



**ANALISIS DE ALTERNATIVAS
TECNOLOGICAS PARA LA
VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS
EN LA CIUDAD DE MANIZALES**

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES.FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA. INGENIERÍA AMBIENTAL



2016

TRABAJO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA CIUDAD
DE MANIZALES**

**KATHERINE MONTOYA CAMARGO & KELLY LIZZETH
RONCANCIO CARDONA.**

MAYO 2016

TRABAJO DE GRADO

**ANALISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA LA
VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN
LA CIUDAD DE MANIZALES**

**TRABAJO DE GRADO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERAS AMBIENTALES**

PRESENTADO POR:

**KATHERINE MONTOYA CAMARGO & KELLY LIZZETH RONCANCIO
CARDONA.**

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO:
DOC JAVIER MAURICIO NARANJO VASCO

Ingeniero Química

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
MANIZALES**

2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIAS

A Dios y a nuestras familias...

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestras familias

Por ser nuestro principal apoyo y motivación.

A nuestros maestros

Gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que nos transmitieron en el desarrollo de nuestra formación profesional.

Al Ing. Javier Mauricio Naranjo Vasco

Por ser un excelente guía no solo en el desarrollo del presente proyecto, sino durante todo el transcurso de nuestro proceso universitario; además de brindarnos su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de este proyecto de investigación.

A la Universidad Católica Manizales y en especial al Programa de Ingeniería Ambiental

Por permitirnos ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

RESUMEN

Manizales es una Ciudad que se encuentra en función del fortalecimiento de su Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, buscando promover la articulación y trabajo conjunto de los entes responsables de la gestión y manejo adecuado de los residuos, investigando alternativas tecnológicas de valorización y aprovechamiento de estos materiales y disminuyendo los procesos convencionales de manejo de estos con el fin de reducir los impactos ambientales generados en la Ciudad, principalmente por los malos usos que se le dan a los residuos en su fase de disposición final.

Teniendo en cuenta que en la ciudad se generan aproximadamente 110888 ton al año de residuos de los cuales la cantidad aprovechable de PET mensual de la ciudad equivale a 701,814 ton/mes, y de esta cifra solo el 1,81% es la cantidad aprovechada, es decir, 12,704 Ton/mes, en el desarrollo de esta investigación se analizarán las alternativas tecnológicas de aprovechamiento y valorización de residuos plásticos implementadas en otras regiones con el fin de determinar cuál podría ser la más conveniente para la ciudad de Manizales, de manera que se procese el potencial aprovechable de PET de la ciudad y se disminuyan los impactos que la acumulación de estos residuos genera.

ABSTRACT

Manizales is a city that has been strengthening its Plan of Integrated Solid Waste Management, seeking to promote the coordination and joint work of the entities responsible for the management and proper waste management; researching technological alternatives of value and recovery of these materials and reducing conventional management processes in order to reduce the environmental impacts in the city, primarily by misuses that are given to the waste disposal phase.

Given that in the city, approximately 110,888 tons per year of waste is generated, where only approximately 701.814 ton per month of PET is recovered in the city; and out of this figure, only 1.81% is the amount being reused, ie 12.704 tons/month. Throughout the development of this research, technological alternatives for the use and recovery of plastic waste implemented in other regions will be analyzed, in order to determine which could be the most convenient for the city of Manizales, consequently processing the recoverable potential of the PET in the city and reducing the impacts that can be generated by the accumulation of these wastes.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO 1	1
CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	8
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
CAPITULO 2.....	11
METODOLOGIA	11
DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA	11
2.1. ANALIZAR ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS QUE SE HAN IMPLEMENTADO EN CONTEXTO INTERNACIONAL.....	11
2.2. DETERMINAR QUÉ ALTERNATIVA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS SE PUEDE IMPLEMENTAR EN LA CIUDAD DE MANIZALES DE ACUERDO A SU CONTEXTO ECONÓMICO, SOCIAL, POLÍTICO Y CULTURAL...	12
2.3. FORMULAR UN PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA ESCOGIDA.....	14
CAPITULO 3.....	15
MARCO DE REFERENCIA	15
3.1. RECICLAJE	17
3.1.1. RECICLAJE MECÁNICO	17
3.1.2. RECICLAJE QUÍMICO (TERCIARIO).....	20
3.1.3. RECUPERACIÓN ENERGÉTICA (CUATERNARIO)	21

CAPITULO 4.....	22
RESULTADOS.....	22
4.1. RECICLAJE MECANICO DE PET	22
4.1.1. EXPERIENCIA EXITOSA DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA	30
4.1.2. CONSIDERACIONES ECONOMICAS.....	40
4.1.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL	42
4.2. RECICLAJE QUÍMICO	43
4.2.1. PIRÓLISIS	44
4.2.2. HIDROGENACIÓN.....	51
4.2.3. GASIFICACIÓN	54
4.2.4. METANÓLISIS.....	59
4.3. RECUPERACIÓN ENERGETICA.....	61
4.3.1. SISTEMA DE COMBUSTIÓN CON PARRILLA DE COMBUSTIÓN O REJILLA MÓVIL	62
4.3.2. SISTEMA DE LECHO FLUIDIZADO.....	65
4.3.3. EXPERIENCIA EXITOSA DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA	68
4.3.4. CONSIDERACIONES ECONOMICAS.....	72
4.3.5. IMPORTANCIA AMBIENTAL	73
4.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE TECNOLOGIA.....	78
4.4.1. PRIMERA ETAPA: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA	79
4.4.2. SEGUNDA ETAPA: DIAGNOSTICO DE LA TECNOLOGÍA.....	80
4.4.3. TERCERA ETAPA: PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS	89
4.5. FORMULACIÓN DEL PROGRAMA.....	92
4.5.1. PROGRAMA DE RECOLECCIÓN SELECTIVA.....	93
4.5.2. PROGRAMA DE INVERSIÓN.....	94
CAPITULO 7.....	102
CONCLUSIONES	102
SUGERENCIAS.....	104



Universidad Católica de Manizales
Programa de Ingeniería Ambiental
Trabajo de Grado

REFERENCIAS..... 105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso Metodológico	11
Figura 2 Tipos de Reciclaje	17
Figura 3 Procedencia Plásticos utilizados en Reciclaje Mecánico	18
Figura 4 Etapas del reciclaje mecánico.....	22
Figura 5 Planta de reciclaje PETSTAR	30
Figura 6 Participación accionaria en PETSTAR	31
Figura 7 Estructura de reciclaje PETSTAR	32
Figura 8 Planta de Reciclaje PETSTAR.....	33
Figura 9 Almacen de Materia prima	34
Figura 10 Zona de alimentación	35
Figura 11 Zona de molienda	36
Figura 12 Zona de lavado	37
Figura 13 Zona de extrusión	38
Figura 14 Resina (Pellets) de PET grado Alimenticio.....	39
Figura 15 Material recuperado por la empresa PETSTAR.....	41
Figura 16 Métodos de Reciclaje Químico	44
Figura 17 Tipos de Pirólisis	45
Figura 18 Proceso de Pirólisis.....	45
Figura 19 Proceso Pirolisis	48
Figura 20 Sistema de Hidrogenación de Residuos Plásticos	52
Figura 21 Proceso de Gasificación	57
Figura 22 Diagrama de Metanólisis del PET	60
Figura 23 Sistemas de Combustión.....	62
Figura 24 Sistema de combustión con rejilla móvil	63
Figura 25 Sistema de lecho fluidizado.....	65
Figura 26 Sistema de tratamiento de residuos, Centro las Lomas	69

Figura 27 Centro de las Lomas	71
Figura 28 Planta de valorización energética TERSA	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Etapas del reciclaje mecánico	29
Tabla 2 Productos obtenidos de la Pirólisis	47
Tabla 3 Etapas de la Gasificación	55
Tabla 4 Condiciones generales Centro Las Lomas	70
Tabla 5 Aspectos generales Reciclaje Mecánico	74
Tabla 6 Aspectos generales Reciclaje Químico-Pirólisis	75
Tabla 7 Aspectos generales Reciclaje Químico Hidrogenación	76
Tabla 8 Aspectos generales Reciclaje Químico-Gasificación	76
Tabla 9 Aspectos generales Reciclaje Químico-Metanólisis	77
Tabla 10 Aspectos generales Recuperación Energetica.....	77
Tabla 11 Análisis de tecnología Reciclaje Mecánico	81
Tabla 12 Análisis de tecnología Reciclaje Químico, Pirólisis	82
Tabla 13 Análisis de tecnología Reciclaje químico, Hidrogenación	83
Tabla 14 Análisis de tecnología Reciclaje químico, Gasificación	84
Tabla 15 Análisis de tecnología Reciclaje químico, Metanólisis	84



Tabla 16 Análisis de tecnología Recuperación Energética.....	85
Tabla 17 Ponderación de Criterios.....	90
Tabla 18 Resultados Ponderación de Criterios	91

CAPITULO 1

CONTEXTUALIZACIÓN

1.1.INTRODUCCIÓN

La cantidad de residuos sólidos generados por las sociedades en vías de desarrollo ha aumentado considerablemente en los últimos años debido al incremento en la producción de diferentes actividades productivas en las que se emplean materiales como el papel, cartón, plásticos y diferentes empaques de vidrio. Especialmente en la utilización de residuos plásticos de tipo PET se evidencian impactos ambientales negativos significativos relacionados principalmente con la utilización del petróleo (recurso no renovable) como materia prima empleada para su fabricación, lo que conlleva a que se generen altos consumos de energía, generación de gases de efecto invernadero, disminución en la capacidad de biodegradabilidad del material, prolongación y acumulación de este en rellenos sanitarios y cuerpos de agua. Por estas razones esta problemática requiere una atención especial por parte de la sociedad debido a la necesidad que surge de proteger el ambiente de los impactos negativos generados principalmente por la acumulación de estos residuos. En este sentido, los esfuerzos se centran en reducir al máximo la generación de residuos y en buscar vías de aprovechamiento de aquellos residuos que son inevitables de generar, por lo cual se buscan soluciones mucho más viables desde el punto de vista técnico, ecológico y económico, con el fin de disminuir su vertido o disposición final.

La ciencia y la tecnología en los últimos años se ha dedicado a desarrollar herramientas para tratar los residuos plásticos como una verdadera fuente de recursos, ya que en el mundo actual, donde el cuidado ambiental y de los recursos naturales se impone, no es aceptable seguir considerando este tipo de residuos como inservibles o basura, por el contrario, se deben ver como recuperables.

Por este motivo, en distintos países del mundo, entidades como la APC (American Plastics Council), Plastic Europe (Asociación de Fabricantes de Materiales Plásticos de

Europa), EPIC (Environment and Plastics Industry Council - Canadá), PWMI (Plastics Waste Management Institute - Japón), PACIA (Plastics and Chemical Industries Association - Australia), Plastivida Brasil, Acoplásticos Colombia, entre otras, están trabajando en el estudio y la investigación de las mejores formas de minimizar y aprovechar los residuos plásticos.

Según el Boletín Técnico N°36 titulado Position Paper Bolsas plásticas + Propuesta superadora, realizado por la Asociación Ecoplas, la principal estrategia adoptada en todo el mundo es el principio denominado de las 4 R:

- **Reducir**
- **Reusar**
- **Reciclar**
- **Recuperar**

Según dicho informe cada una de las 4 R son definidas de la siguiente forma:

- **Reducir:** Conocido también como Reducción en la Fuente, es decir, el principio básico está basado en disminuir al mínimo posible el peso y/o cantidad de los envases para que cumplan con su función específica. Esta actividad tiene prioridad sobre los demás ya que la mejor solución es no generar el residuo.
- **Reusar:** Consiste en reusar para el mismo uso o darle otras aplicaciones a los productos plásticos.
- **Reciclar:** Consiste en someter a los residuos a diferentes procesos mecánicos o químicos para volver a usarlos en la misma aplicación u otro uso.
- **Recuperar:** Consiste en recuperar la energía que contienen los residuos plásticos mediante el reciclado energético.

Tomando el principio de las 4R como una solución multidisciplinaria para promover la implementación de diversos sectores y de la comunidad en una adecuada gestión de los

residuos plásticos, en este trabajo de investigación se analizarán cuáles son las alternativas diferentes a los ecoladrillos que enmarcadas en el Reciclaje y Recuperación (dos de las cuatro R), se emplean con mayor frecuencia a nivel mundial para recuperar, aprovechar y valorizar los materiales plásticos de tipo PET y de esta forma determinar cuál de estas alternativas se puede ajustar al contexto social, económico, político y ambiental de la Ciudad de Manizales.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento a nivel mundial con relación a la producción de materiales plásticos ha aumentado considerablemente en los últimos años. Según un reporte de la asociación PlasticsEurope en 2011 la producción mundial de plásticos aumentó en diez millones de toneladas (3,7%) hasta alcanzar las casi 280 millones de toneladas, volviendo a la tendencia de crecimiento de la que había gozado el sector desde 1950 que se situaba en un 9 % anual. Dada esta cifra es posible observar cómo la competitividad del sector va en aumento y el mercado del plástico se desplaza cada vez más debido a la demanda de este tipo de productos.

