
Pruebas	1	2	3	1	2	3
Cant. Catalizador	0,043	0,041	0,046	0,087	0,081	0,082
Cant. PET	4,060	4,073	4,045	4,046	4,004	4,017
Cant. BHET	3,384	3,257	3,192	3,365	3,298	3,425
Rendimiento	83,35	79,96	78,91	83,17	82,36	85,26
Media porcentual	80,74			83,59		

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.1.4. Rendimientos (media porcentual)

En el siguiente Histograma se presenta a manera de resumen la media porcentual obtenida de cada una de las repeticiones realizadas, en el proceso de obtención de datos tomando en cuenta el tipo de catalizador, así como también la cantidad usada del mismo.

acetato de zinc	0,04	83,6040033
	0,08	85,1987122
catalizador regenerado	0,04	76,595254
	0,08	76,2690278
catalizador comercial	0,04	80,7425394
	0,08	83,5989235

Ilustración 1-3: Media Porcentual de cada catalizador

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

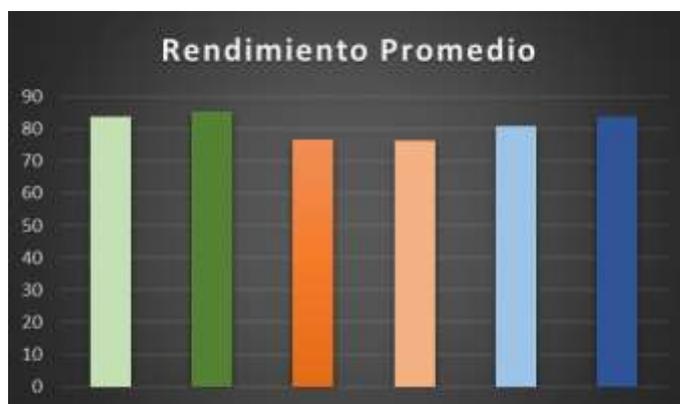


Gráfico 1-3: Histograma de medias porcentuales de rendimientos

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

En la figura anterior se puede observar la representación gráfica de las medias porcentuales de los diferentes rendimientos obtenidos, es así como a simple vista podemos constatar que la aplicación de acetato de Zinc como catalizador lidera la comparativa de rendimientos, y subsecuente la aplicación del catalizador regenerado tiene el valor más bajo en relación catalizador rendimiento. Además, es importante resaltar que la comparativa de la cantidad de catalizador usado no tiene mucha relevancia visualmente en el histograma, pero yéndonos a valores numéricos encontramos que sus rendimientos varían de 1% a 3% en relación con la cantidad de catalizador.

3.2. Caracterización por espectros infrarrojos FTIR

3.2.1. Espectroscopia de PET por FT-IR

Las muestras de plástico a utilizar se caracterizaron haciendo uso del espectrofotómetro de infrarrojo, del laboratorio de análisis instrumental de la facultad de ciencias. Mismos resultados que se muestran a continuación, Caracterización del producto glucolizado Las muestras obtenidas de cada experimento se caracterizaron mediante técnicas FT-IR, identificando así los grupos funcionales del principal producto bis-2- (hidroxietil) tereftalato (BHET), además, se pesó el producto final para calcular el porcentaje de rendimiento. y conversión de PET durante la reacción. (Shurvell, 2006).

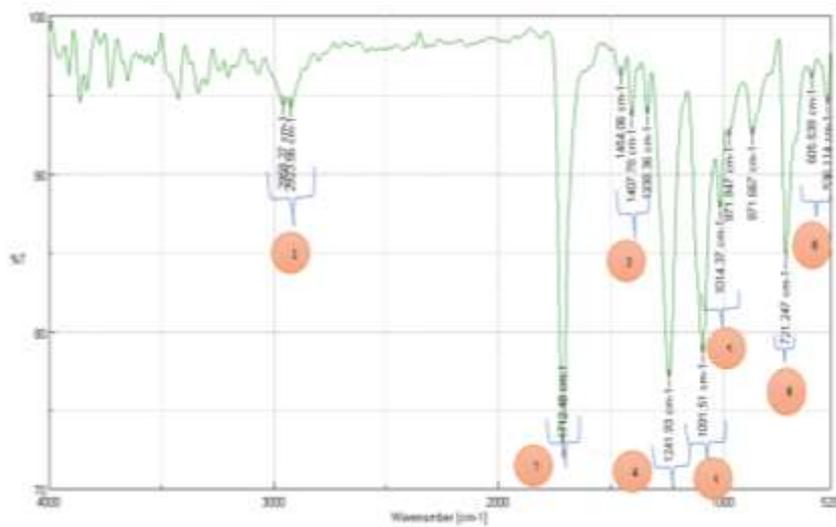


Gráfico 2-3: Caracterización IR de la muestra de PET

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

Tabla 4-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del PET

Ord.	Número de onda CM-1	% Transmitancia	Grupos funcionales	
1	2958,27 2923,56	94,3212 94,2199	CH ₂ , CH ₃	Aliphatic compounds
2	1712,48	72,5713	C=O	Acid halides, aldehydes, amides, amino acids, anhydrides, carboxylic acids, esters, ketones, lactams, quinones
3	1454,06 1407,78 1338,36	96,2175 93,4624 93,671	CH ₃ , CH ₂ , NO ₂	Nitro compounds alkanes, alkenes, etc
4	1241,93	77,0293	C-O-C	Esters Lactones
5	1091,51 1014,37	78,5666 87,6822	C-O-C, C-OH, S=O, P=O, C-F	Ethers, alcohols, sugars, sulfur, phosphorus, fluorine compounds
6	721,247 605,539	84,5064 95,9848	C- Halogen Aromatic rings	Halogen compounds Aromatic compounds

