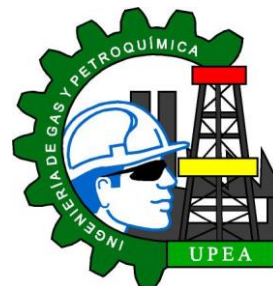


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA**



**PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE
PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD
DE EL ALTO**

Resolución HCC N° 165/2021

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

M.Sc. Ing. Ana Luisa Pari Ticona
Univ. Ana Gabriela Apaza Mamani
Univ. Noemi Mamani Choque

EL ALTO – BOLIVIA
2022

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico
RECTOR

Dr. Efrain Chambi Vargas Ph.D
VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Nicolás Quenta Ticona
DIRECTOR DE CARRERA (a.i.) DE LA CARRERA DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa NRO. 1-2966/2022

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre 2022
El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

Tarea Irrelevante de la universidad. La Constitución Política del Estado, establece y garantiza el desarrollo de la ciencia y la investigación científica, técnica y tecnológica en beneficio del interés general. Asimismo, indica que el Estado, las universidades, las empresas productivas y de servicios, públicas y privadas, desarrollaran procesos de investigación, innovación, promoción, divulgación, aplicación y transferencia de ciencia y tecnología para fortalecer la base productiva e impulsar el desarrollo integral de la sociedad (Art. 103, numeral I, II y III); y por otra, la Universidad Pública de El Alto (UPEA) tiene constituido en su Estatuto Orgánico el Carácter Científico Institucional y tiene como misión no solamente la de formar profesionales capaces a requerimiento de la población, sino al amparo de la Ley de leyes del país tiene la de fomentar la ciencia y la investigación técnica y tecnológica para coadyuvar al desarrollo integral del país.

En el marco anterior, la UPEA expresa en su Plan Estratégico de Desarrollo Institucional PEDI, que es una necesidad la de fomentar procesos de investigación científica a nivel de la Comunidad Universitaria, promoviendo la generación de nuevos conocimientos, ciencia, desarrollo, tecnología e innovación, para un aporte inmediato y permanente al desarrollo sostenible del país. La UPEA, institución que promueve la ciencia y la investigación a través de la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICyT) y sus Institutos de Investigaciones, en este caso particular desde el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica, proyecta ser un brazo articulador para investigaciones que coadyuven al rol de la industria de gas y petroquímica.

Por tanto, la UPEA a través de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica coadyuva al desarrollo del sector hidrocarburos del país, enfocados en procesos que permiten la separación primaria (gas, petróleo crudo y agua) y secundaria (deshidratación, removido de petróleo crudo, adulzamiento, criogenización), y otros procesos especializados como extracción de combustibles líquidos y otros. El Instituto de Investigaciones de ésta carrera ha tomado muy en serio este tema de investigación y ha avanzado exitosamente el desarrollo del proyecto **“PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD DE EL ALTO”** liderada por la **Ing. Ana Luisa Pari Ticona** y apoyada por las auxiliares de investigación universitarias: **Ana Gabriela Apaza Maman y Noemí Mamani Choque**, quienes en trabajo en equipo han logrado concluir la investigación de obtener combustibles alternativos por el proceso de pirólisis a partir de mezclas poliméricas post-consumo para la ciudad de El Alto, derivados que en corto y mediano plazo puede tener un impacto ambiental, además de ser coadyuvante a la reducción de la dependencia de carburantes importados y subsidiados, iniciativas que a corto y mediano plazo constituirán parte de la semilla de combustibles alternativos.

Finalmente, el proyecto pretende identificar en base a las variables sujetas a caracterización y los estudios de relevamiento propuestas para la producción de combustibles alternativos a partir de residuos orgánicos y mezclas poliméricas, abordados desde la universidad.

M.Sc. Ing. Nicolás Quenta Ticona
DIRECTOR a. i.
CARRERA - INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A La Universidad Pública De El Alto por haber aceptado ser parte de ella y que nos ha dado la oportunidad de ser parte del plantel investigador en esta casa de estudios de la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica y del Instituto de Investigaciones.

Al Coordinador del Instituto de Investigación M.Sc. Ing. Nicolas Quenta Ticona por el apoyo y organización impuesta con liderazgo en el instituto. Asimismo al Director de Investigación Ciencia y Tecnología por todas las gestiones realizadas.

Ing. Ana Luisa Pari Ticona
INVESTIGADOR PRINCIPAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
1.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	7
1.5. JUSTIFICACION.....	7
1.6. ALCANCE.....	9
CAPITULO II: MARCO TEORICO	10
2.1. MENCION DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA	10
2.1.1. OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A TRAVÉS DE LA PIROLISIS DE PLÁSTICOS DE DESECHOS.....	10
2.1.2. OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO RECICLADO, MEDIANTE PIROLISIS CATALÍTICA.	11
2.2. MENCION DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES.....	14
2.3. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR.....	14
2.4. CONCEPTO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO	16
2.5. TIPOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	16
2.2.1. Etanol.....	17
2.2.2. Gas Natural.....	17
2.2.3. Electricidad	17
2.2.4. Hidrógeno	18
2.2.5. Propano	18
2.2.6. Biodiesel	18
2.2.7. Metanol	19
2.2.8. Combustibles de la serie P.....	19
2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.	19

2.7.	COMPARACIÓN ENTRE COMBUSTIBLES FÓSILES Y COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	20
2.8.	BENEFICIOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA EL TRANSPORTE .	21
2.9.	MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.....	21
2.10.	PROCESO DE PIROLISIS.....	24
2.11.	RESIDUOS PLÁSTICOS	26
2.12.	CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS	27
2.13.	POLÍMEROS.....	28
2.10.1.	Procesos de polimerización.....	29
2.10.2.	Polimerización por adición.....	30
2.10.3.	Polimerización por condensación.	30
2.10.4.	Polimerización en suspensión, emulsión y masa.....	30
2.2.9.	Polimerización en masa	31
2.14.	CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS	32
2.15.	PLÁSTICO	34
2.12.1.	Según su origen.....	34
2.12.2.	Según la estructura de la cadena.....	34
2.12.3.	Por sus propiedades:	35
2.16.	ORIGEN DE LOS PLÁSTICOS	35
2.13.1.	Uso y aplicaciones del plástico	37
2.2.10.	PET como residuos plásticos	37
2.13.3.	El Reciclaje de los plásticos	37
2.13.4.	Métodos de reciclado de residuos plásticos.....	38
2.2.11.	Reducción en su fuente	39
2.2.12.	Reciclado mecánico o tratamiento primario.....	40
2.2.13.	Tratamiento secundario.....	40
2.2.14.	El reciclado terciario o reciclado químico	40
2.2.15.	El reciclado cuaternario.....	41
2.2.16.	Reciclaje químico	41
2.17.	PIROLISIS DE PLÁSTICOS.....	42
2.14.1.	Pirolisis lenta.....	43
2.14.2.	Pirolisis rápida.....	44
2.14.3.	Ventajas y desventajas de la pirolisis.....	44

2.14.4. Avances en el estudio de pirólisis al polietileno de alta densidad	45
2.18. PIROLISIS DE PLÁSTICOS.....	48
2.15.1. Factores que influyen en la pirolisis	49
2.2.17. Temperatura y velocidad de calentamiento.....	50
2.2.18. Materia prima	50
2.2.19. Temperatura	50
2.2.20. Velocidad de calentamiento	51
2.15.2. Factores que influyen en la cantidad y características de los productos finales. 52	
2.2.21. Temperatura	52
2.2.22. Rampa de calentamiento	55
2.2.23. Tamaño de partícula	57
2.2.24. Tiempo de residencia.....	58
2.2.25. Gas de arrastre y flujo	60
2.15.2.1. Presión de operación.....	61
2.19. MEZCLAS POLIMÉRICAS.....	62
2.20. PAISES QUE USAN PIROLISIS PARA PRODUCIR COMBUSTIBLE	63
2.21. MARCO LEGAL	68
2.19.1. REGLAMENTO DE GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS	68
2.19.2. MARCO NORMATIVO AMBIENTAL	69
3.11. Residuos Sólidos.....	69
2.22. IDENTIFICACION DE LAS FUENTES	70
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	72
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	72
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	72
3.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	72
3.4. MUESTRA	72
3.5. AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN.....	73
3.6. POBLACION.....	73
3.7. DESARROLLO DE ENCUESTAS PRESENCIALES	75
3.8. TECNICAS E INSTRUMENTOS.....	77
3.9. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION	82
3.10. FLUJOGRAMA DE OPERACIONES REALIZADAS.....	88

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS	89
4.1. RESULTADOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES	89
4.2. RESULTADOS ENCUESTAS.....	103
4.3. COMPARACIÓN DE COSTOS DE COMBUSTIBLE POR PIROLISIS Y OTRO CONVENCIONAL.....	113
4.4. ANALISIS DE BENEFICIOA DE COMBUSTIBLE OBTENIDO POR PIROLISIS DE PLASTICOS EN COMPARACIÓN A COMBUSTIBLE OBTENIDO POR REFINACIÓN.	114
CAPITULO V: CONCLUSIONES.....	116
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	117
Bibliografía	118
ANEXO 1.....	123
FOTOGRAFIAS ENCUESTAS PRESENCIALES.....	127
ANEXO 3.....	137
PRUEBAS DE LABORATORIO.....	137
ANEXO 3.....	146
PARTICIPACION EN LA FERIA CIENTIFICA.....	146

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Cronología de Polímeros.....	5
Figura 1.2	Diagrama de Ishikawa para el proyecto	6
Figura 2.1	Diagrama de procesos para la biodegradación de material prima y combustible	26
Figura 2.2	Pilas de Residuos Plásticos Acumulados.....	27
Figura 2.3	Clasificación Internacional De Los Residuos Plásticos.	27
Figura 2.4	Pirámide de Jerarquía en la Gestión de Residuos Solidos.....	28
Figura 2.5	Ejemplo de concepto básico de mezclas poliméricas.....	63
Figura 2.6	Ejemplo de concepto básico de mezclas poliméricas.....	64
Figura 2.7	Planta de pirolisis ubicada en Hengelo, Holanda.	65
Figura 2.8	Diagrama de Proceso	66
Figura 2.9	Ranking mundial de los principales países productores de biocombustible en 2021(en miles de barriles equivalentes de petróleo por día)	68

Figura 3.1	Encuestas presenciales	74
Figura 3.2	Modelo Encuesta	74
Figura 3.3	Entrevistas personales	75
Figura 3.4	Lavado de botellas PET	82
Figura 3.5	Lavado de bolsas plásticas	82
Figura 3.6	Picado de botellas PET y bolsas pasticas	83
Figura 3.7	Armado del equipo de destilación simple	83
Figura 3.8	Pesado de 10 g de botellas PET en balanza analítica	84
Figura 3.9	Pesado de 10 g de bolsas plásticas en balanza analítica	84
Figura 3.10	Medido de 25 ml de agua destilada.....	85
Figura 3.11	Medido de 25 ml de agua destilada.....	85
Figura 3.12	Medido de 2.5 ml de alcohol isopropilico.....	86
Figura 3.13	Pesado de 3 gr de carbón activado.....	86
Figura 3.14	Cronometrado de 10 en 10 min.....	87
Figura 4.1	Combustibles más utilizados en la vida cotidiana.	105
Figura 4.2	Punto de vista de personas sobre los precios de los combustibles.....	107
Figura 4.3	Combustibles más consumidos.....	108
Figura 4.4	Frecuencia del reciclaje del plástico.....	109
Figura 4.5	El residuo plástico más reciclado en la ciudad de El Alto.....	109
Figura 4.6	Destino de plásticos ya utilizados.....	110
Figura 4.7	Residuos plásticos más consumidos en la vida cotidiana.	111
Figura 4.8	Conocimiento de las personas sobre los combustibles a base de plásticos utilizados.....	111
Figura 4.9	Si las personas consumirían los biocombustibles a partir de residuos plásticos.....	112
Figura 4.10	Si la población consumiría el combustible producido a base de plásticos utilizados.....	113
Figura 4.11	Producción de Biocombustibles	114
Figura 5.1	Fotografías del y la encuestada de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación.....	127
Figura 5.2	Fotografías del y la encuestada de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación.....	127
Figura 5.3	Fotografías de los encuestados de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación	128

Figura 5.4	Fotografías de los encuestados de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación	128
Figura 5.5	Fotografías del y la encuestada de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación	129
Figura 5.6	Fotografías del y la encuestada en la Zona Senkata	129
Figura 5.7	Fotografías de las encuestadas de la Zona Senkata	130
Figura 5.8	Fotografías del y la encuestada de la Zona Senkata	130
Figura 5.9	Fotografías del y la encuestada de la Zona Senkata	131
Figura 5.10	Fotografías del y la encuestada de la Zona 16 de Julio	131
Figura 5.11	Fotografías de las encuestadas de la Zona 16 de Julio	132
Figura 5.12	Fotografías del y la encuestada de la Zona 16 de Julio	132
Figura 5.13	Fotografías de los encuestados de la Zona 16 de Julio	133
Figura 5.14	Fotografías de las encuestadas de la Zona 16 de Julio	133
Figura 5.15	Fotografías de los encuestados de la Zona Villa Ingenio	134
Figura 5.16	Fotografías del y la encuestada de la Zona Villa Ingenio	134
Figura 5.17	Fotografías del y la encuestada en la Zona Villa Ingenio	135
Figura 5.18	Fotografías del y la encuestada de la Zona Tahuantinsuyo	135
Figura 5.19	Fotografías de las encuestadas de la Zona Tahuantinsuyo	136
Figura 5.20	Fotografías del lavado y picado manual del PET	137
Figura 5.21	Fotografías del armado del equipo de destilación simple	137
Figura 5.22	Fotografía del agua destilada y alcohol isopropílico	138
Figura 5.23	Fotografía de la medición del permanganato de potasio y la medición de la masa de la materia prima	138
Figura 5.24	Fotografía de medición volumétrica y el pesado de la masa	139
Figura 5.25	Fotografía de la medición volumétrica de la solución líquida y la mezcla de todas las soluciones y materia prima en el balón de destilación	139
Figura 5.26	Fotografía del mezclado de las soluciones en el balón de destilación y el montaje de la misma	140
Figura 5.27	Fotografía de la manta calentadora y el destilación en funcionamiento	140
Figura 5.28	Fotografía de la toma de la temperatura y el cronómetro para los cálculos	141
Figura 5.29	Fotografías del pesado de la masa del producto obtenido en la prueba 1 y prueba 2	141
Figura 5.30	Fotografía del residuo obtenido y el pesado de la masa de la misma	142

Figura 5.31	Fotografías del picado manual de la materia prima y la introducción de la misma en el balón de destilación para la prueba 3.....	142
Figura 5.32	Fotografía del pesado de la masa de la materia prima y la medición del volumen del agua destilada para la prueba 3	143
Figura 5.33	Fotografía de medición de masa del alcohol isopropílico y el pesado de la masa de la misma	143
Figura 5.34	Fotografía de medición de la masa de carbón activado y el montaje del balón de destilación.....	144
Figura 5.35	Fotografía del cronometrado y la toma de temperatura de la prueba.....	144
Figura 5.36	Fotografías de las observaciones de experimento del producto destilado	145
Figura 5.37	Fotografía de los residuos que quedaron en el balón de destilación como en el equipo	145
Figura 5.38	Fotografías de la participación a la 6ta Expo – Ciencia del Área Ciencia y tecnología y de los ganadores de la misma.....	146
Figura 5.39	Fotografía de la participación a la feria Institucional UPEA con el Stand número 24	146

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Ventajas y Desventajas de uso de combustibles alternativos.....	19
Tabla 2.2	Combustibles Naturales de Origen Mineral	22
Tabla 2.3	Combustibles Alternos de Origen Vegetal o Animal (Biocombustibles)	23
Tabla 2.4	Comparación de los Sistemas de Polimerización	31
Tabla 2.5	Propiedades y Aplicaciones de las Tres Variedades para el Caso del PVC ...	32
Tabla 2.6	Rango de los Principales Parámetros de Operación y Productos para los Diferentes Tipos de Pirolisis	43
Tabla 2.7	Tipos de Pirolisis en Función del Tiempo de Residencia, la Velocidad de Calentamiento y Temperatura y los Productos Obtenidos de Interés en Cada uno de Ellos.	51
<i>Tabla 3.1</i>	Técnicas e instrumentos	77
Tabla 3.2	Cantidad de insumos para polietileno de baja densidad	87
Tabla 4.1	Observaciones de la prueba experimental de bolsas plásticas de 10 en 10 min	89
Tabla 4.2	Masa total de la prueba experimental con polietileno de baja densidad	92
Tabla 4.3	% Peso de la prueba experimental con polietileno de baja densidad	93

Tabla 4.4	densidad de la prueba experimental con polietileno de alta densidad	95
Tabla 4.5	Observaciones de la prueba experimental con polietileno de lata densidad de 10 en 10 min.....	95
Tabla 4.6	Masa total de prueba experimental con polietileno de alta densidad	97
Tabla 4.7	% Peso de la prueba experimental con polietileno de alta densidad	99
Tabla 4.8	Masa total de la prueba experimental con bolsas plásticas	101
Tabla 4.9	% Peso de la prueba experimental con bolsas plásticas	103
Tabla 4.10	Ventajas de Producción por pirolisis de Plásticos	115

RESUMEN

La contaminación ambiental a nivel mundial y la disminución de recursos fósiles han impulsado a desarrollar estrategias para contrarrestarlas e investigar tecnologías sustentables que permitan implementar procesos novedosos para la producción de combustibles ya -que no solo se da la eliminación de residuos sino a su vez la valorización de estos y el manejo adecuado de residuos. La producción de combustible a partir de plásticos ha generado un avance significativo en el ámbito de las energías renovables, logrando el surgimiento de un gran número de instalaciones de alta tecnología en distintos países como Alemania, Estados Unidos, Inglaterra. La implementación de estas tecnologías ha arrojado resultados positivos en el manejo y aprovechamiento de residuos plásticos. Para la ejecución del proyecto primeramente se recopiló la suficiente información teórica como ser: tipos de combustibles alternativos, ventajas y desventajas, comparación entre combustibles fósiles y combustibles alternativos, residuos plásticos y los métodos de obtención de combustibles alternativos, en donde se determinó que el proceso de pirolisis es el más factible para la obtención de combustibles alternativos a partir de plásticos post-consumo.

Por otro lado también se obtuvieron datos acerca del uso de los polímeros y los combustibles que más consumen en su vida cotidiana en la ciudad de El Alto realizando encuestas presenciales a 10 personas de 5 zonas diferentes. En donde también se pudo observar el interés y el punto de vista de las personas de la ciudad acerca de estos combustibles alternativos a partir de residuos plásticos. Según a toda esa información se pudo obtener combustibles alternativos realizando el proceso de pirolisis a escala laboratorio, en donde se utilizó como materia prima el polímero post-consumo como ser el polietileno de alta densidad (botellas plásticas) y el polietileno de baja densidad (bolsas plásticas), en donde y se pudo observar el producto obtenido determinando su rendimiento en la obtención de una mezcla de hidrocarburos, el rendimiento de los polímeros de baja densidad es mayor con 44,05 % a comparación con los polímeros de alta densidad con 12,45 % de rendimiento. Y como bien sabemos la generación de residuos plásticos es uno de los grandes problemas ambientales que afecta significativamente los diferentes ecosistemas del planeta. Con el presente proyecto se busca beneficiar de combustible a la ciudad y cuidar el medio ambiente.

ABSTRACT

Global environmental pollution and the reduction of fossil resources have prompted the development of strategies to counteract them and to research sustainable technologies that allow the implementation of novel processes for the production of fuels, since not only the elimination of waste is involved, but also its valorization and the adequate management of waste.

The production of fuel from plastics has generated a significant advance in the field of renewable energies, achieving the emergence of a large number of high-tech facilities in different countries such as Germany, the United States and England. The implementation of these technologies has yielded positive results in the management and use of plastic waste. For the execution of the project, first of all, sufficient theoretical information was gathered, such as: types of alternative fuels, advantages and disadvantages, comparison between fossil fuels and alternative fuels, plastic waste and methods for obtaining alternative fuels, where it was determined that the pyrolysis process is the most feasible for obtaining alternative fuels from post-consumer plastics. On the other hand, data was also obtained about the use of polymers and the fuels most consumed in daily life in the city of El Alto by conducting face-to-face surveys to 10 people from 5 different areas. It was also possible to observe the interest and point of view of the people of the city about these alternative fuels from plastic waste.

According to all this information it was possible to obtain alternative fuels by performing the pyrolysis process at laboratory scale, where post-consumer polymer was used as raw material such as high density polyethylene (plastic bottles) and low density polyethylene (plastic bags), where and it was possible to observe the product obtained determining its performance in obtaining a mixture of hydrocarbons, the performance of low density polymers is higher with 44.05% compared to high density polymers with 12.45% performance.

And as we know the generation of plastic waste is one of the great environmental problems that significantly affects the different ecosystems of the planet. This project seeks to benefit the city with fuel and to take care of the environment.

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Series de operaciones mecánicas (recolección, separación, lavado, secado y extrusión con el objetivo de obtener un producto con características similares al producto original, sin embargo este método de reciclaje ha resultado difícil de implementar en muchos países y puede ser costoso debido a las restricciones legales y comerciales, además de la falta de cultura de reciclaje y mucha mano de obra para una separación adecuada. La contaminación que producen los materiales plásticos junto a la extracción de combustibles fósiles han llevado a buscar nuevas alternativas que reduzcan los niveles de contaminación; El proceso de pirolisis es un referente para el aprovechamiento y la valorización energética que utiliza el poder calorífico del plástico para transformarlo en combustible, de esta forma se fructifica todo tipo de plástico sin importar su estado de deterioro. (Aracil, 2008)

Países como Japón y España han sido modelos en el proceso de descomposición térmica, desarrollando desde los años 80 investigaciones y pruebas para la producción de energía en base a residuos plásticos, por ejemplo; España ha comprobado que a mayor temperatura más eficiente será el potencial para la obtención de combustibles (Aracil, 2008), Ecuador es uno de los países latino americanos que experimentó con polietileno de alta densidad comprobando la obtención de diésel y gasolina en fracciones líquidas de acuerdo a (Proaño, 2007)

Una industria procedente de Canadá estudió la forma de convertir el plástico en combustible diésel y gasolina, para ello se utilizaron cinco toneladas de plástico que pueden ser transformadas en unos "(1.057 galones 4.000 litros)", (Anadolu, 2019) señaló el, presidente de la industria, ubicada en la ciudad de Whitby, en el sur de Ontario. Esta tecnología usa temperaturas altas que hacen que el plástico se deshaga, en un proceso conocido como pirolisis. Los plásticos se parten en trozos pequeños y entran a un envase hermético a temperaturas altas y en ausencia de oxígeno, por lo que en realidad no se calcina a medida que se descomponen, Los plásticos que se manipulan son aquellos que no pueden reciclarse y por lo general terminan en botaderos de basura.

En el país Nueva Escocia un proyecto utiliza procesos para alterar los residuos de plásticos en biocombustible. La industria Sustain Technologies Inc maneja alrededor de 50.000 toneladas de basura del municipio anual. Cuando el proyecto esté completamente en pie, se brindará biocombustible a familias que carezcan de este tipo de energía. (Anadolu, 2019)

Se realiza un estudio en Medellín, «Colombia», en el año 2001 en el que se emplea la cinética química con el proceso de volatilización de la biomasa, con la metodología de termo gravimetría, correlacionando los resultados con tamaños de partícula de 2 a 19 mm, y con índices de calentamiento de 10, 15 y 20 K min⁻¹. Se implementó un sistema de primer orden. Se concluyó que el Análisis Termo gravimétrico (TGA) es una técnica donde se puede generar combustible sintético a través de la pirolisis (humedad, volátiles, carbón fijo y cenizas, análisis próximo), además también para analizar la cinética de su volatilización para la determinación de parámetros. (Erguden, 2009)

La Universidad politécnica salesiana de Ecuador, desarrolló un estudio del proceso de la pirolisis de polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad y poliestireno, aprovechando los residuos que generaban en sus instalaciones. El proceso utilizó temperaturas de 400°C con un tiempo de residencia de 30 minutos, por lo cual se determinó que el residuo de mayor porcentaje de fracción líquida es el poliestireno, sin embargo, los análisis realizados y experimentos hechos determinaron que el de mayor calidad y mejor rendimiento es polietileno de alta densidad categorizado como crudo de alta densidad. (Espinoza, 2014)

Plásticos, bolsas y neumáticos son la materia de la que se hace el sueño de poder repostar sin necesitar petróleo. Estos componentes se someten a un proceso con catalizadores que sirven para comprimir los materiales y generar gasóleo. La fábrica de muestra tiene una capacidad de 28 litros diarios, que se producen a partir de 90 toneladas de basura, aptos en cuanto a su calidad, según la Agencia Nacional de Hidrocarburos del país andino. Fuentes gubernamentales destacan que el combustible "tiene muy poca cantidad de azufre, casi mínima, y genera la reducción de gases tóxicos", sin más detalle.

No ha trascendido qué tratamiento se da a los residuos de la producción, pero sí hay un dato que se ha hecho público: los **112.000 litros diarios** a los que aspira producir esta planta en un futuro, ampliando las instalaciones actuales. (José, 2021)

Esta industria podría así reducir su dependencia del exterior, cifrada actualmente en 1.200 a 1.400 millones de dólares en importación de combustibles. La idea se enmarca en una acción más amplia del Gobierno de Bolivia, que ya en época de Evo Morales anunció la entrada del país en "la era de los biocombustibles" mediante el apoyo público en favor del bioetanol y el biodiesel. A la planta experimental que procesa desechos en El Alto le seguirá en 2024 una fábrica de biodiesel situada en el área metropolitana de Santa Cruz de la Sierra, el núcleo urbano más poblado de Bolivia, que reciclará aceites desechados para producir diésel. Esta planta cuenta con una inversión estatal de 250 millones de dólares y tendrá una capacidad productiva de tres millones de barriles al año. (José, 2021)

Con respaldo de tecnología mexicana la empresa Ecoearth S.R.L. –de capitales bolivianos– ofreció refinar 140 MM de litros de diésel junto a gasolinas cada año a partir de plásticos, llantas y aceites en desuso a bajo costo y ahorrar por lo menos \$us90 MM en subvenciones que paga las arcas fiscales por la importación del combustible.

Para lograr éste propósito la planta requiere reutilizar 50.000 llantas de goma en desuso, 45.000 litros de aceites sucios y al menos 40.000 kilos de plásticos (bolsas nylon, botellas pet y otros), describió el Gerente General de la Metal Mecánica HERESI (uno de varios socios estratégicos de Ecoearth), Juan José Días Grifero. En los hechos la refinadora requiere acopiar 90 toneladas de basura clasificada, por día, para industrializar 112.000 litros cada 24 horas, apuntó. La planta industrial además está en capacidad de ahorrar al Estado \$us90 MM anualmente en subvención que debe pagar para importar diésel de países como Argentina, Chile y los Estados Unidos.

El combustible que se obtiene a partir de la basura, también ostenta un nivel de 57 cetanos, es decir, superior en al menos 10 puntos al que ostenta el diésel que importa el país, anualmente, y que está por el orden de los 47 cetanos, aseguró el empresario. Es decir, en el combustible diésel, el cetano es un indicativo de la capacidad o facilidad de ignición. Entre mayor es el cetano, mayor será la facilidad de ignición del combustible e indica mejor calidad.

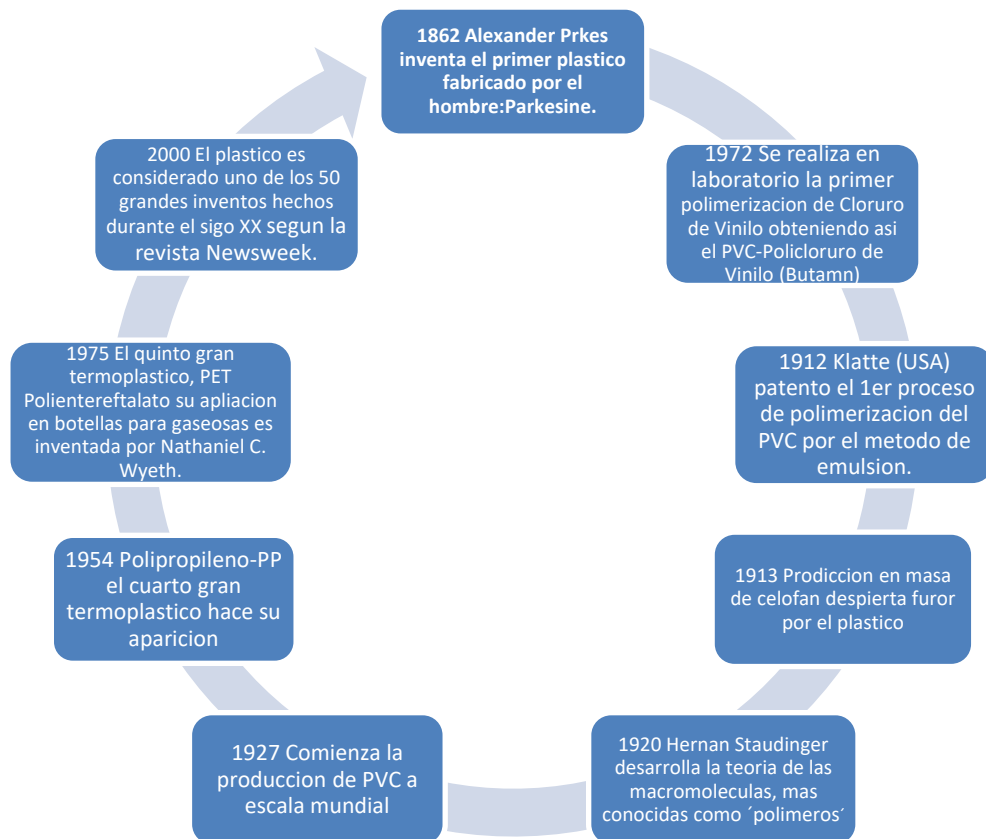
En la nación centroamericana funcionan actualmente entre 8 a 10 plantas, por lo que, la tecnología está probada, funciona a escalada industrial y refina combustibles. Lo que hizo Ecoearth S.R.L., es adquirir la patente para utilizarla en plantas similares que espera montar, no solo en Bolivia, sino también en Chile y el Paraguay. 40 plantas para sustituir

1.9 MM de litros de diésel. Pero como todo proyecto tiene obstáculos, Días terminó revelando que necesitamos emplazar por lo menos 40 plantas de pirolisis en el Estado para sustituir los 1.9 MM de litros de diésel que necesita la actividad industrial y productiva en el mercado interno. “Una planta cuesta \$us10 MM, más terrenos equipos y logísticas. Por lo tanto a éste precio, 40 plantas para cubrir todo el mercado de importación requerirá una inversión global que llegará a los \$us400 MM, un gasto único que se hará para ahorrar \$us600 MM cada año en subvenciones al Tesoro”, subrayó el directivo empresarial. (V. E. M., 2021)

El procesamiento de estos materiales trae enormes beneficios a la entidad, en el campo Social, Ambiental y Económico tales como;

- Reducción de las emisiones de CO₂ en el transporte de combustibles derivados del Petróleo.
- Reducción de las emisiones de Metano en los rellenos Sanitarios.
- Generación de empleo para la población recicladora.
- Disminución de los volúmenes de residuos que van a los rellenos Sanitarios.
- Economía en el uso de recursos como petróleo crudo.
- Contribución a la Limpieza de playas, ríos y océanos.