Según este reporte, el incremento de la producción a nivel mundial para el 2011 representó un aumento del 4% comparado con el año 2010 en el que se produjeron 270 millones de toneladas de plásticos. Por lo que el señor Wilfried Haensel, Director Ejecutivo de la asociación declaró lo siguiente: “Estas primeras estimaciones nos dan confianza en cuanto al crecimiento y la estabilidad de nuestro mercado para los meses venideros. Para el período de 2010 a 2016, se espera que el consumo global de plásticos crezca, de media, en torno al 4% anual”. Es decir para el 2016 se espera una producción de aproximadamente 340.662.812,7 millones de toneladas.

Adicional a esto el informe detalla cuales son los cinco tipos de plásticos más comunes (poliolefinas, PVC, PS, EPS y PET), los cuales representan casi el 70% de la demanda mundial, es decir aproximadamente 200 millones de toneladas; dentro de los cuales se encuentra el PET como uno de los materiales de mayor demanda (PlasticsEurope, 2012).

Sin embargo, la utilización de este tipo de material (PET) conlleva a diferentes problemáticas ambientales que surgen en todo su ciclo de vida, desde la producción y materia prima empleada hasta su disposición final. En el proceso de producción se generan gases de efecto invernadero que alteran significativamente la temperatura de todo el

planeta, siendo uno de los principales causantes del cambio climático. Esto se debe principalmente a que en los procesos de producción de monómeros hay altos consumos energéticos. Esta demanda de energía, depende principalmente de si la unidad de polimerización está integrada en un complejo más grande en el cual se disponga de vapor a baja o alta presión (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009). Adicional a esto, debido a que es un material no biodegradable el tiempo de descomposición de estos productos es lento, lo que conlleva a que permanezcan de 100 a 1000 años en rellenos sanitarios y cuerpos de agua, perjudicando de una forma negativa la vida de miles de especies. En los últimos años, la acumulación de residuos PET en los sitios de disposición ha aumentado notoriamente, debido a las malas técnicas empleadas para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de estos residuos sólidos. Prueba de ello se evidencia con el llamado “séptimo continente”, una isla que se encuentra en medio del Océano Pacífico formada por millones de toneladas de plásticos y otros residuos. El motivo de la acumulación de tal vertedero en medio del Océano Pacífico, es la confluencia en ese punto de la corriente en vórtice del Pacífico Norte con los vientos alisios del sur, que se mueven en direcciones opuestas, lo que da lugar a un remolino que impide que los desechos plásticos se dispersen hacia las costas.

Con respecto al impacto negativo que genera, es posible afirmar que perjudica el medio natural marino, debido a que los plásticos al ser fotodegradables se descomponen por efecto de la luz solar en polímeros más pequeños, hasta el punto de formar toxinas, partículas tan pequeñas que pueden llegar a alcanzar el tamaño del plancton y ser ingeridas por peces, siendo ésta una vía de entrada de los residuos de basura en la cadena alimentaria, de esta forma miles de aves y mamíferos marinos mueren cada año por la ingesta de estas partículas o bien atrapados entre los plásticos (Twenergy, 2013).

Como se puede notar los principales impactos ambientales negativos con relación al ciclo de vida del PET están principalmente asociados a la fase de disposición final, ya que en la actualidad no se hace una gestión adecuada de dichos residuos y se carece en la mayoría de los casos de programas de aprovechamiento y tecnologías en pro de la valorización de este tipo de residuos.

Las favorables condiciones de la economía colombiana en los últimos años, han permitido un incremento del consumo en los hogares colombianos y por lo tanto, un mayor consumo de productos de la industria de alimentos y bebidas, hecho que ha tenido una incidencia positiva sobre el sector que provee materias primas e insumos, como es el caso de los plásticos.

La legislación colombiana por medio del artículo 88 del Decreto 2981 de 2013, establece que corresponde a los municipios y distritos elaborar, implementar, y mantener actualizado un plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS en el ámbito local o regional según el caso, y que los programas y proyectos allí adoptados deberán incorporarse en los Planes Municipales de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas.

Dicho PGIRS está definido como el “instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos.”

En concordancia con lo establecido por la norma, en Colombia se adopta la metodología del PGIRS para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. La cual determina cuales son las consideraciones que debe tener todo programa de aprovechamiento de residuos.

En nuestro país con respecto al manejo de residuos plásticos solo se ha utilizado el reciclaje mecánico como tecnología de aprovechamiento en una proporción no muy significativa, por lo cual en la actualidad aún se evidencian falencias en las acciones ejecutadas por los programas de aprovechamiento establecidos por los PGIRS de cada uno de los municipios.

Con relación a la Ciudad de Manizales Según información proporcionada por la Empresa Metropolitana de Aseo de Manizales, para el año 2014 la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario La Esmeralda fueron aproximadamente 101906,81

ton y para el año 2015 esta cifra ascendió a 110888 ton, presentando un aumento considerable del 8,8 %. Y de acuerdo al análisis realizado en la primera fase de esta investigación, es posible afirmar que de la cantidad aprovechable de PET mensual de la ciudad (701,814 ton/mes), solo el 1,81% equivale a la cantidad aprovechada, es decir a 12,704 Ton/mes, del cual el 24,2% (3,08 ton/mes) de este valor equivale a la cantidad de PET aprovechado por el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad.

Estas cifras evidencian que si bien el PGIRS de la ciudad de Manizales ejecuta un programa de aprovechamiento denominado “Reciclemos” en el cual se trata de aprovechar cierta cantidad de los residuos generados, en la actualidad dicho programa es insuficiente. Debido a que no existe un programa de aprovechamiento específico para tratar solo los residuos plásticos, no se ejerce una cobertura total de la población y no existe una caracterización organizada de la cantidad de residuos plásticos con potencial de aprovechamiento.

Por tal motivo, se hace pertinente determinar cuáles son las alternativas tecnológicas más convenientes de aprovechamiento y valorización de residuos plásticos de PET para la Ciudad de Manizales con el fin de disminuir los impactos ambientales generados por estos materiales y contribuir a un mejor manejo de los residuos según lo establecido por el PGIRS de la Ciudad.

1.3.JUSTIFICACIÓN

En la Ciudad de Manizales, solo se cuenta con un programa de aprovechamiento y gestión de residuos, implementado por el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad, este programa denominado RECICLEMOS, desarrollado desde hace 10 años, tiene como función generar cultura ciudadana de separación en la fuente y movilizar hábitos para el adecuado manejo de los residuos sólidos. Sin embargo, a pesar de que ha contribuido en la implementación de rutas selectivas en la mayoría de comunas de la ciudad, ha generado campañas de educación ambiental en cuanto a separación en la fuente y ha logrado detectar las principales centrales de acopio que trabajan con diferentes tipos de materiales, en la actualidad se ha observado como las campañas lideradas por el programa son insuficientes, debido a que no es posible ejercer cobertura en la totalidad de la población. A su vez, existe un desconocimiento por parte de quienes lideran el programa en cuanto a cuantas y cuales centrales de acopio existen en su totalidad, sin dejar a un lado el hecho de que pueden considerarse escasas para manejar la cantidad de residuos recuperables generados en la Ciudad. Este análisis denota como Manizales aún se encuentra en función del fortalecimiento de su Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, buscando promover la articulación y trabajo conjunto de los entes responsables de la gestión y manejo adecuado de los residuos, investigando alternativas tecnológicas de valorización y aprovechamiento de estos materiales y disminuyendo los procesos convencionales de manejo de estos, con el fin de reducir los impactos ambientales generados en la Ciudad, principalmente por los malos usos que se les da a estos materiales en su fase de disposición final.

Por tal motivo se hace necesario analizar las alternativas tecnológicas implementadas por otras regiones, diferentes a las actividades de reúso de residuos como ecoladrillos, con el fin de establecer cuál podría ser la más conveniente para la ciudad de Manizales, a partir del diagnóstico que se tenga de la situación actual de la ciudad y del análisis del ciclo de vida del producto plástico seleccionado. De esta forma se identificará cuáles son las

verdaderas potencialidades y limitantes que tiene Manizales para implementar dicha alternativa, analizando la posibilidad de articulación de esta a otro tipo de programas y siendo punto de partida para estudios posteriores avanzados de pre factibilidad.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar y proponer alternativas tecnológicas para la valorización y disposición final de residuos plásticos de tipo PET en la ciudad de Manizales.

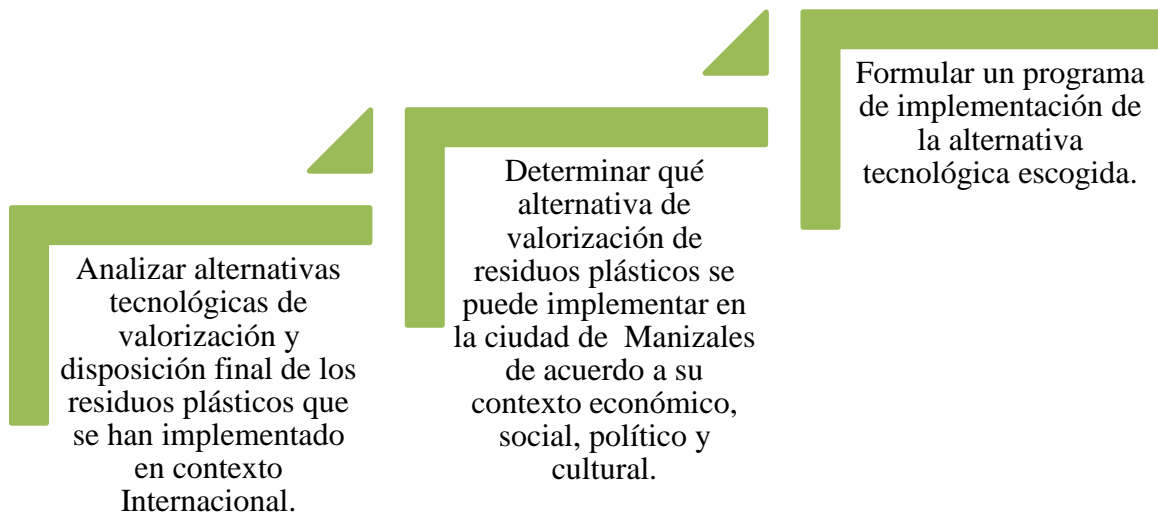
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar alternativas tecnológicas de valorización y disposición final de los residuos plásticos que se han implementado en contexto Internacional.
- Determinar qué alternativa de valorización de residuos plásticos se puede implementar en la ciudad de Manizales de acuerdo a su contexto económico, social, político y cultural.
- Formular un programa de implementación de la alternativa tecnológica escogida.

CAPITULO 2 METODOLOGIA

La metodología que se aplicó se describe en la siguiente figura:

Figura 1 Proceso Metodológico



DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA

2.1. ANALIZAR ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS QUE SE HAN IMPLEMENTADO EN CONTEXTO INTERNACIONAL.

El análisis de las alternativas se basó inicialmente en la compilación de información procedente de revistas y trabajos de investigación, fuentes bibliográficas, bases

de datos, herramientas informáticas y casos exitosos de aplicación de estas tecnologías a nivel internacional.

Las bases de datos más representativas para el estudio fueron las siguientes:

- Scielo
- redalyc.org
- american chemical society.com (acs.org)
- sciencedirect.com

De acuerdo a la información obtenida se describió la información teniendo en cuenta su funcionamiento, experiencia exitosa de aplicación, consideraciones económicas y consideraciones ambientales.

Finalmente se procedió a clasificar la información de cada una de las tecnologías en una matriz con los siguientes aspectos: Producto, rendimiento, impactos ambientales positivos y negativos y nivel de costo.

2.2. DETERMINAR QUÉ ALTERNATIVA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS SE PUEDE IMPLEMENTAR EN LA CIUDAD DE MANIZALES DE ACUERDO A SU CONTEXTO ECONÓMICO, SOCIAL, POLÍTICO Y CULTURAL.

La elección de la alternativa de valorización más adecuada para implementar en la ciudad de Manizales se llevó a cabo por medio de tres etapas.

2.2.1. PRIMERA ETAPA: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

En esta etapa, se analizaron las tecnologías, tomando como referencia algunos de los criterios establecidos por la resolución 754 de 2014, la cual adopta la metodología para

la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los planes de gestión integral de residuos sólidos para Colombia.

El análisis de las tecnologías, se realizó con base en el estudio de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos, del cual solo se tomaron algunos criterios teniendo en cuenta aspectos financieros, técnicos, ambientales y sociales.

Finalmente la información obtenida basada en cada uno de estos aspectos se procedió a compilar en una matriz en un libro de Excel.