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

En la presente figura nosotros podemos visualizar el espectro IR que nos arrojó El espectrofotómetro al caracterizar nuestra muestra de PET mismo en el cual podemos constatar la presencia de los diferentes grupos funcionales inherentes del mismo como, por ejemplo: según (Shurvell, 2006)

1. los números de onda 2958.27; 2923.56 son característicos de los grupos metil y etil en compuestos alifáticos al igual que confirma la presencia de enlaces C – H (estiramiento asimétrico)
2. La presencia del número de onda 1712.48 confirma la presencia de los grupos carbonilos en el PET en diferentes grupos funcionales como por ejemplo cetonas ácidos hidrácidos esterres etc.
3. los grupos y enlaces referentes a alcanos como grupos metil hacen alusión a los números de onda 1454.06; 1407.78; 1338.36

4. la respuesta de espectros con numero de onda entre 1280–1150 hacen alusión a grupos con estiramiento asimétrico particulares en enlaces carbono oxígeno carbono (C–O–C) en esteres o lactonas
5. Se observan 2 números de onda entre 1300–1000 mismos que son particulares de los grupos funcionales de C–O–C; C–OH; S=O; P=O; C–F en el caso de los fosfuros y sulfuros se puede deducir debido a la presencia de aditivos que se agregan al PET en el reciclaje químico o para mejorar sus características
6. La presencia del anillo aromático propio del PET se la puede determinar por los números de onda entre 800–400, los cuales según H. F Shurvell son particulares de este.

3.2.2. Espectroscopia de BHET por FT-IR

Literariamente la reacción glucolítica de PET da como producto BHET, mismo que tiene grupos funcionales inherentes, en la presente investigación se recurrió a métodos de instrumentación como espectrofotometría de infrarrojo, para afianzar los resultados obtenidos, así como para identificar dichos grupos funcionales en cada una de las muestras obtenidas, a continuación, se nos muestra los espectros de cada una de las pruebas al igual que su debida interpretación.

3.3. Acetato de zinc

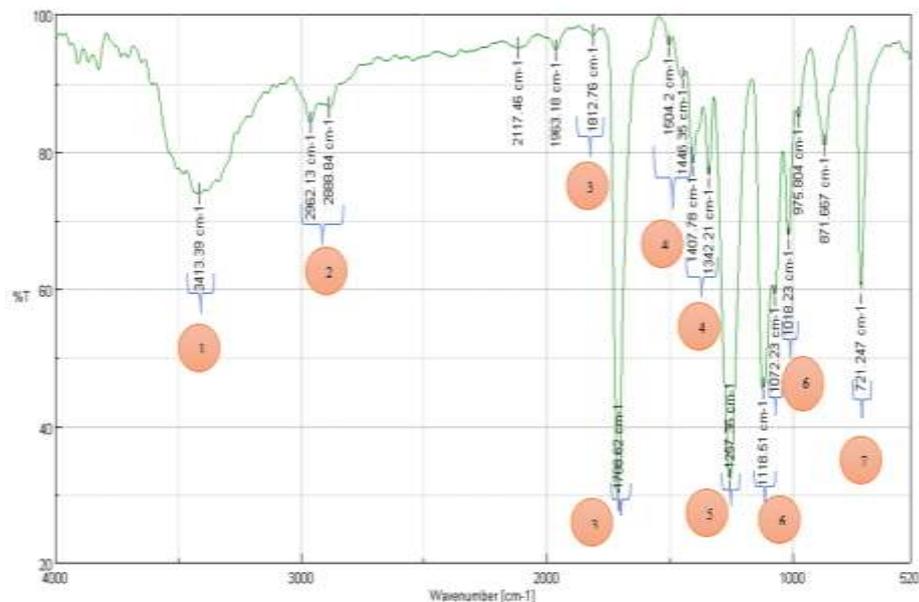


Gráfico 3-3: Espectro IR de la muestra de BHET (acetato de zinc)

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.3.1. Análisis de número de onda

Tabla 5-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del BHET

Ord.	Número de onda CM^{-1}	% Transmitancia	Grupos funcionales	
1	3417,24	78,0309	-OH	Alcohols and phenols
2	2965,98 2884,99	85,9105 88,2141	CH ₂ , CH ₃	Aliphatic compounds
3	1708,62	41,6665	C=O	Acid halides, aldehydes, amides, amino acids, anhydrides, carboxylic acids, esters, ketones, lactams, quinones
4	1407,78 1342,21 1454,06 1508,06	82,6687 81,3586 90,8628 92,6938	CH ₃ , CH ₂ , NO ₂	Nitro compounds alkanes, alkenes, etc
5	1257,36	43,4609	C-O-C	Esters Lactones
6	1018,23 1122,37	74,8231 55,6253	C-O-C, C-OH, S=O, P=O, C-F	Ethers, alcohols, sugars, sulfur, phosphorus, fluorine compounds
7	721,247	64,7945	C- Halogen Aromatic rings	Halogen compounds Aromatic compounds