Figura 1.1 Cronología de Polímeros



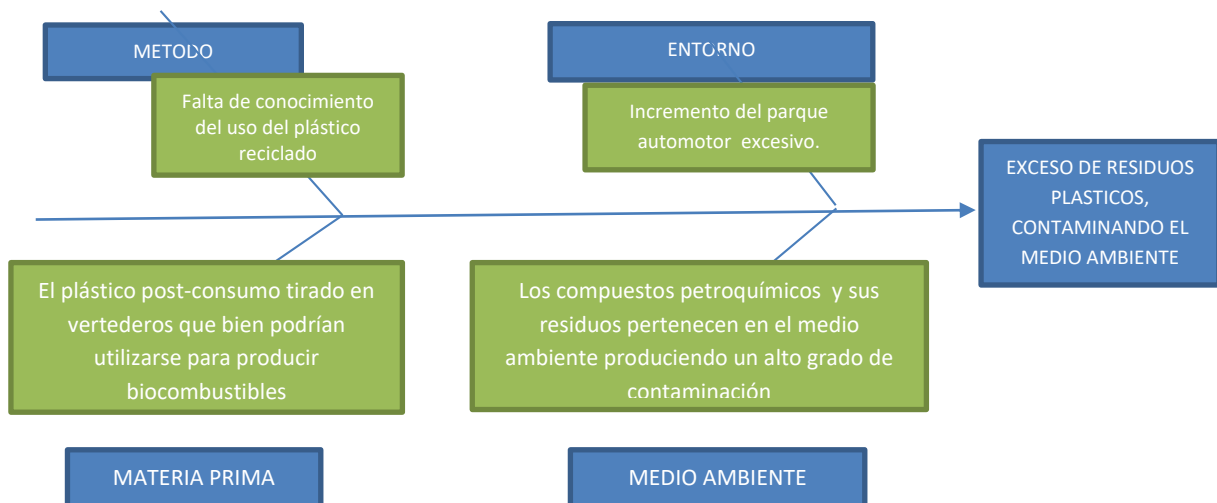
Fuente: Elaboración propia en base a (Plastivida, 2006)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el mundo atraviesa por una crisis energética debido a escasas del crudo existente, el elevado precio que implica este recurso no renovable y su uso como carburante para la industria, son factores de alto impacto al momento de tomar decisiones acerca del uso del petróleo y la investigación hacia nuevos productos, de acá surge la necesidad de estudiar otras fuentes de materias primas que generen material carburante, para mitigar y estabilizar la importación del combustible en países en desarrollo. La generación mundial de residuos plásticos es extraordinariamente elevada y tiene tendencia a incrementar debido al uso intensivo y creciente de los plásticos por lo que el problema se puede formular a partir del hecho de que el consumo de estos materiales plásticos que luego son desechados, sumado a los largos periodos que requieren para su degradación, se constituye en la primera causa de contaminación ambiental. (Illanes, 2015)

El volumen de ventas de refinados al mercado interno por producto desde el año 1990 hasta 2021. Muestra un incremento del consumo de refinados debido al aumento del parque vehicular. Con base el registro único para la administración tributaria municipal (RUAT), el instituto Nacional de Estadística (INE) reporta que hasta el año 2021 el parque automotor en Bolivia alcanzo a 2,109,117 vehículos, cantidad superior en 4,8% a la registrada en 2019, cuando llego a 2,013,400 unidades. Por lo que claramente existe una necesidad de buscar alternativas para la obtención de combustibles alternativos por el proceso de pirolisis a partir de mezclas poliméricas post-consumo. (Instituto Nacional de Estadística, 2021)

Figura 1.2 Diagrama de Ishikawa para el proyecto



Fuente: Elaboración propia en base a la información del proyecto

El consumo excesivo de plásticos que una vez utilizados son tirados en vertederos y por su lenta degradación ocasiona un gran daño a la atmosfera y al medio ambiente. Es por eso que se busca nuevas alternativas para así poder reducir el problema de la contaminación.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener combustibles alternativos por el proceso de pirolisis a partir de mezclas poliméricas post-consumo para la ciudad de El Alto.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información teórica de los conceptos y tipologías de este tipo de combustibles

alternativos, así como de las investigaciones existentes en la materia y datos disponibles del mercado de mezclas poliméricas.

- Recopilar datos acerca del uso de mezclas poliméricas.
- Implementar un equipo de obtención de combustibles alternativos mediante pirolisis a partir de mezclas poliméricas post-consumo.
- Dimensionar el área de producción de combustibles alternativos por dicho proceso en la ciudad de El Alto.
- Determinar la proporción de los polímeros post-consumo que se encuentran en los residuos urbanos de la ciudad de El Alto, que servirán de materia prima.
- Caracterizar el proceso de pirolisis del polímero post-consumo determinando su rendimiento en la obtención de una mezcla de hidrocarburos.

1.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

El proyecto pretende realizar diversos estudios a nivel de laboratorio mediante una selección previa de materiales alternativos con el fin de obtener un combustible alternativo. Asimismo, otras variables secundarias como materia prima y métodos de obtención del mismo. La principal variable es el proceso de pirolisis.

“Es posible obtener un combustible alternativo a partir de mezclas poliméricas post-consumo de manera efectiva por medio de pirolisis cumpliendo las expectativas requeridas en pro del medio ambiente”

1.5. JUSTIFICACION

El proyecto tiene como finalidad de beneficiar de manera directa a todo el parque automotor que utiliza combustible. Como también un porcentaje de aquellas maquinas que utilizan refinado. Y mejorar el problema de la contaminación generado por los polímeros,

De acuerdo al título II capitulo primero de la constitución política del Estado, en el artículo 342 se establece como deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente. (Estado Plurinacional de Bolivia, Constitución política de El Estado, 2009).

Se tiene la finalidad de investigar nuevas alternativas de energía limpia, con la producción de combustible a partir de mezclas poliméricas mediante el proceso de pirolisis se lograra mitigar el impacto ambiental que ocasiona los combustibles de residuos fósiles la emisión de CO₂. En la ciudad de El Alto se podrá disminuir los volúmenes de basura acumulados. El proceso de pirolisis es una técnica de reciclaje en la que se produce la descomposición térmica de los polímeros (plásticos) en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo, normalmente a temperaturas entre 300 y 900°C, en otras palabras es un procedimiento de destilación que permite transformar residuos plásticos en carburante. (Energy, Efficient, 2022)

Con el presente estudio se trata de beneficiar principalmente a la ciudad de El Alto por el manejo inadecuado de residuos plásticos post-consumo. Este proyecto ayudara a reducir los volúmenes de basura tendrá una implicación social, donde se explorará las posibilidades de masificar la obtención de Combustibles con el proceso de pirolisis.

Desde el punto de vista ambiental, económico, etc. ya que el proceso de pirolisis es una alternativa muy eficiente y limpia para el tratamiento de los plásticos post-consumo, que aparte de reducir la contaminación directa, tiene el beneficio de producir combustibles que actualmente el país importa, por lo que representaría un ahorro. Además, el uso de polímeros post-consumo para generar combustibles, es una forma de beneficiarse económicamente, en lugar de contaminar y producir daños irreparables a la naturaleza y al ecosistema.

Para la sociedad porque será el punto de partida para considerar la implementación de una planta de esta magnitud en la ciudad de El Alto, y como no en otras ciudades de Bolivia, mejorando la calidad ambiental y generando fuentes de trabajo, y así contribuir al desarrollo de la región y del país y por tanto a mejorar la calidad de vida de la población.

Académicamente se podría decir, que es uno de los pilares fundamentales de la universidad Pública de El Alto, coadyuvara a mantener y mejorar su ganado prestigio.

Fundamentalmente, desde un punto de vista contribuirá al desarrollo del conocimiento. Ya que, el propósito es la generación de datos a las condiciones locales de presión, humedad temperatura, etc. Información que se podremos utilizar para futuras investigaciones (Illanes, 2015).

1.6. ALCANCE

El presente proyecto está dirigido a todas las personas del área de gas y petroquímica los que se encargan de ejecutar procesos petroquímicos, se producirá combustible mediante el proceso de pirolisis, usando como materia prima las mezclas poliméricas, lo cual es un beneficio para el medio ambiente, que además podría ser de post-consumo para la ciudad de El Alto.

El proyecto de investigación de producción de combustible por el proceso de pirolisis en base a mezclas poliméricas se realizan con fines comerciales en la Ciudad de El Alto del departamento de La Paz Bolivia a su vez aportar conocimientos científicos ya que serán los primeros en beneficiarse al adquirir este producto ya que será elaborados en base mezclas poliméricas como ser los plásticos.

Los impactos ambientales se generan principalmente por la disposición de residuos plásticos al medio ambiente, Entre las ciudades de La Paz, Santa Cruz de la Sierra, Tarija y Trinidad, se estima que se depositan alrededor de 2.000 toneladas del plástico total consumido en territorio nacional. (Jóse Campos, 2021)

Con respaldo de tecnología mexicana, la empresa Ecoearth S.R.L. -de capitales bolivianos- ofreció refinar 112 mil litros diarios de diésel y gasolina a partir del reciclaje de plásticos, llantas y aceites en desuso. Esta acción supondría un ahorro de al menos 90 millones de dólares en subvenciones por la importación del combustible, de los 600 millones que paga el Estado anualmente.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA

2.1.1. OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A TRAVÉS DE LA PIROLISIS DE PLÁSTICOS DE DESECHOS.

Para la realización de este TFG se han utilizado muestras reales de plásticos usados provenientes del sector agroalimentario, automoción (residuos provenientes del desguace de automóviles) y del reciclaje (residuos sólidos urbanos secos y residuos provenientes de construcción-demolición), así como un biopolímero de origen vegetal. Inicialmente se ha llevado a cabo una caracterización de estos materiales utilizando técnicas habituales en el análisis de combustibles y biomásas tales como el análisis elemental (C, H, N, y S), inmediato (humedad, cenizas y materia volátil) y poder calorífico.

Una vez conocidas las características básicas de los materiales, se procedió a estudiar su comportamiento en pirólisis en una termobalanza a presión atmosférica. Este aparato permite calentar la muestra a una velocidad determinada en una atmósfera controlada. Al llegar a una determinada temperatura, comienza la desvolatilización siendo posible registrar la pérdida de peso de la muestra de forma continua. Los datos de termogravimetría (TGA) permiten determinar la temperatura óptima a la que se debe trabajar para garantizar una conversión total del material de partida.

Conocido el comportamiento de las muestras en la termobalanza, se pasó a la realización de experimentos de pirólisis en un reactor de laboratorio. Este reactor, dependiendo de la densidad del material, permite procesar decenas de gramos. Además, dispone de un condensador para la recogida de los líquidos producidos y un sistema de toma de muestras para recoger el gas no condensado en bolsas tipo Tedlar para su posterior análisis por cromatografía de gases. A partir de los experimentos realizados y de los pesos de distintas partes del reactor antes y después del experimento, se han podido calcular los rendimientos a la fracción sólida, líquida y gaseosa.

Finalmente, también se han llevado a cabo experimentos en los que se colocó un reactor de craqueo térmico justo a la salida del reactor de pirólisis. Esta etapa permite generar una mayor cantidad de gas a partir de los productos primarios de pirólisis. Este sistema puede

ser especialmente útil para el tratamiento de poliolefinas como el polietileno o el polipropileno que tienden a formar ceras tras la reacción de pirólisis.

- a) **Análisis elemental:** es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno presente en un amplio rango de muestras de naturaleza orgánica e inorgánica tanto sólidas como líquidas. La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000 °C. Los diferentes productos de combustión CO₂, H₂O y N₂, son transportados mediante el gas portador (He) a través de un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas, para ser luego desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla (Universidad de Alicante, 2016). La Sección de
- b) **Determinación del poder calorífico:** el poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor generada en la combustión completa de una unidad de masa de dicho combustible. Este análisis se realiza en un calorímetro, el cual consiste en un recipiente cerrado con atmósfera enriquecida en oxígeno y previamente calibrado con ácido benzoico en pastilla. La combustión es inducida por una resistencia unida a la muestra por un hilo de algodón. Para la determinación del poder calorífico en combustibles minerales y biocombustibles, de naturaleza sólida y líquida, y combustibles sólidos recuperados, la Sección de Caracterización de Combustibles del Instituto de Carboquímica dispone de un calorímetro isoperibólico IKA C-2000 que cumple las correspondientes normas ISO, ASTM, UNE y EN. (Díaz Caleño, 2020)

2.1.2. OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO RECICLADO, MEDIANTE PIROLISIS CATALÍTICA.

El proceso experimental de polipropileno reciclado se realizó seleccionando una cantidad determinada de materia prima.

$$n=Z2PQE2$$

Donde:

n: El tamaño de la muestra

Z: Valor dependiente del nivel de confianza fijado por el investigador

E2: Error de muestreo (margen de error que el investigador fija)

PQ: Grado de variabilidad de la muestra, en caso de desconocerse P:0.5 y Q: 1-P

Para obtener una muestra representativa de la población, se establece un nivel de confianza del 95%, con un valor $Z=1.96$ de acuerdo a las tablas de distribución de Gauss. “Teniendo en cuenta la variedad de la población, se admite un 10% de error en el muestreo”(Martínez, 2012).

El tamaño de muestra estimado es de $n=Z^2PQE2=(1.96)^2*0.5*0.5(0.1)^2=96.04 \text{ kg}$

Del lote de trabajo se seleccionó muestras de manera aleatoria y se las homogeneizó. La masa de trabajo fue de 10kg.

Para realizar la parte experimental, primero se caracterizó el plástico reciclado para asegurarnos que sea polipropileno. Por lo que se procedió a tomar una muestra representativa mediante el método de cuarteo, que se detalla a continuación:

- a) Se extendió sobre una superficie plana todo el plástico.
- b) Luego se formó un círculo con el plástico y se lo dividió en 4 partes iguales.
- c) El procedimiento anterior se realizó sucesivamente hasta tener una muestra de 10 g, la misma que fue analizada.

Considerando la capacidad del reactor, se asignó 320 gramos para cada ensayo.

La Columna de Craqueo controlada por computador QCC es empleada para el estudio de los parámetros de reacción de la pirólisis catalítica según el diseño experimental propuesto. El equipo que se muestra en la figura 18 tiene las siguientes características:

- a) El equipo es controlado desde un ordenador que permite registrar los datos obtenidos en cuanto a variables de temperatura y presión.
- b) Los sistemas que intervienen en la reacción como: refrigeración, vacío y calefacción son de vidrio; se encuentra fijos mediante una estructura de perfil de aluminio anodizado y paneles en acero pintado que garantizan estabilidad y resistencia.

- c) El matraz esférico esmerilado con 2 bocas está diseñado para ubicar la columna de destilación y la termocupla, dicho matraz tiene una capacidad de 1 L y se encuentra constituido de vidrio borosilicato 3.3 de alta resistencia térmica y mecánica.
- d) El sistema de separación comienza desde la columna de destilación, la cual posee una combinación de uniones vidrio-vidrio. Las uniones horizontales permiten el contacto entre el vapor y el líquido, mientras que el cabezal de vidrio (inclinación de 45°) garantiza que el líquido de las paredes regrese al centro de la columna. Luego el refrigerante Liebig-west para la condensación con ajustes intercambiables que se encuentra conectado al cabezal en la parte superior de la columna de destilación, y se deposite en el embudo de decantación de 500 mL.
- e) El sistema consta de 4 termopares tipo J y 2 sensores de presión, para la respectiva toma de temperatura y presión, los cuales que se encuentran situados en puntos clave.
- f) La manta calefactora permite el incremento de la temperatura del reactor hasta 450°C como temperatura máxima de trabajo.
- g) La bomba de vacío posee una trampa para protegerla de la deposición de vapor químico.
- h) El equipo posee seis agarraderas de plástico que están constituidas de PTFE de alta resistencia térmica.
- i) La interface del software SCADA permite controlar y adquirir datos de las variables de temperatura y presión, además se las puede visualizar en un entorno gráfico.

Se llevó a cabo nueve ensayos de pirólisis catalítica de PP reciclado y un ensayo de pirólisis térmica en la columna de craqueo controlada desde computador, con SCADA y Control PID.

Para cada ensayo se pesó 320 gr de muestra de PP reciclado en una balanza analítica. Luego la muestra pesada se depositó en un reactor de vidrio de 1L, junto a las proporciones catalizador/plástico mencionadas en la Tabla 7, en dicha tabla se describe tres relaciones catalizador/plástico empleadas en cada uno de los ensayos, con tiempos de residencia definidos.

El equipo se armó conforme se muestra en la figura 19, adicional a esto en las uniones vidrio-vidrio se colocó teflón para una mejor hermetización del sistema.

Luego se procedió a purgar el interior con vacío durante un minuto para crear un ambiente libre de oxígeno, y se reguló la tasa calentamiento, así como la temperatura final del ensayo que fue de 450°C (temperatura máxima del reactor). Se programó la manta de calentamiento a un nivel inicial de 7 hasta la temperatura de 70°C, luego se realizó el cambio a un nivel 8 hasta la temperatura de 222°C, posteriormente a un nivel 9 hasta la temperatura de 260°C y finalmente se cambió al nivel 10 para llegar a una temperatura de 450°C. **(Crespo, 2009)**

2.2. MENCIÓN DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES

Según la investigadora Laura Bolaños, “Los residuos de vasos de Polipropileno, producen un crudo del cual se pueden destilar productos equivalentes a la Gasolina y el Diesel de acuerdo a sus puntos de ebullición y los residuos de Poliestireno en cambio producen un crudo, del cual se puede derivar por destilación un producto que corresponde a Estireno Monómero.” **(Bolaños Urbano, 2014)**

Según el investigador Calderón Machuca, Juan Rodrigo, “La producción de etanol a nivel mundial se ha venido desarrollando por varios años, siendo esta una alternativa energética para el futuro además de ser un combustible amable con el medio ambiente. El presente trabajo está orientado a determinar la factibilidad de producción de etanol en nuestra provincia, ya que la tecnología para fabricar los vehículos ya existe, pero de nada sirve un vehículo sin combustible. Para determinar esta capacidad de producción, es necesario analizar varios factores, que involucran el aspecto físico, trabajo de campo, el ámbito económico y ambiental.” **(Calderón Machuca, 2011)**

2.3. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR

Mientras el enfoque cuantitativo estudia realidades y hechos de naturaleza objetiva; el enfoque cualitativo estudia realidades y fenómenos cuya naturaleza es subjetiva. **(Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p. 11).**

El hecho de que cada enfoque de investigación estudie realidades de naturaleza particular, implica marcadas diferencias respecto a aspectos como el alcance de las metas que persigue la investigación, la lógica del proceso investigativo y el tipo de datos con los que trabaja el estudio. El propósito fundamental de toda investigación científica es generar

conocimiento nuevo que sirva para la solución de problemas, sean estos teóricos, prácticos o una mezcla de ambos. Para dar cuenta de dicho propósito, cada enfoque de investigación responde a metas particulares. Cada enfoque trabaja con tipos de datos particulares, pues las metas y la lógica de cada tipo de investigación implica, necesariamente, la recolección, análisis e interpretación de datos con características específicas para cada uno.

El estudio de realidades objetivas, propio de la investigación de naturaleza cuantitativa, implica que las metas y la lógica del proceso investigativo se orienten hacia la obtención y análisis de datos sólidos, lo suficientemente confiables como para garantizar que alcanzan a captar la objetividad de la realidad que se investiga.

La investigación cualitativa, por su parte, lejos de buscar “datos duros”, se orienta hacia la recolección y análisis de datos profundos, lo suficientemente significativos para dar cuenta de la subjetividad de las realidades que busca interpretar y comprender. (Álvarez, 2011)

El enfoque de la investigación es un proceso sistemático, disciplinado y controlado y está directamente relacionada a los métodos de investigación que son dos: método inductivo generalmente asociado con la investigación cualitativa que consiste en ir de los casos particulares a la generalización; mientras que el método deductivo, es asociado habitualmente con la investigación cuantitativa cuya característica es ir de lo general a lo particular. Siendo estos los conceptos directos sobre corrientes de investigación científica se podrá observar que para el presente proyecto compete un enfoque híbrido, corresponde el enfoque **cuali-cuantitativo**.

A partir del análisis teórico sobre enfoques de investigación es posible hacer una reflexión acerca del enfoque que de allí se desprende: Si se está tratando la investigación científica, es posible desarrollar dos enfoques importantes: el cualitativo y el cuantitativo, en el primero se entiende que la cantidad es parte de la cualidad, además de darse mayor atención a lo profundo de los resultados y no de su generalización; mientras que en el enfoque cuantitativo, lo importante es la generalización o universalización de los resultados de la investigación. Por tanto, ambos pueden ser usados en una misma investigación, interaccionando sus metodologías, justamente es lo que se observa en el procedimiento realizado en el presente proyecto.

2.4. CONCEPTO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

Los combustibles alternativos están derivados de otras fuentes además del petróleo. Unos son producidos en el país, reduciendo nuestra dependencia en el petróleo importado, y otros son sacados de fuentes renovables. A menudo, producen menos contaminación que la gasolina o el diésel. (Energy Efficiency & Renewable, 2022)

Cada combustible tiene una combinación única de beneficios como la disponibilidad, la compatibilidad del vehículo, la eficiencia energética, el costo y la reducción de emisiones. Actualmente hay más de una docena de fuentes alternativas de combustible en producción en todo el mundo. Algunos de los cuales incluyen *gasolina, diésel, gas natural, así como combustibles nucleares* (uranio y torio).

Los principales usuarios de combustibles alternativos son las *flotas de vehículos del gobierno y del sector privado*. Esto está ayudando a reducir la demanda de combustibles fósiles, que se están agotando rápidamente.

Algunos combustibles alternativos incluyen *biodiesel, bioalcohol, electricidad almacenada, hidrógeno, metano no fósil, aceite vegetal y propano*. Uno de los combustibles alternativos más populares es el biodiesel, que está hecho de aceite vegetal, grasas animales o grasa para cocinar. (Decologia, 2022)

2.5. TIPOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Existe una amplia variedad de tipos de combustibles alternativos disponibles en diversas naciones del mundo. Cada combustible es una opción para reemplazar la gasolina y para reducir las emisiones causadas por la quema de gasolina en los vehículos.

Algunos combustibles alternativos también tienen aplicaciones industriales y residenciales. Los beneficios y las limitaciones de estos combustibles son clave para comprender cómo se pueden usar cada uno de estos combustibles. (Decologia, 2022)

Una gran cantidad de personas alrededor del mundo, creen que los combustibles alternativos tienen o tendrán a futuro un rol más amplio en los automóviles y camiones que se utilizarán en el mañana. Según Larry West, tal interés se ha visto estimulado por tres consideraciones importantes:

- Los combustibles alternativos generalmente tienen menores emisiones de vehículos que contribuyen al smog, la contaminación del aire y el calentamiento global

- La mayoría de los combustibles alternativos no provienen de recursos finitos de combustibles fósiles y son sostenibles
- Los combustibles alternativos pueden ayudar a las naciones a ser más independientes de la energía

Con esto en mente, nos enteramos de que la *Ley de Política Energética de EE. UU.* De 1992 identificó ocho combustibles alternativos de importancia, algunos que se utilizan, otros considerados de naturaleza más experimental. (Decologia, 2022)

2.2.1. Etanol

Un combustible alternativo a base de alcohol hecho por fermentación y destilación de cultivos tales como maíz, cebada o trigo. No hay problema si se mezcla con la gasolina, ya que al hacerlo, estará incrementando considerablemente los niveles de octano y podrá mejorar la calidad de las emisiones (QUIMICA.ES, s.f.).

2.2.2. Gas Natural

El gas natural es considerado como uno de los principales combustibles alternativos, porque además de ser bastante limpio para el medio ambiente – se encuentra disponible para los consumidores en diversos países alrededor del mundo, incluso, existen estaciones de servicios donde puede adquirirse, al igual que empresas que lo proporcionan directamente a los conjuntos residenciales y grandes empresas y negocios (Foro Nuclear, s.f.).

2.2.3. Electricidad

Aunque parezca raro para algunos, en realidad el uso de la electricidad como combustible alternativo es una realidad, de hecho, hay decenas de vehículos alrededor del mundo que funcionan a través de la **energía eléctrica** o pilas de combustible.

Estos vehículos eléctricos logran su funcionalidad, a través de una batería en la que almacenan energía y pueden recargarse al enchufarlas en una (SciElo, 2015) que posee el mismo vehículo (gencat, s.f.).

Es decir, que los vehículos que poseen pilas de combustible, pueden funcionar a través de la reacción electroquímica que se origina cuando se combina el oxígeno con el hidrogeno.

2.2.4. Hidrógeno

El hidrógeno forma parte de la lista de combustibles alternativos, gracias a que cuando se fusiona con el gas natural, se puede utilizar sin problema alguno como combustible para ciertos tipos de motores, como por ejemplo, los motores de combustión interna.

Además, el hidrógeno también puede utilizarse perfectamente en vehículos que funcionan a través de pilas de combustible, ya que como te mencionamos anteriormente, la electricidad generada por la reacción petroquímica se origina cuando tanto el oxígeno como el hidrogeno se fusionan dentro de la batería (Centro Nacional de Hidrogeno, 2021).

2.2.5. Propano

Lo que se conoce como propano o gas licuado como también se le reconoce en algunos lados es un excelente subproducto que se utiliza durante el procesamiento de gas natural o el refinamiento del petróleo crudo.

Si bien, el propano ha sido ampliamente utilizado como combustible para calentar o cocinar, en realidad, también funciona perfectamente como un combustible alternativo para vehículos.

Como el propano tiende a presentar menores cantidades de emisiones que la gasolina, existe una amplia infraestructura bien desarrollada para el sector transporte, que garantiza no solo su almacenamiento, sino su distribución (Precio Gas, 2022).

2.2.6. Biodiesel

Quizás es uno de los combustibles alternativos más alabados, por el simple hecho de estar procesado a base de grasas animales y aceites vegetales; es más, puede crearse a través del reciclaje de aquellos aceites que fueron previamente utilizados en restaurantes para cocinar.

Para hacer uso de este combustible, se debe modificar el motor de su vehículo para poder quemar el biodiesel en su forma más pura, de igual forma, puede mezclarlo con diésel en motores que no han sido modificados.

2.2.7. Metanol

El metanol, también conocido como alcohol de madera, se puede utilizar como combustible alternativo en vehículos de combustible flexible diseñados para funcionar con M85, una mezcla de 85 por ciento de metanol y 15 por ciento de gasolina, pero los fabricantes de automóviles ya no fabrican vehículos impulsados por metanol.

2.2.8. Combustibles de la serie P

Los llamados combustibles de la serie P no son más que combustibles contentivos de un alto octanaje que pueden ser usados en aquellos vehículos que son capaces de soportar combustibles flexibles. Son altamente conocidos en el mundo de la ecología, por ser una mezcla de los líquidos de gas natural, con etanol y un co - disolvente derivado de la biomasa conocido como metiltetrahidrofurano. (Decologia, 2022)

2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.

Tabla 2.1 Ventajas y Desventajas de uso de combustibles alternativos

Ventajas	Desventajas
Etanol: el CO ₂ liberado cuando la planta absorbe su quemado a medida que crece, por lo tanto, es carbono neutral	Los motores de etanol no necesitan ser convertidos, el combustible de etanol no está ampliamente disponible. Preocupa que, a medida que la demanda aumenta, los agricultores cultiven cosechas para producir etanol en lugar de aumentar los precios de los alimentos.
Biodiesel - Carbón Neutral, los motores no necesitan ser convertidos y produce menos dióxido de azufre y partículas que el diésel y la gasolina.	Biodiesel: no es suficiente para reemplazar completamente el diésel, es costoso de fabricar, podría aumentar los precios de los alimentos como el etanol.
El hidrógeno-gas-hidrógeno se combina con el oxígeno en el aire para formar agua, por lo tanto, está limpio.	Gas de hidrógeno: se necesita un motor costoso especial, el hidrógeno no está disponible en todas partes, todavía

	necesita energía de otra fuente, es difícil almacenar hidrógeno.
--	--

Fuente: (Crudo, 2019)

2.7. COMPARACIÓN ENTRE COMBUSTIBLES FÓSILES Y COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Los biocombustibles pueden tener un impacto menor que los combustibles fósiles si consideramos sólo el consumo del combustible, pero si tenemos en cuenta la producción, los biocombustibles pueden ser en realidad peores que los combustibles fósiles en algunos casos.

El biocombustible está hecho de material orgánico. Puede estar hecho de cultivos, madera o residuos orgánicos.

Los combustibles fósiles como el petróleo, el gas o el carbón se forman por procesos geológicos durante largos períodos de tiempo y se almacenan en las profundidades del subsuelo. (Easy Eco Tip, 2019)

Tenemos que mirar cada etapa del ciclo de vida del combustible para entender el impacto completo de cada combustible.

Etapas de producción:

El biocombustible está hecho de materiales orgánicos (cultivos, árboles, etc.) que capturan CO₂ mientras crecen, mientras que los combustibles fósiles no lo hacen.

Sin embargo, el cultivo de cosechas para biocombustible a veces puede tener un mayor impacto ambiental debido a la necesidad de tierras (deforestación), la presión sobre el suministro de agua, y la presión sobre la producción de alimentos (tierras utilizadas para el biocombustible en lugar de la producción de alimentos).

Por ejemplo, el biocombustible de aceite de palma tiene una huella de carbono 3 veces mayor que el combustible fósil, debido a la deforestación.

Etapas de consumo:

Cuando realmente consumen el combustible (en un coche, en un avión, etc.), los biocombustibles generan alrededor de 2 veces menos CO₂ que los combustibles fósiles. Por la misma cantidad de energía creada, los biocombustibles generan alrededor de 39g

de CO₂, mientras que los combustibles fósiles generarán alrededor de 75g de CO₂. (Easy Eco Tip, 2019)

No hay un combustible mágico, necesitamos reducir nuestra cantidad de vuelos, sólo usar los coches cuando sea necesario, y elegir formas más ecológicas de transporte como trenes o bicicletas para viajes cortos. Para tu casa, cambia a un proveedor de energía renovable, en lugar de usar gas o electricidad producida a partir de combustibles fósiles.

2.8. BENEFICIOS DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA EL TRANSPORTE

Como hemos comentado anteriormente en otros posts, el autogas es, en la actualidad, el carburante alternativo más empleado en el mundo gracias a que se trata de una opción más limpia y económica que, además, es compatible con diferentes vehículos y motores. (Primagas, 2017)

El autogas es el término que se utiliza cuando se usa el GLP como carburante de automoción. Sus principales ventajas son el ahorro económico en combustible (que puede reducirse hasta en un 40%), el menor coste de mantenimiento, la reducción de emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes, que es compatible con gasolina en los vehículos bi-fuel, que cuenta con las ventajas que ofrece la etiqueta ECO y que con él contribuyes a mejorar la calidad del aire.