2.2.2. SEGUNDA ETAPA: DIAGNÓSTICO DE LA TECNOLOGÍA

una vez realizado el análisis anterior y teniendo conocimiento de que información se dispone con respecto a cada una de las tecnologías, se procedió a organizar la información obteniéndose una evaluación teórica a través de una matriz basada en los siguientes cinco criterios:

- cantidad reciclable de PET: en este criterio se determinó si la cantidad de material plástico PET aprovechable de la ciudad de Manizales es suficiente para obtener un eficiente desarrollo de la tecnología.
- maduración: se determinó si las tecnologías se encuentran a escala de laboratorio, plantas piloto o implementadas a nivel industrial (comercial).
- beneficio ambiental: se evaluó la pertinencia ambiental de la tecnología teniendo en cuenta las alteraciones medioambientales (impactos positivos y negativos) que genera su implementación.
- producto: en este criterio se evaluó la viabilidad comercial del producto de cada una de las tecnologías.

- actores interesados: se determinó la factibilidad de compra por parte de los diferentes mercados en la industria y su posible vinculación en el desarrollo e implementación de la tecnología.

2.2.3. TERCERA ETAPA: PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

Teniendo en cuenta la evaluación teórica realizada en la segunda etapa, se procedió a realizar una evaluación cuantitativa de cada uno de los cinco criterios, asignando valores de 1 a 5 a cada uno de ellos, siendo 5 la calificación más alta y de mayor cumplimiento y 1 la calificación más baja, con el fin de categorizar las tecnologías de acuerdo a su aplicabilidad.

Una vez se realizó el ponderado, se categorizaron las tecnologías en una matriz de acuerdo al nivel de cumplimiento, siendo la las tres primeras tecnologías las de mayor adaptabilidad para la ciudad de Manizales.

2.3. FORMULAR UN PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA ESCOGIDA

La formulación del programa de implementación se basó en la formulación de dos subprogramas, el programa de recolección selectiva y el programa de inversión. El primero describe las etapas que se deben llevar a cabo en cuanto a la sensibilización ambiental y el trabajo articulado con la comunidad, además de describir la metodología de recolección del material a procesar; y el segundo detalla cuales son los estudios que se deben incluir dentro del programa de inversión, en los cuales se realiza un análisis técnico, administrativo, ambiental y financiero concluyendo la viabilidad de implementar el proyecto (tecnología).

CAPITULO 3

MARCO DE REFERENCIA

En Colombia el Decreto 2981 del 20 de diciembre de 2013 quien deroga al decreto 1713 de 2002 establece que "los municipios y distritos, deben elaborar, implementar y mantener actualizado un plan municipal o distrital para la gestión integral de residuos o desechos sólidos (PGIRS) en el ámbito local y/o regional según el caso, en el marco de la gestión integral de los residuos". Dicho plan debe adelantarse de acuerdo a la metodología descrita por la Resolución No. 0754 del 25 de noviembre del 2014 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Vivienda, 2015).

Esta resolución adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los planes de gestión integral de residuos sólidos, de manera que hace una distinción entre las obligaciones y responsabilidades que debe cumplir cada entidad, determina la intervención que debe tener la empresa metropolitana de aseo de la ciudad y la articulación del PGIRS con los planes de ordenamiento territorial. Adicional a esto, la metodología describe cuales son las consideraciones que se deben tener una vez se desea incluir un programa de aprovechamiento dentro del PGIRS y cuál debe ser el trabajo llevado a cabo en el programa de inclusión de recuperadores. De esta forma describe cada uno de los aspectos a tener en cuenta con relación a cada uno de los programas incluidos dentro de los planes de gestión integral de residuos sólidos de la ciudad.

En concordancia con lo establecido por la normativa colombiana, en la Ciudad de Manizales se adelanta el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el marco de la política ambiental del Municipio, por lo cual se establecen programas y proyectos en función del aprovechamiento de residuos de la ciudad.

El programa de aprovechamiento denominado RECICLEMOS, dirigido hasta el año 2015 por la fundación FESCO y en la actualidad en transición para ser administrado por la Empresa Metropolitana de Aseo de la Ciudad, ha sido el encargado en los últimos 10 años de generar una estructura operativa para el aprovechamiento de los residuos, de educar a los generadores de residuos en su adecuado manejo, asesorar la construcción de planes ambientales, movilizar procesos organizacionales en el gremio de recuperadores e implementa la ruta de recolección selectiva de residuos aprovechables entre otros.

De acuerdo a la información proporcionada por la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S.A E.S.P para el año 2014 la cantidad de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario La Esmeralda fueron aproximadamente 101906,81 ton y para el año 2015 esta cifra ascendió a 110888 ton de las cuales la cantidad aprovechable de PET mensual de la ciudad es de 701,814 ton/mes y de esta cantidad solo el 1,81% equivale a la cantidad recuperada de PET, es decir a 12,704 ton/mes (Datos tomados de la investigación titulada “Evaluación de la Gestión de Residuos Plásticos en la ciudad de Manizales 2016”)

Partiendo de las cifras descritas anteriormente es posible afirmar que si bien existe un programa de aprovechamiento articulado al PGIRS de la Ciudad, en la actualidad se hace necesario estudiar otro tipo de técnicas de valorización de residuos o tecnologías que faciliten su aprovechamiento y mejoren la gestión de estos en la Ciudad.

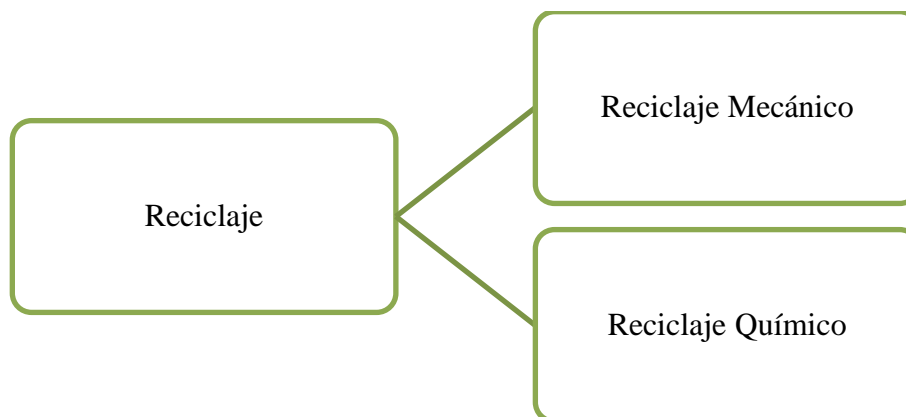
La valorización de residuos plásticos es una estrategia integral de tratamiento que abarca diferentes procesos, todos ellos encaminados a preservar la materia prima para que su destino final no sea un relleno sanitario. Éstas técnicas se establecen según el principio universal de las 4R: Reducción, Reúso, Reciclaje y Recuperación , un principio reconocido internacionalmente para la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), de los cuales los plásticos forman parte junto a otros materiales como el papel, el vidrio y aluminio (ECOPLAS, 2011). El objetivo es que los plásticos post-consumo que vayan a los sitios de disposición final o rellenos sanitarios sea la mínima cantidad posible. De esta forma, para

analizar las alternativas de valorización de residuos plásticos de tipo PET, en el transcurso de esta investigación, se analizarán las técnicas empleadas dentro de las últimas 2R enmarcadas en este principio universal, es decir, se analizarán en qué consiste y cuáles son los tipos de reciclaje y recuperación de materiales plásticos.

3.1. RECICLAJE

Por medio de esta técnica se somete a los residuos a diferentes procesos mecánicos o químicos para volver a usarlos en la misma aplicación u otro uso. De esta forma existen dos tipos de reciclaje

Figura 2 Tipos de Reciclaje



3.1.1. RECICLAJE MECÁNICO

3.1.1.1. RECICLAJE MECÁNICO POST INDUSTRIAL (PRIMARIO)

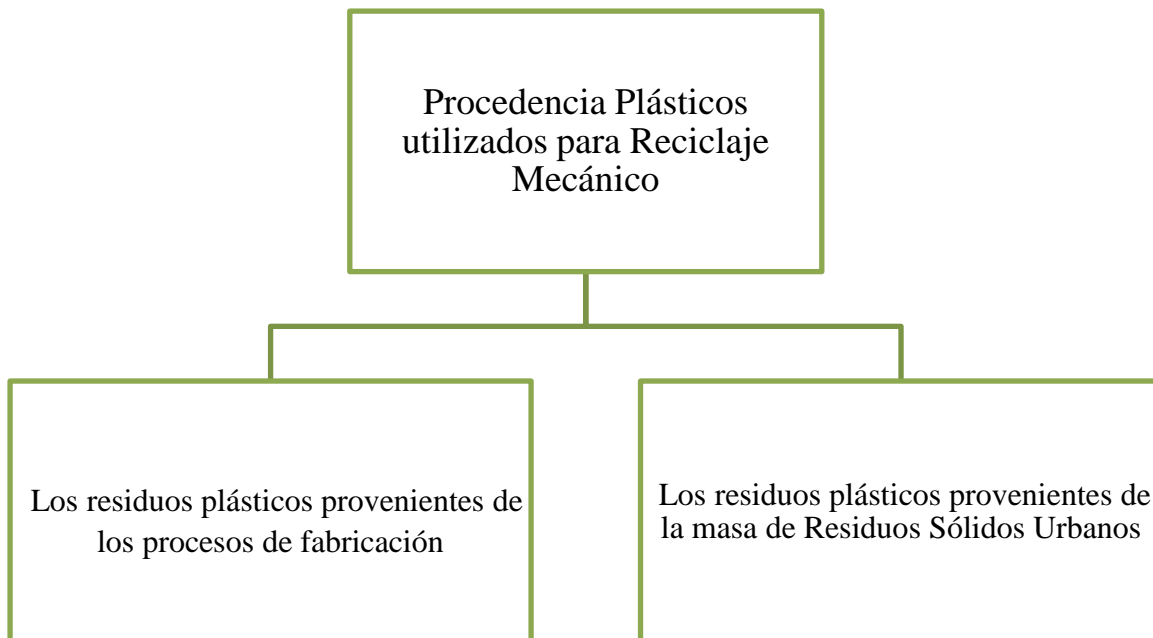
Este tipo de reciclaje tiene lugar dentro del mismo proceso en que se genera el residuo. Hace referencia al reciclaje industrial y se lleva a cabo normalmente mediante la molienda (o densificación, según se requiera) y la reincorporación del material plástico recuperado al proceso de fabricación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial, 2004). Es decir, se refiere al reciclaje “dentro de la planta” de los materiales de desecho que tienen características similares a los productos originales

3.1.1.2. RECICLAJE MECÁNICO POST CONSUMO (SECUNDARIO)

El reciclado mecánico es un proceso físico-mecánico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial (scrap) es recuperado, permitiendo su posterior utilización. Estos tipos de plásticos proceden principalmente de dos fuentes

Figura 3 Procedencia Plásticos utilizados en Reciclaje Mecánico



- Residuos Plásticos provenientes de procesos de fabricación: son los residuos o materiales sobrantes de los procesos llevados a cabo con maquinaria en las industrias petroquímicas o de transformación. Comúnmente son denominados Scrap.

El scrap, en general, es más fácil de reciclar porque está limpio y es homogéneo en su composición, ya que no está mezclado con otros tipos de plásticos. Algunos procesos de transformación (como el termoformado y soplado) generan scrap, que normalmente se recicla automáticamente en la misma fábrica y en forma automática, de lo contrario el proceso no sería económico.

- Residuos Plásticos provenientes de la masa de Residuos Urbanos: Estos se dividen a su vez en tres clases:
 - a Residuos plásticos de tipo simple: son aquellos que han sido clasificados y separados entre sí de acuerdo a su clase
 - b Residuos mixtos: son aquellos diferentes tipos de plásticos que se hallan mezclados entre sí
 - c Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos: papel, cartón, metales, entre otros.

El reciclaje mecánico consiste en una serie de etapas o procesos a los que el material es sometido, para su limpieza y procesado, sin que exista en principio un cambio químico en la estructura. En el caso del reciclado mecánico del PET es muy importante tener en cuenta cual es el origen del residuo y cuál será su aplicación (fibra, lámina, botella), además de que la calidad del producto resultante dependerá en gran medida de la separación previa de los distintos materiales plásticos y de la ausencia de impurezas, por lo que es muy importante hacer una buena selección del proceso a realizar (Abreu, 2015).

El proceso de reciclado de residuos plásticos provenientes de los residuos sólidos urbanos está basado en las siguientes operaciones.

- Recepción
- Selección
- Eliminación de contaminantes
- Trozado

- Molido y aglutinado
- Peletizado
- Material peletizado

3.1.2. RECICLAJE QUÍMICO (TERCIARIO)

El reciclaje químico, es un proceso en el cual las macromoléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) transformándose en compuestos de bajo peso molecular, para finalmente por medio de un proceso de separación y purificación ser utilizados nuevamente. En ciertos casos los polímeros, bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y catalizadores, vuelven a los monómeros originales de los que partieron como materia prima. A dichos monómeros se los purifica y pueden volver a usarse para producir nuevamente polímeros con iguales características que el polímero virgen (Ecoplas, 2011). Algunos métodos de reciclado químico son los siguientes:

3.1.2.1. PIRÓLISIS

Este método se basa en el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío, es decir, en ausencia de oxígeno. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

3.1.2.2. HIDROGENACIÓN

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

3.1.2.3. GASIFICACIÓN

Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen gases de síntesis como el monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la

producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

3.1.2.4. METANÓLISIS

Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetil tereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen.