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.3.2. Catalizador comercial

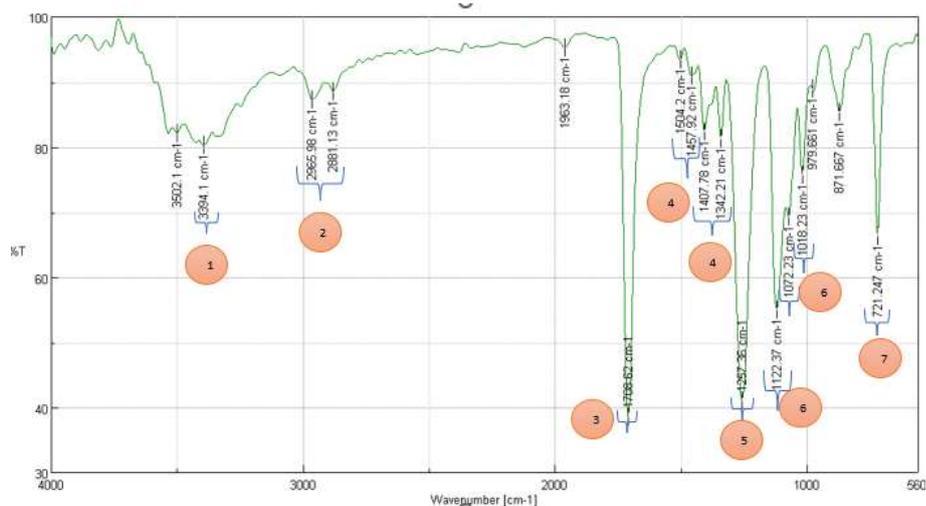


Gráfico 4-3: Espectro IR de la muestra de BHET (Catalizador comercial

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.3.3. Análisis de numero de onda

Tabla 6-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del BHET (catalizador comercial)

Ord.	Número de onda CM-1	% Transmitancia	Grupos funcionales	
1	3394,1	80,27	-OH	Alcohols and phenols
2	2965,98 2881,99	87,3105 88,6098	CH ₂ , CH ₃	Aliphatic compounds
3	1708,62	38,5813	C=O	Acid halides, aldehydes, amides, amino acids, anhydrides, carboxylic acids, esters, ketones, lactams, quinones
4	1342,21 1407,78 1457,92 1504,2	81,2827 82,4576 90,9829 93,4018	CH ₃ , CH ₂ , NO ₂	Nitro compounds alkanes, alkenes, etc

5	1257,36	40,9897	C-O-C	Esters Lactones
6	1122,37 1072,2 3 1018,23	55,0218 69,2579 75,6669	C-O-C, C-OH, S=O, P=O, C-F	Ethers, alcohols, sugars, sulfur, phosphorus, fluorine compounds
7	721,247	66,3623	C- Halogen Aromatic rings	Halogen compounds Aromatic compounds

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.3.4. Catalizador regenerado

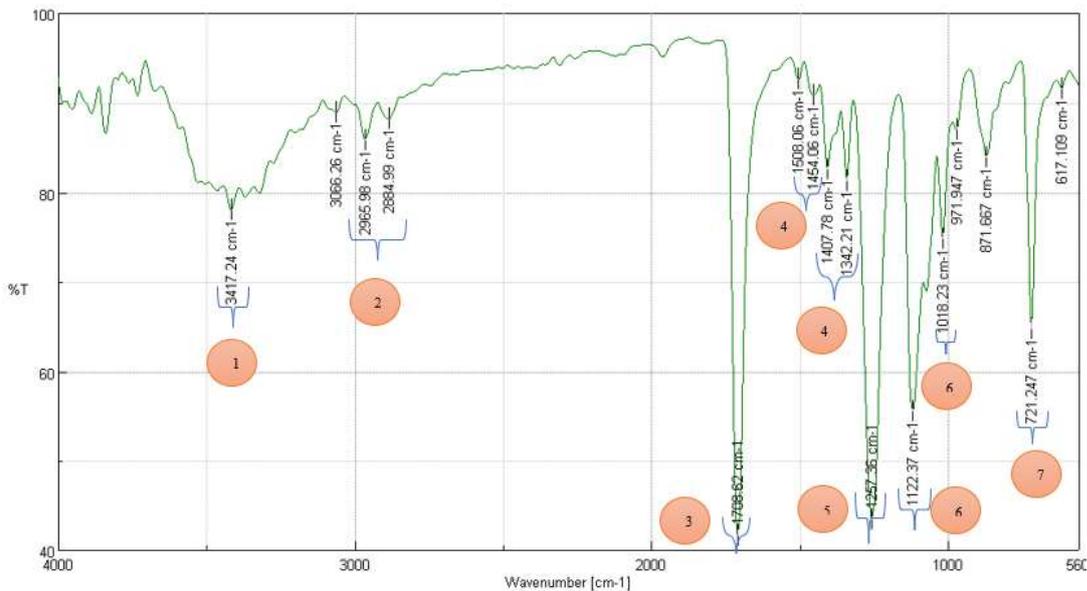


Gráfico 5-3: Espectro IR de la muestra de BHET (Catalizador regenerado)

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.3.5. Análisis de numero de onda

Tabla 7-3: Absorción espectral principal cm^{-1} de los grupos funcionales del BHET (regenerado).