Si comparamos el autogas con el gas natural, a nivel general podemos decir que la autonomía de los vehículos con gas natural es ligeramente superior a la que ofrecen los vehículos con GLP, pero la red de repostaje es mucho mayor en el caso del autogas. (Primagas, 2017)

2.9. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Los procesos de producción son variados y dependientes del tipo de materia prima utilizada para la producción del combustible deseado. En este apartado se desarrollaran los procesos genéricos sin entrar en detalles particulares. Cada proceso tiene sus principalmente gaseosos y líquidos, aunque también se llegan a obtener materiales sólidos no combustibles. En el inciso siguiente se abordaran, de manera no exhaustiva, cada uno de esos procesos. Particularidades y peculiaridades. Cada uno a su vez es modificables en función del tipo de combustible que se desee obtener en proporción mayoritaria. Se debe

señalar, honestamente, que no se describen todos los procesos existentes, sino aquellos más relevantes y que se han venido utilizando en los últimos años. Derivado que son las plantas cementeras fundamentalmente quienes usan algunos de los combustibles residuales para su proceso de clinkerización se describirá únicamente los combustibles usados y algunos de los efectos sobre la salud y el medio ambiente. (N., 1979)

Tabla 2.2 Combustibles Naturales de Origen Mineral

Clasificación	Origen	Procesos	Combustible Obtenido	Poder Calorífico
Carbón	Mineral	Gasificación e hidrogenación indirecta con vapor de agua en presencia de aire	Gas de síntesis; CO, H ₂	Bajo Medio
		Gasificación e hidrogenación indirecta	Gas de síntesis; CO, H ₂	
		vapor de agua en presencia de oxígeno		CH ₄ Medio alto
		Gasificación e hidrogenación indirecta vapor de agua en	CO, H ₂ , CH ₄	
		presencia de oxígeno y metanación		Alto
		Hidrogasificación: Gasificación e	CO, H ₂ , CH ₄	Alto
		hidrogenación directa con suministro de hidrógeno	CO, H ₂ , CH ₄	Medio
		Gasificación catalítica con alimentación de	CO, H ₂	

		vapor de agua, purificación con reflujo y separación criogénica		
		Gasificación /licuefacción		
Arena de alquitrán	Mineral	Gasificación / licuefacción	CO, H ₂	Medio
		Gasificación / licuefacción	CO, H ₂	Medio
Esquistos bituminosos		Gasificación e hidrogenación indirecta vapor de agua en presencia de oxígeno	Gas de síntesis; CO, H ₂	Medio
		Pirolisis directa	CO, H ₂ CH ₄	Medio alto
Gas natural	Pozo natural	Reformación	H ₂	Alto
Agua	Natural	Termoquímico; electroquímico	H ₂	Alto

Fuente: (Hernando Romero Paredes R., 2018)

Tabla 2.3 Combustibles Alternos de Origen Vegetal o Animal (Biocombustibles)

Clasificación	Origen	Procesos	Combustible Obtenido	Poder Calorífico
Biomasa	Vegetal	Termoquímico	combustión directa	Medio bajo
		Gasificación	Gas de síntesis; CO, H ₂	Medio
		Gasificación, enriquecimiento y síntesis	Gas de síntesis; Metanol; diésel Fisher - Tropsch	Medio alto
		Pirolisis directa	Gas de síntesis; CO, H ₂ , CH ₄ ,	Medio

			líquidos de alquitrán, otros	
		fermentación	Etanol	Alto
		Digestión anaeróbica	CO ₂ , H ₂ , CH ₄	Medio
		Digestión anaeróbica y enriquecimiento	CO, H ₂ , CH ₄	Alto
	Animal	Fotoquímico	H ₂	Alto
		Pirolisis	Gas de síntesis; CO, H ₂ y aceites	Medio
	Vegetal y animal	Despolimerización térmica	Gas de síntesis; CO, H ₂ ; etanol, metanol; biodiesel Fisher - Tropsch orgánicos	Medio

Fuente: (Hernando Romero Paredes R., 2018)

2.10. PROCESO DE PIROLISIS

La pirolisis es la degradación térmica de una sustancia por falta de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión. Las características de dicho proceso son las siguientes:

- Las temperaturas de trabajo son subalterno a las de la gasificación, oscilando entre 300°C y 800°C.
- El único oxígeno presente es el contenido en el residuo plástico a tratar.
- Como resultado del proceso se obtiene:

1. Residuos líquidos, compuesto básicamente por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, ceras formados al condensar a temperatura ambiente.
2. Gas, cuyos componentes básicos son CO, CO₂, H₂, CH₄ y compuestos más volátiles procedentes del cracking de las moléculas orgánicas, conjuntamente con los ya existentes en los residuos. Este gas es muy similar al gas de síntesis obtenido en la gasificación, pero hay una mayor presencia de alquitranes, ceras, etc. En detrimento de gases, debido a que la pirolisis trabaja a temperaturas inferiores a la gasificación.
3. Residuos líquidos, compuesto básicamente por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, ceras formados al condensar a temperatura ambiente.
4. Residuo sólido, compuesto por todos aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con un alto contenido en carbón, metales pesados y otros componentes inertes de los residuos.

Los residuos líquidos y gaseosos pueden aprovecharse mediante combustión a través de un ciclo de vapor para la producción de energía eléctrica. El residuo sólido puede utilizarse como combustible en instalaciones industriales, como por ejemplo, en plantas cementeras (Ministerio Para la Transición Ecológica, 2010).

Figura 2.1 Diagrama de procesos para la biodegradación de material prima y combustible



Fuente: (Todo En Polimeros, 2020)

2.11. RESIDUOS PLÁSTICOS

El plástico son varios tipos de polímeros materiales que son compuestos de moléculas orgánicas de alto peso molecular que derivan principalmente del petróleo. No obstante, el primer plástico que se desarrolló fue el celuloide. Un compuesto que es derivado del algodón que fue patentado por John Hyatt en 1865 como sustituto del marfil para fabricar bolas de billar.

Se denomina residuos plásticos cuando cualquier elemento fabricado a partir de este material es descartado por poseedor al no encontrarle valor o utilidad. Una de las principales características más notorias de los residuos plásticos es su larga duración de uso. El tiempo de descomposición depende del tipo de plástico que se trate, el proceso de degradación asociado y el tamaño del residuo. Los mecanismos de degradación pueden ser biológicos, de oxidación o de foto-oxidación, entre otros. La disponibilidad de los plásticos es muy fácil por su favorable precio y beneficio que una vez utilizados son tirados en vertederos. Los residuos de plástico ha prendido la alarma en todas partes del mundo. Su lenta degradación contamina las aguas y el suelo. También afectan la vida de muchas especies como: peces, aves, terrestres y mamíferos acuáticos. En general, los plásticos tardan al menos 100 años en descomponerse. Aunque existen algunos que se demoran entre 500 y 1000 años y bajo

ciertas condiciones, como por ejemplo, al ser enterrados, inclusive parecen detener su descomposición (Pablo, 2019).

Figura 2.2 Pilas de Residuos Plásticos Acumulados



Fuente: (Tecnología de Plástico, 2019)

2.12. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Los diferentes tipos de plásticos han sido codificados internacionalmente para facilitar su reciclaje. En la Figura 2.3 se puede observar esta clasificación:

Figura 2.3 Clasificación Internacional De Los Residuos Plásticos.

Sigla	Nombre	Código de reciclaje	Usos y aplicaciones
PET	Polietileno tereftalato	1	Botellas para bebidas, aceite y otros alimentos.
PEAD/HDPE	Polietileno de alta densidad	2	Envases y botellas para productos de limpieza. Membranas impermeabilizantes.
PVC	Policloruro de vinilo	3	Cañerías, electrónica.
PEBD/LDPE	Polietileno de baja densidad	4	Bolsas, separadores, guantes.
PP	Polipropileno	5	Tapas de botellas,
PS	Poliestireno	6	Vasos y recipientes para alimentos, aislantes.
-	Otros	7	Comprende: policarbonato (PC), nailon, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), entre otros.

Fuente: (Pablo, 2019)

Se implanta una jerarquía en las acciones prioritarias frente a la gestión de residuos, que habitualmente se presenta en forma de pirámide, como puede observarse en la figura 1. Con respecto a la incineración de residuos existe una discusión sobre sus bondades y es por esto que algunos prefieren situarla en el extremo superior como última alternativa.

Figura 2.4 Pirámide de Jerarquía en la Gestión de Residuos Solidos



Fuente: (Pablo, 2019)

Los plásticos han generado muchas mejoras en la calidad de vida de las personas: transportando agua potable a las viviendas, facilitando el acceso masivo a la salud y evitando la contaminación de los alimentos. La restricción total del uso del plástico no parece ser una opción, aunque el Parlamento Europeo aprobó recientemente una prohibición parcial, enfocada en los plásticos de un solo uso (Pablo, 2019).

2.13. POLÍMEROS

Los polímeros son macromoléculas que están constituidas por “eslabones” orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes en reacciones denominadas reacciones de polimerización. La reacción de polimerización se efectúa en un reactor donde se incorporan los monómeros y otros componentes o catalizadores que se requieren para obtener cadenas largas de polímeros. (Crudo, 2019)

El polímero se conforma a partir de pequeñas moléculas llamados monómeros, que se combinan mediante reacciones de polimerización. La fusión de los monómeros forma una estructura de constitución repetitiva en el polímero a lo largo de toda la molécula, y se le conoce como unidad constitucional repetitiva (ucr) o unidad monomérica. (V. C. J., 2019)

La polimerización puede ser de 2 tipos: la polimerización por adición y condensación usada, por ejemplo, para la fabricación del poliéster y la polimerización de crecimiento en cadena y etapas que se utiliza en los derivados del petróleo para la creación del plástico. (V. C. J., 2019)

2.10.1. Procesos de polimerización

Los procesos de polimerización normalmente se dividen en dos grandes grupos, estos son: reacciones de adición y reacciones de condensación; o también se los conoce como polímeros de reacción por etapas y polímeros de reacción en cadena. Dependiendo del proceso de polimerización, se obtienen los polímeros de adición y los polímeros de condensación. (V. E. M., 2021)

En la polimerización por condensación se producen reacciones químicas sencillas entre moléculas que poseen grupos funcionales. El proceso de polimerización ocurre cuando los monómeros se unen unos con otros siempre en el mismo orden. Las reacciones de polimerización continúan hasta que se haya logrado reaccionar la mayoría de los reactivos dispuestos, permitiendo que se establezca un equilibrio mediante el control de la temperatura y las cantidades de los reactivos y los productos (Mancilla, 2012).

Existen diversos procesos para unir moléculas pequeñas con otras para formar moléculas grandes. Su clasificación se basa en el mecanismo por el cual se unen estructuras monómeras o en las condiciones experimentales de reacción.

Mecanismos de polimerización. La polimerización puede efectuarse por distintos métodos a saber:

2.10.2. Polimerización por adición

- Adición de moléculas pequeñas de un mismo tipo unas a otras por apertura del doble enlace sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización de tipo vinilo.).
- Adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo unas a otras por apertura de un anillo sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización tipo epóxido.).
- Adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo unas a otras por apertura de un doble enlace con eliminación de una parte de la molécula (polimerización alifática del tipo diazo.).
- Adición de pequeñas moléculas unas a otras por ruptura del anillo con eliminación de una parte de la molécula (polimerización del tipo a -aminocarboxianhidro.).
- Adición de birradicales formados por deshidrogenación (polimerización tipo *p*-xileno.).

2.10.3. Polimerización por condensación.

- Formación de poliésteres, poliamidas, poliéteres, polianhidros, etc., por eliminación de agua o alcoholes, con moléculas bifuncionales, como ácidos o glicoles, diaminas, diésteres entre otros (polimerización del tipo poliésteres y poliamidas.).
- Formación de polihidrocarburos, por eliminación de halógenos o haluros de hidrógeno, con ayuda de catalizadores metálicos o de haluros metálicos (policondensación del tipo de Friedel-Crafts y Ullmann.).
- Formación de polisulfuros o poli-polisulfuros, por eliminación de cloruro de sodio, con haluros bifuncionales de alquilo o arilo y sulfuros alcalinos o polisulfuros alcalinos o por oxidación de dimercaptanos (policondensación del tipo Thiokol).

2.10.4. Polimerización en suspensión, emulsión y masa

- polimerización en suspensión. En este caso el peróxido es soluble en el monómero. La polimerización se realiza en agua, y como el monómero y polímero que se obtiene de él son insolubles en agua, se obtiene una suspensión. Para evitar que el

polímero se aglomere en el reactor, se disuelve en el agua una pequeña cantidad de alcohol polivinílico, el cual cubre la superficie de las gotitas del polímero y evita que se peguen.

- Polimerización en emulsión. La reacción se realiza también en agua, con peróxidos solubles en agua pero en lugar de agregarle un agente de suspensión como el alcohol polivinílico, se añade un emulsificante, que puede ser un detergente o un jabón.

En esas condiciones el monómero se emulsifica, es decir, forma gotitas de un tamaño tan pequeño que ni con un microscopio pueden ser vistas. Estas microgotitas quedan estabilizadas por el jabón durante todo el proceso de la polimerización, y acaban formando un latex de aspecto lechoso, del cual se hace precipitar el polímero rompiendo la emulsión. Posteriormente se lava, quedando siempre restos de jabón, lo que le imprime características especiales de adsorción de aditivos.

2.2.9. Polimerización en masa

En este tipo de reacción, los únicos ingredientes son el monómero y el peróxido.

El polímero que se obtiene es muy semejante al de suspensión, pero es más puro que éste y tiene algunas ventajas en la adsorción de aditivos porque no está contaminado con alcohol polivinílico. Sin embargo, debido al gran tamaño de sus partículas no se dispersa en los plastificantes y no se usa para plastisoles (Textos Científicos, 2005).

Tabla 2.4 Comparación de los Sistemas de Polimerización

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MASA	Alto grado de pureza, Requiere equipos sencillos y Altos pesos moleculares.	Control de temperatura difícil (puntos calientes). Distribución de peso molecular ancha. Presencia de momento residual sin reaccionar. Alta viscosidad.
SOLUCION	Control de temperatura fácil. La disolución polimérica formada puede ser utilizada directamente. Control de peso molecular.	El disolvente causa reducción en el peso molecular y en la velocidad de reacción. Transferencia de cadena al solvente. Dificultades en la extracción del disolvente

EMULSION	Polimerización rápida. Obtención de polímeros con alto peso molecular. Fácil control de temperatura	Contaminación del polímero con agentes emulsionantes y agua.
SUSPENSIÓN	Reacciona todo el monómero, control de temperatura fácil. Obtención de polímero en forma de perlas. Se puede obtener materiales con baja T. Baja Viscosidad,	Contaminación del polímero con agentes estabilizadores y agua. La presencia del surfactante puede causar sensibilidad al agua. Requiere agitación continua.

Fuente: (Mancilla, 2012)

Tabla 2.5 Propiedades y Aplicaciones de las Tres Variedades para el Caso del PVC

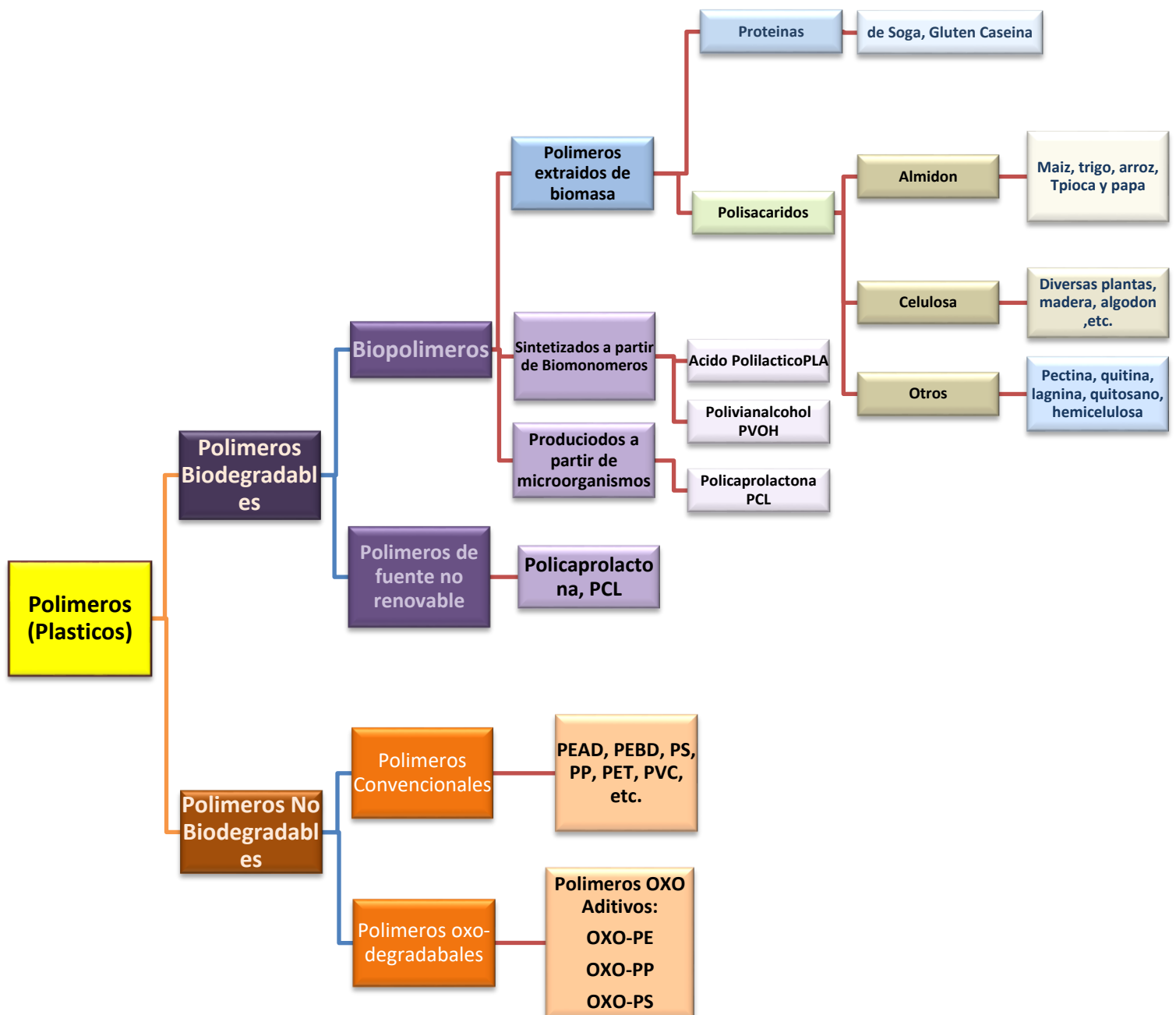
RESINA	TAMAÑO PARTICULA (MICRAS)	DE PESO MOLECULAR	APLICACIONES
Suspensión	45 – 400	24,000 a 80.000	calandreo extrusión moldeo
Masa	70 – 170	28.000 a 80.000	calandreo extrusión moldeo
Emulsión	1- 20	38.000 a 85.000	Plastisoles

Fuente: (Textos Científicos, 2005)

2.14. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Los polímeros se suelen clasificar principalmente según su origen o formación, según la composición de su estructura macromolecular, por sus propiedades y también considerando el uso que se le brinda. (Mancilla, 2012)

Esquema 2.1 Clasificación de Polímeros



Fuente: Elaboración propia

2.15. PLÁSTICO

2.12.1. Según su origen

- Polímeros Naturales. – como su nombre los indica, son polímeros de origen natural, producidas por organismos vivos que se emplean sin modificación. La composición molecular de estos polímeros es muy compleja y se los puede obtener de árboles (caucho natural) o también se pueden encontrar en las telas de araña (Mancilla, 2012).
- Polímeros Sintéticos.- estos polímeros, son macromoléculas obtenidas por procesos creados y diseñados principalmente por el ser humano, y se pueden dividir según su comportamiento al ser sometidos a fuentes de calor, estos son: Los termoplásticos, son polímeros de cadena larga que poseen la particularidad de reblandecerse cuando es sometido a calor y pueden ser moldeadas una y otra vez mediante la aplicación de presión para finalmente enfriarse y recuperar sus propiedades físicas (como ejemplo se puede nombrar al PE y PS). (Mancilla, 2012)
- Los termorrígidos, son polímeros que se descomponen cuando son sometidos a fuentes de calor, teniendo en cuenta de que estos no se pueden fundir ni se pueden solubilizar, quedando rígidos al ser enfriados por formar nuevos enlaces. (Mancilla, 2012)

2.12.2. Según la estructura de la cadena

Según (Illanes, 2015) y (V. C. J., 2019) los polímeros que se clasifican según la composición estructural de la cadena son:

- Lineal.- las secuencias de la unión de los polímeros siempre se repiten a lo largo de la cadena.
- Ramificada.- la cadena principal que constituye el polímero posee cadenas adicionales que se unen en sus laterales.
- Entrecruzada.- ocurre solo cuando se forman nuevos enlaces en las cadenas vecinas.
- Homopolímeros.- son los polímeros en la cual, cuyos monómeros que los conforman son iguales.

- Copolímeros.- estos polímeros están constituidos por dos o más monómeros diferentes.

2.12.3. Por sus propiedades:

Los polímeros que se clasifican según sus propiedades planteadas por (Todo En Polimeros, 2020) son los siguientes:

- Termoplásticos.- son polímero que a temperatura ambiente son duros, pero son blandos cuando se calientan.
- Elastómeros.- son polímeros que vuelven a su forma original después de estirarse. Normalmente, los elastómeros son polímeros amorfos que tienen un pequeño grado de enlaces cruzados.
- Fibras.- se generan cuando algunos polímeros se calientan, se los fuerza a pasar a través de pequeños agujeros y luego se enfrían. Las fibras resultantes muestran regiones cristalinas que están orientadas a lo largo del eje de la fibra, que le confieren una alta resistencia a la tracción.
- Resinas termoendurecibles.- en general, son polímeros que poseen varios enlaces cruzados, permitiéndoles ser muy duras e insolubles.

2.16. ORIGEN DE LOS PLÁSTICOS

El primer plástico fue la parkesina, inventada por el químico inglés **Alexander Parkes** en 1862. En esencia era nitrocelulosa ablandada con aceites vegetales y alcanfor. El estadounidense **John W. Hyatt** descubrió el papel fundamental del alcanfor en la plasticización y llamó a la sustancia celuloide.

El primer plástico completamente sintético fue la baquelita, creada a partir del fenol y el formaldehído por el químico belga, nacionalizado estadounidense, **Hendrik Baekeland** en 1910. La película de acetato se usó para envolver desde la Primera Guerra Mundial, y en 1935 empezó a usarse el triacetato para la fotografía. El PVC se produjo a partir de 1912 (fecha de la patente de los alemanes **Klatte y Zacharias**) mediante la polimerización del cloruro de vinilo, descubierto por Regnault en 1835. Un avance fundamental fue el descubrimiento de las macromoléculas por el químico alemán **Hermann Staudinger**, quien, en 1922, anunció que la goma estaba hecha de largas cadenas de unidades de isopropeno.

Su hipótesis encontró muchas críticas, pero enseguida demostraría la existencia de los grandes polímeros de poliestireno. El metacrilato se produjo desde 1928, y por esa época empieza, sobre todo en Alemania, la producción masiva del poliestireno.

La I.G. Farben fabricó poliuretano desde 1938. En Estados Unidos, el papel más destacado lo tuvo la compañía química Du Pont de Nemours, cuyas investigaciones condujeron a la producción industrial del nailon en 1938. El polietileno, inventado en Inglaterra, empezó a producirse comercialmente en 1939, las resinas epoxi en 1943, los policarbonatos en 1956, el kevlar en los años setenta.

En 1953, el químico alemán **Karl Ziegler** desarrolló el polietileno, y en 1954, el italiano **Giulio Natta** desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros. (Espinoza, 2014)

Esquema 2.2 Origen de los plásticos Proceso de Obtención



Fuente: Elaboración Propia

2.13.1. Uso y aplicaciones del plástico

El plástico se utiliza principalmente en la industria relacionada con el empaquetado, para ello se requieren grandes cantidades de rollos de plástico transparente de polietileno de baja densidad. De igual manera, se utiliza el polietileno de alta densidad en forma de película más gruesa que son principalmente las bolsas plásticas para la recolección de basura. Para empaquetado también se suele utilizar el polipropileno que actúa como barrera para evitar el paso del vapor de agua y se utiliza frecuentemente para elaborar alfombras. El poliestireno se usa como protector de estructuras frágiles, el policloruro de vinilideno es usado para aplicaciones donde se requiere hermeticidad, ya que no permite el paso de gases hacia dentro o hacia fuera del paquete. El policloruro de vinilo (PVC) se utiliza en tuberías y otros materiales de construcción como techos, ventanas y muchas más variedades. (Low - Tech Lab, 2021)

2.2.10. PET como residuos plásticos

La facilidad que tienen los plásticos para su disposición en el mercado, ha generado que cada vez se eleve su demanda y su utilización a nivel mundial, ya que su uso ha llegado a abarcar y ser utilizado para todo tipo de mercadería. Hoy en día, no podemos encontrar un solo producto que no sea cubierto o que no sea protegido por plástico. Esto, ha permitido que se genere un aumento progresivo en su uso, y como consecuencia se ha incrementado la generación residuos plásticos siendo difícil su tratamiento; y provocando una contaminación en el ambiente incontrolable. (Tecnología de Plástico, 2019)

2.13.3. El Reciclaje de los plásticos

Cuando se habla del reciclado del plástico, significa su recuperación y su reprocesamiento o reutilización cuando su vida útil ha culminado y ser utilizado en nuevas aplicaciones. (Tecnología de Plástico, 2019)

Es por ello que, apenas el 2% de los residuos reciclados se los reutiliza nuevamente para el fin por el que fue creado en este caso, para almacenar alimentos. La mayoría de los plásticos reciclados se reutiliza como materia prima para la creación de nuevos materiales, puesto que estos no pueden ser reutilizados para alimentos por las normas de calidad y sanidad que se exige hoy en día en el mercado mundial de alimentos. (Francisco, 2008)

Dependiendo del tipo de plástico, se pueden transformar a otros productos como por ejemplo, el las botellas PET se los transforma a fibras y estos posteriormente se los utiliza para formar prendas de vestir, los plásticos de PVC se los transforma para formar suelas de zapatos, el PS sirve como materia prima para la producción de concreto liviano, el PE se utiliza para obtener plástico film agrícola y finalmente el PP que se encuentra en autopartes se los transforma para obtener otros componentes automotrices. (Lopez, 2016)

Se debe acotar que el PET reciclado, llamado RPET no es apto para ser utilizado nuevamente en la fabricación de envases para bebidas y alimentos ya que no tolera las altas temperaturas con las que debe ser tratado, es por eso que se utilizan técnicas de “súper limpieza” para asegurar la utilización de los mismos.

Las botellas PET no se los puede depositar en rellenos sanitarios ni vertederos de basura debido a su impacto visual y su bajo grado de compactación, por lo que conllevaría que un relleno sanitario se sature rápidamente. (Lopez, 2016)

El reciclaje del PET tiene múltiples ventajas y consecuencias: (Lopez, 2016)

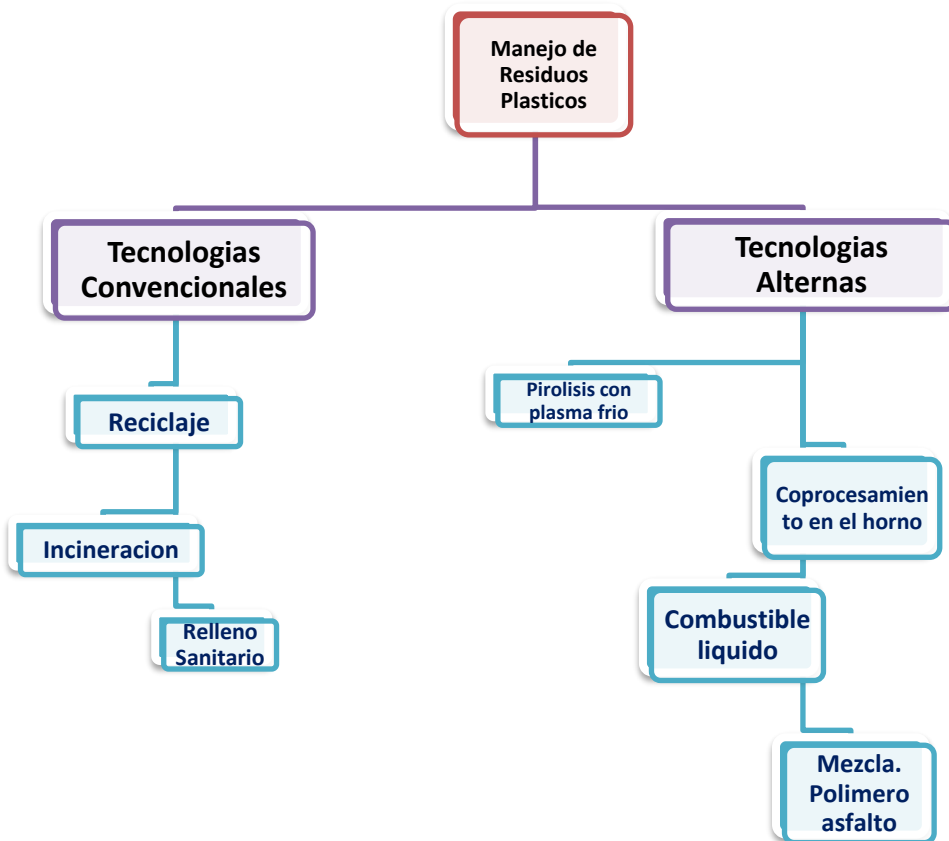
- Conservación de materias prima.- reduce la necesidad de materia prima petroquímica virgen.
- Conservación de PET reciclado (rPET) en un equivalente virgen – menos energía.
- Menor uso de energía – menos emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂).

2.13.4. Métodos de reciclado de residuos plásticos

Los métodos más conocidos relacionados al reciclado de los residuos plásticos son:

- Reducción en la fuente, Primarios, Secundarios, Terciarios y Cuaternarios.

Esquema 2.3 Manejo de Residuos Plásticos



Fuente: Elaboración propia en base a (Andres Flores, 2021)

2.2.11. Reducción en su fuente

La reducción en la fuente se refiere a las decisiones o cambios que deben adoptar las industrias quienes crean el envase con el fin de generar menos emisiones, utilizando menos recursos energéticos, o materia prima. Otra opción, es el uso de materia prima alternativa para obtener envases que se degraden en menos tiempo o que tengan menor densidad pero que sean resistentes. Este método se puede emplear en las industrias

petroquímicas que fabrican el polímero, también en las industrias quienes transforman el polímero a plástico para los diferentes usos. De igual manera, se lo puede ejecutar en la industria diseñadora del envase final, quienes dan la forma, volumen o densidad, dependiendo del producto que va a contenedores. (Trinchera, 2018)

En otras palabras, la reducción en la fase productiva, se refiere al desarrollo tecnológico en el que se busca ocupar menos materia prima, pero manteniendo siempre las propiedades físicas de resistencia, característico de los envases plásticos.