3.1.3. RECUPERACIÓN ENERGÉTICA (CUATERNARIO)

Es el proceso que, mediante combustión controlada (incineración) aprovecha el alto contenido energético de los residuos plásticos como combustible alternativo. Aunque algunos plásticos puedan reciclarse, con ventajas para el medio ambiente, muchos residuos plásticos consisten en pequeños objetos dispersos entre otros materiales de residuos. Separar y limpiar esos residuos para su reciclaje puede entrañar una carga ambiental mayor que las ventajas del reciclaje, incluso antes de tenerse en cuenta el costo económico. Asimismo, podría haber residuos del proceso de reciclaje que no puedan ser reciclados a su vez. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004)

CAPITULO 4

RESULTADOS

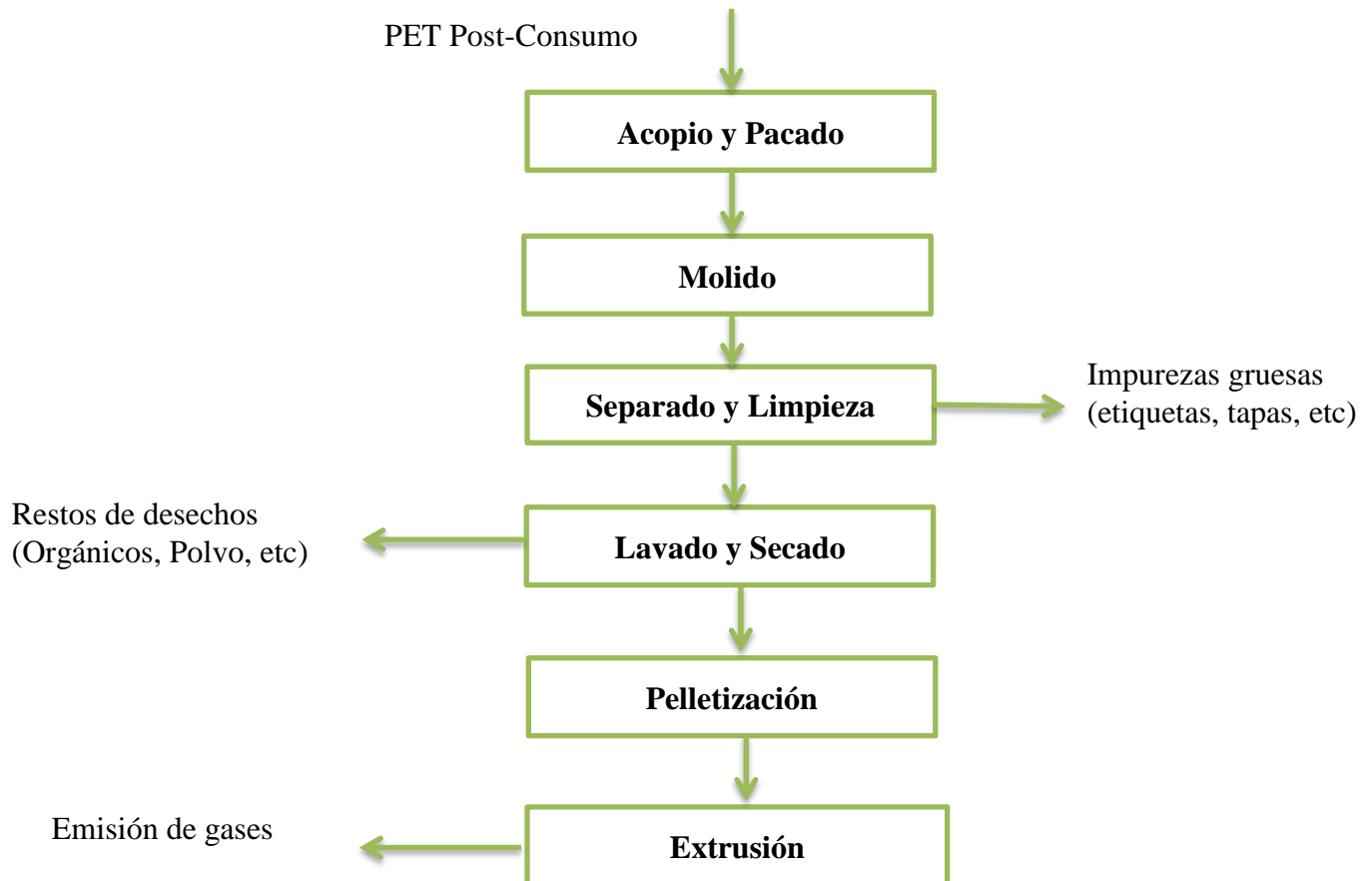
4.1. RECICLAJE MECANICO DE PET

El reciclaje mecánico es considerado como la alternativa de valorización más empleada para los residuos plásticos de tipo PET. Este se describe por medio de una serie de procesos al cual es sometido el plástico post-consumo de PET, para su limpieza, procesamiento, molienda, separación y lavado.

Las escamas producto de este proceso se reintegran al ciclo de vida en la etapa de producción sin necesidad de volver a hacer pellets, lo que permite la fabricación de nuevos productos, Sin que se origine un cambio en la estructura química del material recuperado (Duque Ingunza, Lopez Fonseca, De Rivas, & Gutiérrez Ortiz, 2013).

A continuación se pretende dar una descripción detallada de cada una de las etapas del reciclaje mecánico de PET desde el acopio del material hasta su peletizado.

Figura 4 Etapas del reciclaje mecánico



Acopio

El acopio de material es la primera etapa del reciclaje mecánico, la cual se basa principalmente en la recolección del plástico postconsumo, en este caso de tipo PET y de la estrategia de recolección que se vaya a implementar para esto, ya sean puntos fijos o sectorizado por medio de rutas selectivas, es importante hacer hincapié que el diseño y

desarrollo de un buen sistema de acopio garantizará un buen suministro de materia prima para el resto de las etapas (Dpto. Química Orgánica).

Acopio → Recolección selectiva → PET Post -Consumo

Compactado

El Pacado es la segunda etapa del reciclaje Mecánico donde la empresa de recolección comercializan el material plástico post-consumo para ser recuperado, este material se caracteriza por ser compactado, con el propósito de reducir conjuntamente su volumen y consigo facilitar el transporte y almacenamiento.

PET Post-Consumo recolectado → Compactado → PACA

Continúo a esta etapa, las pacas las cuales son el resultado de la compactación del Pet post-consumo deben ser abiertas y picadas mucho mayor tal como llegan a la planta de reciclaje mecánico, es decir con tapas y etiquetas como fueron compactadas.

Cuando a la planta de reciclaje mecánico por el contrario ingresan botellas sueltas, esto genera un incrementa en el volumen ocupado, pero la facilita la posibilidad de llevar acabo el desetiquetado y destapado permiten obtener un producto más limpio (Dpto. Química Orgánica).

Molido

La tercera etapa es la reducción en el tamaño, la cual consiste en el molido del material recolectado del plástico PET post-consumo, cuyo principal objetivo es facilitar las etapas siguientes dentro el proceso de reciclaje mecánico.

Para llevar a cabo la reducción del tamaño se conocen diversos tipos de tecnología según el tamaño al cual se desee llegar, en el caso del PET puede obtenerse desde hojuelas de media, un cuarto de pulgada o finalmente polvo, según las características del diseño y el tipo de molino con el que se cuente.

Paca → Apertura → Reducción del tamaño →Hojuelas

En la actualidad se distinguen diversas tecnologías para procesar y reducir material PET post-consumo hasta obtener polvo fino, empleando cámaras criogénicas a partir de nitrógeno líquido, donde el nitrógeno líquido fragiliza considerablemente el material lográndose obtener material fino.

Los costos de estas tecnologías son muy elevados, por lo que se emplea en su mayoría para el control de calidad en productos específicos como por ejemplo el control de niveles de acetaldehído en preformas para el soplado de botellas (Quito Chulca & Villafuerte Chompel, 2011).

Separación

La separación es la cuarta etapa del reciclaje mecánico esta tiene como propósito la selección del plástico de interés en este caso plástico de tipo PET de otros tipos de plástico que se encuentren acompañando al material de interés y también de metales, en algunas ocasiones se cuenta con la presencia de vidrio o papel.

Hojuelas → Selección de plástico de interés → Hojuelas de plástico de PET

El objetivo de esta etapa radica principalmente en que si se encontraran otros tipos de materiales presentes, estos alterarían el proceso de reciclaje mecánico o directamente disminuir la calidad del producto final.

Para esta etapa se conocen diferentes métodos de separación algunos automatizados con principios basados en las diferencias de gravedad específica, difracción de rayos x y disolución en solventes.

Otra alternativa metodológica para el eficiente desarrollo de esta etapa es la de sistemas de flotación, cuando se reducen de tamaño todas las especies a la vez, es decir se puede contar con sistemas de flotación, ya sean equipos como Sink and Float a burbujeo o simplemente tinajas de flotación vibratorias con bandas transportadoras. En estas tinajas, el PET con una densidad mayor cae al fondo y es recogido por un tornillo sinfín que lo transporta a la siguiente etapa. El otro material que flota es recogido por unas paletas que arrastran desde la superficie el material hacia otra etapa (Duque Ingunza, Lopez Fonseca, De Rivas, & Gutiérrez Ortiz, 2013).

Limpieza

La limpieza es la cuarta etapa del reciclaje mecánico, esta se lleva a cabo porque gran parte de las escamas de PET post-consumo se encuentran en su mayoría contaminadas por otros materiales. De ahí la importancia de esta etapa, garantizando la eliminación de los contaminantes.

Hojuelas de Pet contaminadas → Limpieza → hojuelas de Pet Descontaminadas

Los hidrociclones son implementados como alternativa cuando el plástico recuperado se encuentra muy contaminado, este es removido al ser ligero ya que flota en la superficie donde es expulsado. Los contaminantes se precipitan al fondo y se descargan. Después del proceso de limpieza, los plásticos se llaman hojuelas limpias o granulado limpio.

Los detergentes en esta etapa se encuentran restringidos debido a que los efluentes del proceso o procesos de lavado deben ser tratados para que puedan ser reutilizados nuevamente en el ciclo de lavado. Siempre con un enfoque responsable con medio ambiente. Seguidamente, se hace necesario encontrar un adecuado sistema de purificación de las aguas residuales para no contaminar ni dañar el entorno en el cual se desarrolla el proceso de reciclado.

La implementación de soda cáustica en el proceso de lavado se restringe en grandes cantidades, porque la soda cáustica remanente en disolución se puede reutilizar para otros lavados, simplemente reponiendo la que se pierde en el proceso de lavado. Para este momento ya se cuenta con tecnologías y sistemas de recuperación y tratamiento de aguas residuales de procesos de lavado de materiales contaminados que están disponibles (Duque Ingunza, Lopez Fonseca, De Rivas, & Gutiérrez Ortiz, 2013).

Secado

El Secado es quinta etapa después del ciclo de lavado, es un proceso por medio del cual se eliminan el restante de humedad del material, para que pueda ser comercializado y posteriormente procesado. Para esto se puede implementar secadores centrifugados, es decir tambores especialmente diseñados para extraer la humedad por las paredes externas

del equipo O también pueden utilizarse secadores de aire, ya sea caliente o frío, que circulando por entre el material picado, eliminan la humedad hasta límites permisibles.

Hojuelas de PET descontaminadas húmedas → Secado → Hojuelas de PET seco

Se han desarrollado otros sistemas para este proceso, dentro los cuales también están los de procesos simultáneos, los cuales combinan directamente los dos anteriormente mencionados. Es decir, sistemas que pueden al mismo tiempo operar como centrífugas con aire en contracorriente.

Procesos que combinan el molido y el lavado o el lavado y el secado, también son posibles y constituyen alternativas del proceso.

En los casos que se requiera extrema sequedad pueden usarse secaderos térmicos de doble lecho fluido con aire atemperado a 120 hasta 180 °C, durante periodos de entre 2, 4 a 6 horas dependiendo de la capacidad y diseño de los equipos.

Peletizado

La sexta etapa es El Peletizado donde El granulado limpio y seco es comercializado y puede convertirse en "pellet". Para llevarse esto a cabo, el granulado debe fundirse y pasarse a través de un cabezal para tomar la forma de espagueti al enfriarse en un baño de agua (Duque Ingunza, Lopez Fonseca, De Rivas, & Gutiérrez Ortiz, 2013)

Houejas de PET secas → Peletizado → Pellets de PET → Comercialización

La extrusión

Esta es la séptima y última etapa del reciclaje mecánico, la extrusión. Puede clasificarse como un proceso continuo, en el cual se obtiene producto invariable y constante en cualquier punto.