Ord.	Número de onda CM-1	% Transmitancia	Grupos funcionales	
1	3417,24	78,0309	-OH	Alcohols and phenols
2	2965,98 2884,99	85,9105 88,2141	CH ₂ , CH ₃	Aliphatic compounds

3	1708,62	41,6665	C=O	Acid halides, aldehydes, amides, amino acids, anhydrides, carboxylic acids, esters, ketones, lactams, quinones
4	1407,78 1342,2 1 1454,0 6 1508,0 6	82,6687 81,3586 90,8628 92,6938	CH3, CH2, NO2	Nitro compounds alkanes, alkenes, etc
5	1257,36	43,4609	C-O-C	Esters Lactones
6	1018,23 1122,3 7	74,8231 55,6253	C-O-C, C-OH, S=O, P=O, C-F	Ethers, alcohols, sugars, sulfur, phosphorus, fluorine compounds
7	721,247	64,7945	C- Halogen Aromatic rings	Halogen compounds Aromatic compounds

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

Los espectros mostrados anteriormente llevan consigo ciertas similitudes en base a los análisis bibliográficos de (Shurvell, 2006), en los que podemos constatar la presencia de ciertos grupos funcionales característicos y propios del BHET, mismos que se muestran a continuación:

<i>ORD</i>	<i>Rango de numero de onda</i>	<i>Grupo funcional presente</i>
1	3420–3250	–OH alcohol y fenoles, OH (Sólidos y líquidos)
2	2990–2850	–CH ₃ , –CH ₂ – en compuestos alifáticos, CH estiramientos simétricos y antisimétricos
3	1870–1650	C=O Haluros de ácido, aldehídos, amidas, aminoácidos, anhídridos, ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas, lactamas, quinonas
4	1550–1300	NO ₂ , CH ₂ , CH ₃ , nitrocompuestos alcanos y alquenos, etc.
5	1280–1150	C–O–C en ésteres, C–O–C estiramientos asimétricos
6	1300–1000	C–O–C and C–OH, Éteres, Alcoholes, azúcares, S=O, P=O, C–F, Sulfuros, fosfuros, y compuestos de flúor
7	800–400	C–halógenos, anillos y compuestos aromáticos

Ilustración 2-3: Rangos de número de onda en los que algunos grupos funcionales y clases de compuestos absorben en el infrarrojo medio y lejano

Fuente: (Shurvell, 2006)

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. Análisis ANOVA

Se introdujeron los datos obtenidos de las pruebas al software Minitab, con el fin de obtener los datos estadísticos de las interacciones de los factores sobre la variable de respuesta, siendo la variable de respuesta el rendimiento del BHET, así como también determinar qué tipo de catalizador y la cantidad influye de manera positiva sobre el rendimiento en el producto por medio de niveles y factores, mismo estudio que se verá a continuación.

Regresión factorial general: REND vs. A; B

Factor	Niveles	Valores
A	2	1; 2
B	3	1; 2; 3

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	219,053	43,811	14,00	0,000
Lineal	3	211,374	70,458	22,52	0,000
A	1	8,515	8,515	2,72	0,125
B	2	202,859	101,430	32,42	0,000
Interacciones de 2 términos	2	7,678	3,839	1,23	0,327
A*B	2	7,678	3,839	1,23	0,327
Error	12	37,540	3,128		
Total	17	256,592			

Ilustración 3-3: Análisis ANOVA Rendimientos

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

3.4.1.1. Cantidad de catalizador (A) $P > 0.05$

H_0 = La cantidad de catalizador no influye en el rendimiento de reacción

H_A = La cantidad de catalizador influye en el rendimiento de la reacción

3.4.1.2. Aceptamos la hipótesis nula

Tipo de catalizador (B) $P < 0.05$

H_0 = El tipo de catalizador no influye en el rendimiento de reacción

H_A = El tipo de catalizador influye en el rendimiento de la reacción

Aceptamos la hipótesis alternativa

3.4.2. Interacción cantidad y tipo de catalizador (A*B) $P > 0.05$

H_0 = La interacción del catalizador, así como su cantidad no influye en el rendimiento de reacción

H_A = La interacción del catalizador, así como su cantidad influye en el rendimiento de la reacción

Aceptamos la hipótesis nula

Podemos denotar que no existen efectos en la comparativa de rendimientos en función del error y los grados de libertad, entre la cantidad de los catalizadores, así como también la variación de estos respecto a la cantidad de los mismos. puesto que el nivel de significancia es sumamente alto, aceptando así la hipótesis nula (H_0), lo contrario sucede en la comparativa de el catalizador usado puesto que el nivel de significancia es menor que 0.05 descartando la hipótesis nula (H_0) y aceptando la hipótesis alternativa (H_A).

3.4.3. Test de tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Cat			
Com	N	Media	Agrupación
2	3	80,74	A
1	3	76,595	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	4,15	1,54	(-0,12; 8,42)	2,70	0,054

Nivel de confianza individual = 95,00%

Ilustración 4-3: Test tukey comparativa rendimiento cat com y cat regen

Realizado por: Naranjo Juan, 2022.