2.2.12. Reciclado mecánico o tratamiento primario

El reciclado mecánico consiste en operaciones o procesos mecánicos por las que los plásticos son sometidos; como por ejemplo el lavado de los envases, con el fin de obtener un producto similar reciclado, manteniendo siempre sus características y propiedades para las que fue creada. Esta opción se lo practica principalmente en plantas encargadas de producción y transformación de plásticos, pero se lo practica en un porcentaje muy bajo. (Trinchera, 2018)

2.2.13. Tratamiento secundario

Este tratamiento es el que actualmente se utiliza en mayor porcentaje especialmente en la industria automotriz. Consiste en aprovechar las propiedades de los termoplásticos, considerando que se pueden fundir con la temperatura, y poder obtener nuevos productos para diferentes usos, aunque se debe aclarar que solo el 20% de los plásticos se pueden reciclar de esta forma y que su pureza es inferior al plástico original. (Trinchera, 2018)

2.2.14. El reciclado terciario o reciclado químico

Este método consiste en aprovechar los componentes constitutivos del plástico llamado monómeros y transformarlos en un hidrocarburo. El producto obtenido puede ser utilizado para obtener nuevos polímeros o se pueden aprovechar en la industria petroquímica. El método de reciclado químico consiste en transformar el plástico mediante transformación química o térmica, dependiendo de qué producto se desea obtener y el tipo de plástico a utilizar. (Trinchera, 2018)

2.2.15. El reciclado cuaternario

Este método consiste en recuperar el poder energético del plástico mediante su incineración. Actualmente este proceso es muy cuestionado debido a conceptos de daños medioambientales causado por las emisiones generadas. (Estrucplan, 2004)

2.2.16. Reciclaje químico

Es el proceso mediante el cual, ocurre la descomposición de los materiales poliméricos de los plásticos, permitiendo recuperar sus componentes iniciales de partida. (Estrucplan, 2004)

El reciclaje químico o de materia prima es una serie de etapas, en las cuales las moléculas que constituyen a los polímeros son rotas o craqueadas, para nuevamente obtener sus materiales iniciales como los monómeros. Se usa para producir productos hidrocarbonados que pueden ser utilizados en la producción de nuevos polímeros, productos químicos refinados o combustibles. (Estrucplan, 2004)

Esta alternativa de reciclado conduce a un amplio número de productos, dependiendo de los factores físicos en las que se trabaje (agente despolimerizante, temperaturas de reacción, presión). Reportándose el uso de esta tecnología con el fin de la obtención de los materiales de partida para la regeneración del polímero y manufactura de productos especiales de baja o media masa molecular (polioles), usada en la síntesis de poliuretanos, resinas de poliéster, aditivos para varias aplicaciones, entre otros. (Estrucplan, 2004)

Existe una variedad de tratamientos químicos que pueden incluirse en esta categoría como la despolimerización química, pirólisis, hidrogenación, gasificación, el craqueo térmico y la conversión catalítica: (Estrucplan, 2004)

- **Pirólisis:** es un proceso térmico en la cual el craqueo de los plásticos o polímeros se lo realizan en ausencia de oxígeno, pudiendo obtener hidrocarburos con una alta pureza y que se pueden reprocesar en refinerías.
- **Hidrogenación:** trata de un proceso en la cual los plásticos reciclados son procesados en altas temperaturas en presencia de hidrógeno, permitiendo que las moléculas se rompan, obteniendo un petróleo sintético útil para refinerías y plantas petroquímicas. Para este proceso no es necesario la clasificación de los plásticos.

- **Gasificación:** es un proceso térmico, en donde sus reacciones de despolimerización se los realiza con un agente gasificante como el oxígeno en bajas concentraciones, permitiendo que los plásticos tengan una combustión incompleta para poder obtener principalmente gases como CO_2 , CO , metano entre otros, los cuales se pueden condensar y obtener un hidrocarburo o bien utilizarlo para generar electricidad mediante motores.
- **Quimiolisis:** es un proceso que se basa en la aplicación de procesos de hidrólisis, glicolisis o alcoholisis para reciclarlos y procesarlos para obtener sus componentes monomérico para posteriormente reprocesarlos y obtener nuevos plásticos. En este proceso se utilizan plástico que estén compuestos por poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas.
- **Metanólisis:** son procesos que requieren de sistemas muy sofisticados, los cuales se basan en la despolimerización del PET mediante reacciones con metanol para separar sus componentes básicos como el etilenglicol y demetiltereftalato y que se pueden nuevamente repolimerizar para obtener un tipo de resina puro.

Estudios realizados aseguran que los componentes monomérico que se obtienen en los diferentes procesos del reciclado químico son altamente puros y se pueden reprocesar para obtener nuevas botellas PET. (Coñero Alonso, 2010)

2.17. PIROLISIS DE PLÁSTICOS

La pirolisis es aquel en el que se produce la degradación de la biomasa por efecto del calor sin la presencia de oxígeno, es decir, en una atmosfera completamente inerte, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión (Ministerio Para la Trancisión Ecológica, 2010).

Es un proceso de conversión termoquímico en la cual se encuentran distintos tipos como la pirólisis lenta, pirólisis rápida y pirólisis flash. Con base en la velocidad o rampa de calentamiento, la pirólisis puede ser clasificada como lenta o rápida. Se considera lenta cuando el tiempo, tcalentamiento, requerido para calentar el combustible a la temperatura de la pirólisis es más largo que el tiempo de reacción característico de la pirólisis, y viceversa (Luna, 2019).

- **Pirólisis lenta:** tcalentamiento>>tr
- **Pirólisis rápida:** tcalentamiento<<tr

En la siguiente tabla. Muestra los diferentes tipos de pirólisis en resumen con sus principales características que las distinguen una de otra.

Tabla 2.6 Rango de los Principales Parámetros de Operación y Productos para los Diferentes Tipos de Pirolisis

Pirólisis	Tiempo de residencia	Rampa de calentamiento	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula (mm)	Presión (MPa)	Productos
Carbonización	Horas - días	Muy lenta	<400	-	0.1	Carbón
Lenta (Convencional)	5-30 (min)	Lenta-media 0.1-1.0 (°C/s)	<600	5-50	0.1	Gas, líquido y carbón
Rápida	0.5 - 10 (s)	Rápida 10-200 (°C/s)	650	<1	0.1	Aceites
Flash Líquido Gas	<1 (s)	Muy rápida >1000 (°C/s)	- <650 - >650	<0.5	0.1	Aceites Químicos y gas
Ultra-rápida	<0.5 (s)	Muy rápida	1000	-	0.1	Químicos y gas
Vacío	2 - 30 (s)	Media 0.1 – 1.0 (°C/s)	400	-	<0.01	Aceites
Hidro-pirólisis	<10 (s)	Rápida 10-300 (°C/s)	<500	-	5-20	Aceites
Metano - pirólisis	<10 (s)	Rápida	>700	-	~ 0.3	Químicos

Fuente: (Luna, 2019)

2.14.1. Pirolisis lenta

La pirolisis lenta o también conocida como pirólisis convencional, este proceso se caracteriza esencialmente por moderadas rampas de calentamiento (~ 20 °Cmin – 100 °Cmin) y temperaturas (450 – 600 °C) con una generación de productos en proporciones significativas obteniendo sólidos, líquidos y gases. Cuando las condiciones de operación de

tiempo de residencia muy prolongado, que puede durar varias horas e incluso días en completarse, y una baja temperatura ($\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), se provee un ambiente que promueve a que las reacciones secundarias se completen, favoreciendo la generación de carbón como principal producto obtenido y se conoce a este proceso como carbonización.

El proceso de pirolisis lenta convierte los residuos lignocelulosicos en productos de valor agregado como biocarbon, bio-combustible y gas. En este trabajo se evaluó el rendimiento y el potencial energético teórico de estos coproductos como fuente de energía renovable (Scielo, 2020).

2.14.2. Pirolisis rápida

La pirolisis rápida es un proceso por el cual la biomasa es velozmente calentada a alta temperatura en ausencia de oxígeno. Después del enfriamiento y la condensación se forma un líquido marrón llamado “bio-petróleo”, junto con subproductos como carbón y gas.

Este tipo de pirólisis se caracteriza principalmente por la alta transferencia de calor, cortos tiempos de residencia, tamaño de partícula fino, elevada rampa de calentamiento y rápido enfriamiento de gases favoreciendo al alto rendimiento de producto líquido. Se enfoca en la producción de aceites, ya que domina sobre el rendimiento de los productos gaseosos y el residuo sólido. El objetivo principal de la pirólisis rápida es llevar el material a la temperatura a la cual el craqueo térmico tome lugar y a su vez minimice el tiempo de exposición el cual favorece a la formación de residuo sólido, por lo que el alto nivel de rampa de calentamiento convierte al material en producto líquido antes de que pueda reaccionar para formar residuo sólido no deseado (Luna, 2019).

2.14.3. Ventajas y desventajas de la pirolisis

Ventajas:

- Generación de productos gaseosos, líquidos y sólidos a partir de desecho.
- No se requiere limpieza de gases de combustión.
- Notable reducción del volumen de desecho ($< 50 - 90\%$).
- Costo capital es bajo (comparado con el de la incineración).
- Obtención de combustible almacenable y transportable.
- Problemática ambiental de los rellenos sanitarios y la emisión de gases de efecto invernadero es reducida.

- Es un proceso deseable para la obtención de energía a partir de residuos sólidos urbanos.
- Los productos son fácilmente comerciables.
- Posibilita una generación más eficiente de energía eléctrica.
- La materia prima no requiere algún pre tratamiento especial.
- Flexibilidad del tipo de material a procesar y condiciones de operación.
- Productos con bajo contenido de azufre y gases NOX.
- Proceso configurable acorde a los resultados deseados.
- Obtención de materia prima para la fabricación de químicos.

Desventajas:

- Elevados consumos de energía.
- Tecnología y mantenimiento costoso.
- La viscosidad del líquido pirolítico dificulta su transportación y combustión.
- Debido a la baja conductividad térmica del plástico y que es un proceso endotérmico, se requiere más temperatura para llevar a cabo la descomposición del material (mayor energía requerida para que el proceso tenga lugar).
- Requiere el secado del material previo a su procesamiento.

2.14.4. Avances en el estudio de pirólisis al polietileno de alta densidad

Debido al aumento en demanda de combustibles y a la creciente problemática de contaminación por desechos plásticos, se ha buscado alternativas para combatir estos temas de la actualidad, la pirólisis ha resultado ser una potencial y atractiva tecnología siendo una prometedora opción a implementar para solucionar estas problemáticas. Los plásticos, en particular el polietileno de alta densidad que se estudia en esta investigación es un polímero que se caracteriza por ser de larga cadena lineal y sus propiedades mecánicas lo convierten en un potencial candidato a ser ampliamente utilizado en la fabricación de envases. Además, es derivado del petróleo y su monómero consiste en carbono e hidrógeno, por lo que su descomposición recae en ser un producto hidrocarburo de alto contenido energético, ideal para ser usado como combustible.

Utilizaron un reactor de lecho de arena fluidizado para realizar el estudio de pirólisis del HDPE. El rango de temperatura que se empleó varió en 5 distintos niveles, partiendo de los

500 °C hasta alcanzar los 900 °C, utilizando una masa muestra de entre 0.2 y 3 gramos y helio al 99.999 % de pureza como gas de arrastre con un flujo de 3.6 cms, el tamaño de partícula fue de 5 mm. En los experimentos llevados a cabo a 500 °C, el rendimiento total de ceras y brea fue del 97.58 %. A temperaturas alrededor de los 700 °C aumenta el rendimiento de volátiles, mientras que a 900 °C disminuye y la producción de residuo sólido aumenta. El rendimiento total de gas obtenido aumenta en el rango de 500 – 800 °C de 5.7 % al 96.5 %.

Por su parte, efectuaron el estudio de pirólisis aplicada a poliolefinas y mezcla de plásticos en un reactor de lecho fluidizado, la alimentación del material era de 1 – 3 kg/h en un rango de temperaturas de 600 °C hasta 800 °C. A 600 °C los productos que predominaban eran ceras y aceites alifáticos, a 700 °C fue el punto de máximo rendimiento de producto gaseoso. El rendimiento de gas y aceite a 600°C fue 31 % y 41 %, respectivamente. Por otro lado, a 700 °C el gas producido tuvo un rendimiento del 76 % al tanto que el aceite fue de 20 %.

Analizaron la descomposición térmica del polietileno de alta densidad en un reactor de lecho fijo utilizando una rampa de calentamiento de 25 °C/min hasta la temperatura final de 700 °C, el gas de acarreo empleado fue nitrógeno con una velocidad de flujo de 200 cm³/min. El rendimiento de cera obtenido fue de 79.72 %, mientras que de producto gaseoso fue de 16.77 %, el residuo sólido producido fue mínimo.

Investigaron la influencia de la temperatura y el tiempo de residencia en la distribución de producto y composición del gas de la pirólisis de HDPE en un reactor de lecho fluidizado. Las pruebas se efectuaron a cinco diferentes temperaturas: 650, 685, 730, 780 y 850 °C. Nitrógeno fue usado como gas de acarreo a una velocidad de flujo que varió en el rango de 0.72 – 6.91 l/min. El tamaño de partícula del plástico fue de 0.225 mm y la duración de las pruebas era entre 20 y 25 minutos. A 640 °C el principal producto era cera con un rendimiento del 79.7 %, mientras que el del gas fue de 17.5 %. El rendimiento más alto de gas se logró a 780 °C con 86.4 % y un 9.6 % de aceite. Se concluyó que, de 750 a 780 °C, con baja velocidad de flujo y mayor tiempo de residencia, son las mejores condiciones para la pirólisis de HDPE desde el punto de vista de utilizar el contenido energético del gas.

[92] estudiaron la degradación térmica del HDPE en un reactor de lecho fluidizado usando nitrógeno como gas de acarreo a unas temperaturas de 640, 700, 730, 780 y 850 °C, el tamaño de partícula era de 0.225 mm y la alimentación era de 3 – 4 g/min. Se obtuvo mayor cantidad de ceras y aceites en los experimentos realizados a las temperaturas de 640 °C y

700 °C, con rendimientos de 68.5 % y 39.6 %, respectivamente. Para el caso del gas, se observó un considerable aumento en el rango de 640 – 730 °C cambiando de 33.5 % a 91.7 %.

Realizaron la pirólisis térmica de HDPE con el objetivo de optimizar el rendimiento de producto líquido en un rango de temperatura de 400 °C a 550 °C. La dimensión del material utilizado era de un área de 1 cm² con muestras de un tamaño de 20 gramos, mismas que fueron colocadas dentro de un reactor semi-batch con una rampa de calentamiento de 20 °C/min operando en un flujo de gas con una velocidad de 40 mL/min llevando a cabo la reacción de descomposición desde una temperatura de 35 °C hasta los 600 °C. La reacción de descomposición comenzó a los 390 °C y terminó a los 490 °C. A los 450 °C se dio la mayor producción de aceite con 23.96 % y un rendimiento de gas del 72.24 % con una duración de 290 minutos. Por su parte, la mayor generación de gas fue de 84.2 % a los 400 °C y una duración de 760 minutos. La mayor producción de cera fue a los 550 °C con 71.22 % y 54 minutos de duración la prueba.

Estudiaron la pirólisis catalítica continua de HDPE en un sistema de reacción de dos pasos que involucra un reactor de lecho cónico seguido de un reactor de lecho fijo. La muestra de plástico era en pellets de 4 mm con tamaño de muestra de 0.2 – 5 g/min utilizando nitrógeno como gas de acarreo. La pirólisis de HDPE fue a 500 °C en el primer paso proporcionando un flujo de volátiles promedio del 90 %, mientras que en el reactor de lecho fijo se llevaron a cabo corridas experimentales a temperaturas entre 350 °C y 550 °C, siendo ceras el principal producto con un 67 %.

En 2013 analizaron en un reactor semi-batch con agitación el efecto de los parámetros de: temperatura de degradación, tipo de gas de acarreo, velocidad de agitación y relación catalizador/polímero (%), en el rendimiento y composición del producto líquido. La masa de HDPE utilizada fue de 100 gramos, el flujo de acarreo de 300 mL/min, FCC como catalizador, la rampa de calentamiento de 25 °C/min hasta la temperatura final, la cual fue analizada a cuatro distintos niveles: 420, 450, 480 y 510 °C. Se concluyó que las condiciones óptimas de operación para este sistema fueron a una temperatura de 450 °C, una relación de catalizador/polímero del 20 %, utilizando nitrógeno como gas de acarreo y la velocidad de agitación dando un mejor rendimiento a 50 rpm. El rendimiento del producto condensado fue de 91.2 %, el no condensado de 4.1 % y el residuo sólido de 4.7 %.

En 2015 [96] estudiaron la pirólisis para transformar al HDPE en productos combustibles en un rango de temperatura de 250 a 400 °C, con una separación de 50 °C entre cada una de

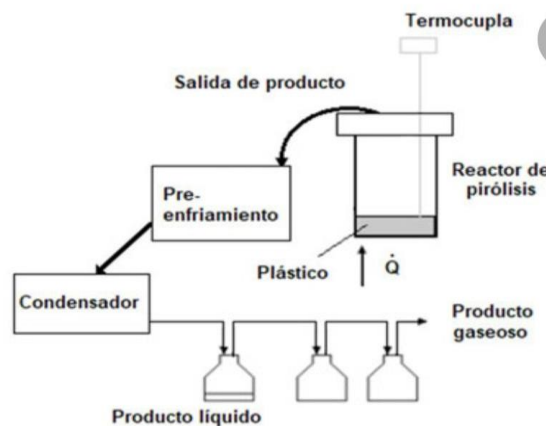
las pruebas. El gas inerte utilizado fue nitrógeno sin barrido, la muestra de 2 gramos y el reactor empleado fue un micro reactor de acero. La temperatura óptima para maximizar la obtención de productos líquidos fue a los 350 °C dando un rendimiento de volátiles del 98.12 %, de los cuales 80.88 % eran condensables y el 17.24 % eran no condensables, el residuo sólido fue del 1.88 % (Luna, 2019).

2.18. PIROLISIS DE PLÁSTICOS

La pirolisis del plástico es una manera de destilación que permite transformar residuos plásticos en carburante. Los residuos son calentados a más de 400°C en un primer depósito donde se convierte en gas. Según las temperaturas de condensación (refrigeración) de este gas, se obtiene diferentes tipos de carburantes: entre 390 y 170°C, el gas condensado produce gasóleo (diésel) entre 210 y 20°C, el gas condensado produce gasolina por debajo de los 20°C queda gas de residual incondensable que pueda servir para alimentar el calor del tratamiento.

En el marco de este prototipo, se utiliza únicamente polipropileno (PP) y/o polietileno de alta densidad (PEAD) y de baja densidad (PEBD). Cabe destacar que cuanto más polipropileno, más gasolina, de igual manera que, cuanto más polietileno, mas diésel. Aunque es factible mezclar ambos (Low - Tech Lab, 2021).

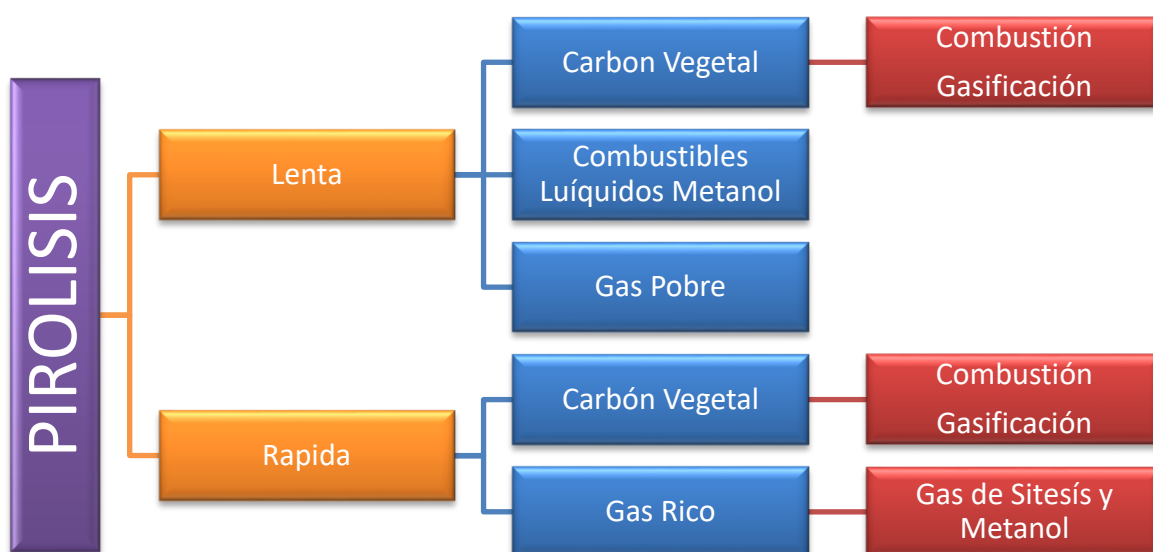
Esquema 2.4 Proceso de Pirolisis



Fuente: (Sebastian Amar Gil, 2019)

Generalmente, el proceso de pirolisis requiere del control de algunos factores para lograr una correcta reacción en el reactor de gasificación como son: la composición estructural de la materia prima, tipo de gasificador utilizado, temperatura en la que se desarrolla el proceso, el tiempo en el que la materia prima es sometida a dicha temperatura y la velocidad de condensación de los gases. (M., 2017)

Esquema 2.5 Tipos de Pirolisis



Fuente: Elaboración propia

2.15.1. Factores que influyen en la pirolisis

Durante el proceso, la cantidad de componentes tanto gaseosos como líquidos puede variar desde un 25 a un 70% en peso aproximadamente. Esta cantidad depende de una serie de factores y variables que se mencionan a continuación:

2.2.17. Temperatura y velocidad de calentamiento

El carbón sufre una gran variedad de cambios tanto físicos como químicos cuando se incrementa la temperatura desde la ambiente hasta el final de la última fase, 1000 °C aproximadamente. Si la temperatura de reacción es demasiado baja, las reacciones de descomposición no se producirán con la extensión debida y la obtención de gases y alquitranes será incompleta y, por tanto, el rendimiento en estos productos será bajo. A temperaturas de reacción altas, se producirán rupturas térmicas de los alquitranes y será por tanto pequeño el rendimiento en líquidos.

Así pues, existe una temperatura idónea a la cual se produce el máximo rendimiento. A continuación se muestra una tabla con los cambios y reacciones que se llevan a cabo según rangos de temperatura:

2.2.18. Materia prima

Es primordial tener en cuenta el tipo y la calidad de la materia prima que se utiliza en el proceso de pirolisis, pues de estos depende la eficiencia y la calidad del producto obtenido.

2.2.19. Temperatura

La temperatura determinara el grado o la velocidad de descomposición térmica de los plásticos, El proceso de pirolisis de los plásticos empiezan a partir de los 300 °C. Pues a temperaturas mayores a 600 °C se obtienen mayor cantidad de moléculas gaseosas, mientras a temperaturas menores de 400 °C se va a obtener líquidos más viscosos. (Castillo, 2016)

2.15.1.4. Presión

La presión es un punto muy significativo, ya que este factor afecta, tanto al rendimiento del proceso como a su producto final. Los puntos de ebullición de los productos de pirolisis se incrementan al someterse a presiones altas, por lo tanto, bajo un ambiente presurizado, los hidrocarburos pesados son craqueados en lugar de ser evaporados. Se debe considerar que, mientras mayor presión se genere mayor energía se requiere. En el caso de pirolisis, los altos puntos de presión incrementan la producción de gases no condensables y disminuye el rendimiento en la producción de productos líquidos. (Castillo, 2016)

2.2.20. Velocidad de calentamiento

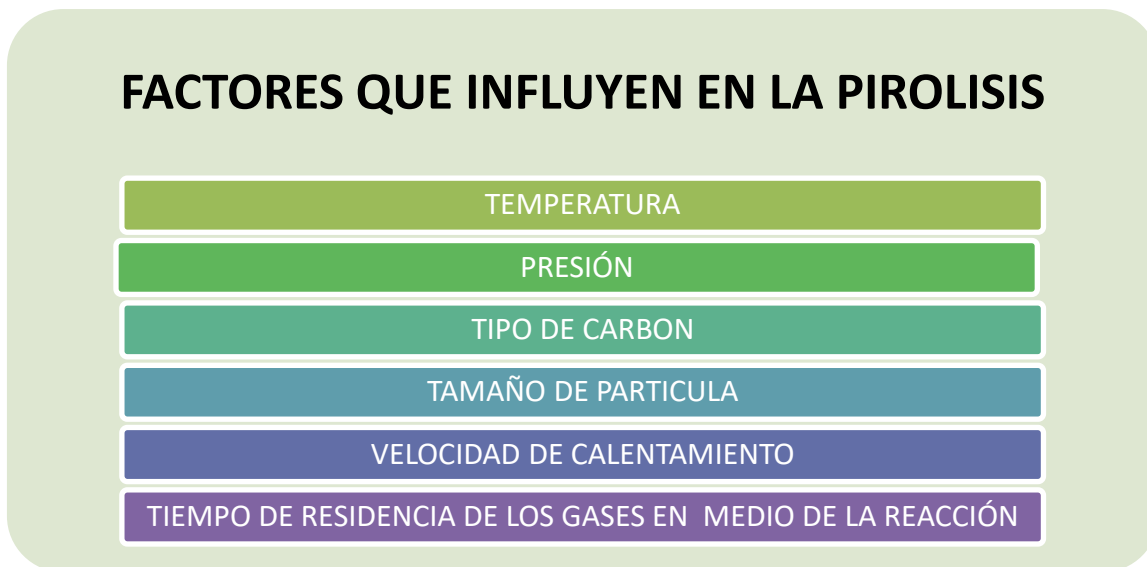
Se pueden realizar distintos tipos de procesos de pirólisis, los cuales están ligados a la velocidad de calentamiento para llegar a la temperatura requerida y el tiempo de residencia, los cuales se puede clasificar tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.7 Tipos de Pirólisis en Función del Tiempo de Residencia, la Velocidad de Calentamiento y Temperatura y los Productos Obtenidos de Interés en Cada una de Ellos.

PROCESO	TIMEPO DE RESIDENCIA	VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO	TEMPERATURA (°C)	PRODUCTOS
CARBONIZACION	Días	Muy lenta	400	Bio-char
CONVENCIONAL	5-30 min	Lenta	600	Gas, líquido y biochar
RAPIDA	0,5-5 s	Muy rápida	650	Bioaceites
FLASH (LÍQUIDO)	< 1 seg	Rápida	< 650	Bioaceites
FLASH (GAS)	< 1 seg	Rápida	< 650	Químicos y gas
ULTRARAPIDA	< 0,5 seg	Muy rápida	1000	Químicos y gas
VACIO	2-30 seg	Media	400	Bioaceites
HIDROPIRÓLISIS	< 10 seg	Rápida	< 500	Bioaceites
METANOLISIS	< 10 seg	Rápida	>700	Químicos

Fuente: (Castillo, 2016)

Esquema 2.6 Factores que Influyen en la Pirolisis



Fuente: Elaboración Propia.

2.15.2. Factores que influyen en la cantidad y características de los productos finales.

La variación de los parámetros de reacción en un proceso pirolítico, desempeña un papel determinante en la composición y proporción de los productos obtenidos. Factores tales como temperatura, rampa de calentamiento, tamaño de partícula, tiempo de residencia, presión de operación, gas de arrastre y su flujo, han sido estudiados con anterioridad. A continuación, se muestran los principales parámetros evaluados y su relación con los productos finales (Luna, 2019).

2.2.21. Temperatura

La temperatura de pirólisis se considera un factor muy importante, debido a que determina la velocidad de descomposición térmica, reacciones secundarias del proceso y, sobre todo, desempeña un papel importante en la distribución de producto e influye tanto en la calidad (composición) como en la cantidad (rendimiento) de los productos.

Modificando la temperatura final y la rampa de calentamiento, se varían los rendimientos relativos de los productos sólidos, líquidos y gaseosos de la pirólisis. La relación que existe en las proporciones de residuo sólido, al igual que el producto líquido y gaseoso, es dependiente de la temperatura. A bajas temperaturas ($< 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) se produce una mayor

cantidad de residuo sólido, mientras que a mayor temperatura se genera una menor cantidad; sin embargo, su poder calorífico aumenta.

A temperaturas de nivel medio (400 – 600 °C) se impide la degradación completa del polímero, lo que conduce a la producción de hidrocarburos de cadena larga. El producto condensable obtenido a este nivel de temperatura es un líquido viscoso / cera debido al craqueo incompleto del plástico, lo que da lugar a hidrocarburos de masa molecular intermedia. Bajo estas condiciones, se requieren tiempos de reacción mayores, favoreciendo a las reacciones de craqueo secundario encargadas de generar un producto volátil.

Por otra parte, cuando se utilizan temperaturas en el rango de los 450 – 500 °C se producen hidrocarburos insaturados tales como 1-noneno, 1-undeceno y 1-trideceno. Si las temperaturas del proceso aumentan por encima de los 600 °C, se obtienen productos condensables con la presencia de aromáticos en su composición química, como los BTX (benceno, tolueno y xileno). Se ha observado también que la fracción de compuestos >C13 disminuye conforme aumenta la temperatura, porque la formación de moléculas pequeñas se ve favorecida por dos procesos; en el primero, el aumento de la energía térmica incrementa la ruptura de enlaces en el polímero, promoviendo un aumento en la fracción C10–C13; en el segundo, durante la etapa de residencia, se presenta un craqueo secundario de volátiles, resultando en un mayor rendimiento de compuestos gaseosos.

Por otra parte, se ha observado que el grado de insaturación de los productos aumenta con la temperatura, por lo que la relación C/H incrementa y, como consecuencia, los productos gaseosos se vuelven más ricos en H₂, favoreciendo la producción de etano (C₂H₆), propano (C₃H₈), butano (C₄H₁₀) y metano (CH₄). Adicionalmente, el rendimiento y la composición (calidad) del líquido también se ven afectados con la temperatura. Si la temperatura es inferior a 700 °C, el aceite obtenido estará compuesto en su mayoría por alifáticos, es decir, por especies como alquenos y alcanos. Las temperaturas más elevadas favorecen al craqueo secundario, a las reacciones de condensación y a la formación de productos termodinámicamente más estables (es decir, aromáticos), lo que resulta en un líquido con un menor contenido de alifáticos de cadena corta e hidrógeno. En general se considera que los contenidos de carbono e hidrógeno son indicadores esenciales de la calidad del producto líquido. Para un producto líquido de alta calidad, el contenido de

carbono e hidrógeno debe ser alto, por otro lado, un elevado contenido de oxígeno reduce el poder calorífico del aceite.