Durante la transformación, la resina alimentada es reblandecida por acción de la temperatura que proviene generalmente de resistencias eléctricas y por la fricción de un elemento giratorio denominado husillo.

En este estado el plástico es forzado e impulsado a salir bajo presión a través de una matriz metálica que le confiere forma definida, esta matriz denominada “dado” es la que le da la forma útil al producto para que finalmente éste sea enfriado, favoreciendo su solidificación y confiriéndole estabilidad, evitando así deformaciones posteriores. Una vez frío es cortado en pedazos pequeños llamados "pellets".

El proceso de extrusión anteriormente se caracterizaba por ser la última etapa del reciclaje mecánico, generando como producto final los pellets, la tecnología ha evolucionado facilitando consigo el poder incorporar directamente las hojuelas de PET directamente, convirtiéndose en un proceso que solo se implementa para la fabricación de fibras, filamentos y en algunos casos película para termoformado (Duque Ingunza, Lopez Fonseca, De Rivas, & Gutiérrez Ortiz, 2013).

Por lo que en la actualidad ya no se hace necesario llegar al pelletizado, sino directamente a los flakes, limpios y sin degradar.

Tabla 1 Etapas del reciclaje mecánico

RECICLAJE MECÁNICO DE PET		
ETAPA	ACTIVIDAD	HERRAMIENTA
I	Acopio	No aplica
II	Compactado	No Aplica
III	Molido	- Molino para PET

IV	Separación	<ul style="list-style-type: none"> - Banda transportadora para separación manual de materia prima - Equipo de separación por burbujeo - Equipo de flotación con banda transportadora
V	Limpieza	<ul style="list-style-type: none"> - Hidrociclón
VI	Secado	<ul style="list-style-type: none"> - Secador Centrifugo - Secador de Aire - Máquina de Lavado y secado
VII	Peletizado	<ul style="list-style-type: none"> - Máquina para fabricar pellets
VIII	Extrusión	<ul style="list-style-type: none"> - Máquina para dar forma al pelet

4.1.1. EXPERIENCIA EXITOSA DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA

México se ha convertido en un país potencialmente desarrollado en temas de valorización de residuos post consumo, contando con PETSTAR, la planta de reciclaje de PET grado alimenticio más grande del mundo (**PCI**), la cual se encuentra ubicada en la carretera que de Toluca va al municipio de Atlacomulco, en el Parque Industrial San Cayetano de la ciudad de Toluca de Lerdo del estado de México.

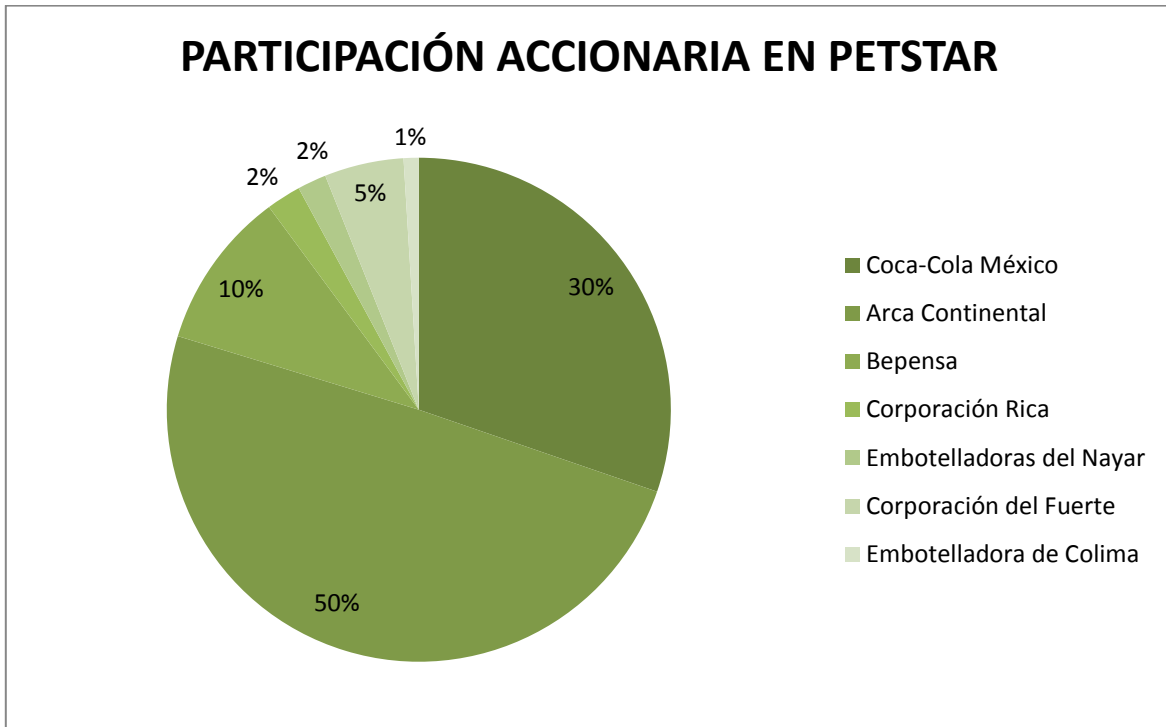
Figura 5 Planta de reciclaje PETSTAR



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

PetStar ha tenido gran despliegue desde su apertura en 2009, autodenominándose desde entonces como un proyecto de sustentabilidad que nace de la unión de esfuerzos de Coca-Cola de México y los embotelladores de Arca Continental quienes cuentan con la mayor participación con un 30% y 49% de las acciones, el resto se encuentran repartidas entre Bepensa(10.06%), Corporación Rica (2.20%), Embotelladoras del Nayar (1.84%), Corporación del Fuerte (5.04%) y Embotelladora de Colima (0.96%). (PETSTAR, 2009)

Figura 6 Participación accionaria en PETSTAR



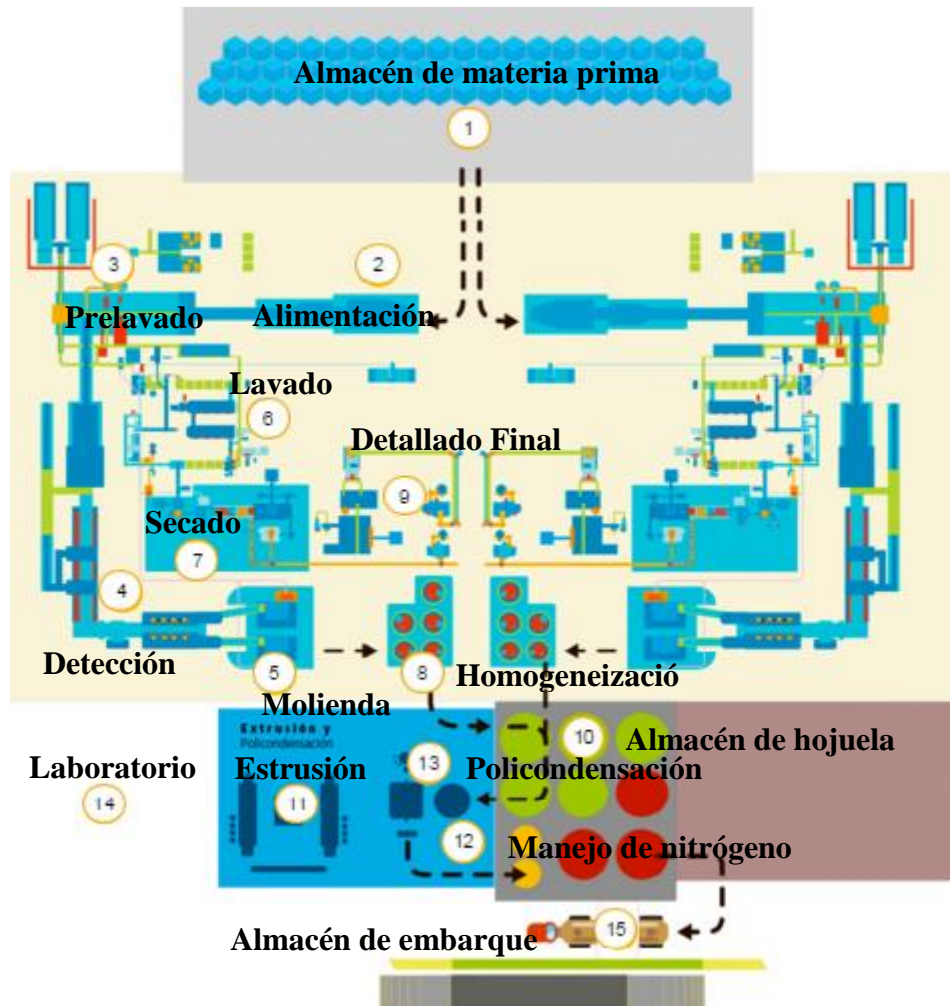
PETSTAR cuenta con las más avanzadas tecnologías en procesos de Reciclaje mecánico “botella a botella” lo que le permite la recuperación de aproximadamente 50 mil toneladas de PET al año. Esto se lleva a cabo mediante la combinación de tecnologías que permiten generar un proceso a la medida de lo requerido. Este proceso se compone de dos etapas: la Primera Etapa Consiste en el lavado de la materia prima en este caso de la botella de PET post-consumo, seguidamente se procede a la producción de la hojuela a partir de la tecnología Amut y posteriormente la generación del Pellet; en la segunda etapa se ejecuta el proceso de Policondensación para alcanzar el grado alimenticio por medio de la tecnología de Buhler (Leyva, 2016)

Figura 7 Estructura de reciclaje PETSTAR

Estructura de Reciclado de PETSTAR			
1.	Almacén de materia prima	9.	Detallado final
2.	Alimentación	10.	Almacén de hojuela

3.	Prelavado	11.	Estrusión
4.	Detección	12.	Manejo de Nitrogeno
5.	Molienda	13.	Policondensación
6.	Lavado	14.	Lavoratorio
7.	Secado	15.	Almacen de Embarque
8.	Homogeneizado		

Figura 8 Planta de Reciclaje PETSTAR



Primera Etapa

El proceso comienza en los centros de acopio, donde los materiales son segregados y clasificados según su color y su material, para luego ser compactados. Desde allí, todo el material en color natural o transparente se lleva a la empresa, mientras que los materiales de otros colores son enviados a otros recicladores que los emplean en diversas aplicaciones. Este primer paso garantiza la producción de sus propias pacas con una consistencia de alta calidad.

Figura 9 Almacen de Materia prima



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

Seguidamente las pacas llegan a la planta de reciclaje para romperse, y un minicargador es el encargado de empujar el material a una tolva que tiene como función alimentar la línea de lavado. Las botellas son sometidas a un prelavado con el objetivo de eliminar los contaminantes, como tierra, y una cantidad importante de etiqueta. De ahí, pasan por un pequeño pulmón que nivela el volumen de material para ser subministrado en las diferentes etapas de la línea. Es muy importante que el volumen que es distribuido para todos los equipos sea consistente, y este pulmón se encarga de dosificar el material de forma balanceada.

Alimentación en esta zona se ropan las pacas y se introducen al proceso de producción

Figura 10 Zona de alimentación



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

Las botellas, aun en esta etapa permanecen enteras, pero seguidamente atraviesan unos segregadores automáticos de rayos infrarrojos (de Pellenc), que le permiten identificar la composición molecular del material y permitir el paso únicamente las botellas de PET, continuo a esto se descartan de la línea los envases de otros materiales, como PC, PE o PS. El PET ya seleccionado pasa por un magneto para eliminar metales, y luego se somete a una segunda segregación de ajuste, esta vez manual, para retirar algunas botellas de color o con pinturas. Enseguida, el material es llevado a molienda, para producir la hojuela, que va a un nuevo proceso de lavado y a unos tanques de flotación, en donde por densidad se separan el PE y el PP de las tapas.

Molienda en este cuarto anti ruido se muelen las botellas transformandolas en hojuelas

Figura 11 Zona de molienda



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

De ahí, el PET va a un proceso de lavado de fricción con detergentes y productos químicos para remover completamente los pegamentos y las contaminaciones restantes. Luego, la hojuela pasa a un enjuagado final y a secado. Ya seca, la hojuela es llevada a ajuste fino para quitar partículas ligeras y nuevamente atraviesa por un detector de metales. Finalmente, la hojuela que cumple las especificaciones se almacena en silos. **(Leyva, 2016)**

Lavado en esta zona se lava la hojuela y se eliminan pegamentos y solidos que no son PET

Figura 12 Zona de lavado



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

Segunda Etapa

La segunda parte del proceso se lleva a cabo con la tecnología Buhler. En esta etapa, la hojuela alimenta a una extrusora de anillo, que tiene 12 husillos corrotantes por los cuales el material pasa relativamente rápido y forma una especie de anillo alrededor de los husillos, con lo que expone mucha superficie. Entonces, se le aplica vacío para remover la humedad y extraer una gran cantidad de volátiles orgánicos, que estaban alojados en la superficie de la hojuela. De ahí va a un filtro muy fino, donde se capturan algunas partículas, como podrían ser pedazos de vidrio. El polímero fundido pasa entonces por un dado, en donde se extruye en forma de espaguetis, que caen al agua fría para ser cortados y así producir un pellet en estado amorfo, transparente.