Por medio de los datos previamente obtenidos en nuestros análisis ANOVA, descartamos la interacción de la cantidad del catalizador, es por esta razón que se realizó un test de Tukey relacionando los rendimientos del catalizador comercial con el catalizador regenerado, a partir de los resultados del mismo se obtuvo estadísticamente que no hay variación significativa entre estos dos como se puede ver en la figura anterior, tal como especifica (Marcilla et al., 2006) En su libro de recopilación de tesis doctorales de la Universidad de Alicante “Craqueo catalítico de polímeros, estudio de diferentes sistemas polímero/ catalizador” el catalizador sufre un envenenamiento por deposiciones de carbono en sus centros activos lo cual hace que este no cumpla su función catalítica, por esta razón, para recuperar estas propiedades inherentes del mismo se procede con tratamientos químicos y térmicos como por ejemplo la calcinación lo que hace que el coque depositado en los centros se gasifique en CO₂, recuperando así el centro activo del catalizador, este es el principio físico químico con el que se fundamenta la recirculación de los procesos cíclicos en el craqueo catalítico en las unidades FCC de ciertas refinерías. La pérdida de la fase activa de un catalizador sucede cuando al ser regenerado consecutivamente puede alterar la estructura física del material ya que se trabaja a condiciones muy severas, además, al ser un proceso meramente térmico no interviene con la acidez, así mismo, los aluminosilicatos poseen una alta acidez y selectividad derivada de su reducido tamaño de poro.

3.5. Discusión

En la etapa preliminar de la presente investigación se detalló la metodología a seguir, misma en la que se mencionó el uso de tres diferentes tipos de catalizadores como es, el acetato de zinc, catalizador comercial y catalizador regenerado, para el proceso de degradación química de PET, en el apartado 3.1.4 específicamente en la figura 1.3 se puede visualizar los diferentes rendimientos obtenidos teniendo en cuenta que el acetato de zinc tuvo el rendimiento más alto, por lo que es importante mencionar la investigación de (Sheel & Pant, 2019) en la cual se nos cita que la glucólisis implica la inserción de un diol en los grupos Ester del PET siendo los acetatos metálicos el primer grupo de catalizadores informados para la glucólisis de PET siguiendo la tendencia $Zn^{+2} > Mn^{+2} > Co^{+2} > Pb^{+2}$. De manera que los cationes metálicos actúan sobre el grupo carbonilo permitiendo la inserción del etilenglicol y por ende la ruptura del polímero.

Adicional, (Coelho et al., 2012) menciona que la acidez juega un papel fundamental en la actividad de los catalizadores puesto que por esta propiedad se le es fácil romper enlaces gracias a sus centros activos, reduciendo así la temperatura y tiempo de reacción, además en su experimentación adiciono sodio a la zeolita HZSM-5 lo cual condujo a una disminución significativa de la acidez y en consecuencia la temperatura de degradación fue progresivamente más alta, ya que la implementación de la sal de sodio redujo el número de sitios ácidos en la

estructura del catalizador, por lo tanto, el rendimiento del catalizador varía de forma no lineal con el número total de sitios ácidos. De igual forma (Wang et al., 2021) menciona que los catalizadores usados para la glicólisis obtuvieron un rendimiento del 65% en producción de BHET al tratarlo con zeolitas, además detalla que el uso de zeolitas como catalizador es adecuado y sustentable con el medio ambiente puesto que los catalizadores de metales pesados como el zinc y el plomo son muy selectivos pero a la vez sus cationes son muy contaminantes.

En base a los resultados obtenidos y por medio de los análisis estadísticos se pudo determinar que la acción catalítica y por ende el rendimiento es mejor en los acetatos metálicos, por motivo del ataque catódico del metal al grupo carbonilo, además que no se logra un 100% de regeneración en los catalizadores quedando partículas entre los sitios intersticiales lo que disminuye su actividad, como menciona (Idriss & Barteau, 2000) “el efecto catalítico de una sustancia es equitativo al área superficial o centros activos que contenga, los óxidos metálicos presentan propiedades de sinterización o aglutinamiento lo que provoca que exista un incremento en el tamaño de partícula, y por ende se reduzca el área superficial, disminuyendo la actividad catalítica”.

CONCLUSIONES

- Se determinó experimentalmente que la cantidad de catalizador regenerado en el proceso de despolimerización de PET es un tanto irrelevante puesto que se trabajó con 2 relaciones 100 a 2 y 100 a 1, las dos variaciones tuvieron datos sumamente parecidos que son imperceptibles gráficamente, es por eso que la comparativa por medio de datos numéricos da una diferencia de 0.33 siendo la relación 100-1 la superior en rendimientos, además según el análisis ANOVA se descartó la hipótesis que la variación de la cantidad del catalizador influye en el rendimiento de la reacción.
- Se regeneró el catalizador agotado de la unidad de Fraccionamiento Catalítico Fluidizado por medio de tratamientos químicos y térmicos con el fin de retirar impurezas presentes con el fin de recuperar características inherentes del mismo como el área de superficie activa además de limpiar los poros presentes en las zeolitas y así regenerar la fijación de los reactivos a estos. Se caracterizó el catalizador FCC luego de su regeneración fundamentándonos en los principios de quimisorción por medio de adsorción química, con la ayuda de análisis de desorción de amoníaco, métodos con los cuales se identificó la acidez del catalizador.
- Se determinó los rendimientos experimentalmente relacionando la cantidad de Pet inicial con la cantidad de producto glucosilado final en contraste con los datos obtenidos se demostró que el acetato de zinc tuvo una mayor eficiencia en comparación a los otros 2 catalizadores, además por medio de análisis estadísticos se pudo verificar las hipótesis planteadas en las que la variación de la cantidad de catalizador es irrelevante, pero en contraposición por medio del Test de Tukey se demostró que no existe diferencia significativa entre el catalizador regenerado y el catalizador comercial puesto que el catalizador regenerado tiene repercusiones en su acción catalítica cuando se lo regenera consecutivamente muchas veces motivo por el que se altera la estructura física del material.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de una manta calefactora para que la temperatura sea constante en toda la superficie donde se da la reacción, en lugar que solo la parte inferior en el caso de una plancha de calentamiento.
- Es recomendable poner nuestro tubo refrigerante en posición vertical para asegurar que no exista pérdida de etilenglicol por evaporación, así como también productos que puedan volatilizarse
- Mantener una temperatura constante que no supere los 197°C puesto que a esta temperatura ebulle el etilenglicol y no se encontrara en contacto con la muestra