En cuanto a la velocidad del proceso, se ha observado que a medida que incrementa la temperatura, la velocidad de reacción aumenta y el tiempo de reacción disminuye. Aproximadamente por cada 40 °C de aumento de temperatura, la velocidad de descomposición se duplica. La elevada temperatura favorece al fácil rompimiento de enlaces y, por ende, acelera la reacción y reduce el tiempo de reacción. Las elevadas temperaturas de operación y altas rampas de calentamiento mejoran la ruptura de enlaces y, por lo tanto, favorecen la producción de moléculas pequeñas.

También, conforme incrementa la temperatura, el grado de conversión aumenta. A altas temperaturas (> 600 °C) hay una mayor formación de gas, mientras que la producción de aceite y residuo sólido disminuye. Entre más elevada sea la temperatura, mayor el rendimiento de gas no condensable (C2–C4) a causa de las reacciones de craqueo secundarias y menor el rendimiento de producto líquido (C5–C9). A mayores temperaturas se produce el craqueo más fuerte de los enlaces C–C, que da lugar a un aumento de los hidrocarburos más ligeros con cadenas de carbono más cortas.

Como era de esperarse, a una menor temperatura se generan compuestos con largas cadenas de carbono (ceras y/o aceites), mientras que a elevadas temperaturas se genera, además de los compuestos de cadenas de carbono, un gas rico en hidrógeno. Esto tiene sentido debido a las energías de disociación, la separación o craqueo de los enlaces C–C requiere menos energía que los enlaces C–H, puesto que los enlaces C–H tienen una mayor energía de disociación, por unos 40 – 60 kJmol. Por lo tanto, los enlaces C–C se rompen a bajas temperaturas, mientras que los enlaces C–C y C–H se rompen a altas temperaturas.

En general se puede observar que, la pirólisis térmica de HDPE requiere altas temperaturas (> 450 °C), su principal descomposición ocurre en el rango de 400 – 500 °C [63], [104], esto se debe a que su estructura es una larga cadena lineal con baja ramificación y un alto grado de cristalinidad que conducen a propiedades de alta resistencia, asimismo por su excelente estabilidad térmica y baja conductividad térmica (~0.4 Wm·K). Un aumento de la temperatura de degradación conduce a un aumento de los productos líquidos y gaseosos y a una disminución de residuos.

La descomposición de plásticos poliolefínicos, como el polietileno, resulta en una mezcla de varios hidrocarburos que van desde metano hasta los hidrocarburos aromáticos, dependiendo de la temperatura a la que se produce la descomposición. El polietileno comienza a descomponerse a 292 °C en una atmosfera inerte. Sin embargo, la pérdida de peso extensa sólo ocurre a partir de los 372 °C. La producción de líquido aumenta hasta 600 °C y comienza a disminuir a partir de esta temperatura hasta 780 °C. La cantidad de cera disminuye con el aumento de la temperatura. El aumento de líquido alrededor de los 780 °C se debe a reacciones secundarias que generan compuestos aromáticos. Los volátiles de la descomposición del polietileno tienen tiempo suficiente para sufrir reacciones secundarias.

En resumen, la temperatura favorece la ruptura de moléculas complejas para dar lugar a otras más sencillas, cuanta más alta es la temperatura, mayor será el craqueo producido, por lo que se favorecerán los productos volátiles. A temperaturas menores de 400 °C se propicia la producción de sólidos, a temperaturas alrededor de los 500 °C, la mayor parte de productos son líquidos viscosos y ceras. A temperaturas mayores que 600 °C, se favorece la producción de pequeñas moléculas gaseosas simples, y a temperaturas superiores a 700 °C, el gas de síntesis es el producto principal. En efecto, a temperaturas superiores a 800 °C, las parafinas y olefinas más grandes producidas por la descomposición de los plásticos se craquean en H_2 , CO , CO_2 , CH_4 e hidrocarburos más ligeros. A temperaturas alrededor de 850 °C, la pirólisis de desechos plásticos produce casi exclusivamente aromáticos, C_2H_4 y CH_4 (Luna, 2019).

2.2.22. Rampa de calentamiento

La rampa de calentamiento controla la velocidad de las reacciones, la velocidad del proceso de descomposición y, en última instancia, favorece el rendimiento de un determinado producto final. El término “rampa de calentamiento” en este campo significa el aumento de la temperatura por unidad de tiempo.

Por sí sola, la rampa de calentamiento no define el producto, otros parámetros también son importantes. A una baja rampa de calentamiento y rápido flujo de gas de acarreo se puede reducir o incluso descartar la posibilidad de que ocurran reacciones secundarias, esto se debe a que la materia volátil dentro del reactor se calienta tan lentamente que no permite que se produzcan las reacciones secundarias antes de que sea expulsada del reactor.

Si se utiliza una baja rampa de calentamiento y un largo tiempo de residencia, la lenta remoción de los compuestos volátiles del reactor favorece al rendimiento de residuo sólido, combinado con una temperatura final baja el efecto es más visible. Sin embargo, a pesar de generarse mayor cantidad, el residuo sólido es menos reactivo. El proceso de carbonización de los desechos resulta en concentraciones reducidas de productos líquidos y gaseosos, que se consideran subproductos.

Las moderadas rampas de calentamiento en el rango de aproximadamente 20 – 100 °C/min y temperaturas máximas de 600 °C dan una distribución aproximadamente igual de aceites, residuo sólido y gases. Esto se conoce como pirólisis convencional o pirólisis lenta. Debido a las moderadas rampas de calentamiento y la lenta remoción de los productos de pirólisis del reactor, pueden producirse reacciones secundarias de los productos.

A medida que aumenta la rampa de calentamiento también incrementa el rendimiento del aceite combustible. Las rampas de calentamiento muy altas (alrededor de los 100 – 1000 °C/s) a temperaturas menores que 650 °C y con enfriamiento rápido, conducen a la formación de un producto principalmente líquido, a este proceso se le denomina pirólisis flash o rápida. El calentamiento y enfriamiento rápido provoca que los volátiles que se extraen de la pirólisis, se condensen antes de someterse a más reacciones, lo que evita la descomposición de los productos en gases, originando mayores rendimientos de aceite.

Las altas rampas de calentamiento mejoran la degradación de la materia prima, lo que ocasiona la disminución del residuo sólido, combinadas a una temperatura de 450 – 750 °C y mayor tiempo de residencia, incrementan el rendimiento de gases debido a las reacciones secundarias. Adicionalmente, aumentan tanto la temperatura como la velocidad de las reacciones, la velocidad máxima de descomposición también incrementa, a causa de una mayor energía térmica presente.

Debido a las propiedades de conducción térmica propias del material, el calentamiento de las partículas de plástico presenta una mejor distribución a bajos niveles de rampa de calentamiento, lo que conduce a una mejor transferencia de calor a las partes internas del plástico. El calentamiento más lento también causa un leve aumento de la producción de hidrocarburos más ligeros, a causa de un craqueo más profundo. Claramente, para proporcionar una mejor transferencia de calor en todo el plástico se requieren bajas rampas de calentamiento, debido a su baja difusividad térmica (Luna, 2019).

2.2.23. Tamaño de partícula

El tamaño de la partícula es un factor que se debe tener en consideración en el proceso de pirólisis, ya que controla la velocidad a la que se transfiere el calor a la materia prima y, dado que el plástico es mal conductor del calor, el tamaño de partícula es crítico para minimizar los problemas de transferencia de calor en el proceso y favorecer la producción de compuestos líquidos.

Las partículas más pequeñas contribuyen a una mayor área superficial, mejoran la transferencia de calor y masa y, por lo tanto, tienen velocidades de calentamiento más rápidas. Por este motivo, un tamaño de partícula más pequeño provoca mayores rendimientos de productos líquidos o gases ligeros y menos residuo sólido, debido a que las partículas más finas de materia prima ofrecen una menor resistencia al escape de gases condensables, por lo que salen con relativa facilidad a los alrededores antes de someterse a un craqueo secundario, lo que resulta en un mayor rendimiento de líquido.

Por otra parte, al utilizar tamaños de partícula más grandes, se prolonga el tiempo de residencia de la materia volátil en la partícula, debido a la mayor resistencia que ofrecen al escape del producto primario de la pirólisis, esto es útil si se busca favorecer las reacciones secundarias. Además, las partículas más grandes presentan una mayor resistencia a la transferencia de calor, ocasionando mayores gradientes de temperatura en la partícula, debido a que la distancia entre la superficie de la materia prima y su núcleo incrementa, lo que retarda el flujo de calor desde el extremo caliente al frío y, por lo tanto, la temperatura real dentro de la partícula es menor. Este gradiente de temperatura favorece la producción de residuo sólido, aumentando la generación conforme incrementa el tamaño de partícula. Adicionalmente, la cubierta de residuo sólido en la superficie de la partícula dificulta la liberación del material volátil que, en consecuencia, tendrá que cubrir una mayor distancia a través de esta capa, prolongando el tiempo de residencia, ocasionando más reacciones secundarias y formando más sólidos. La influencia del tamaño de partícula es una combinación de velocidades de calentamiento e interacción entre el material volátil y el residuo sólido, este último se produce cuando el material volátil se difunde desde el interior de la partícula al exterior.

En general, se prefieren partículas más pequeñas para la pirólisis debido a su calentamiento más rápido y uniforme. Sin embargo, partículas microscópicas pueden reducir el rendimiento del líquido en la pirólisis porque la descomposición de la materia prima ocurre

muy rápidamente con tiempo suficiente para reacciones secundarias en los vapores y, en consecuencia, incrementar el rendimiento de gas y una disminución en el rendimiento del producto líquido y residuo sólido. Además, un material muy fino puede ser removido de la zona de reacción antes de completar el proceso. El uso de partículas más grandes o pequeñas ocasiona un efecto adverso en el rendimiento líquido. La relación de carbono a hidrógeno muestra una tendencia creciente con la disminución del tamaño de partícula. Esto indica que la disminución del tamaño de partícula acelera el grado de pirólisis. Además, hay otros factores que afectan el proceso de pirólisis, tales como la pirólisis flash y rápida, que requieren un tamaño de partícula pequeño para la descomposición total de los desechos plásticos, estos tipos de pirólisis favorecen el aumento de la producción de aceite porque el tiempo de residencia es tan corto que no permite que ocurran reacciones secundarias.

El rendimiento de gas a partir del plástico es el más alto, lo que se atribuye a una estructura de cadena molecular más fácil de romper y a un mayor contenido de volátiles. Con el aumento del tamaño de partícula, la producción de gas tiende a disminuir y la producción de residuo sólido aumenta, por el contrario, cuanto menor sea el tamaño de partícula, menor será el rendimiento de residuo sólido y mayor será la calidad y el rendimiento del gas. Cuanto mayor es el contenido de carbono y cenizas, más pronunciado y evidente es el efecto del tamaño de partícula (Luna, 2019).

2.2.24. Tiempo de residencia

El tiempo de residencia de los materiales en la zona de reacción es otro parámetro importante. El tiempo de residencia difiere en varios estudios, en la pirólisis rápida o en el proceso de pirólisis continua se refiere a la cantidad promedio de tiempo de contacto que pasan las partículas de plástico en la superficie caliente interna a lo largo del reactor. Mientras que, en la pirólisis lenta y procesos batch, se define como la duración desde el momento en que el plástico comienza a calentarse hasta que los productos son removidos, o cuando termina el proceso. El efecto de tiempo de residencia es a menudo dominado por la temperatura, rampa de calentamiento, entre otros parámetros. La formación de los productos primarios, como los monómeros, se favorece con cortos tiempos de residencia, mientras que la generación de productos más termodinámicamente estables (H_2 , CH_4 , aromáticos, residuo sólido) por largos tiempos de residencia. En general, la conversión aumenta con el tiempo de residencia.

La producción de líquidos depende del tiempo de retención y no es proporcional al aumento de la temperatura de reacción, la cual marca principalmente el tiempo de reacción que se necesita. La optimización de los tiempos de residencia de los vapores, considerando las otras variables, puede ayudar a obtener un aceite de mejor calidad y mayores rendimientos. Un tiempo de residencia prolongado en la zona de reacción aumenta la conversión, debido a que se introduce energía térmica adicional en el reactor, lo que mejora las reacciones de craqueo de ceras y aceites, de manera que se obtiene una mayor cantidad de productos térmicamente más estables, como los hidrocarburos de peso molecular ligero, gas no condensable (como el metano y el hidrógeno) y residuo sólido.

El material continuaría craqueándose durante el periodo de enfriamiento si la temperatura no es muy baja, por lo tanto, un enfriamiento lento de los volátiles provenientes de un reactor a alta temperatura resultaría en un incremento en la producción de gas; por su parte, un enfriamiento rápido y profundo de los volátiles generaría más aceite combustible y favorece la separación efectiva de condensables y no condensables.

El tiempo de residencia afecta principalmente la composición del producto líquido y gaseoso, mas no afecta significativamente el rendimiento del residuo sólido. Aunque se ha observado que el incremento en el tiempo de residencia, conduce a ligeros incrementos en los productos sólidos, la principal diferencia encontrada, se orienta más a su calidad y características, al promover el desarrollo de micro y macro poros. Un tiempo de residencia más prolongado aumenta el tamaño de los poros del residuo sólido.

Un tiempo de residencia largo de los volátiles en el reactor favorece a que ocurran las reacciones secundarias, craqueando el aceite hacia la producción de gas y residuo sólido, así como productos térmicamente estables, aumentando la formación de aromáticos. Estas reacciones secundarias, en la degradación de plásticos por pirólisis, dependen del tiempo de residencia, si el objetivo es minimizarlas, se requiere una rápida remoción de los vapores de la zona de reacción.

Mantener el gas en el reactor durante un periodo de tiempo más largo contribuye a la re-polimerización de los componentes de la materia prima al darles suficiente tiempo para reaccionar, los vapores pueden experimentar reacciones adicionales, estas reacciones pueden ser craqueo, recombinaciones, re-condensación, ciclación y reacciones de aromatización. Comúnmente, para cambiar este parámetro, se varía el flujo del gas inerte. Adicionalmente, cuanto más largo sea el tiempo de reacción, mayor será el costo del proceso.

La temperatura y el tiempo de residencia tienen un efecto en la distribución del producto del craqueo térmico de HDPE. Mientras que los tiempos de reacción más largos favorecen mayores rendimientos de gas a temperaturas más bajas (420 – 480 °C), los tiempos de reacción más cortos favorecen mayores rendimientos de ceras/aceites. No obstante, el tiempo de residencia tuvo menos influencia a temperaturas superiores a 685 °C, debido a que la temperatura es el principal factor que influye a estas condiciones. Alrededor de los 500 °C se considera la temperatura más adecuada para llevar a cabo los experimentos dedicados a estudiar la influencia del tiempo en la pirólisis de residuos plásticos. El efecto del tiempo de reacción se ha investigado en el rango de 0 – 120 minutos; el tiempo de reacción se cuenta a partir del momento en que se alcanza la temperatura del experimento. Entretanto, la producción de aceite/cera aumenta de 0 a 30 minutos, alcanzando el valor más alto (alrededor de 70 % en peso) a los 30 minutos (Luna, 2019).

2.2.25. Gas de arrastre y flujo

La velocidad de flujo del gas de arrastre es uno de los parámetros que influye en la distribución de productos de pirólisis. Durante la pirólisis se forman cantidades moderadas a altas de vapores y, si estos vapores no se purgan, pueden involucrarse en las reacciones secundarias y cambiar la naturaleza y la composición de los productos de pirólisis. El nitrógeno es el gas más comúnmente utilizado para la purga de los vapores producidos en la pirólisis porque es un gas inerte, fácilmente disponible y más barato que otros gases inertes.

El flujo de nitrógeno afecta el tiempo de residencia de la fase gaseosa, por lo tanto, un flujo de gas más veloz en el proceso sirve para remover los productos rápidamente del reactor, conduciendo a un tiempo de residencia más corto del gas en la zona de reacción de la pirólisis, por ende, se minimizan las reacciones secundarias tales como el craqueo y la formación de residuo sólido. Por el contrario, un menor flujo de nitrógeno previene la rápida purga de los productos gaseosos, incrementando su tiempo de residencia, lo que ocasiona un mayor craqueo en la fase gaseosa. Con el incremento del flujo de gas inerte se mejora el rendimiento del líquido, también se disminuye la generación de residuo sólido con el aumento del flujo de gas. Sin embargo, si el flujo es muy elevado, se reduce el rendimiento del líquido debido a la condensación incompleta de los vapores, aumentando la producción de gas en el proceso y, además de eso, una porción de la materia prima puede ser barrida fuera del reactor antes de que la pirólisis se haya completado (Luna, 2019).

2.15.2.1. Presión de operación

La presión dentro de un reactor afecta el rendimiento de los productos. A temperaturas bajas, la presión tiene un mayor efecto en el tiempo de residencia, sin embargo, a medida que aumenta la temperatura por encima de los 430 °C, la influencia de la presión sobre el tiempo de residencia disminuye. Por lo tanto, se concluye que la presión y el tiempo de residencia son ambos factores dependientes de la temperatura.

Cuando la reacción se lleva a cabo a presión atmosférica, un tiempo de contacto más corto reduce las posibilidades de craqueo secundario y reacciones de transferencia de hidrógeno. Por su parte, una presión baja (al vacío, o en presencia de un diluyente inerte) favorece la producción de productos primarios y reduce la condensación de fragmentos reactivos que forman coque y productos pesados. El principal efecto del vacío sobre la presión atmosférica es el aumento en el rendimiento de la fracción de diésel del producto líquido. Operar al vacío causa una disminución en los hidrocarburos aromáticos de anillo simple (C10). La ventaja de la presión reducida es que las reacciones de descomposición secundarias de los hidrocarburos gaseosos son limitadas.

Una presión alta incrementa la producción de gases no condensables y disminuye el rendimiento de productos líquidos. De igual forma afecta la distribución del peso molecular tanto para los productos líquidos como gaseosos, aunque sólo es evidente a temperaturas altas. El peso molecular promedio del producto gaseoso disminuye a medida que incrementa la presión y, a su vez, la producción de gas aumenta junto con ella. Los puntos de ebullición de los productos de pirólisis se elevan a alta presión, dado que, en ambientes presurizados, los hidrocarburos pesados se descomponen aún más en lugar de vaporizarse a una temperatura de operación determinada. En efecto, una pirólisis presurizada requiere más energía para un mayor craqueo de hidrocarburos.

La generación de residuo sólido aumenta cuando la pirólisis se realiza a una presión superior a la del ambiente. El incremento de la presión alarga el tiempo de residencia y, como resultado, se forma carbono secundario por la descomposición de vapores, lo que suma al rendimiento de sólidos. A su vez, este aumento de presión dentro del reactor influye en el contenido de carbono del residuo sólido, debido al mayor tiempo de residencia, resultando en una mayor insaturación del producto y, por lo tanto, se obtiene un menor índice de octanaje de la gasolina. Una mayor concentración de carbono en el residuo sólido

sucede cuando la materia prima se piroliza a alta presión, lo que significa que la densidad de energía (energía por unidad de volumen) del residuo sólido se incrementa.

De igual forma, una presión alta influye en la distribución del número de carbono de los productos líquidos y gaseosos, así como la distribución del peso molecular, el cual se desplaza hacia uno menor. Otro efecto significativo es en la velocidad de formación de doble enlace, dado que disminuye a medida que la presión incrementa, esto indica que la presión influye directamente en la velocidad de escisión de los enlaces C – C en el polímero durante la degradación térmica (Luna, 2019).

2.19. MEZCLAS POLIMÉRICAS.

La mezcla de polímeros se ha sido vista en la industria petroquímica como una alternativa de fabricación de resinas especializadas. Si el industrial conoce las propiedades de dos resinas diferentes y desea tener un conjunto de nuevas propiedades de una y otra resina, la primera idea que puede tener es la mezcla de estas dos resinas para obtener el resultado deseado. Sin embargo, es también deseable lograr propiedades superiores a las originales de cada una de los materiales precursores de la mezcla. En este caso se dice que sucede una sinergia entre las resinas para generar un conjunto de propiedades superiores.

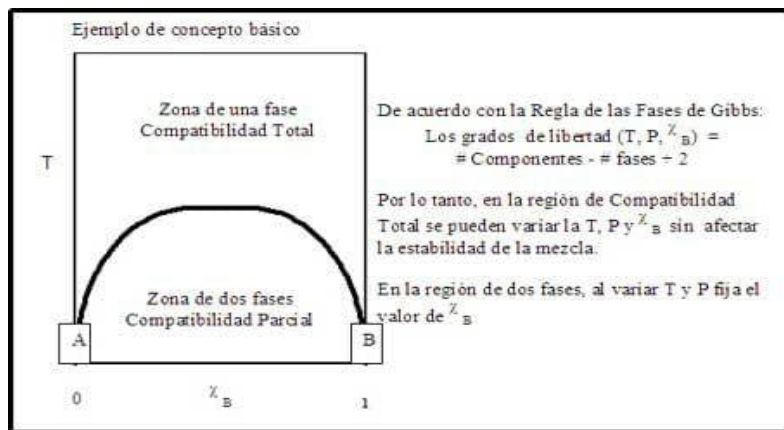
Pero el motivo más común para averiguar mezclas exitosas es la economía. El industrial generalmente mezcla resinas para obtener propiedades singulares a un precio más bajo. Frecuentemente empleando una resina de consumo masivo (de bajo precio) y otra un poco más especializada pero que aporte las propiedades de interés con bajo costo.

El campo de mezclas es, sin embargo, complejo en él se involucran las propiedades de los materiales, las condiciones de proceso y las características de los equipos. El conocimiento científico que explique la implicación de cada uno de estos parámetros es todavía desconocido y por lo tanto, no pueden plantearse en la mayoría de los casos patrones de comportamiento confiables en la preparación de las mezclas. Debido a esto, el campo de las mezclas es todavía empírico y está sujeto en parte a la experiencia subjetiva de cada procesador.

En cambio, el industrial puede comenzar verificando los conceptos de mezclas ideales o compatibles, mezclas semicompatibles e incompatibles. Estas mezclas existen y brindan cada una serie característica de propiedades pero el factor importante a considerar es la

estabilidad de la mezcla, pues las mezclas semicompatibles e incompatibles tienden a segregarse y a destruir la mezcla bajo las condiciones de proceso o de uso. Es entonces cuando intervienen los conceptos de los aditivos compatibilizadores, que son aquellos que autorizan extender la estabilidad. Este campo es muy amplio y existe un sinnúmero de proveedores que aporta información saber las posibilidades de las mezclas que pueden lograrse (Carlos, 2006).

Figura 2.5 Ejemplo de concepto básico de mezclas poliméricas



Fuente: (Carlos, 2006)

2.20. PAISES QUE USAN PIROLISIS PARA PRODUCIR COMBUSTIBLE

Un gran número de instalaciones dedicadas a la producción de combustibles derivados del plástico con alta tecnología han surgido en países tales como: **Inglaterra, Japón, Corea** entre otros. Otras de mediana tecnología han surgido en países como **Suiza**

Ucrania, Pakistán y México. Y finalmente un gran número de instalaciones de baja tecnología han surgido en países como **Filipinas, India y Malasia.** Incluso existe producción artesanal de combustibles derivados del plástico con extremadamente baja tecnología en países como **Etiopia.** (Rodrigues, 2019)

Canadá

La tecnología es usada por la compañía Sparta Group, la firma detrás del proyecto piloto conocido como Phoenix (Fénix) para abastecer de combustible a sus camiones.

“Cinco toneladas de plástico pueden ser convertidas en unos 1.057 galones (4.000 litros)”.

“Con 4.000 litros nuestra flota de 10 vehículos puede recorrer su trayecto ida y vuelta todos los días, funcionando 16 horas al día”.

La tecnología usa altas temperaturas que hacen que el plástico se descomponga, en un proceso conocido como pirolisis. (Beston Group Co., 2022)

Estados Unidos (Plastic2oil)

Es una empresa estadounidense con la capacidad de procesar 1.8 toneladas de plástico por hora, señala que la materia prima ideal incluye el polietileno y polipropileno, no se requiere la segregación ni lavado del material para procesarlo, produce 1 galón (3.785 litros) de combustible a partir de 8.3 libras (3.768 kilogramos) de plásticos y tiene una proporción de conversión del desecho plástico en combustible del 86 %, 2 – 4 % residuo sólido y 10 – 12 % de gas combustible, el combustible generado no necesita refinamiento adicional.

Figura 2.6 Ejemplo de concepto básico de mezclas poliméricas



Fuente: (Rodrigues, 2019)

China

Hong Kong.- La empresa Ecotech Recycling dirigida por el Sr. Ming Cheung realiza el proceso de pirólisis y apoya a la población desfavorecida. Desconocemos si a la fecha está realizando la refinación de los combustibles producidos para uso vehicular. (Saenz, 2016)

Holanda

Compañía holandesa procesadora de residuos de biomasa. En el año 2015 abrió su planta ubicada en Hengelo, Holanda, con capacidad de transformar 5 toneladas por hora y

convertir hasta el 70 % de la materia prima en aceite, dependiendo de la biomasa. Anualmente genera 4,500 MWh de electricidad y tiene una reducción de 24,000 toneladas de CO₂.

Han procesado más de 45 diferentes tipos de biomasa, el tamaño de partícula utilizado es de hasta 3 mm y el contenido de humedad menor al 8 %, dependiendo de las condiciones locales, su eficiencia energética alcanza hasta el 90 % (basado en la cantidad de biomasa procesada y su generación de calor, aceite y electricidad)

Figura 2.7 Planta de pirólisis ubicada en Hengelo, Holanda.



Fuente: (Rodrigues, 2019)

Alemania

El Dr. Christian Koch en Alemania ha desarrollado un proceso de despolimerización catalítica a temperaturas alrededor de 350° C con calentamiento por fricción de los plásticos y/o de Biomosas lignocelulósicas secas suspendidas en un aceite, adicionadas de un catalizador y de Cal. La mezcla de materiales suspendidos en aceite pasa por una turbina de fricción, donde se genera el calor necesario para el proceso, además de someter la carga a una muy íntima mezcla con los catalizadores. Luego los vapores allí generados pasan por una torre de fraccionamiento. Los sólidos que se van acumulando en el aceite recirculante, se separan mediante un sofisticado sistema de tamizado. El Dr. Koch sostiene que este sistema es capaz de realizar la desoxigenación de la celulosa y producir a partir de la misma alrededor de 30 % de aceite Diesel en un solo paso.

Rusia

En Rusia existen dos compañías que trabajan con la tecnología de marmita vertical estacionaria, tecnología de operación intermitente muy difundida en esa región del mundo.

Algunas de ellas operan en forma semicontinua a base de varias marmitas en serie. Ellas son:

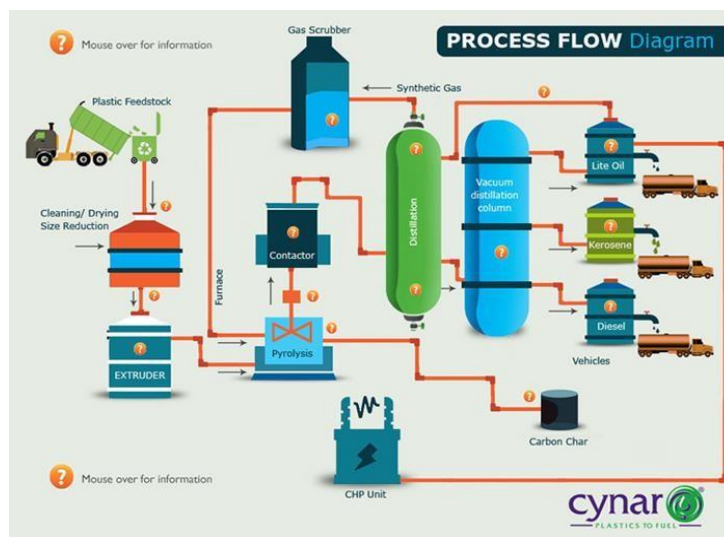
Tkomplex.- Ubicada en la provincia rusa de Rostov del Don, Technokomplex es un fabricante y proveedor de plantas de pirólisis a pequeña escala, suministra máquinas de pirólisis y equipos auxiliares para procesar productos en combustible líquido en fracciones comerciales.

Sus máquinas son relevantes en el campo de la pirolisis de artículos industriales de caucho, plástico, petróleo crudo y aceites usados para convertirlos en productos comercializables (carbon black u hollín industrial, carbono activo, mazut, diesel, gasolina).

Technokomplex ha desarrollado tecnología de pirolisis y ha mejorado con cada nueva planta, mediante un constante análisis de datos, y la retroalimentación obtenida con el contacto de los socios que operan este equipo. (Rodriguez, 2019)

Inglaterra

Figura 2.8 Diagrama de Proceso



Fuente: (Plastic, 2019)

El principio básico de la tecnología Cynar es un proceso en el que se calienta y se degrada térmicamente el plástico en ausencia de oxígeno, llamado conversión anaeróbica térmica

(TAC). Los gases resultantes del proceso se separan por destilación a tres CynFuels líquidos: CynDiesel, CynLite y CynKero. Estos según la empresa representan combustibles de bajo contenido de azufre y de alto Cetano. (Plastic, 2019)

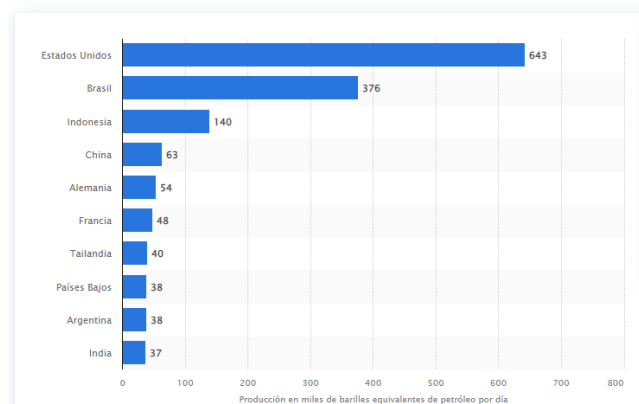
Australia

Australia es rica en materias primas de pirólisis como neumáticos, plásticos y caucho. Además, los lodos de aceite también pueden ser procesados por Beston equipo de pirólisis. Estos desechos son todos basura no degradable, que contamina muy gravemente el medio ambiente. La tierra y los mares de Australia ahora están contaminados. Si Beston El equipo de pirólisis se utiliza para procesar estos desechos, el producto final puede ayudar tanto a la economía de Australia como al medio ambiente. (Beston Group Co., 2022)

En Latinoamérica, aun no se han empleado o apenas se comienza en la utilización de estas tecnologías a nivel comercial, especialmente en México, destacándose los trabajos de Marcelo Fernández y Francisco Gerardo Nungaray en Monterrey y Zacatecas entre otros y la Planta de Reimpsa en Honduras.