Extrusion en esta area se funde la hojuela y se transforma en resina (pellets) de PET amofa

Figura 13 Zona de extrusión



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

Los pellets en estado amorfo van a la torre de policondensación o SSP, donde tienen lugar diferentes procesos. Primero se da la cristalización, donde básicamente con un choque de temperatura se endurece la superficie de los pellets para evitar que se peguen entre sí. Luego, al material se le aplica presión, temperatura y tiempo de residencia, con un flujo de nitrógeno para repolimerizarlo. Esto significa que cada pellet pasa de estado amorfo a estado cristalino, de color blanco. El objetivo principal del proceso SSP es elevar la viscosidad intrínseca del polímero hasta alcanzar el nivel deseado, por lo que el proceso va acompañado de numerosos factores y reacciones. Este flujo de nitrógeno se utiliza como vehículo para calentar el material y luego para capturar los volátiles que el material está expulsando. Al final, el material alcanza el grado alimenticio y puede ser empleado en la fabricación de envases con contenido reciclado y que estarán en contacto con alimentos. (Leyva, 2016)

Figura 14 Resina (Pellets) de PET grado Alimenticio



Fuente: Sitio Oficial Planta de Reciclaje PETSTAR

4.1.2. CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Es sumamente importante hacer hincapié que PetStar se encuentra incorporado por completo en todo el ciclo de valorización del empaques de PET, iniciando en la etapa de recolección del material hasta la producción de la resina. Garantizando el proceso desde la compra del 100% de las botellas a utilizar, hasta el transporte del material en sus propias flotillas asegurando la entrega en las 8 plantas de acopio con las que cuentan en México, convirtiéndose en la infraestructura de acopio más grande de América Latina.

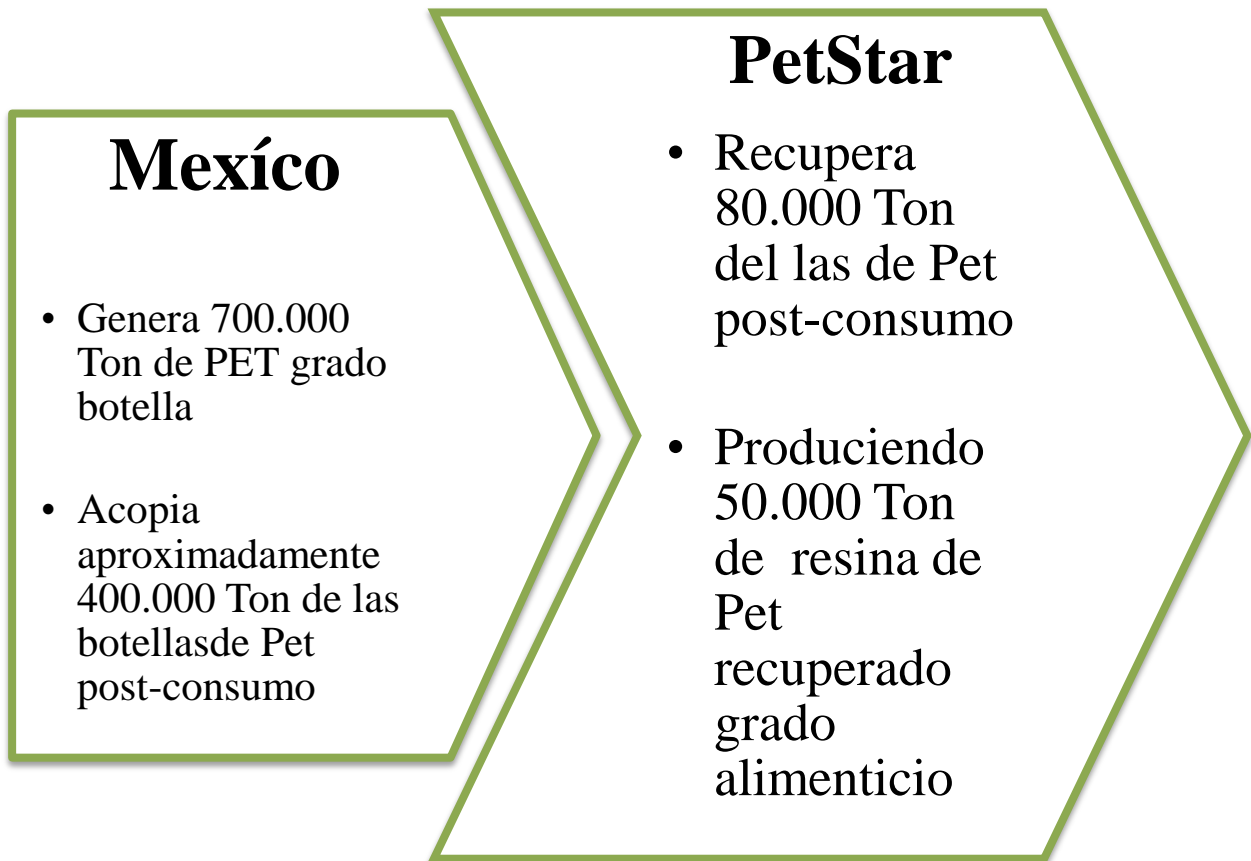
Con la garantía del suministro del material, uno de los grandes desafíos para esta empresa, PetStar genera consigo un impacto positivo en el ámbito social, con la integración de aproximadamente 22,000 pepenadores en estado de vulnerabilidad encontrando en esta empresa una estabilidad

Es de gran importancia destacar que aparte de ser una empresa de gran potencial tanto social como ambiental, Petstar es una de las empresas rentables de este país, en números gruesos, en México el consumo de PET grado botella es de 700,000 toneladas al año y el acopio total es de 57%. De esas 400,000 toneladas, un poco más de la mitad se

queda en México y el resto se va a exportación. De la parte que se queda en México, PetStar acopia cerca del 20%, lo que equivale a 80,000 toneladas. Con este insumo como su materia prima, la planta produce 50,000 toneladas de resina de PET reciclado grado alimenticio, que utiliza el sistema mexicano de Coca-Cola en la fabricación de envases para refrescos.

Si vemos las cifras desde el universo de los accionistas de PetStar. Las 80,000 toneladas que recuperamos representan aproximadamente el 70% de lo que nuestros accionistas ponen en el mercado, y las 50,000 toneladas de resina grado alimenticio que producimos significan más o menos 35% del contenido de reciclado de nuestros accionistas en sus envases, lo que es muy relevante. (PETSTAR, 2009)

Figura 15 Material recuperado por la empresa PETSTAR



4.1.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL

Petsatr desde sus procesos y la consecuente operación de la planta están enfocados en satisfacer los más altos estándares internacionales de calidad y producción limpia. Por eso, la empresa se ha fijado ambiciosas metas de reducción de su huella de carbono y de su huella hídrica.

Los programas que allí se llevan a cabo para la disminución de la huella de carbono va mucho más avanzado. Estando a punto de iniciar la operación de un proyecto con el que se pretende a generar electricidad con gas natural, en un volumen cercano a lo que consume la caldera. Así, mediante la generación de energía calórica, vamos se pretende disminuir consumo de energía eléctrica en un porcentaje cercano al 15%, al apagar algunas

resistencias con las que secan el material. Se pronostica que en el transcurso del primer semestre del presente año se iniciaran con un suministro de energía eólica, lo que va a contribuir con una disminución importante en la huella de carbono de la planta.

En lo que respecta a la huella hídrica, la compañía cuenta entre sus proyecciones el aumentar la eficiencia en el tratamiento del agua, y en 2017 van a complementar la inversión con un proyecto para reutilizar una parte importante de esa agua, con lo que planean disminuir drásticamente el consumo. Se debe mencionar que la tecnología que se implementa es muy eficiente en el consumo de agua, pues aunque requiere de mucha agua, consume poca. El proceso reutiliza el agua 5 veces antes de mandarla a tratamiento. Actualmente el consumo es de un poco más de un litro por kilogramo de hojuela producida, es decir casi cada 40 botellas recicladas. Esto es realmente muy eficiente a escala internacional.

No sólo las operaciones y los procesos tienen un perfil enfocado en lo ambiental, sino también la planta, sus instalaciones y sus edificios. Por ejemplo, el Museo Auditorio cuenta con un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia, paneles solares y azotea verde, entre otras prácticas que favorecen al entorno.

En 2015, el Museo Auditorio y la planta de PetStar recibieron a más de 12,000 visitantes, entre estudiantes de escuelas y miembros de diversas comunidades profesionales.

Es por todo esto que PetStar fue presentado en la Conferencia del Clima de la ONU en París (COP21) como un ejemplo en la reducción de la huella de carbono. (PETSTAR, 2009)

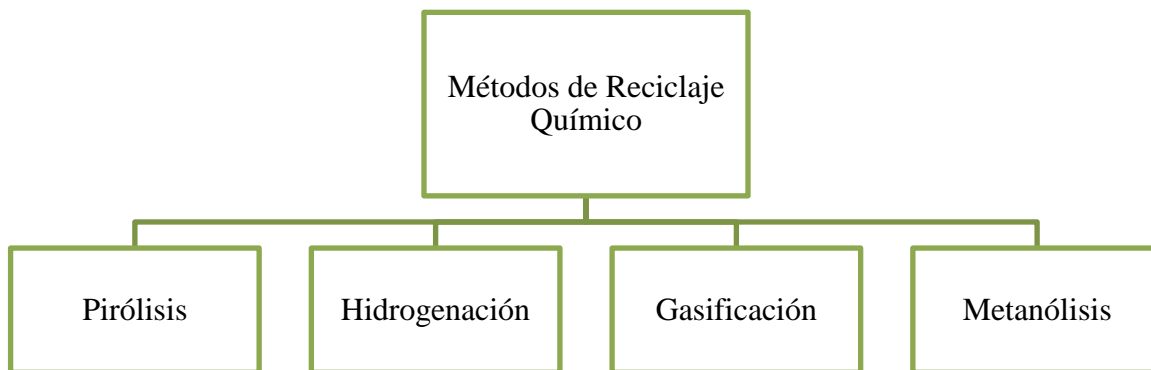
4.2. RECICLAJE QUÍMICO

El reciclaje químico, es un proceso en el cual las macromoléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) transformándose en compuestos de bajo peso molecular, para finalmente por medio de un proceso de separación y purificación ser utilizados nuevamente. En ciertos

casos los polímeros, bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y catalizadores, vuelven a los monómeros originales de los que partieron como materia prima. A dichos monómeros se los purifica y pueden volver a usarse para producir nuevamente polímeros con iguales características que el polímero virgen.

Algunos métodos de reciclado químico son los siguientes:

Figura 16 Métodos de Reciclaje Químico



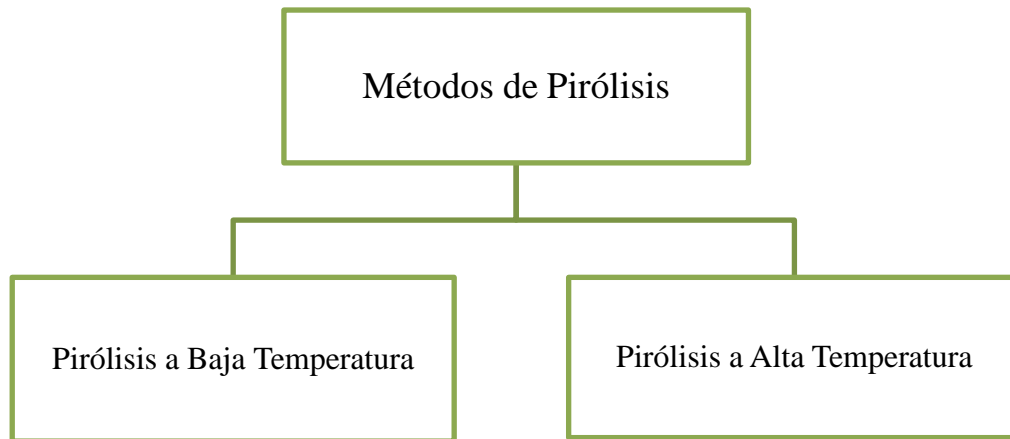
4.2.1. PIRÓLISIS

La pirolisis se conoce como la degradación térmica de los residuos plásticos en ausencia de oxígeno o con muy bajo nivel del mismo. Por medio de la pirolisis, las macromoléculas presentes en los plásticos, termofijos y termoplásticos, son reducidas a compuestos de bajo peso molecular en una reacción exotérmica (emisión de calor).

Como productos de la pirolisis se obtienen: gases, aceites, y un residuo rico en carbono. Variando los componentes de la materia prima y las condiciones del proceso se logra controlar con un margen estrecho la composición del producto final (Ecoplas, 2011).