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J. M. (2001). Los polímeros sintéticos en el siglo XX. *Fondo de Cultura Económica*, 2(La Ciencia para Todos).

Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M., & ElMetwally, A. E. (2016). Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. In *Egyptian Journal of Petroleum* (Vol. 25, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.001>

Bachtiar, E., Mustaan, Jumawan, F., Artayani, M., Tahang, Rahman, M. J., Setiawan, A., & Ihsan, M. (2020). Examining polyethylene terephthalate (Pet) as artificial coarse aggregates in concrete. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 6(12). <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091626>

Bahramian, A. (2021). Synergistic effects of gamma irradiation on the PET surface and heat treatment of hydrotalcite catalyst supported by Pt/TiO₂ nanoparticles on PET depolymerization rate. *Surface and Interface Analysis*, 53(2). <https://doi.org/10.1002/sia.6903>

Bertolotti, B., Rospigliosi, C., & Nakamatsu, J. (2005). Poliésteres y Reciclaje Químico del Poli(tereftalato de etileno). *Revista de Química*, 19(1).

Coelho, A., Costa, L., Marques, M. M., Fonseca, I. M., Lemos, M. A. N. D. A., & Lemos, F. (2012). The effect of ZSM-5 zeolite acidity on the catalytic degradation of high-density polyethylene using simultaneous DSC/TG analysis. *Applied Catalysis A: General*, 413–414. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2011.11.010>

Correa, C. A., Fonseca, C. N. P., Neves, S., Razzino, C. A., & Hage, Jr., E. (2003). Compósitos termoplásticos com madeira. *Polímeros*, 13(3). <https://doi.org/10.1590/s0104-14282003000300005>

García Luis. (n.d.). *Regenerar los catalizadores usados para refinar petróleo.*

Gonçalves, A. K. R., Mikus, B. C., Fagundes, A. B., Beuren, F. H., & Pereira, D. (2020). *Garrafas PET: problemática e aplicações pós-consumo.* <https://doi.org/10.37423/201002908>

Hernández Flechas, S., & Corredor González, L. R. (2017). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*, 15(1). <https://doi.org/10.18270/rt.v15i1.2039>

- Idriss, H., & Barteau, M. A.** (2000). Active sites on oxides: From single crystals to catalysts. *Advances in Catalysis*, 45. [https://doi.org/10.1016/S0360-0564\(02\)45016-X](https://doi.org/10.1016/S0360-0564(02)45016-X)
- Johnson, M. K., Powell, D. B., & Cannon, R. D.** (1981). Vibrational spectra of carboxylato complexes-I. Infrared and Raman spectra of beryllium(II) acetate and formate and of zinc(II) acetate and zinc(II) acetate dihydrate. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy*, 37(10). [https://doi.org/10.1016/0584-8539\(81\)80011-6](https://doi.org/10.1016/0584-8539(81)80011-6)
- Kumar, R., & Singh, R.** (2020). Prospect of Recycling of Plastic Product to Minimize Environmental Pollution. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11302-5>
- Langer, E., Bortel, K., Waskiewicz, S., & Lenartowicz-Klik, M.** (2020). Classification of Plasticizers. In *Plasticizers Derived from Post-Consumer PET*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-46200-6.00002-7>
- Marcilla, A., Gómez-Siurana, A., & Berenguer, D.** (2006). Study of the influence of the characteristics of different acid solids in the catalytic pyrolysis of different polymers. *Applied Catalysis A: General*, 301(2). <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.12.018>
- Mecozzi, M., & Nisini, L.** (2019). The differentiation of biodegradable and non-biodegradable polyethylene terephthalate (PET) samples by FTIR spectroscopy: A potential support for the structural differentiation of PET in environmental analysis. *Infrared Physics and Technology*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.06.008>
- Mendiburu-Valor, E., Mondragon, G., González, N., Kortaberria, G., Eceiza, A., & Peña-Rodríguez, C.** (2021). Improving the efficiency for the production of bis-(2-hydroxyethyl) terephthalate (BHET) from the glycolysis reaction of poly(ethylene terephthalate) (PET) in a pressure reactor. *Polymers*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/polym13091461>
- Raheem, A. B., Noor, Z. Z., Hassan, A., Abd Hamid, M. K., Samsudin, S. A., & Sabeen, A. H.** (2019). Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 225). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.019>
- Ram, A., Tuxtepec, P. C., Central, C., & Industrial, P.** (2007). Estudio de la Depolimerización del Politereftalato de Etileno. *Enlace Químico*, 1(9).