Teniendo en cuenta que uno de los mayores limitantes para el desarrollo industrial en los países del tercer mundo, es la falta de capital, se hace necesario explorar tecnologías menos intensivas en capital que aquellas desarrolladas para países como Alemania, Estados Unidos y Canadá entre otros. Es así como hemos encontrado que tecnologías como las desarrolladas en la India y en la China en los últimos 10 años, las cuales en su mayoría no alcanzan a figurar en las memorias de los simposios internacionales sobre el tema realizado hasta el año 2008. (Rodrigues, 2019)

Figura 2.9 Ranking mundial de los principales países productores de biocombustible en 2021(en miles de barriles equivalentes de petróleo por día)



Fuente: (Orús, 2021)

2.21. MARCO LEGAL

2.19.1. REGLAMENTO DE GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS

Del objeto y ámbito de aplicación

Artículo 1°.- La presente disposición legal reglamenta la Ley del Medio Ambiente No. 1333 del 27 de abril de 1992, respecto a los residuos sólidos, considerados como factor susceptible de degradar el medio ambiente y afectar la salud humana. Tiene por objeto establecer el régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la gestión de los residuos sólidos, fomentando el aprovechamiento de los mismos mediante la adecuada recuperación de los recursos en ellos contenidos.

Del tratamiento

Artículo 64°.- Toda persona natural y/o colectiva, pública o privada, generadora o no de residuos, podrá individual o colectivamente realizar el tratamiento de los residuos sólidos, debiendo cumplir para la instalación y funcionamiento de las plantas de tratamiento lo

establecido en la LEY, el presente Reglamento y demás instrumentos conexos y complementarios aplicables.

Artículo 65°.- Los generadores o propietarios de residuos sólidos podrán ceder sus derechos a terceras personas, con fines de tratamiento y/o aprovechamiento.

Artículo 66°.- El solicitante no propietario de los residuos, que pretendiera su aprovechamiento, deberá, además de cumplir con el requisito señalado en el artículo anterior, acreditar su derecho a la disponibilidad de aquéllos en la forma que determinen las normas técnicas.

Artículo 67°.- Por razones de interés general, el MDSMA, en coordinación con el organismo sectorial competente y el gobierno municipal, podrá instar a los titulares de las instalaciones de tratamiento a que lleven a cabo, en el plazo que ellos señalen, modificaciones o ampliaciones en orden a un aprovechamiento más racional, concediéndoles a tal efecto las ayudas económicas y demás medios procedentes en la forma que normativamente se determine.

2.19.2. MARCO NORMATIVO AMBIENTAL

3.11. Residuos Sólidos

El Reglamento de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos establece el régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la Gestión de los Residuos Sólidos, manejo de los mismos, regulaciones y disposición final.

Define la normatividad que debe seguir la gestión de residuos sólidos buscando garantizar un adecuado acondicionamiento, así como evitar la contaminación del suelo y cuerpos de agua.

Adicionalmente, el Instituto Boliviano de Normalización (IBNORCA), ha emitido Normas para la gestión de los residuos sólidos domésticos, en el marco de los sistemas de gestión ambientales.

SECCIÓN II APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

Artículo 14. (APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS).

- 16 El aprovechamiento de residuos es el conjunto de acciones que permiten la reutilización de los mismos o la reincorporación al ciclo productivo de los diferentes recursos presentes en los mismos, para generar beneficios al medio ambiente y a la economía del país, mediante el compostaje, reciclaje o aprovechamiento energético.
- 17 Se dará prioridad al reciclaje y compostaje sobre el aprovechamiento energético.
- 18 Para garantizar el adecuado aprovechamiento de los residuos, se debe implementar sistemas de separación en origen y recolección diferenciada, así como la instalación de infraestructura y equipos de acuerdo a reglamentación de la presente Ley. Forman parte de este proceso, las instalaciones de acopio o clasificación de residuos.
- 19 El nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, en coordinación con el sector productivo, implementarán los mecanismos y estrategias para promover el máximo aprovechamiento de los residuos, antes que su disposición final.

2.22. IDENTIFICACION DE LAS FUENTES

Las fuentes que corresponden al Marco Teorico son:

Álvarez, C. A. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (PROGRAMA DE COMUNICACIÓN SOCIAL Y PERIODISMO ed.). NEIVA: UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.

Anadolu. (2019). *Pirólisis Analítica y Aplicada*. Elsevier, 10.

Bolaños Urbano, L. P. (2014). *para la obtención de combustible líquido mediante el proceso de despolimerización catalítica*. Bogota: Universidad Libre sede Bosque Popular, .

Calderón Machuca, J. R. (2011). *Producción de etanol para uso como combustible alternativo en motores de combustión interna*. Azuay: Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología.

Carlos, S. &. (28 de Agosto de 2006). *Mezclas Polimericas*. Obtenido de Tecnología del Plástico: <https://www.plastico.com>

Coñero Alonso, M. B. (2010). *Relación Estructura - Propiedades de Polímeros*. Cabos: Educación Química.

- Crespo, O. P. (2009). *Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos* (Vol. 30). Revista Politécnica, Departamento de Ingeniería Química.
- Crudo, E. E. (19 de Noviembre de 2019). *El Futuro Responsable*. Obtenido de <https://www.enestadocrudo.com>
- Díaz Caleño, F. (2020). *Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la Universidad Autónoma de Occidente*. SANTIAGO DE CALI : Universidad Autónoma de Occidente.
- Energy, Efficient. (18 de Abril de 2022). *Erbol*. Obtenido de Energy Efficient: <https://www.erbol.com>.
- Mancilla, B. M. (2012). *Tecnología de Polímeros Procesados y Propiedades*. España: Unión de Editorias Universitarias Españolas.
- Marcelo Delfin, D. G. (2009). Diagnostico de Residuos Bolivia. *Ministerio de Medio Ambiente y Agua*, 66.
- Marquez, A. &. (2016). *Combustibles Alternativos*. Peru: Universidad Catolica San Pablo.
- Ministerio Para la Trancisión Ecológica. (03 de Agosto de 2010). *Valoración Energetica* . Obtenido de Tratamiento Térmico: <https://www.miteco.gob.com>
- SciELO. (2020). Obtencion de Bioproductos por Pirolísis Lenta . *Revista Colombiana de Química*, 23-29.
- Sebastian Amar Gil, A. N. (06 de 07 de 2019). *Simulación y Obtención de Combustibles Sinteticos*. Obtenido de <https://images.app.goo.com>
- Tecnología de Plástico. (15 de Febrero de 2019). *Reducción de Plásticos*. Obtenido de <https://www.plastico.com>
- Textos Científicos. (22 de Junio de 2005). *Polímeros Cristalinos y Amorfos*. Obtenido de <https://www.google.com>
- Todo En Polimeros. (14 de Agosto de 2020). *La Pirolisis como Fuente de Materia Prima*. Obtenido de Todo en Polimeros: <https://todoenpolimeros.com>
- Trinchera, R. I. (04 de Marzo de 2018). *Tipos de Reciclados*. Obtenido de <https://recicladoslatrinchera.com>
- .

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se caracteriza por ser de tipo experimental. En la cual se va obteniendo información a medida que se realizan las pruebas de laboratorio, por tanto corresponde más a un análisis de campo iniciando por ser hipotética, donde se consideran ciertas relaciones de muestras para las pruebas y éstas van mejorando con las pruebas siguientes, pues se van sacando conclusiones parciales en cada prueba.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación que está más relacionado a la selección como los métodos y técnicas elegidos fue combinado de una manera razonablemente lógica para que el problema de la investigación sea manejado de manera eficiente. Como fue mencionado se desarrolla de manera experimental y la metodología se resume en la serie de pasos.

3.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables estudiadas y analizadas en la presente investigación se enfocan en la muestra, donde la variable independiente resultaría ser la elección de la materia utilizada que corresponde a material orgánico, en este caso polietileno de baja y alta densidad además de otros plásticos de post consumo. Las variables dependientes serían las que son medibles como ser: el porcentaje en peso, volumen, masa inicial, masa final. Y las variaciones que se harían en estas cantidades para observar las variaciones en las propiedades de los productos finales. Que para los fines concernientes a la investigación fueron seis las pruebas principales a lo largo de la fase experimental.

Las variables específicamente se refieren a:

- Volúmenes iniciales de aditivos líquidos
- Pesos iniciales y finales medidos
- Porcentajes en peso de los productos obtenidos
- Temperatura de trabajo para la fase de calentamiento

3.4. MUESTRA

La muestra está conformada en base a material plástico y un conjunto de aditivos, como ser:

- Agua destilada
 - Alcohol isopropílico
 - Carbón activado
 - Zeolita
 - Polímeros
-
- Población.- Personas de la ciudad de El Alto
 - Muestra.- 10 personas de 5 zonas elegidas

3.5. AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN

Los ambientes donde se desarrollaron las pruebas corresponden al área de laboratorio de la carrera de ingeniería de Gas y Petroquímica. Para la realización de cada prueba se realizó la coordinación previa con el encargado de Laboratorio. El ambiente cuenta con los equipos necesarios para la realización de las pruebas. De lo único que se hizo la compra fue de los elementos aditivos y otros materiales necesarios para la validación de las muestras.

3.6. POBLACION

En base al tema de investigación (Producción de combustibles alternativos por el proceso de pirolisis a partir de mezclas poliméricas post-consumo en la ciudad de El Alto), se realizó una encuesta con preguntas como: ¿Qué entiende o piensa usted que son los biocombustibles?, Cuales son los combustibles que utiliza en su vida cotidiana?, ¿Por qué?, Que acciones tomaría usted para cuidar el medio ambiente?, ¿Siente que los precios de los combustibles son?, ¿Usted con qué frecuencia recicla los residuos plásticos?, ¿En la ciudad de El Alto qué tipo de residuos plásticos cree usted que reciclan más?, ¿Qué hace usted con los plásticos que ya dejó de utilizar?, ¿Cuál es el residuo plástico que más acumula usted en su vida cotidiana?, ¿Sabía usted que se puede producir combustibles a base de plásticos utilizados?, ¿Usted consumiría los biocombustibles sabiendo que esta se obtiene a partir de residuos plásticos?, etc.

Figura 3.1 Encuestas presenciales



Fuente: Elaboración propia en base a las encuestas realizadas

Y se prosiguió a realizar las encuestas de manera presencial con las preguntas ya mencionadas, a 10 personas de 5 diferentes zonas de la ciudad de El Alto, como ser: zona Villa Exaltación de Ciudad Satélite, zona Senkata, zona 16 de Julio, zona Villa Ingenio y zona Tahuantinsuyo, en total se encuestaron a 50 personas, esto con el fin de conocer la opinión de la población Alteña y poder adquirir información que nos ayudarán con los pasos que se deben seguir en la elaboración del presente tema de investigación, centrándose en el interés fundamentalmente del ciudadano Alteño.

Figura 3.2 Modelo Encuesta

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD DE EL ALTO			
ENCUESTA			
Nombre del encuestado:			
Sexo:	Edad:		
General:	Profesión:	País: Ciudad:	
1. ¿Qué calle o plaza está que sea las condiciones?			
.....			
2. ¿Cuáles son las condiciones que usted en su vida cotidiana? ¿Por qué?			
.....			
3. ¿Qué acciones tomar o usted para mejorar el medio ambiente?			
.....			
4. ¿Qué es que los servicios de las condiciones son:			
Domicilio:		Accesibilidad:	
Algunos:		Económico:	
5. ¿Cuál es el combustible que más consume usted?			
Gas:		Otros:	
Gasolina:		Otros:	
6. ¿Qué es que los servicios de las condiciones son:			
Algunos:		Otros:	
Algunos:		Otros:	
7. ¿Qué es que los servicios de las condiciones son:			
Algunos:		Otros:	
Algunos:		Otros:	
8. ¿Qué es que los servicios de las condiciones son:			
Algunos:		Otros:	
Algunos:		Otros:	
9. ¿Qué es que los servicios de las condiciones son:			
Algunos:		Otros:	
Algunos:		Otros:	
10. ¿Qué es que los servicios de las condiciones son:			
Algunos:		Otros:	
Algunos:		Otros:	

Fuente: Elaboración propia en base a las encuestas realizadas.

3.7. DESARROLLO DE ENCUESTAS PRESENCIALES

En las encuestas realizadas de manera presencial pudimos apreciar el interés de las personas en dar su opinión sobre este tema y se tuvo muchas respuestas donde se pudo notar que si hay interés en que se produzcan combustibles en base a residuos plásticos y ayudar de alguna manera al medio ambiente. Una de las ventajas que hemos tenido en las encuestas es que la mayoría de las personas recibió con gratitud el interés que tenemos nosotros el de obtener combustibles alternativos a partir de plásticos post-consumo y con la opinión de las personas tanto de jóvenes, adultos y adultos mayores concuerdan en que si se debe de tener una educación sobre el reciclaje, con eso se pudo ver la preocupación de las personas en cuanto a la contaminación.

Al momento de realizar estas encuestas, también se tuvo algunas limitantes con algunas personas, como el factor tiempo y el miedo de interactuar con nosotros debido a que piensan que se trataba de otras cosas, eso nos dificultó un poco a la hora de realizar las encuestas presenciales.

Por otro lado se pudo lograr la participación de 50 personas de 5 diferentes zonas de la ciudad de El Alto y pudimos conocer su punto de vista con respecto al tema de investigación. Con las encuestas realizadas de manera presencial con las preguntas más relevantes llegamos a la conclusión que:

- Los ciudadanos alteños en su mayoría no tienen conocimiento de los biocombustibles.
- Las personas de la ciudad de El Alto consumen más el GLP, el gas domiciliario para la preparación de sus alimentos y la gasolina para trabajar o su transporte.
- Los residuos plásticos que más acumulan En la ciudad de El Alto son las bolsas plásticas como las botellas PET en su vida cotidiana.
- La mayoría de las personas encuestadas estarían dispuestas en consumir estos combustibles alternativos a base de plásticos utilizados ya que ayudarían con el problema de la contaminación.

Figura 3.3 Entrevistas personales



Fuente: Elaboración propia en base a las encuestas realizadas

Características de Población de muestra

Las personas de la zona de Villa Exaltación de Ciudad Satélite a quienes se realizó la encuesta son de 16 años hasta los 52 años de edad, la mayoría son de sexo masculino, los menores de edad que corresponden desde los 16 años de edad hasta los 18 años son estudiantes de colegios, no conocen acerca del tema de los biocombustibles, el combustible que consumen en su vida cotidiana es el gas a domicilio. Las personas de 30 años en adelante del sexo masculino son personas que no conocen que son los biocombustibles, el combustible que consumen en su vida cotidiana es la gasolina y gas licuado de petróleo ya que trabajan con transporte público. Los que consumen la Garrafa son personas del sexo femenino que trabajan en la venta de comida.

Las personas de la zona de Senkata en su mayoría son de 20 años hasta los 50 años de edad, la mayoría son del sexo femenino quienes trabajan en el comercio utilizando como combustible principal la garrafa, del sexo masculinos que son de 20 años hasta los 50 trabajan utilizando como combustibles principal la gasolina y el diésel ya que trabajan con movilidades y camiones pesados, la minoría son estudiantes de colegio que solo utilizan el gas a domicilio como combustible principal. De todas las personas solo una conoce el tema de los biocombustibles ya que se mantiene informado es del sexo masculino, 50 años de edad.

Las personas de la zona de 16 de Julio en su totalidad no conocen sobre el tema de los biocombustibles, del sexo masculino los menores de edad están estudiando en colegios y consumen como combustible principal el gas a domicilio ya que no trabajan, los mayores de edad consumen el combustible la gasolina ya que lo utilizan para la movilidad, del sexo femenino que son mayores de edad la minoría consume la garrafa para uso doméstico, y las demás el gas a domicilio que también es para uso doméstico.

Las personas de la Zona de Villa Ingenio el 50% si conocen sobre el tema de los biocombustibles tanto del sexo masculino y femenino, porque algunos son vecinos de donde se queda ubicada la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica y se informaron de ese tema, las demás personas que son mayores de edad no conocen del tema y su uso principal de combustible es el gas a domicilio del sexo femenino, del sexo masculino es la gasolina ya que trabajan con transporte público.

Las personas de la Zona Tahuantinsuyo la mayoría fueron del sexo femenino, la minoría que fue de 18 años hasta los 25 años de edad que son estudiantes y que vagamente conocen el tema de los biocombustibles, el combustible que utilizan principalmente son el Gas a Domicilio que es de uso doméstico, también las señoras que utilizan el mismo combustible, las personas del sexo masculino que fueron mayores de edad utilizan la gasolina como combustible principal ya que trabajan con movilidad, y que no conocen del tema de los biocombustibles.

3.8. TECNICAS E INSTRUMENTOS

Tabla 3.1 Técnicas e instrumentos

Nro.	Nombre del Material	Fotografía	Descripción del Material
1.-	Balanza Analítica		La balanza analítica es una báscula que mide masa con un alto grado de precisión. Típicamente tienen un rango de pesaje entre los 100 y los 300 g, y una lectura de 0,1 mg (4 decimales), de 0,01 mg (5 decimales, también denominada balanza semi-micro) o de 0,001 mg (6 decimales, también denominada micro balanza).

2.-	Termómetro		El termómetro es una herramienta que está conformada por un tubo largo de vidrio con un bulbo en uno de sus extremos. En el exterior, tiene escrito las temperaturas que puede medir. Los termómetros incluidos en este equipamiento pueden medir temperaturas que van desde los -10°C hasta los 200°C .
3.-	Recipiente de Vidrio 500ml		Vasos de precipitados La precisión que se alcanza con ellos es bastante baja y se emplean para contener líquidos, realizar tratamiento de muestra y precipitaciones. Los hay de distintos tamaños (50, 100, 250 y 1000 mL) y pueden ser de vidrio o de plástico.
4.-	Calentador con Agitador		Un agitador magnético común se compone de una barra magnética, también llamada barra de agitación y una placa, la cual contiene una magneto rotatoria o en su defecto, varios electro magnetos posicionados en círculo, los que a su vez formarán un campo magnético que gira creando la mezcla. Durante el proceso de mezcla, la barra de agitación se insertará dentro de un matraz o vaso precipitado, en donde estará contenida la muestra que se desea mezclar.

5.-	Matraz de balón de 10ml		El matraz de balón, es un instrumento de redondo, de base plana, con un cuello largo dotado de una desembocadura, está elaborado con vidrio por lo general de tipo Pyrex, ya que es posible que sea sometido a temperaturas altas durante el proceso de destilación
6.-	Espectrofotómetro		El espectrofotómetro tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra. Esto le permite al operador realizar dos funciones: dar información sobre la naturaleza de la sustancia en la muestra.
7.-	Estufa		La estufa de laboratorio es un equipo empleado para secar y esterilizar recipientes de vidrio y metal. Existen básicamente dos tipos de estufa: las que operan mediante convección natural y las que operan mediante convección forzada. Las estufas están compuestas por dos cámaras: una interna y una externa.
8.-	Cochos Esmerilados		El propósito principal de un tapón de goma es evitar que un gas o líquido escape de su recipiente durante un experimento científico. El tapón de goma puede utilizarse para sellar un frasco porque el usuario quiere mezclar el contenido, o guardarlo y prevenir pérdidas y contaminaciones.

9.-	Vaso Precipitado de 600ml		El vaso de precipitados es un recipiente de laboratorio, generalmente de vidrio, de forma cilíndrica con un pico en el borde para facilitar el vertido de su contenido, se emplea para procesos de precipitación, para calentar o agitar líquidos, preparar disoluciones, etc.
10.-	Vaso Precipitado de 400ml		Un vaso de precipitado tiene forma cilíndrica y posee un fondo plano, con una pequeña boca en la parte de arriba para poder transferir el líquido que contiene con mayor facilidad. Pueden ser de vidrio pyrex, vidrio normal o de plástico. Poseen componentes de teflón y otros materiales resistentes a la corrosión
11.-	Hornilla		Estufa de laboratorio es el nombre genérico que identifica a toda una serie de instrumentos de laboratorio que realizan funciones similares, incluyendo hornos y secadores. Por el tipo de trabajo que realizan, los hornos de laboratorio alcanzan temperaturas extremas que van desde los 200° hasta los 350.
12.-	Corcho		Los tapones se hacen generalmente de caucho endurecido. Algunos tapones de goma contienen uno o dos agujeros para permitir la inserción de pipetas , embudos , tubos o equipo de prueba (por ejemplo, un termómetro). Los tapones de goma típicamente varían en diámetro desde 000 tamaño

			(0,5 pulgadas) a 16 (5 pulgadas).
13.-	Matraz de 50 ml		Los matraces se pueden utilizar para preparar soluciones o para contener, recoger o, a veces, medir volumétricamente productos químicos, muestras, soluciones, etc. para reacciones químicas u otros procesos como mezclar, calentar, enfriar, disolver, precipitar, hervir (como en la destilación) o analizar.
14.-	Soporte Universal		Un soporte de laboratorio, s oporte universal o pie universal es una pieza del equipamiento de laboratorio donde se sujetan las pinzas de laboratorio, mediante dobles nueces. Sirve para sujetar tubos de ensayo, buretas, embudos de filtración, embudos de decantación, etc.
15.-	Pipeta		Se pueden hallar dos tipos de pipetas Pasteur de acuerdo a su material: las de vidrio y las de plástico. Ambos modelos cuentan con un borde cónico en la parte superior que permite expulsar el aire acumulado en su interior. Generalmente se usan para sacar líquidos de una muestra sin tanta precisión.

Fuente: Elaboración propia

3.9. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACION

PASO 1.- Se recolecto botellas PET en desuso para lavarlo y así no existan impurezas.

Figura 3.4 Lavado de botellas PET



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 2.- Se secaron las botellas PET y bolsas plásticas que fueron lavadas.

Figura 3.5 Lavado de bolsas plásticas



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 3.- Una vez seco los plásticos se realizó el picado de las botellas PET y bolsas plásticas para usarlo en el procedimiento experimental como materia prima del proceso.

Figura 3.6 Picado de botellas PET y bolsas pasticas



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 4.- Se armó el equipo de destilación simple y antes de empezar con el proceso se verifico si existía fugas.

Figura 3.7 Armado del equipo de destilación simple



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 5.- Se pesó en una balanza analítica 10g de botellas PET picadas.

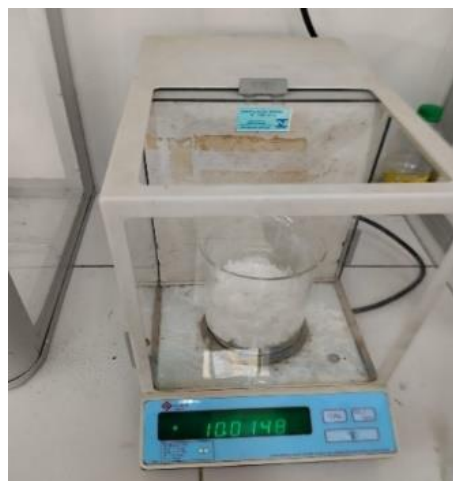
Figura 3.8 Pesado de 10 g de botellas PET en balanza analítica



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 6.- Se pesó en la balanza analítica 10g de bolsas plásticas.

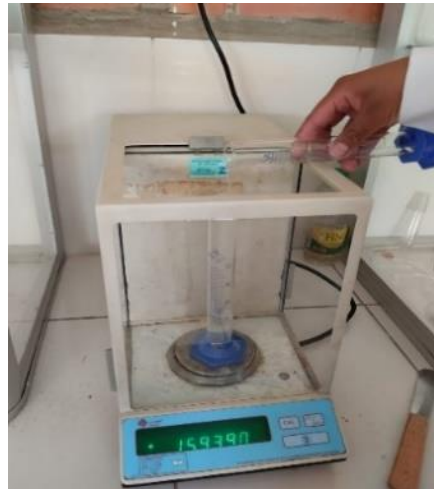
Figura 3.9 Pesado de 10 g de bolsas plásticas en balanza analítica



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 7.- Se midió en una probeta 25ml de agua destilada para las botellas PET.

Figura 3.10 Medido de 25 ml de agua destilada



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 8.- Se midió en una probeta 25ml de agua destilada para luego mezclar con las bolsas plásticas picadas.

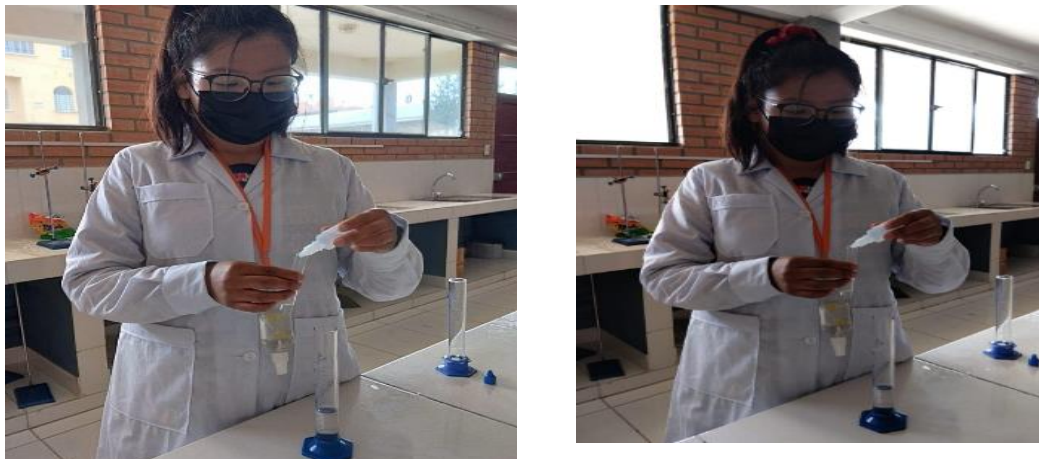
Figura 3.11 Medido de 25 ml de agua destilada



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 9.- Se midió 2.5ml de alcohol isopropílico para las botellas PET.

Figura 3.12 Medido de 2.5 ml de alcohol isopropílico



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 10.- Se midió 2.5ml de alcohol isopropílico para las bolsas plásticas.

PASO 11.- Se pesó 3gr de Carbón activado lo cual se lo utilizó como catalizador añadiendo a la mezcla de las bolsas plásticas en la tercera prueba.

Figura 3.13 Pesado de 3 gr de carbón activado



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PASO 12.- las dos mezclas tanto de las botellas plásticas como de las bolsas plásticas, se lo llevaron a diferentes equipos de destilación.

PASO 13.- Una vez lista los equipos de destilación se los empezaron a cronometrar de 10 en 10 min, y se prosiguió a tomar los datos respectivos.

Figura 3.14 Cronometrado de 10 en 10 min



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio realizado

PARA POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (BOLSAS PLASTICAS)

1- AD = 25 ml

2- AI = 2,5 ml

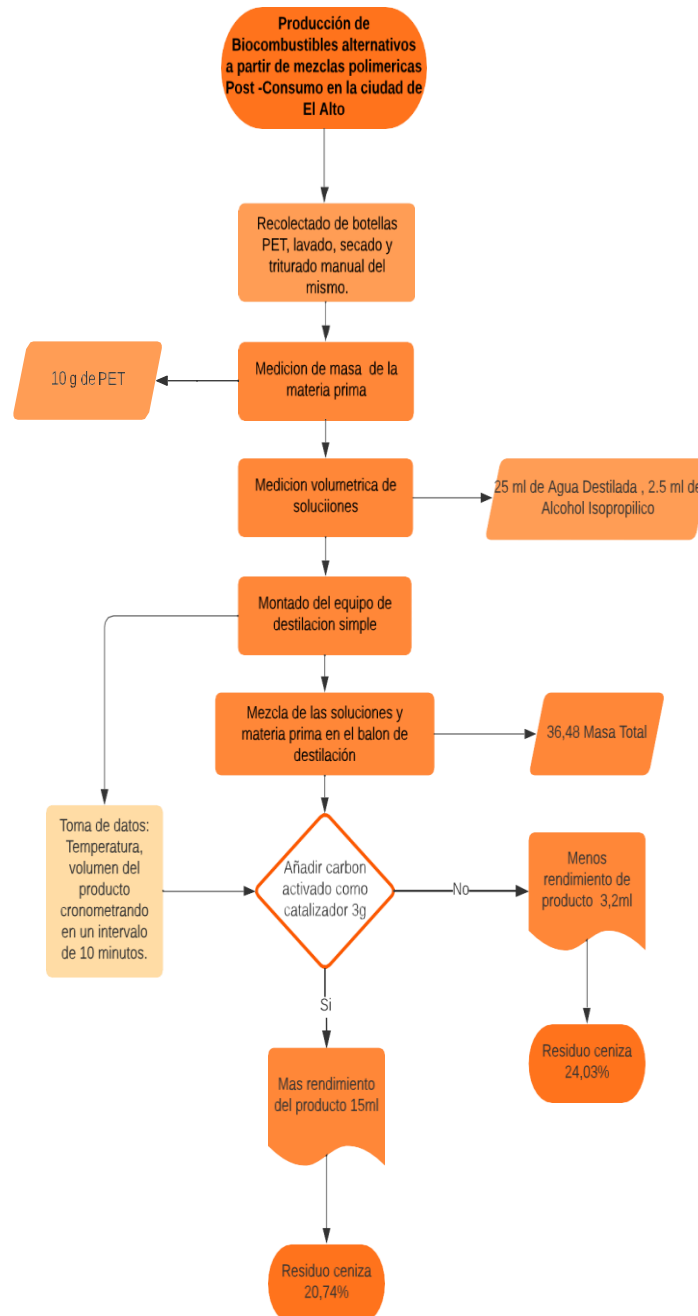
Plástico = 10 gramos

Tabla 3.2 Cantidad de insumos para polietileno de baja densidad

Solv. 1	Solv. 2	Solidos		P Exp.M1	P Teo.
		M	V		
25ml	2,5ml	10 g	222,2 ml	45 Kg/m ³	0,910-0,940 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

3.10. FLUJOGRAMA DE OPERACIONES REALIZADAS



CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS**4.1. RESULTADOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES****POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD**

Tabla 4.1 Observaciones de la prueba experimental de bolsas plásticas de 10 en 10 min

Tiempo de residencia (min.)	Temperatura °F	Producto ml	Observaciones
10	175	0,35	A los 6 minutos se llegó a observar que cayeron las primeras gotas de manera lenta del condensado. Se observó que los gases de combustión empezaron a salir por la parte superior de la columna de fraccionamiento del equipo.
20	183	0,75	El olor de los gases de combustión era similares a los gases de quema de neumáticos, el olor es tolerable y el color es casi blanquecino eso se observó a los 13 minutos. También se observó que las gotas caían de manera más lenta que a los primeros 10 minutos.
30	185.5	1,6	Se observó que la temperatura subía de manera paulatinamente. Los gases de combustión que salían no aumentaban, se mantenían y el olor seguía siendo el mismo. En el balón aforado donde se encontraba la mezcla de las sustancias y la materia prima que es el polietileno de baja densidad se observó una formación de masa de color amarilla.