Los métodos de Pirólisis aplicados industrialmente se dividen en dos: baja temperatura y alta temperatura.

Figura 17 Tipos de Pirólisis

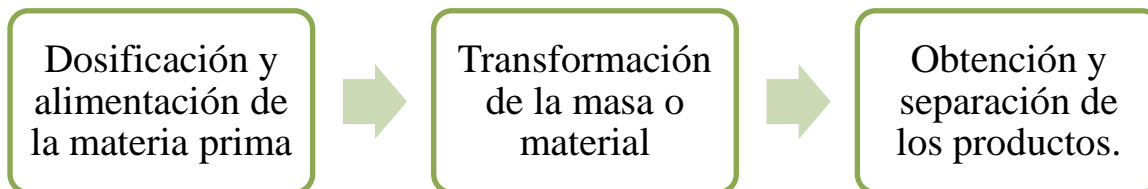


Pirólisis a baja temperatura: Este tipo de pirólisis trabaja dependiendo de los componentes poliméricos entre 200 y 500°C, a estas temperaturas los plásticos se descomponen en unidades oligoméricas o en sus monómeros.

Pirólisis a alta temperatura: Trabaja en el rango de 600 a 850°C y el proceso se lleva a cabo en hornos rotativos o de lecho fluidificado. Se usan residuos plásticos mezclados previamente molidos; los productos finales que se obtiene son gas, aceite y residuos carbonosos. El gas de Pirólisis puede ser usado como combustible y el aceite se fracciona por destilación y puede seguir siendo procesado por los métodos usuales de refinación de petróleo (Ecoplas, 2011).

El proceso de pirolisis tiene tres etapas:

Figura 18 Proceso de Pirólisis



Fuente: Revista de Química PUCP, 2012, vol 26, N° 1-2

1. En la primera etapa se produce una descomposición lenta con producción de pequeñas cantidades de agua, óxidos de carbono, hidrógeno y metano. Esto es consecuencia de la ruptura de enlaces debido a la alta temperatura a la que se lleva el proceso y consecuencia también de la liberación de gases retenidos en el material.
2. La segunda etapa se conoce como descomposición térmica activa. La temperatura aumenta y se produce una fragmentación más profunda de las moléculas con la formación de hidrocarburos condensables y alquitranes. Esta etapa comienza alrededor de los 360 °C y finaliza cuando se han alcanzado temperaturas alrededor de los 560 °C aproximadamente
3. La última etapa, que transcurre a temperaturas superiores a los 600 °C, se caracteriza por la eliminación gradual de hidrógeno y otros heteroátomos (Jesús, 2014).

4.2.1.1.FUNCIONAMIENTO

La Pirólisis es un proceso comúnmente conocido de ingeniería inversa, el cual se basa en obtener los componentes iniciales que dieron origen al material que se está tratando, en este caso el material plástico PET transparente.

El proceso consiste inicialmente en colocar el material plástico en una campana en ausencia de oxígeno, es decir, en un reactor o pirolizador. Este reactor se calienta por

medio de un horno industrial o pirólítico hasta obtener una temperatura de 400°C, la cual es conocida como temperatura de fusión. En esta etapa se rompen los enlaces del compuesto (material) convirtiendo los envases plásticos PET en líquido.

Una vez los envases están en estado líquido se eleva la temperatura hasta alcanzar alrededor de 500 o 520°C, donde la totalidad del líquido por efecto del calor es convertido en gas.

Los gases que se obtienen pasan a través de una tubería conocida como “salida de escape”, de forma que son enfriados con nitrógeno líquido en la parte externa de la tubería y son conducidos a un tanque de agua.

Al enfriar el gas se consigue el líquido del cual se obtienen cuatro productos: queroseno, diésel, gasolina y aceite.

Estos productos se obtienen en las siguientes proporciones:

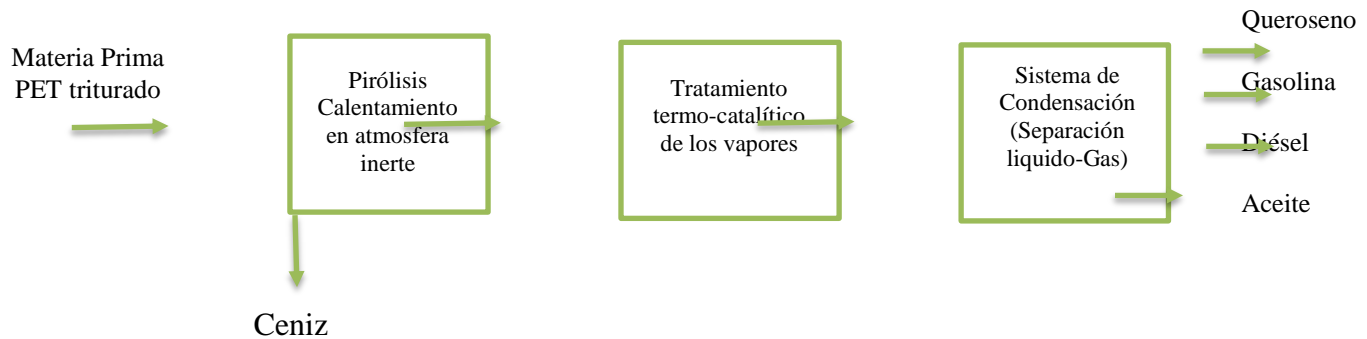
Tabla 2 Productos obtenidos de la Pirólisis

PRODUCTO	PORCENTAJE
Queroseno	25%
Diésel	25%
Gasolina	25%
Aceite	15%

El 10% restante está dado por el residuo plástico que queda en el fondo del reactor, conocido como “ripio”. Este material resultante suele emplearse para fabricar madera plástica.

De esta forma de 1 kg de PET, se recupera mínimo un 90% y máximo un 98% del material, convertido en los compuestos descritos anteriormente (Peláez, 2016).

Figura 19 Proceso Pirolisis



4.2.1.2. EXPERIENCIA EXITOSA DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA

Este método de pirolisis, lo aplica una compañía australiana conocida como Future Energy Investments Pty (FEI), establecida para asegurar la reducción de residuos, los procesos de degradación y productos consumibles ambientales a los mercados de Australia y globales. Dicha compañía tiene como filosofía corporativa, llevar a cabo actividades comerciales que apoyen y fomenten la protección del medio ambiente. Por lo que como estrategia en función de esta filosofía, tienen el tratamiento de residuos sostenible y la reducción de los volúmenes de residuos dispuestos en vertederos.

Por esta razón en julio de 2012 FEI adquirió la totalidad de la propiedad intelectual de Ozmotech Pty Ltd (Ozmotech) incluyendo patentes internacionales, marcas, dibujos de ingeniería y planes para la construcción y operación del sistema ThermoFuel, un sistema que convierte los plásticos al final de su vida a gasolina (ThermoFuel, 2013).

El sistema ThermoFuel apoya la filosofía de la FEI mediante la creación de resultados verdaderamente sostenibles, dentro de los cuales se encuentra.

- El desvío de los plásticos al final de su vida lejos de los vertederos,
- La creación de valor comercial y la demanda de plásticos al final de su vida
- La producción de una alternativa a los combustibles fósiles

Para la compañía la conversión de residuos plásticos en combustible representa la solución más inteligente en cuanto al manejo y gestión de los residuos plásticos. Aplicando la tecnología de la pirolisis, esta empresa ha alcanzado un avance significativo en la última década, sin embargo, señala que la comercialización exitosa del proceso ha sido difícil de alcanzar.

ThermoFuel es capaz de entregar los siguientes productos:

- Combustible diesel sintético de alta calidad para el transporte y el uso industrial
- Combustibles de calidad inferior (apto para la mezcla y el perfeccionamiento)
- Gas no condensable adecuado para complementar las necesidades de energía (gas o electricidad)

El proceso de pirolisis que emplea la empresa no se describe detalladamente, pero Future Energy Investments Pty (FEI), asegura que continúa con el desarrollo de la tecnología para mejorar el sistema y aumentar su viabilidad comercial por medio de ThermoFuel (ThermoFuel, 2013).

Dentro de las ventajas del sistema ThermoFuel se destacan:

- La desviación de los plásticos en vertederos
- Reducción del volumen de plástico en los océanos y fuentes de agua del mundo
- Reducción de las emisiones de CO₂ a través de la captura y la generación de energía.

4.2.1.3.DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA EN LA CIUDAD DE MANIZALES

En la ciudad de Manizales la secretaria de medio ambiente a través del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS desarrolló una alianza estratégica con la

empresa Sustratos de Colombia S.A, con el propósito de unir procesos, experiencias y saberes para fortalecer los ejercicios de aprovechamiento en la ciudad de Manizales.

Esta alianza busco dar un manejo especial a los residuos plásticos, los cuales debido a su densidad, volumen y altos esfuerzos operativos de recolección y comercialización, dificultaba su aprovechamiento.

La propuesta realizada por Sustratos de Colombia a través del Ingeniero Agrónomo Juan David Peláez fue y continúa siendo pertinente y coherente con los objetivos de la secretaría de medio ambiente además en su interés de fortalecer los procesos de los recuperadores y mejorar la calidad de vida de estos. Dentro de la propuesta se incluyó la recuperación de los residuos plásticos (PET transparente) por medio de la Pirólisis para convertirlos en biocarburos (PGIRS, 2014). Esta tecnología se desarrolló como un pilotaje tratando inicialmente 40 kg de PET transparente en el reactor y los resultados fueron un rendimiento mínimo del 90% y máximo del 98%. Lo cual demuestra que es una alternativa que aprovecha todo el material y de considerable importancia ambiental debido a que es un proceso cerrado en el que no se presenta ningún tipo de liberación de gases. De este proceso se obtienen cuatro productos queroseno, gasolina, diésel y aceites.

En la actualidad no se ha implementado esta tecnología a gran escala pero se espera verla desarrollada y descrita como un programa de aprovechamiento dentro del PGIRS de la Ciudad en poco tiempo (Peláez, 2016).

4.2.1.4. CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Se considera que esta tecnología requiere una alta inversión para la instalación y compra de equipos, ya que los hornos pirolíticos tienen costos altos y la alimentación requiere pre tratamiento para que se introduzca el material homogéneo y con humedad adecuada para que no afecte el rendimiento. Pero en realidad los costos de inversión están ligados a la cantidad de material con el que se dispone para trabajar.

Los costos de la tecnología se encuentran asociados básicamente a los procesos de refinado a los que deben ser sometidos los hidrocarburos líquidos obtenidos y al tratamiento que se debe realizar al residuo carbonoso para gestionar la cantidad de PCI resultante y a su vez a las operaciones de mantenimiento que se deben realizar para tratar las cenizas resultantes del proceso.

4.2.1.5. IMPORTANCIA AMBIENTAL

La Pirólisis presenta las siguientes ventajas a nivel ambiental:

- Se genera una fracción líquida fácil de manejar, transportar y almacenar.
- Reducción de emisiones a la atmósfera al ser un proceso cerrado.
- Admite como combustible (alimentación) material residual de otros procesos.
- No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la combustión.
- Todos los productos o subproductos generados pueden ser reutilizados
- El proceso es autosuficiente con respecto a la energía.

Esta tecnología como residuo tiene la generación de ceniza producto de la combustión térmica que se realiza dentro del horno pirólítico, sin embargo, esta resina (material de PET generado) puede ser empleada en la fabricación de madera plástica.

Dentro de las desventajas que conlleva la implementación de la tecnología se encuentra que los productos generados como los hidrocarburos líquidos deben ser sometidos a un proceso de refinación posterior (AGROWASTE, 2012)

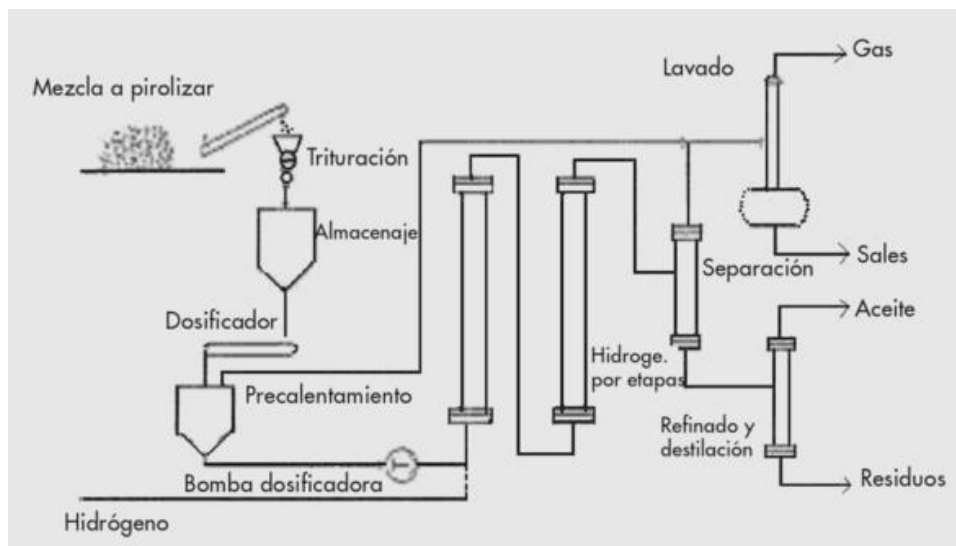
4.2.2. HIDROGENACIÓN

La hidrogenación es una variante de la pirólisis y consiste en la inclusión de hidrógeno en los compuestos plásticos orgánicos, el hidrogeno favorece a la formación de hidrocarburos saturados, evitando la presencia de olefinas en la fracción líquida, por lo que estos se podrían utilizar como combustibles directamente sin la necesidad de emplear

tratamientos posteriores. Este método se lleva a cabo a temperaturas de 500°C y presiones de 200 bar, en las cuales las macromoléculas se separan térmicamente dejando centros activos libres que son ocupados por el hidrógeno. Como productos de la hidrogenación se obtienen hidrocarburos alifáticos gaseosos (mezcla de gases) y líquidos similares al petróleo y derivados del mismo (Ecoplas, 2011).