Ramírez, A., Navarro, L. G., & Acevedo, J. C. (2010). DEGRADACIÓN QUÍMICA DEL POLI(ETILEN TEREFALATO) CHEMICAL DEGRADATION OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) DEGRADAÇÃO QUÍMICA DO POLI(TEREFALATO DE ETILENO) *Orgánica y Bioquímica. REVISTA COLOMBIANA DE QUÍMICA*, 39.

Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Godoi Bizarro, D., de Wild, P., Vreugdenhil, B., & van Harmelen, T. (2021). Plastic recycling in a circular economy; determining environmental performance through an LCA matrix model approach. *Waste Management*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.020>

Sheel, A., & Pant, D. (2019). Chemical Depolymerization of PET Bottles via Glycolysis. In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811361-5.00004-3>

Shojaei, B., Abtahi, M., & Najafi, M. (2020). Chemical recycling of PET: A stepping-stone toward sustainability. In *Polymers for Advanced Technologies* (Vol. 31, Issue 12). <https://doi.org/10.1002/pat.5023>

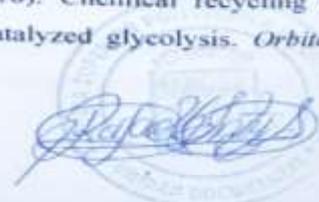
Shurvell, H. F. (2006). Spectra- Structure Correlations in the Mid- and Far-Infrared. In *Handbook of Vibrational Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1002/0470027320.s4101>

Toapanta Germania. (2015). *Recuperación de metales pesados de catalizador agotado de la unidad de hidrotratamiento (HDT)*.

Wang, T., Shen, C., Yu, G., & Chen, X. (2021). Fabrication of magnetic bimetallic Co–Zn based zeolitic imidazolate frameworks composites as catalyst of glycolysis of mixed plastic. *Fuel*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121397>

Yasir, A. H., Khalaf, A. S., & Khalaf, M. N. (2017). Preparation and Characterization of Oligomer from Recycled PET and Evaluated as a Corrosion Inhibitor for C-Steel Material in 0.1 M HCl. *Open Journal of Organic Polymer Materials*, 07(01). <https://doi.org/10.4236/ojopm.2017.71001>

Zanela, T. M. P., Muniz, E. C., & Almeida, C. A. P. (2018). Chemical recycling of poly(Ethylene terephthalate) (PET) by alkaline hydrolysis and catalyzed glycolysis. *Orbital*, 10(3). <https://doi.org/10.17807/orbital.v10i3.1104>



ANEXOS

ANEXO A: PESAJE DE REACTIVOS

A)	B)	C)						
<p>NOTAS:</p> <p>a) Pesaje de PET</p> <p>b) Pesaje de catalizador</p> <p>c) Medir 3ml de Etilenglicol</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>Aprobado</p> <p>Certificado</p> <p>Información</p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA</p> <p>QUÍMICA</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>Juan Antonio Naranjo Silva</p> <p>USO DE UN CATALIZADOR FCC REGENERADO EN RECICLAJE QUÍMICO DE POLIETILENTEREFTALATO (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS.</p> <table border="1" data-bbox="1621 1123 2089 1169"> <thead> <tr> <th>LAMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>2022/24/11</td> </tr> </tbody> </table>	LAMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	2022/24/11
LAMINA	ESCALA	FECHA						
1	1:1	2022/24/11						



ANEXO B: Despolimerización de PET vía Glucolisis

A)



B)



NOTAS:

- a) Adición de etilenglicol
- b) Inicio de reacción de despolimerización

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

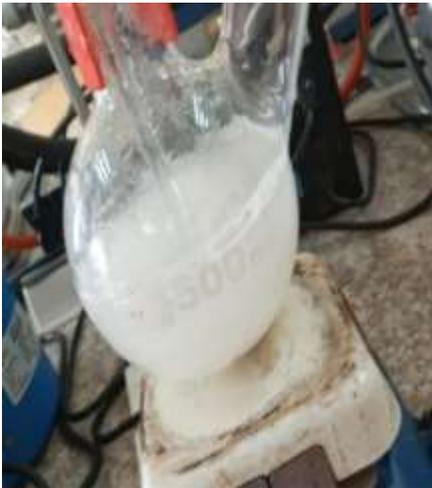
Aprobado	Preliminar
Certificado	Por aprobar
Información	Por calificar

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA
 ELABORADO POR:
 Juan Antonio Naranjo Silva

USO DE UN CATALIZADOR
 FCC REGENERADO EN
 RECICLAJE QUÍMICO DE
 POLIETILENTEREFTALATO
 (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS.

LAMINA	ESCALA	FECHA
1	1:	2022/24/11

ANEXO C: BHET

A) 	B) 	C) 								
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Antonio Naranjo Silva	USO DE UN CATALIZADOR FCC REGENERADO EN RECICLAJE QUÍMICO DE POLIETILENTEREFTALATO (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS.						
a) Cerina de BHET solidificada b) Vista superior del reactor c) Dilución de la cerina de BHET en agua destilada	Aprobado Certificado Información	Preliminar Por aprobar Por calificar	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">LAMINA</th> <th style="text-align: center;">ESCALA</th> <th style="text-align: center;">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1:</td> <td style="text-align: center;">2022/24/11</td> </tr> </tbody> </table>		LAMINA	ESCALA	FECHA	1	1:	2022/24/11
LAMINA	ESCALA	FECHA								
1	1:	2022/24/11								

A)



B)



C)



NOTAS:

- a) Filtración de la cerina de BHET
- b) Cristales de BHET
- c) Secado del BHET

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

Aprobado Preliminar
 Certificado Por aprobar
 Información Por calificar

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA
 ELABORADO POR:
 Juan Antonio Naranjo Silva

USO DE UN CATALIZADOR FCC
 REGENERADO EN RECICLAJE
 QUÍMICO DE
 POLIETILENTEREFTALATO
 (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS.