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

DATOS (se pesó en la balanza digital)

Masa Alcohol Isopropilico  $M_{AI} = 2,81 \text{ gramos}$

Masa Agua Destilada $\longrightarrow M_{AD} = 23,67 \text{ gramos}$

Masa Solido (Bolsas trituraras) $\longrightarrow M_S = 10 \text{ gramos}$

Calculo de Masa Total M_T

$$M_T = M_S + M_{AD} + M_{AI}$$

$$M_T = (10 + 23,67 + 2.81) \text{ g}$$

$$M_T = 36,48 \text{ gramos}$$

Masa de Producto (se pesó en la balanza digital)

$$M_P = 0,828 \text{ gramos}$$

Volumen del Producto

$$V_P = 1,2 \text{ ml}$$

Calculo de la Densidad del Producto Obtenido

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Datos:

$$M_P = 0,828 \text{ g}$$

$$V_P = 1,2 \text{ ml}$$

Se realizó la conversión de $\frac{\text{g}}{\text{ml}}$ a $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

- Para la masa de gramos a kilogramos g $\longrightarrow \text{Kg}$

$$M_P = 0,828 \text{ g} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$M_P = 0,00828 \text{ kg}$$

- Para el volume de mililitros a metros cubicos ml $\longrightarrow \text{m}^3$

$$V_P = 1,2 \text{ ml} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$V_P = 0,0000012 \text{ m}^3$$

Calculo de Densidad del producto

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$M_P = 0,00828 \text{ kg}$$

$$V_P = 0,0000012 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{0,00828}{0,0000012} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\rho = 690 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Calculo de % n (Rendimiento del producto)

Datos

Masa Total $\longrightarrow M_T = 36,48 \text{ gramos}$

Masa de Producto $\longrightarrow M_P = 0,828 \text{ gramos}$

Ecuación para el cálculo de rendimiento

$$\% n = \frac{M_T}{M_P} * 100\%$$

$$\% n = \frac{36,48 \text{ gramos}}{0,828 \text{ gramos}} * 100\%$$

$$\% n = 44,05$$

Datos

Masa Alcohol Isopropilico $\longrightarrow M_{AI} = 2,81 \text{ gramos}$

Masa Agua Destilada $\longrightarrow M_{AD} = 23,67 \text{ gramos}$

Masa Solido (Bolsas trituraras) $\longrightarrow M_S = 10 \text{ gramos}$

Masa de Producto $\longrightarrow M_P = 0,828 \text{ gramos}$

Tabla 4.2 Masa total de la prueba experimental con polietileno de baja densidad

L	S	G
$M_{AI} + M_{AD}$ Gramos	M_s Gramos	
26,48	10	
M_P Gramos	M_{ceniza} $Residuos$ Gramos	$M_s = M_{TM} - M_P - M_{res}$ Gramos
0, 828	6, 345	29, 307

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

Calculo de %Peso

Para %L

$$X = M_{AI} + M_{AD} + M_s$$

$$X = (26,48 + 10) \text{ gramos}$$

$$X = (26,48 + 10) \text{ gramos}$$

$$X = 36,48 \text{ gramos}$$

$$\%L = \frac{M_{AI} + M_{AD}}{X} * 100$$

$$\%L = \frac{26,48 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%L = 72,59$$

Para %S

$$\%S = \frac{M_s}{X} * 100$$

$$\%S = \frac{10 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%S = 27,41$$

Para %L (Producto)

$$\%L = \frac{MP}{X} * 100$$

$$\%L = \frac{0,828 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%L = 2,27$$

Para %S (Ceniza residuo)

$$\%S = \frac{MCeniza \text{ residuo}}{X} * 100$$

$$\%S = \frac{6,345 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%S = 17,39$$

Para %G (Masa de salida)

$$\%G = \frac{Ms}{X} * 100$$

$$\%G = \frac{29,307 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%G = 80,34$$

Tabla 4.3 % Peso de la prueba experimental con polietileno de baja densidad

% L	% S	%G
72,59	27,41	-----
2,27	17,39	80,34

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (BOTELLAS PLASTICAS)

Solvente 1 → Agua Destilada → Ad = 25 ml

Solvente 2 → Alcohol Isopropílico → $A_i = 2,5 \text{ ml}$

Materia prima → Botellas Plásticas → $M_s = 10 \text{ gramos}$

Calculo de densidad de la materia prima (bolsas plásticas)

Datos

Masa de Materia prima → $M = 10 \text{ gramos}$

Volumen de Materia prima → $V = 222,2 \text{ ml}$

Calculo de Densidad

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Factor de conversión:

- Para Masa g → Kg

$$M = 10 \text{ g} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$M = 0,01 \text{ kg}$$

- Para Volumen ml → m^3

$$V = 222,2 \text{ ml} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$V = 0,0002222 \text{ m}^3$$

Calculo de Densidad

$$\rho = \frac{0,01}{0,0002222} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\rho = 45 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Tabla 4.4 densidad de la prueba experimental con polietileno de alta densidad

Solv. 1	Solv. 2	Solidos		Densidad Exp.M1	Densidad Teo.
		M	V		
25ml	2,5ml	10 g	222,2 ml	45 Kg/m ³	0,940-0,970 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

Tabla 4.5 Observaciones de la prueba experimental con polietileno de lata densidad de 10 en 10 min

Tiempo Residencia minutos	Temperatura °F	Producto MI	Observaciones
10	171	2.1	A los 7 min comenzó a caer las primeras gotas de destilado, los gases de combustión son mínimas, a los 9 min los gases de combustión aumentan.
20	176	2.5	A los 15 min se elevan a un más los gases de combustión y se pudo notar que el producto destilado iba disminuyendo a medida que evaporaba. Es decir que mientras más se evaporaba menor era el producto destilado.
30	183	3.2	Después de los 20 min se empieza a sentir un olor similar al olor de las llantas quemadas y también cambia el color de la mezcla que se está destilando a un color tipo amarillento.

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

DATOS (se pesó en la balanza digital)

Masa Alcohol Isopropilico $\rightarrow M_{AI} = 2,81 \text{ gramos}$

Masa Agua Destilada $\rightarrow M_{AD} = 23,67 \text{ gramos}$

Masa Solido (Botellas trituraras) $\rightarrow M_S = 10 \text{ gramos}$

Calculo de Masa Total M_T

$$M_T = M_S + M_{AD} + M_{AI}$$

$$M_T = (10 + 23,67 + 2.81) \text{ g}$$

$$M_T = 36,48 \text{ gramos}$$

Masa de Producto (se pesó en la balanza digital)

$$M_P = 2,93 \text{ gramos}$$

Volumen del Producto

$$V_P = 3,2 \text{ ml}$$

Calculo de la Densidad del Producto Obtenido

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Datos:

$$M_P = 2,93 \text{ g}$$

$$V_P = 3,2 \text{ ml}$$

Se realizó la conversión de $\frac{g}{ml}$ a $\frac{Kg}{m^3}$

- Para la masa de gramos a kilogramos g 

$$M_P = \cancel{2,93g} * \frac{1kg}{1000g}$$

$$M_P = 0,00293 \text{ kg}$$

- Para el volume de mililitros a metros cubicos ml 

$$V_P = \cancel{3,2 \text{ ml}} * \frac{\cancel{1L}}{1000\cancel{ml}} * \frac{1m^3}{1000L}$$

$$V_P = 0,0000032 \text{ m}^3$$

Calculo de Densidad del producto

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$M_P = 0,00293 \text{ kg}$$

$$V_P = 0,0000032 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{0,00293}{0,0000032} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\rho = 915,63 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Calculo de % n (Rendimiento del producto)

Datos

Masa Total $\rightarrow M_T = 36,48 \text{ gramos}$

Masa de Producto $\rightarrow M_P = 2,93 \text{ gramos}$

Ecuación para el cálculo de rendimiento

$$\% n = \frac{M_T}{M_P} * 100\%$$

$$\% n = \frac{36,48 \text{ gramos}}{2,93 \text{ gramos}} * 100\%$$

$$\% n = 12,45$$

Datos

Masa Alcohol Isopropilico $\rightarrow M_{AI} = 2,81 \text{ gramos}$

Masa Agua Destilada $\rightarrow M_{AD} = 23,67 \text{ gramos}$

Masa Solido (Botellas trituradas) $\rightarrow M_S = 10 \text{ gramos}$

Masa de Producto $\rightarrow M_P = 2,93 \text{ gramos}$

Tabla 4.6 Masa total de prueba experimental con polietileno de alta densidad

L Gramos	S Gramos	G
$M_{AD} + M_{AI}$	M_S	
26,48	10	
M_P Gramos	$M_{\text{ceniza Residuos}}$ Gramos	$M_S = M_T - M_P - M_{\text{res}}$ gramos

2,93	8, 765	24,785
------	--------	--------

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

Calculo de %Peso

Para %L

$$X = M_{AI} + M_{AD} + M_S$$

$$X = (26,48 + 10) \text{ gramos}$$

$$X = (26,48 + 10) \text{ gramos}$$

$$X = 36,48 \text{ gramos}$$

$$\%L = \frac{M_{AI} + M_{AD}}{X} * 100$$

$$\%L = \frac{26,48 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%L = 72,59$$

Para %S

$$\%S = \frac{M_S}{X} * 100$$

$$\%S = \frac{10 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%S = 27,41$$

Para %L (Producto)

$$\%L = \frac{MP}{X} * 100$$

$$\%L = \frac{2,93 \text{ gramos}}{36,48 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%L = 8,03$$

Para %S (Ceniza residuo)

$$\%S = \frac{MCeniza\ residuo}{X} * 100$$

$$\%S = \frac{8,765\ gramos}{36,48\ gramos} * 100$$

$$\%S = 24,03$$

Para %G (Masa de salida)

$$\%G = \frac{Ms}{X} * 100$$

$$\%G = \frac{24,785\ gramos}{36,48\ gramos} * 100$$

$$\%G = 67,94$$

Tabla 4.7 % Peso de la prueba experimental con polietileno de alta densidad

% L	% S	%G
72,59	22,54	-----
8,03	24,03	67,94

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

DATOS (se pesó en la balanza digital)

Masa Alcohol Isopropilico → $MAI = 10,02\ gramos$

Masa Agua Destilada → $MAD = 15,76\ gramos$

Masa Solido (Bolsas trituraras) → $Ms = 15\ gramos$

Carbón Activado → $Ca = 3,03\ gramos$

Calculo de Masa Total M_T

$$M_T = M_S + M_{AD} + M_{AI} + M_C$$

$$M_T = (15 + 15,76 + 10,02 + 3,03) \text{ g}$$

$$M_T = 43,81 \text{ gramos}$$

Masa de Producto (se pesó en la balanza digital)

$$M_P = 15,35 \text{ gramos}$$

Volumen del Producto

$$V_P = 15 \text{ ml}$$

Calculo de la Densidad del Producto Obtenido

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Datos:

$$M_P = 15,35 \text{ g}$$

$$V_P = 15 \text{ ml}$$

Se realizó la conversión de $\frac{g}{ml}$ a $\frac{Kg}{m^3}$

- Para la masa de gramos a kilogramos g $\rightarrow$ Kg

$$M_P = 15,35 \text{ g} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$M_P = 0,01535 \text{ kg}$$

- Para el volume de mililitros a metros cubicos ml $\rightarrow$ m³

$$V_P = 15 \text{ ml} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$V_P = 0,000015 \text{ m}^3$$

Calculo de Densidad del producto

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$M_P = 0,01535 \text{ kg}$$

$$V_P = 0,000015 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{0,01535 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]}{0,000015}$$

$$\rho = 1023,33 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Calculo de % n (Rendimiento del producto)

Datos

Masa Total $\rightarrow M_T = 43,81 \text{ gramos}$

Masa de Producto $\rightarrow M_P = 15,35 \text{ gramos}$

Ecuación para el cálculo de rendimiento

$$\% n = \frac{M_T}{M_P} * 100\%$$

$$\% n = \frac{43,81 \text{ gramos}}{15,35 \text{ gramos}} * 100\%$$

$$\% n = 2,85$$

Datos

Masa Alcohol Isopropilico $\rightarrow M_{AI} = 10,02 \text{ gramos}$

Masa Agua Destilada $\rightarrow M_{AD} = 15,76 \text{ gramos}$

Masa Solido (Bolsas trituraras) $\rightarrow M_S = 15 \text{ gramos}$

Carbón Activado $\rightarrow C_a = 3,03 \text{ gramos}$

Masa de Producto $\rightarrow M_P = 15,35 \text{ gramos}$

Tabla 4.8 Masa total de la prueba experimental con bolsas plásticas

L	S	G

$M_{AI} + M_{AD}$ gramos	M_s Gramos	
25,78	15	_____
M_P gramos	M_{ceniza} $M_{Residuos}$ Gramos	$M_s = M_{TM} - M_P - M_{res}$ Gramos
15,35	8,46	20

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

Calculo de %Peso

Para %L

$$X = M_{AI} + M_{AD} + M_s$$

$$X = (10,02 + 15,76 + 15) \text{ gramos}$$

$$X = 40,78 \text{ gramos}$$

$$\%L = \frac{M_{AI} + M_{AD}}{X} * 100$$

$$\%L = \frac{25,78 \text{ gramos}}{40,78 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%L = 63,22$$

Para %S

$$\%S = \frac{M_s}{X} * 100$$

$$\%S = \frac{15 \text{ gramos}}{40,78 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%S = 36,78$$

Para %L (Producto)

$$\%L = \frac{M_P}{X} * 100$$

$$\%L = \frac{15,35 \text{ gramos}}{40,78 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%L = 37,64$$

Para %S (Ceniza residuo)

$$\%S = \frac{MCeniza \text{ residuo}}{X} * 100$$

$$\%S = \frac{8,46 \text{ gramos}}{40,78 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%S = 20,74$$

Para %G (Masa de salida)

$$\%G = \frac{Ms}{X} * 100$$

$$\%G = \frac{15 \text{ gramos}}{40,78 \text{ gramos}} * 100$$

$$\%G = 36,78$$

Tabla 4.9 % Peso de la prueba experimental con bolsas plásticas

% L	% S	%G
63,22	36,78	-----
37, 64	20,74	36,78

Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 realizado

4.2. RESULTADOS ENCUESTAS

1.- ¿Qué entiende o piensa usted que son los Biocombustibles?

32 respuestas.

1. Son una alternativa a los combustibles fósiles ya que emiten mucho CO₂
2. Combustibles obtenidos de biomasa. (Maíz, caña. Y de los q tiene almidón)
3. Son combustibles obtenidos a partir de materia orgánica
4. Biocombustible hecho de residuos

5. Son combustibles no fósiles de derivan de materia orgánica, biomasa incluso de materias vegetales o excremento de animales (biogás)
6. Son combustibles obtenidos por residuos plásticos
7. Es el combustible obtenido a partir de la biomasa
8. Combustibles hechos de generalmente de materiales biodegradables, que son agradables para el medio ambiente, con excepción del combustible hecho a base de plásticos
9. Es una mezcla de sustancias orgánicas
10. Son una fuente de energía y un recurso muy útil para la vida cotidiana
11. Es un combustible que no es contaminante
12. Es la obtención de tratamiento de biomasa vegetal
13. Son una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible.
14. Son más eficaces al momento de reducción de emisiones de contaminantes
15. Combustible que no dañe el medio ambiente
16. Es una energía alternativa según su origen
17. Combustibles que se descomponen con el tiempo
18. Son combustibles renovables que cuando se queman no liberan CO₂
19. Son combustibles derivados de fuentes renovables.
20. Combustible alternativo a base de productos biológicos
21. Son combustibles derivados de fuentes renovables que cuando se quema no liberan CO₂
22. Aquellos provenientes de fuentes naturales orgánicas, metanol, etanol, etc.
23. Son combustibles derivados de fuentes renovables que cuando se queman no liberan CO₂
24. Los biocombustibles son aquellos combustibles renovables que se obtienen a través de recursos naturales o de residuos orgánicos, tanto como biomasa
25. Los biocombustibles se obtienen a partir del tratamiento de biomasa vegetal
26. Energías extraídas de la naturaleza
27. Son combustibles
28. Combustible alternativo a partir de material orgánico
29. Es un combustible obtenido a partir del tratamiento de biomasa vegetal que es mucho menos contaminante que los combustibles de origen fósil
30. Sustancia de materia orgánica que se usa en motores

31. Una alternativa de combustibles más amigables con el medio ambiente.
32. Que no contamina mucho

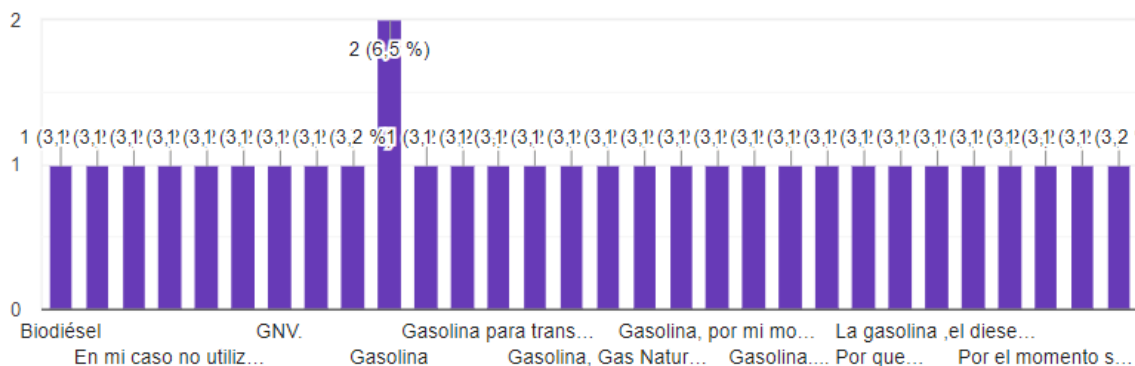
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

En las diferentes respuestas de la encuesta se observa el punto de vista de cada persona, piensan que no dañara al medio ambiente, que su composición es de materiales orgánicos y que ante todo son un tipo de combustible alternativo para la sociedad.

2.- ¿Cuáles son los combustibles que utiliza en su vida cotidiana? ¿Por qué?

32 respuestas

Figura 4.1 Combustibles más utilizados en la vida cotidiana.



Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

En la segunda pregunta de la encuesta se pudo notar que varios mencionan que utilizan diferentes tipos de combustibles en su vida cotidiana pero algunos no, ya que el combustible que utilizan en su mayoría está la gasolina ya sea para su medio de transporte o en el trabajo en máquinas que necesiten ser activados por este combustible y también está el GNV en los medios de transporte que actualmente se encuentra en precios accesibles.

3.- ¿Qué acciones tomaría usted para cuidar en medio ambiente?

31 respuestas

1. Reemplazar los combustibles fósiles por combustibles verdes
2. Reciclar  ☐. Procesar generar materias intermedios

3. Reciclado de materia orgánica y plásticos usados pet
4. Evitar mucha contaminación
5. Hacer cursos de talleres para poder informar a las personas de cómo cuidar el medio ambiente mediante estos proyectos para obtener combustible de polímeros ya utilizados y darle valor agregado para ayudar al medio ambiente.
6. Plantas de recolección de basura
7. Reciclaje y la reutilización
8. Fomentar el uso de biocombustibles
9. Usar bicicleta, compartir el auto cuando lo utilices o utilizar el servicio público.
10. Bueno sería reciclar las basuras en plásticos cartones pet y otros
11. El reciclaje de plásticos con nuevas innovaciones que contribuyan al medio ambiente
12. Pues sería reciclar la basura así para cuidar el medio ambiente.
13. Actualizar las normas euro en Bolivia para la norma de reducción de contaminantes
14. Reciclar la basura desde nuestras casas y dividirla en secciones
15. Tomaría en cuenta una energía alternativa. O un biocombustible a partir de materiales reciclados
16. En cuestión de combustibles reutilizarlos
17. Plantar más árboles, reutilizar los plásticos que son renovables, separar la basura
18. Producir productos alternativos, que no sean dañinos para el medio ambiente como las energías renovables, para producir emisiones de gases de efecto invernadero.
19. No botar basura
20. Plantar más árboles y dejar de utilizar mucho combustible
21. Sustituir paulatinamente el uso de combustibles fósiles por otros alternativo, como los biocombustibles, energía eléctrica, solar etc. En mi caso hago un mayor uso de la bici
22. A través del reciclaje, poniendo contenedores en sus diferentes clasificaciones
23. En el reciclaje, aunque de un 100% solo un 15% recicla también agradecer a las señoras que se dedican a reciclar y el pago por la venta es muy barato
24. Pues hacer el tratamiento o reciclaje de una variedad de residuos que son muy altamente contaminantes

25. Reciclaje, menor uso de combustibles contaminantes
26. Usar más bicicleta
27. Reducir el uso de plásticos a nivel nacional
28. Promover el desecho adecuado de los residuos de mi hogar
29. No botar basura en la calle
30. No contaminar con productos desechables.
31. No votar basura... En la misma ciudad contamina la gente y eso afecta

Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

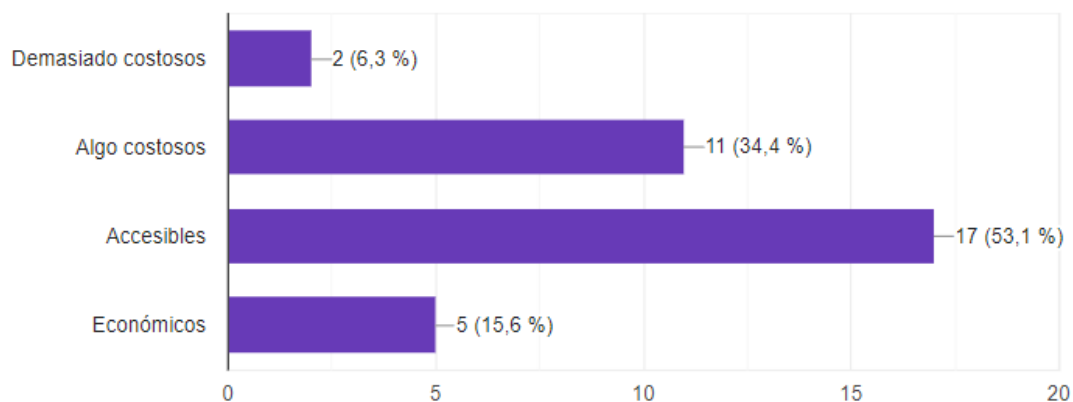
De las diferentes respuestas que se obtuvo indica que las personas apoyan a que tengamos más conciencia en donde depositar la basura y también de que se debe tener en cuenta no mezclar la basura, además colocar más árboles.

Además que combustibles fósiles reemplace con combustibles alternativos para evitar un daño al medio ambiente.

4.- Siente que los precios de los combustibles son:

32 respuestas.

Figura 4.2 Punto de vista de personas sobre los precios de los combustibles.



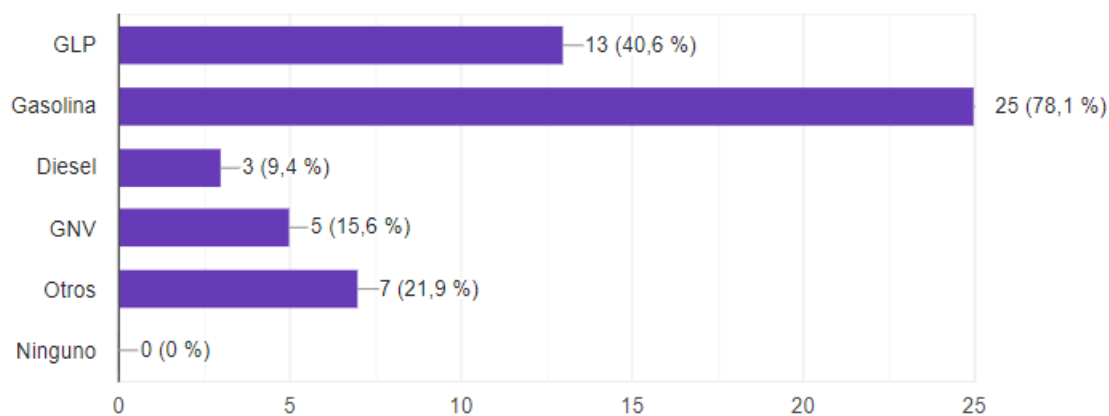
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

En el resultado obtenido, un 53,1% está de acuerdo que el combustible en el país es más accesibles, ya que somos un país que produce derivados del petróleo, es por ese motivo que las personas mencionan que es accesible. Sin embargo algunas personas mencionan que es algo costoso porque utilizan los combustibles de manera continua.

5.- ¿Cuál es el combustible que más consume usted?

32 respuestas

Figura 4.3 Combustibles más consumidos



Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

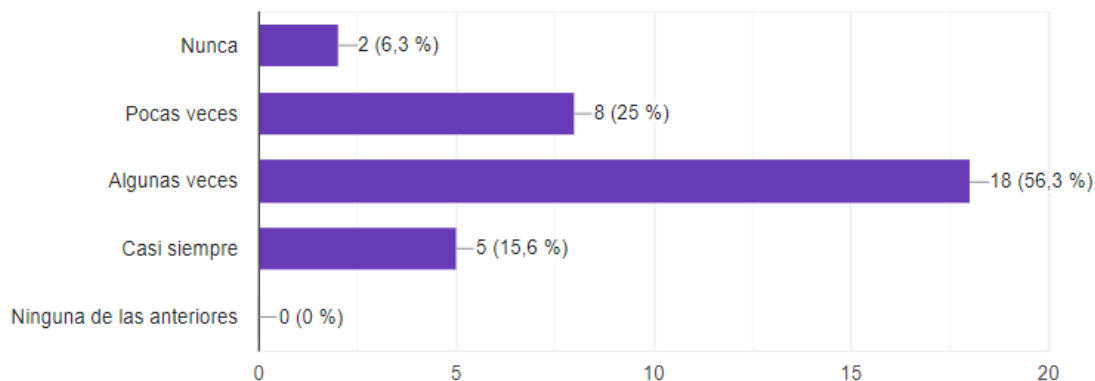
Las respuestas en esta pregunta indican que el combustible más usado es la gasolina, en su mayoría para el parque automotor y máquinas para su funcionamiento, pero esto debería de cambiar por motivos que contamina al medio en que vivimos.

En segunda tenemos al GLP ya que este combustible se lo utiliza ya sea en su alimentación o donde no existe la conexión a GN.

6.- ¿Con que frecuencia usted recicla los plásticos?

32 respuestas.

Figura 4.4 Frecuencia del reciclaje del plástico



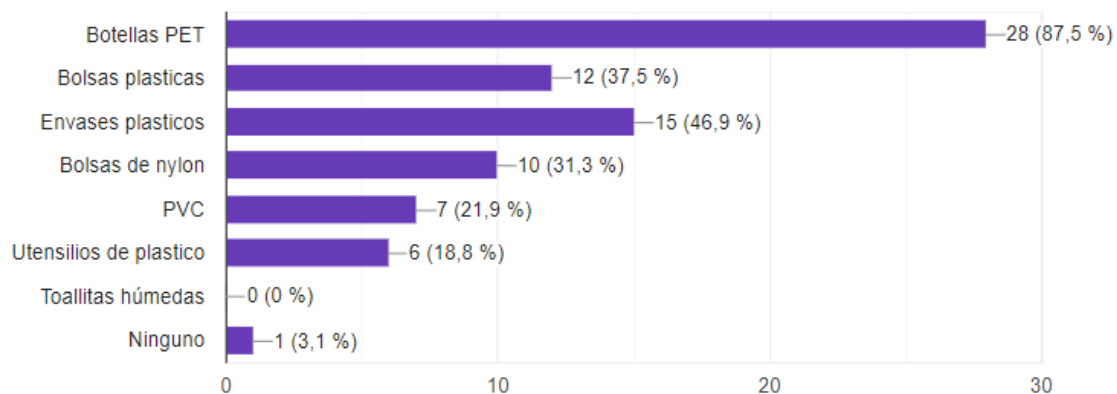
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales

En el resultado obtenido las personas reciclan algunas veces por ese motivo se debe llamar a la concientización de lo que es el reciclaje y su importancia en el medio en que vivimos, son pocas las personas que reciclan siempre, pero esto se debe cambiar informando y poniendo en acción los planes sobre el reciclaje.

7. ¿En la ciudad de El Alto qué tipo de residuos plásticos cree usted que se recicla más?

32 respuestas.

Figura 4.5 El residuo plástico más reciclado en la ciudad de El Alto



Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

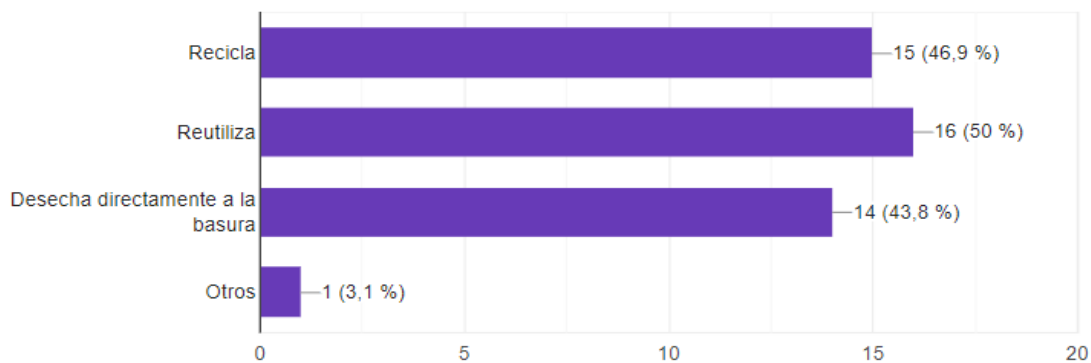
Las respuestas de esta pregunta mencionan una mayoría que reciclan botellas PET envases plásticos esto se debe al consumo de diferentes tipos de gaseosas o jugos que se encuentran en botellas PET de diferentes volúmenes además que existen en su mayoría productos en envases plásticos ya sean de alimentos, etc.

Pero así también se observa que las personas no solo reciclan las botellas PET como otros tipos de envases o medios que se utiliza en el diario vivir.

8.- ¿Qué hace usted con los plásticos que ya dejó de utilizar?

32 respuestas.

Figura 4.6 Destino de plásticos ya utilizados.



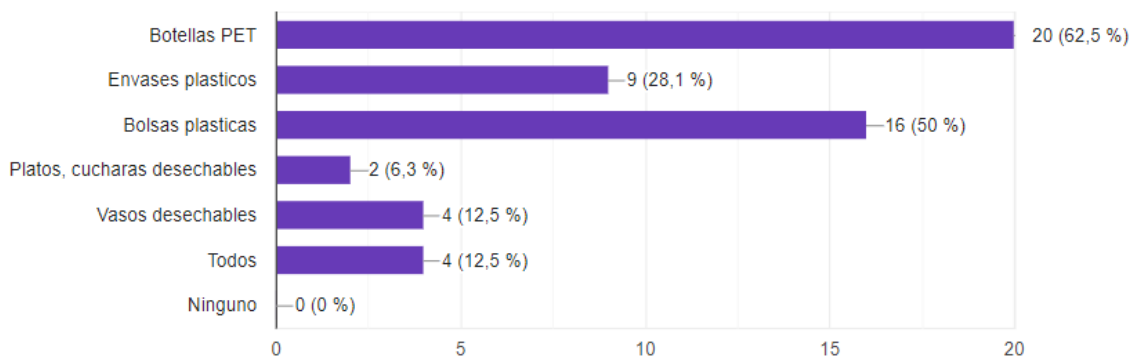
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

En esta pregunta las personas indican que en la mayoría reutilizan sus envases plásticos para diferentes ámbitos ya sea como una maseta o adornos, pero también en segundo que lo reciclan ya que de esto pueden obtener un monto económico al venderla pero también hay personas que solo lo desechan y es eso que debemos de cambiar para no contaminar y ver que se puede obtener algo diferente y productivo.

9.- ¿Cuál es residuo plástico que más acumula usted en su vida cotidiana?

32 respuestas

Figura 4.7 Residuos plásticos más consumidos en la vida cotidiana.



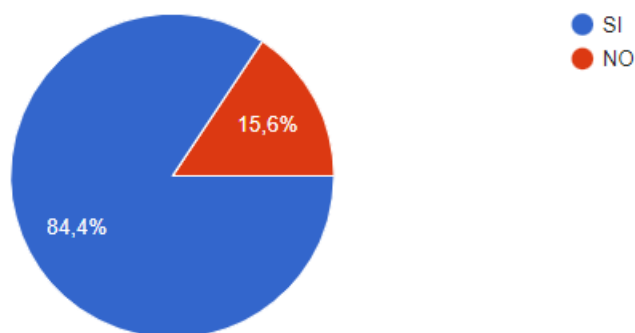
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

Las personas que respondieron la pregunta indican que en su mayoría el plástico más utilizado son las botella PET ya que su consumo es demasiado además de las bolsas plásticas, son las que usan las personas y acumulan, por eso que debemos de que aunque estén malogradas las bolsas, botellas o envases se deben reciclar y no así desecharlas.

10.- ¿Sabía usted que se puede producir combustibles a base de plásticos utilizados?

32 respuestas.

Figura 4.8 Conocimiento de las personas sobre los combustibles a base de plásticos utilizados.



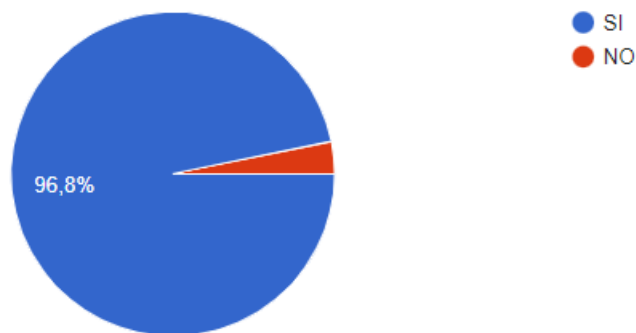
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

Las personas que respondieron a esta pregunta indican que si tienen algo de conocimiento de que se puede producir combustible a partir de residuos plásticos ya que ahora gracias a la tecnología uno se informa, muchas más cosas de lo que se puede imaginar, pero siempre hay un porcentaje de desinformados que requieren explicación, ya q así uno y hacer realidad de obtener un combustible que no dañe al medio ambiente

11. - ¿Usted consumiría los biocombustibles sabiendo que esta se obtiene a partir de residuos plásticos?

31 respuestas.

Figura 4.9 Si las personas consumirían los biocombustibles a partir de residuos plásticos.



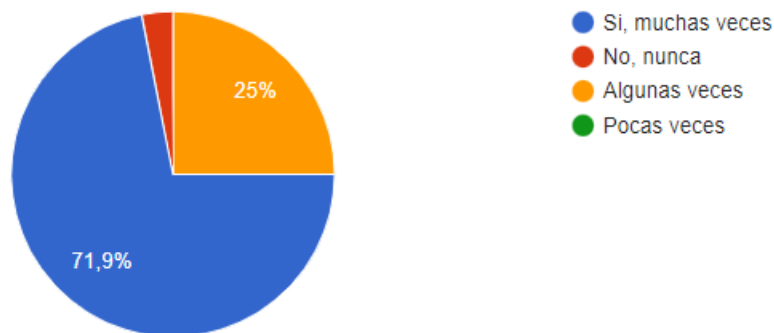
Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

En los resultados de la encuesta. La mayoría de las personas si optarían por el consumo de los biocombustibles sabiendo que esta se obtiene de residuos plásticos. Ya que el combustible produce energía, para mover al mundo y entre más crece la población mayor demanda habrá y es por eso que si se produjera estos combustibles alternativos la sociedad estaría dispuesta de optar por ese combustible.

12.- ¿Consumiría el combustible que sería producido a base de plásticos utilizados?

32 respuestas.

Figura 4.10 Si la población consumiría el combustible producido a base de plásticos utilizados.



Fuente: Elaboración Propia en base a resultados de las encuestas digitales.

En el resultado obtenido la mayoría de las personas si optaría por el consumo de los combustibles alternativos, gracias a la información vista por medios sociales la gente optaría por consumir este combustible que ayudara a no contaminar al medio ambiente, además de que el parque automotor incrementa cada año y evitar el escases de los combustibles.

13.- (opcional) Quisiera dar un aporte u opinión sobre el tema de Biocombustibles o el uso de los combustibles.

Su aporte seria incluido en el proyecto con su autoría citada.

22 respuestas.

En esta pregunta de la encuesta las personas se pronunciaron que se debe hacer realidad este proyecto que ayudara al cuidado del medio ambiente y que este combustible pueda ser más accesibles para todos.

4.3. COMPARACIÓN DE COSTOS DE COMBUSTIBLE POR PIROLISIS Y OTRO CONVENCIONAL

- Un análisis termo-económico simple del proceso de pirolisis ha sido realizado. Los resultados han demostrado que es económicamente factible el uso de PP para la obtención de un combustible sustituto del combustóleo si un reactor de mayor capacidad es utilizado para el proceso de pirolisis (3 y/o 4 kg), obteniendo una

ganancia mínima de 3 \$/L aproximadamente para un periodo de capitalización de 5 años.

- Para el caso del EPS, el análisis demuestra que podría ser factible para la obtención de monómero de estireno, se ha considerado un costo de destilación de 10 \$/L y ha sido comparado con el costo del monómero de estireno en el mercado de 9 a 45 dólares/L. Los resultados muestran la factibilidad económica de la recuperación del estireno a partir del EPS.
- La mayoría de los autores citados en el presente trabajo, afirma que el aceite obtenido de estos materiales puede emplearse como sustituto de los combustibles convencionales, haciendo comparaciones con las características de los obtenidos y los ya empleados comúnmente. (Barrera, 2019).

4.4. ANALISIS DE BENEFICIOA DE COMBUSTIBLE OBTENIDO POR PIROLISIS DE PLASTICOS EN COMPARACIÓN A COMBUSTIBLE OBTENIDO POR REFINACIÓN

Figura 4.11 Producción de Biocombustibles



Fuente: (Rodrigues, 2019)

Las ventajas de la pirolisis se dividen en cuestiones ambientales, operacionales y financieras, de las cuales se encuentran

Tabla 4.10 Ventajas de Producción por pirolisis de Plásticos

Ventajas
Notable reducción del volumen de desecho (< 50 – 90 %).
Generación de productos gaseosos, líquidos y sólidos a partir de desecho.
No se requiere limpieza de gases de combustión.
Costo capital es bajo (comparado con el de la incineración).
Obtención de combustible almacenable y transportable.
Problemática ambiental de los rellenos sanitarios y la emisión de gases de efecto invernadero es reducida.
Es un proceso deseable para la obtención de energía a partir de residuos sólidos urbanos.
Posibilita una generación más eficiente de energía eléctrica.
Los productos son fácilmente comerciables.
La materia prima no requiere algún pre-tratamiento especial.
Flexibilidad del tipo de material a procesar y condiciones de operación.
Productos con bajo contenido de azufre y gases NOx
Proceso configurable acorde a los resultados deseados
Obtención de materia prima para la fabricación de químicos

Fuente: Elaboración Propia

En conclusión el combustible obtenido por pirolisis de plástico es un combustible más limpio (menos contaminante), su almacenaje es más fácil (menos costo monetario) y como se usa catalizadores para acelerar el proceso de pirolisis, logrando reducir el rango de temperaturas desde 900°C a 500°C (Marquez, 2016), lo que significa en términos monetarios un ahorro en el empleo de energía, que los combustibles obtenidos en refinería, también el proceso de pirolisis de residuos plásticos, genera tres fracciones que pueden ser usados en procesos secundarios.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Se obtuvo combustibles alternativos por el proceso de pirolisis a partir de mezclas poliméricas post-consumo para la ciudad de El Alto a escala laboratorio.
- Se recopiló la información teórica de los conceptos y tipologías de este tipo de combustibles alternativos, así como de las investigaciones existentes en la materia y datos disponibles del mercado de mezclas poliméricas.
- Se recopiló datos acerca del uso de mezclas poliméricas en la ciudad de El Alto realizando encuestas presenciales y virtuales.
- Se caracterizó el proceso de pirolisis del polímero post-consumo determinando su rendimiento en la obtención de una mezcla de hidrocarburos. Se pudo observar que el rendimiento de los polímeros de baja densidad (bolsas plásticas) es mayor con 44,05 % que los polímeros de alta densidad (botellas plásticas) con 12,45 % de rendimiento.
- Se determinó la proporción de los polímeros post-consumo que se encuentran en los residuos urbanos de la ciudad de El Alto.
- Según encuestas presenciales realizadas se concluye que la población de muestra no conoce sobre el tema de Biocombustibles ni la obtención del mismo.
- El combustible producido a partir de mezclas poliméricas en desuso sería aceptado para su consumo por la población encuestada ya que ayuda a mitigar el impacto ambiental.
- Con el uso de polímeros en desuso como materia prima, se concientizaría a la población para el reciclado de manera más efectiva.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda dar continuidad al proyecto con el uso de equipos de mayor capacidad en base al diseño de una Planta Piloto
- Se recomienda complementar con el balance de energía y masa correspondiente que fundamente de mejor manera lo demostrado mediante los experimentos realizados.
- Proceder con la caracterización mecánica y fisicoquímica en base a lo planteado en el capítulo de análisis de resultados.
- Estructurar un análisis económico y normativo mucho mas profundo referente al tema de producción de combustibles alternativos en Bolivia.

Bibliografía

- Álvarez, C. A. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (PROGRAMA DE COMUNICACIÓN SOCIAL Y PERIODISMO ed.). NEIVA: UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.
- Anadolu. (2019). *Pirólisis Analítica y Aplicada*. Elsevier, 10.
- Andres Flores, A. M. (2021). *Manejo de Residuos Plásticos*. México: Wry México.
- Aracil. (2008). *Producción de Combustibles a partir de Pirolisis*. Mexico: Science Direct.
- Barrera, A. N. (2019). Simulación y Obtención de Combustibles a partir de Pirolisis de Plásticos. *Ingeniería*, 2.
- Beston Group Co., L. (14 de 03 de 2022). *Beston*. Obtenido de <https://bestonmachinery.com>
- Bolaños Urbano, L. P. (2014). *para la obtención de combustible líquido mediante el proceso de despolimerización catalítica*. Bogota: Universidad Libre sede Bosque Popular, .
- Calderón Machuca, J. R. (2011). *Producción de etanol para uso como combustible alternativo en motores de combustión interna*. Azuay: Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología.
- Carlos, S. &. (28 de Agosto de 2006). *Mezclas Polimericas*. Obtenido de Tecnología del Plástico: <https://www.plastico.com>
- Castillo, E. (2016). *Potencial de Proceso de Pirolisis*. Colombia: Tecnicana.
- Centro Nacional de Hidrogeno. (2021). *Centro Nacional de Hidrogeno*. Obtenido de EL HIDROGENO: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#:-:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20es%20primer,es>
- Coñero Alonso, M. B. (2010). *Relación Estructura - Propiedades de Polímeros*. Cabos: Educación Química.
- Crespo, O. P. (2009). *Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos* (Vol. 30). Revista Politécnica, Departamento de Ingeniería Química.
- Crudo, E. E. (19 de Noviembre de 2019). *El Futuro Responsable*. Obtenido de <https://www.enestadocrudo.com>
- Decologia. (28 de Agosto de 2022). *Combustibles Alternativos*. Obtenido de Decologia: <https://decologia.info.com>
- Díaz Caleño, F. (2020). *Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles líquidos a partir de los plásticos generados en la Universidad Autónoma de Occidente*. SANTIAGO DE CALI : Universidad Autónoma de Occidente.

- Easy Eco Tip. (11 de Abril de 2019). *Biocombustibles*. Obtenido de Easy Eco Tip: <https://easyecotips.com>
- Edwin, M. V. (08 de 04 de 2021). *Activo\$ Bolivia-La Paz*. Obtenido de <https://activosbolivia.com/ofrecen-producir-112-mil-litros-diarios-de-diesel-made-in-el-alto-con-residuos-plasticos/>
- Energy Efficiency & Renewable. (04 de Julio de 2022). *Ahorremos Gasolina*. Obtenido de Energy Efficiency & Renewable: <https://www.fueleconomy.com>
- Energy, Efficient. (18 de Abril de 2022). *Erbol*. Obtenido de Energy Efficient: <https://www.erbol.com>.
- Erguden, G. &. (2009). *Guia de Práctica y Análisis de Datos*. España : Idealgonal Diseño.
- Espinoza, N. &. (2014). *Estudio del Proceso de Pirolisis*. Ecuador : Universidad Politécnica de Ecuador .
- Estrucplan. (26 de Octubre de 2004). *Tipos de Plásticos y Reciclajes*. Obtenido de <https://estrucplan.com>
- Foro Nuclear. (s.f.). *¿Que es el gas natural y que usos tiene?* Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas>
- Francisco, E. R. (2008). *Manejo de Residuos Solidos Domiciliarios*. Chile: Manual de la Cepal.
- gencat. (s.f.). *¿Que es la electricidad?* Obtenido de https://icaen.gencat.cat/es/eneregia/formes/electricitat/que_es/
- Hernando Romero Paredes R., J. J. (2018). *Combustibles Alternativos*. Metropolitana-Iztapalapa: Recursos Energeticos.
- Illanes, R. &. (junio de 2015). Generación de Combustibles Liquidos a Partir de Residuos Plásticos. *scielo*, www.scielo.org.bo/scielo.php?sc.
- INE, Instituto Nacional de Estadística. (OCTUBRE de 2021). *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA*. Obtenido de INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA: <https://www.ine.gob.bo/>
- Instituto Nacional de Estadística. (04 de OCTUBRE de 2021). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.ine.gob.com>
- Jóse Campos. (08 de Abril de 2021). *Indutria Para el Futuro - Combustibles*. Obtenido de Motor Pasión: <https://www.motorpasion.com>
- José, C. &. (08 de 04 de 2021). Bolivia Productora de Biocombustible . *Bienvenido al Futuro* , pág. 2.
- Lopez, C. (2016). *Reciclado de Plástico PET*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.

- Low - Tech Lab. (04 de Marzo de 2021). *Pirólisis de Plástico*. Obtenido de <https://wiki.lowtechlab.com>
- Luna, L. A. (14 de Diciembre de 2019). Producción de Combustibles. *Pirólisis de Desechos Plásticos*. Mexicali, Baja California, Mexico: Tesis.
- M., B. (2017). *Termo Fisher*. Noviembre: Science.
- Mancilla, B. M. (2012). *Tecnología de Polimeros Procesados y Propiedades*. España: Unión de Editorias Universitarias Españolas.
- Marcelo Delfin, D. G. (2009). Diagnostico de Residuos Bolivia. *Ministerio de Medio Ambiente y Agua*, 66.
- Marquez, A. &. (2016). *Combustibles Alternativos*. Peru: Universidad Catolica San Pablo.
- Ministerio Para la Trancisión Ecológica. (03 de Agosto de 2010). *Valoración Energetica* . Obtenido de Tratamiento Térmico: <https://www.miteco.gob.com>
- N., B. (1979). *Introduction To Coal*. New York: Wiley.
- Orús, A. (17 de 05 de 2021). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com>
- Pablo, O. &. (10 de Septiembre de 2019). *Generación de Residuos de Plástico*. Obtenido de <http://www.politicaspUBLICAS.com>
- Plastic, C. (16 de 09 de 2019). *Cynar* . Obtenido de <https://plasticenergy.com/>
- Plastivida, E. (15 de Octubre de 2006). Obtenido de Manual de Valorización de los Residuos Plásticos: <http://www.Ecoplast.com>
- Precio Gas. (7 de junio de 2022). *Propano:formula y tipos de suministro*. Obtenido de Propano:formula y tipos de suministro: <https://preciogas.com/instalaciones/glp/propano>
- Primagas. (17 de Mayo de 2017). *Primagas Energia eu*. Obtenido de Primagas: <https://blog.primagas.com>
- Proaño, C. y. (2007). Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos. *Scielo*, 6-7.
- QUIMICA.ES. (s.f.). *QUIMICA.ES*. Obtenido de Etanol: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Etanol.html>
- Rodrigues, L. A. (2019). *Prduccion de Combustibles por pirolisis*. Mexicali, Baja California: Universidad Baja California.
- Saenz, F. C. (28 de 06 de 2016). *Studylib.es*. Obtenido de <https://studylib.es>
- SciElo. (11 de 10 de 2015). *SciElo*. Obtenido de <http://www.scielo.com>
- Scielo. (2020). Obtencion de Bioproductos por Pirolisis Lenta . *Revista Colombiana de Quimica*, 23-29.

Sebastian Amar Gil, A. N. (06 de 07 de 2019). *Simulación y Obtención de Combustibles Sintéticos*. Obtenido de <https://images.app.goo.com>

Tecnología de Plástico. (15 de Febrero de 2019). *Reducción de Plásticos*. Obtenido de <https://www.plastico.com>

Textos Científicos. (22 de Junio de 2005). *Polímeros Cristalinos y Amorfos*. Obtenido de <https://www.google.com>

Todo En Polimeros. (14 de Agosto de 2020). *La Pirolisis como Fuente de Materia Prima*. Obtenido de Todo en Polimeros: <https://todoenpolimeros.com>

Trinchera, R. I. (04 de Marzo de 2018). *Tipos de Reciclados*. Obtenido de <https://recicladoslatrinchera.com>

V., C. J. (2019). *Química General*. Lima: Corinto.

V., E. M. (08 de Abril de 2021). Biocombustibles Alternativos en Bolivia. *Bolivia Energia Libre*, pág. 2.

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCION SENAPI



2022-TL-T-1116-D-T

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2966/2022
La Paz, 13 de Diciembre del 2022**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **8 de Diciembre del 2022**, por **NICOLÁS QUENTA TICONA**, con C.I. N° **2342704 LP**, con número de trámite **DA 1382/2022**, señala la pretensión de inscripción de la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA"**, conformada por las Obras Escritas: **"PRODUCCIÓN DE ANTICORROSIVO A PARTIR DE RESIDUOS DE CÍTRICOS PARA LA ALIMENTACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, **"OBTENCIÓN DE ÁCIDO TEREFTÁLICO POR SOLVOLISIS A PARTIR DE POLIETILENO DE TEREFTALATO EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, **"PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE TUBÉRCULOS PARA AUMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN LA CIUDAD DE EL ALTO"** y **"PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en los Formularios de Solicitud, documentación que tiene la calidad de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 505,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani,
Telfs.: 2115700 - 2115276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 25, Edif. Bicentenario,
Telfs.: 3127752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Noroeste,
Telfs.: 4041403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 58,
zona 15 de Julio,
Telfs.: 2141001 - 72042009

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Uriolagaita,
zona Parque Bolívar,
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa,
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fle),
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Albo y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA"**, conformada por:

- **"PRODUCCIÓN DE ANTICORROSIVO A PARTIR DE RESIDUOS DE CÍTRICOS PARA LA ALIMENTACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: RUDDY SIMÓN MACHICADO OSCO con C.I. Nº 4291617 LP, ANA CAROLA CHURA BALTAZAR con C.I. Nº 1769093 PD y MERY MAMANI CALLIZAYA con C.I. Nº 9129953 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA, con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- **"OBTENCIÓN DE ÁCIDO TEREFTÁLICO POR SOLVOLISIS A PARTIR DE POLIETILENO DE TEREFTALATO EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: STEFFI LAURA USQUIANO MARQUEZ con C.I. Nº 6923742 LP, HEBERT HILARI PACOSILLO con C.I. Nº 9953502 LP y RICHARD RUBEN LUQUE POMA con C.I. Nº 9103862 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- **"PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE TUBÉRCULOS PARA AUMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: ELMA ROCIO CORDOVA QUISPE con C.I. Nº 4287743 LP, HECTOR RAMIRO MORALES FERNANDEZ con C.I. Nº 8366229 LP y LOLA ESTELA MALDONADO MAMANI con C.I. Nº 7093609 LP y como titular

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani,
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3321752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, Nº 549,
Piso 2, entre Artaza y Lanza
zona Central - Noroeste.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 3550-
Edif. Multicentro El Leño
Uda. Piso 2, Of. 58,
zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Villavejo 7, Nº 365
casi esq. Viriklagotia,
zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingarvi, Nº 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa.
Telf.: 7205286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
Nº 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie).
Telf.: 67201288

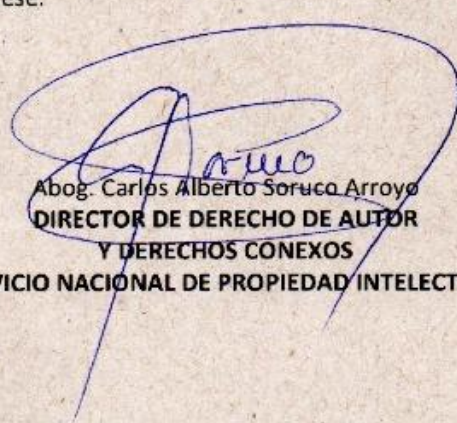
Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alva y San Alberto,
Edif. AM. Salinas Nº 252,
Primer Piso, Of. 17.

derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO - UPEA, con NIT N° 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.

- "PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD DE EL ALTO", a favor de los autores: ANA LUISA PARI TICONA con C.I. N° 6753005 LP, bajo el seudónimo ANA LUISA, ANA GABRIELA APAZA MAMANI con C.I. N° 9910420 LP y NOEMI MAMANI CHOQUE con C.I. N° 9250147 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT N° 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.

Quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abog. Carlos Alberto Soruco Arroyo
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/osmb
c.c:Arch.



**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 515,
entre Esc. Uruguay y
C. Batallón Illimani,
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario,
Telfs.: 3211752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Noroeste,
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 360
Edif. Multicentro El Ceibo,
Isla. Piso 2, Of. 5B,
zona 16 de Julio,
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 365
caso esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar,
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pompa,
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie),
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 262,
Primer Piso, Of. 17.

ANEXO 2

FOTOGRAFIAS ENCUESTAS PRESENCIALES

Figura 5.1 Fotografías del y la encuestada de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

Figura 5.2 Fotografías del y la encuestada de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

Figura 5.3 Fotografías de los encuestados de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

Figura 5.4 Fotografías de los encuestados de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

Figura 5.5 Fotografías del y la encuestada de la Zona Ciudad Satélite – Villa Exaltación



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Exaltación*

Figura 5.6 Fotografías del y la encuestada en la Zona Senkata



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*

Figura 5.7 Fotografías de las encuestadas de la Zona Senkata



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*

Figura 5.8 Fotografías del y la encuestada de la Zona Senkata



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*

Figura 5.9 Fotografías del y la encuestada de la Zona Senkata



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Senkata*

Figura 5.10 Fotografías del y la encuestada de la Zona 16 de Julio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
20 e Julio*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 de Julio*

Figura 5.11 Fotografías de las encuestadas de la Zona 16 de Julio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 e Julio*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 de Julio*

Figura 5.12 Fotografías del y la encuestada de la Zona 16 de Julio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 e Julio*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 de Julio*

Figura 5.13 Fotografías de los encuestados de la Zona 16 de Julio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 e Julio*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 de Julio*

Figura 5.14 Fotografías de las encuestadas de la Zona 16 de Julio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 e Julio*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
16 de Julio*

Figura 5.15 Fotografías de los encuestados de la Zona Villa Ingenio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Ingenio*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Ingenio*

Figura 5.16 Fotografías del y la encuestada de la Zona Villa Ingenio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Ingenio*

*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Ingenio*

Figura 5.17 Fotografías del y la encuestada en la Zona Villa Ingenio



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Ingenio*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Villa Ingenio*

Figura 5.18 Fotografías del y la encuestada de la Zona Tahuantinsuyo



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Tahuantinsuyo*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Tahuantinsuyo*

Figura 5.19 Fotografías de las encuestadas de la Zona Tahuantinsuyo



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Tahuantinsuyo*



*Fuente: Elaboración propia en base a la
Encuesta realizada en la Zona
Tahuantinsuyo*

ANEXO 3

PRUEBAS DE LABORATORIO

Figura 5.20 Fotografías del lavado y picado manual del PET



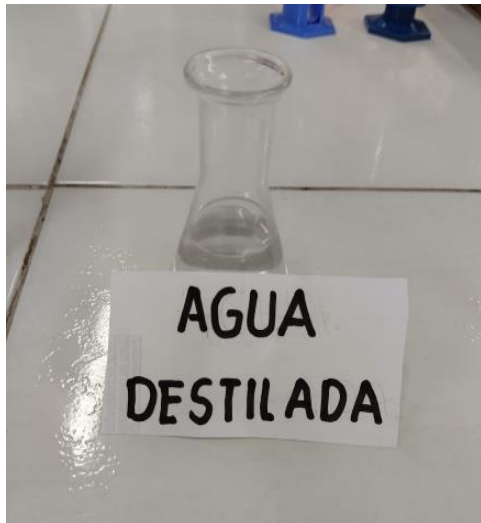
Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.21 Fotografías del armado del equipo de destilación simple



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio

Figura 5.22 Fotografía del agua destilada y alcohol isopropílico



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.23 Fotografía de la medición del permanganato de potasio y la medición de la masa de la materia prima



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.24 Fotografía de medición volumétrica y el pesado de la masa



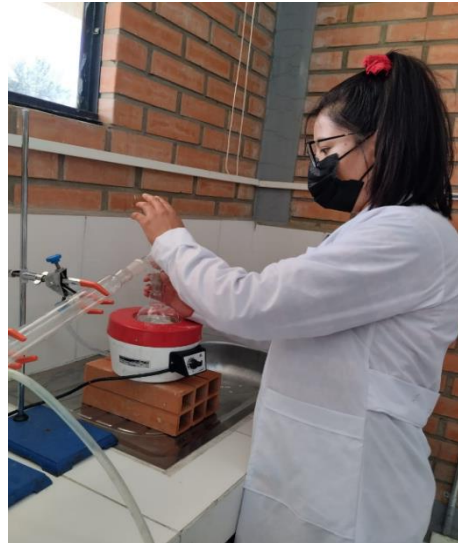
Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.25 Fotografía de la medición volumétrica de la solución líquida y la mezcla de todas las soluciones y materia prima en el balon de destilación



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.26 Fotografía del mezclado de las soluciones en el balon de destilacion y el montado de la misma



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.27 Fotografía de la manta calentadora y el destilación en funcionamiento



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.28 Fotografía de la toma de la temperatura y el cronometro para los cálculos



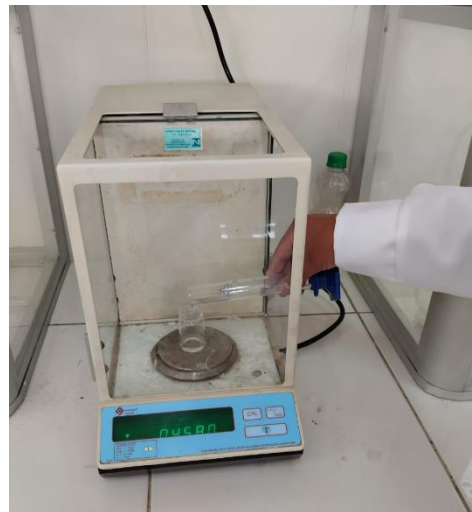
Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.29 Fotografías del pesado de la masa del producto obtenido en la prueba 1 y prueba 2

Prueba 1



en la prueba 2



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 1 y 2 realizado

Figura 5.30 Fotografía del residuo obtenido y el pesado de la masa de la misma



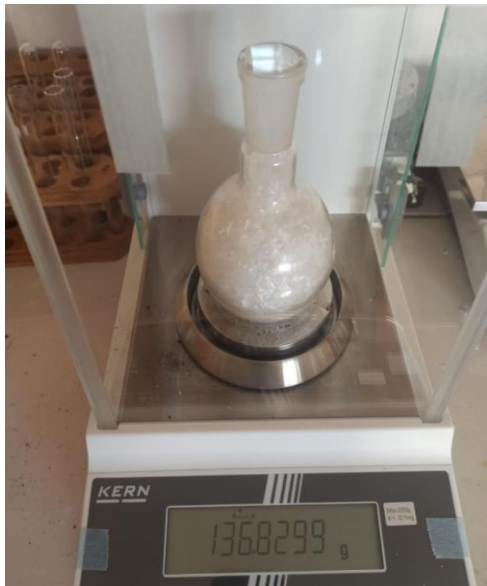
Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 2 realizado

Figura 5.31 Fotografías del picado manual de la materia prima y la introducción de la misma en el balón de destilación para la prueba 3



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

Figura 5.32 Fotografía del pesado de la masa de la materia prima y la medición del volumen del agua destilada para la prueba 3



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

Figura 5.33 Fotografía de medición de masa del alcohol isopropilico y el pesado de la masa de la misma



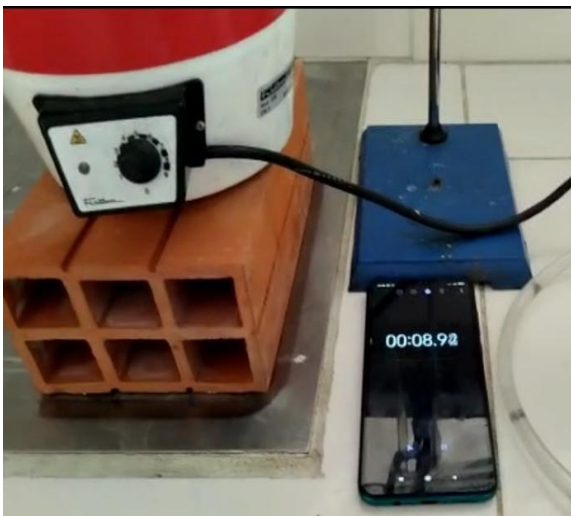
Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

Figura 5.34 Fotografía de medición de la masa de carbón activado y el montado del balon de destilacion



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

Figura 5.35 Fotografía del cronometrado y la toma de temperatura de la prueba



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

Figura 5.36 Fotografías de las observaciones de experimento del producto destilado



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

Figura 5.37 Fotografía de los residuos que quedo en el balón de destilacion como en el equipo



Fuente: Elaboración propia en base al laboratorio 3 realizado

ANEXO 3

PARTICIPACION EN LA FERIA CIENTIFICA

Figura 5.38 Fotografías de la participación a la 6ta Expo – Ciencia del Área Ciencia y tecnología y de los ganadores de la misma



Fuente: Elaboración propia en base a la participación a la 6ta Expo – Ciencia del Área Ciencia y Tecnología

Figura 5.39 Fotografía de la participación a la feria Institucional UPEA con el Stan número 24



Fuente: Elaboración propia en base a la participación a la feria Institucional UPEA