LAMINA	ESCALA	FECHA
1	1	2022/24/11

ANEXO D: obtención y pesaje de BHET

<p>A)</p> 	<p>B)</p> 	<p>C)</p> 							
<p>NOTAS:</p> <p>a) Pesaje de papel filtro con BHET b) Trituración de cristales de BHET c) Producto final de la despolimerización</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>Aprobado Preliminar Certificado Por aprobar Información Por calificar</p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Antonio Naranjo Silva</p>	<p>USO DE UN CATALIZADOR FCC REGENERADO EN RECICLAJE QUÍMICO DE POLIETILENTEREFTALATO (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS.</p> <table border="1" data-bbox="1565 1145 2011 1185"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCAL</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>2022/24/11</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCAL	FECHA	1	1	2022/24/11
LÁMINA	ESCAL	FECHA							
1	1	2022/24/11							

ANEXO E: resultados de acidez de catalizadores por desorción de amoniaco

<div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA ÁREA DE INVESTIGACIÓN</p> </div> <p style="text-align: center;">INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO</p> <p>1. Información general</p> <p>Orden de trabajo N°: 4 N° Informe: 064 Ref. Protocolo: AU-2022-064</p> <p>Razon Social / Nombres Apellidos: Juan Antonio Naranjo Silva RUC o CI: 004440371 Dirección: Nabanta Fecha de emisión: 29 de marzo de 2022 Fecha de recepción de la muestra: N/A Fecha de realización del análisis: Del 25 de marzo del 2022 Correo electrónico: antonio.naranjo@ucp.edu.ec Teléfono: 087912217 Persona de Contacto: Juan Naranjo Teléfono: 087912217</p> <p>2. Especificaciones del ensayo</p> <p>Muestra: Sólidos en polvo Descripción: Muestra de catalizador auto Tipo: N/A Equipo: Monomérico AutoChem 2020 Lugar: Laboratorio A.210 Analista: Ing. Pablo Londoño Descripción: El método utilizado se detalla a continuación: 1. Las muestras son desgasificadas a 90 °C durante 1 h 2. Se pesa alrededor de 0.2 g de muestra y se introduce en el vial de análisis 3. En contacto de He, 20ml/min, se estabiliza el detector y se inyecta a 25°C, 10 ml (por el Ambiente) de amoniaco. 4. Se deja estabilizar la señal y se aumenta la temperatura hasta 400°C con base de 10°C/min. 5. Se obtiene el volumen de amoniaco desorbido comparado con una curva de calibración existente. Observaciones: El amoniaco utilizado para calibrar y para la medición se obtiene del gas que se desprende de una solución concentrada de hidruro de amonio.</p>	<p>3. Resultados</p> <p>Debido a la extensión de los resultados, todos los documentos de respaldo se envían al correo electrónico del cliente</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Muestra</th> <th>Masa utilizada (g)</th> <th>Temperatura del máximo (°C)</th> <th>Valor</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CC</td> <td>0.3691</td> <td>200.00</td> <td>253.78</td> <td rowspan="2">Desorción de amoniaco (cm³/g)*</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Reg</td> <td>0.3657</td> <td>87.20</td> <td>32.02</td> </tr> </tbody> </table> <p>* El volumen es calculado en condiciones normales: 1 atm y 273K</p> <div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA ÁREA DE INVESTIGACIÓN</p>  <p>Trabajo autorizado por: PABLO ANDRÉS LONDOÑO LARRERA Ing. Pablo Londoño Responsable técnico 29 de marzo de 2022</p> <p>El informe no se puede reproducir de manera total o parcial sin la autorización del laboratorio. Descargo de responsabilidad por muestreo o información entregada por el cliente</p> <p>FIN DEL INFORME</p>  </div>	N°	Muestra	Masa utilizada (g)	Temperatura del máximo (°C)	Valor	Unidades	1	CC	0.3691	200.00	253.78	Desorción de amoniaco (cm ³ /g)*	2	Reg	0.3657	87.20	32.02
N°	Muestra	Masa utilizada (g)	Temperatura del máximo (°C)	Valor	Unidades													
1	CC	0.3691	200.00	253.78	Desorción de amoniaco (cm ³ /g)*													
2	Reg	0.3657	87.20	32.02														
<p>NOTAS:</p> <p>Pruebas de acidez del catalizador</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>Aprobado Certificado Información</p> <p>Preliminar Por aprobar Por calificar</p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Juan Antonio Naranjo Silva</p>	<p>USO DE UN CATALIZADOR FCC REGENERADO EN RECICLAJE QUÍMICO DE POLIETILENTEREFTALATO (PET) MEDIANTE GLUCOLISIS.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LAMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>2022/24/11</td> </tr> </tbody> </table>	LAMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	2022/24/11									
LAMINA	ESCALA	FECHA																
1	1:1	2022/24/11																



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 31/01/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Juan Antonio Naranjo Silva
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Inty Salto