El siguiente esquema muestra el sistema básico de hidrogenación de residuos de plástico:

Figura 20 Sistema de Hidrogenación de Residuos Plásticos



Fuente: Tratamiento y valorización energética de Residuos. Xavier Elias Castells. 2005

Los plásticos hidrogenados son, esencialmente, líquidos saturados de composición semejante al crudo de petróleo. Desde la óptica medioambiental la diferencia con la pirólisis radica en que los productos procedentes de la hidrogenación son hidrocarburos de estructura saturada y según el libro titulado “*Tratamiento y valorización energética de Residuos. Xavier Elias Castells. 2005*” estos hidrocarburos son menos conflictivos.

Este tipo de degradación térmica, en presencia de hidrogeno, sirve para transformar un residuo en un combustible más o menos convencional. Durante el mismo las

macromoléculas se rompen y los fragmentos se saturan con hidrogeno. En el proceso el Cl, N, O son transferidos a sus formas hidrogenadas.

La conversión consiste en la obtención de una estructura saturada, que es muy estable y permite almacenar el producto resultante largo tiempo hasta su posterior tratamiento petroquímico. Metales y halógenos son liberados del residuo para pasar a formas hidrogenadas más fáciles de tratar.

En la hidrogenación el calor degrada térmicamente las moléculas de las largas y complejas cadenas poliméricas. Esta tecnología es usada corrientemente en las refinerías que disponen de un anexo donde tratan estos residuos y los transforman en un líquido de composición similar al crudo de petróleo (Castells, 2005).

4.2.2.1. EXPERIENCIA EXITOSA DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA

La principal tecnología de hidrogenación aplicada para el reciclaje de plásticos es el proceso de Veba Oel AG en Bottrop, en Alemania. Este proceso inicio como una planta de hidrogenación de carbón y años más tarde, se añadió una unidad de despolimerización con el objetivo de alimentar con plásticos degradados térmicamente a la unidad de hidrogenación (Kaminsky, 2006).

En la actualidad procesa 400 ton/año de plásticos (acepta hasta un 10 % de PVC). Opera a 150-300 bar y 470 °C en atmósfera de hidrógeno, dando un producto con un 60% de parafinas, 30% de nafta, 9% de aromáticos y 1% de olefinas. La rentabilidad de la planta exige una tasa de 120 USD/Tm de plástico tratado.

4.2.2.2. IMPORTANCIA AMBIENTAL

Esta tecnología tiene como producto materiales muy puros, por lo cual no requieren extensos tratamientos posteriores para su refinación, lo que conlleva a que se conserve el recurso hídrico y se minimice la implementación de químicos para su tratamiento.

Como desventaja de implementar esta tecnología se destaca los problemas de corrosión derivados del HCL y otros compuestos generados en el proceso (Castells, 2005).

4.2.3. GASIFICACIÓN

La gasificación es el método de reciclaje químico que se basa en la implementación de un conjunto de reacciones termoquímicas, producto de un proceso de la oxidación parcial de materiales orgánicos que contengan altos componentes de carbono, Para esto se requiere de la presencia de un agente gasificante como vapor de agua u oxígeno, con el fin de producir principalmente gases de síntesis de elevado poder calorífico, los cuales son posteriormente utilizados como materia prima para la producción de otros químicos y como combustible. Las materias primas comúnmente empleadas para este proceso son los combustibles fósiles. Sin embargo la creciente preocupación por reducir las emisiones de dióxido de carbono ha impulsado el uso de desechos plásticos sólidos como materia prima para esta tecnología. (AL-Salem, J. Baeyend, & P. Lettieri, 2009)

La gasificación cuenta con un rendimiento del 70% a 80% según la tecnología, el combustible y el agente gasificante que sea implementado. La energía restante introducida en el combustible se invierte en las siguientes reacciones endotérmicas:

- Pérdidas de calor de los reactores
- Enfriamiento del gas, necesario para su secado con la eliminación de vapor de agua y la filtración

- Lavado cuando es necesario eliminar los alquitranes.

La gasificación producto de plásticos genera combustibles tanto líquidos como gaseosos, al mismo tiempo que una cantidad representativa de residuo de carbono, que posteriormente deben ser tratados. La composición de los gases obtenidos en este proceso es variada, pero en forma general los componentes principales del gas de síntesis producto de la gasificación del PET son:

- Por medio de hornos tubulares: hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano y etileno.
- Por medio de reactores de lecho fluido: hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono.
- Las reacciones de gasificación que son llevadas a cabo con vapor de agua como agente gasificante a temperaturas de 800°C generan además de los gases anteriormente mencionados, el benceno. (Zurita Saltos, 2013).

La gasificación de residuos plásticos son desarrolladas por medio de las siguientes etapas:

Tabla 3 Etapas de la Gasificación

Etapas De La Gasificación	
Etapa 1	Es la Oxidación parcial de los residuos plásticos por medio de reacciones exotérmicas la cuales se llevan a cabo sometiendo estos residuos a elevadas

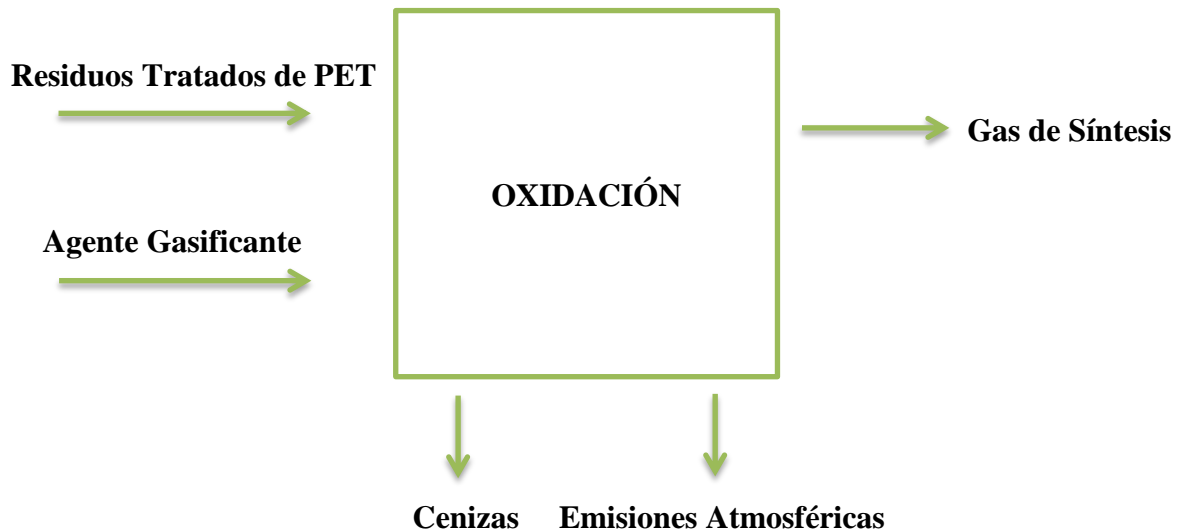
	temperaturas.
Etapa 2	Se lleva a cabo en la zona de reducción, donde en ausencia de oxígeno unida a la disponibilidad de carbono, CO ₂ y vapor de agua, hace que se produzca una recombinación hacia hidrógeno molecular y monóxido de carbono.
Etapa 3	Es la pirolisis en la que, por efecto del calor, los componentes más ligeros de los residuos se rompen y se convierten en gas
Etapa 4	En esta los gases calientes evaporan el agua contenida en los RSU entrantes.

Fuente: Proyecto de Investigación “Gasificación de Residuos Plásticos para la Producción de Electricidad en Régimen Especial”, 2010

Es por esto que en los últimos años, esta alternativa de reciclaje químico ha sido foco de diversas investigaciones, generándose numerosos avances de gran peso los cuales han permitido reportar de forma paralela procesos de pirolisis y gasificación combinados, desarrollados en dos hornos tubulares a escala de laboratorio y usando catalizadores en el segundo horno. Mientras que en el primer horno se realiza la pirolisis de la materia prima (Botellas de PET) aproximadamente a 500°C y en el segundo horno los productos de pirolisis son gasificados con vapor de agua a 800°C aproximadamente, en presencia de níquel como catalizador. Los alquitranes derivados de la pirolisis de plásticos contienen gran cantidad de compuestos aromáticos y alifáticos de gran tamaño molecular, por lo cual

el contenido de hidrógeno en el gas de síntesis es aproximadamente el 70%. (Zurita Saltos, 2013)

Figura 21 Proceso de Gasificación



4.2.3.1. EXPERIENCIA EXITOSA DE EJECUCIÓN DE LA TECNOLOGIA

En la actualidad la gasificación a nivel industrial ha sido desarrollada por TEXACO en los países bajos de la unión Europea, el cual ha sido adaptado recientemente para desechos plásticos. Esta planta cuenta con una capacidad de 40.000-50.000 Ton/año de residuos a tratar el cual basa su operación en dos partes: la primera es la Despolimerización donde el plástico es convertido en crudo y gases condensables y no condensables, y la segunda es donde el crudo y gases no condensables se inyectan al gasificador, La gasificación se lleva a cabo en presencia de oxígeno y vapor de agua a una temperatura de 1200-1500 °C, De esta forma se obtiene un gas de síntesis que consta principalmente de H₂ y CO, con pequeñas cantidades de CH₄, CO₂, H₂O y algunos gases inertes. (Colet Lagrille, 2015)

4.2.3.2. CONSIDERACIONES ECONOMICAS

La gasificación no ha sido una tecnología de amplio desarrollo en la actualidad, sino por el contrario se ha convertido en una herramienta en periodos de carencia o escasez de combustibles ligeros. Convirtiéndola en una tecnología de elevados costos de implementación por su baja industrialización. (JunqueraI Diz , 2010)

4.2.3.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL

La gasificación es una de las tecnologías de reciclaje químico que trae considerables beneficios al medio ambiente, por su Versatilidad en la valorización de residuos permite Producir un gas con características de combustible que puede ser usado para la generación de electricidad, calor o como materia prima para la manufactura de productos químicos sin contribuir a la generación de gases efecto invernadero. Otros de los impactos ambientales más relevantes son los siguientes:

- Concentración e inmovilización de componentes inorgánicos
- Emite menores concentraciones de partículas de óxidos de nitrógeno y de azufre, debido a la limpieza del gas de síntesis
- Presenta una barrera para la formación de dioxinas y furanos debido a las siguientes razones: alta temperatura y la falta de oxígeno en el ambiente reductor del gasificador previene la formación de cloro

Por otro lado esta tecnología trae como desventajas el requerir de una fuente de energía adicional para generar calor para dar inicio al proceso y el requerir un tratamiento previo de la alimentación para asegurar la buena calidad del gas de síntesis. (Velasco Cancino, 2011)

4.2.4. METANÓLISIS

También denominado Alcohólisis. Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetil tereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen.

El proceso de Metanólisis del PET consiste en procesar el residuo lavado y molido en un autoclave (sistema de cierre a presión) con metanol a una temperatura de 240°C y un tiempo de 60 minutos, en estas condiciones se obtienen los monómeros originales: el dimetil tereftalato resultante es extraído por cristalización de la solución madre de etilenglicol y metanol y el etilenglicol es separado por destilación. El metanol es reusado en el proceso nuevamente. Los monómeros así obtenidos son usados para obtener PET nuevo para botellas o para fibras (Ecoplas, 2011).

La metanólisis radica en la despolimerización del PET por medio de un tratamiento al polímero el cual es sometido a elevadas cantidades de metanol en presencia de un catalizador que pueden ser tanto trisopropóxido de aluminio o acetato de zinc como sales de ácido arilsulfónico. A altas presiones que oscilen entre 20-25 Kg/cm³ y a temperaturas aproximadas de 180-280°C. (Chiluiza llangarí & Tacle Humanante, 2013)

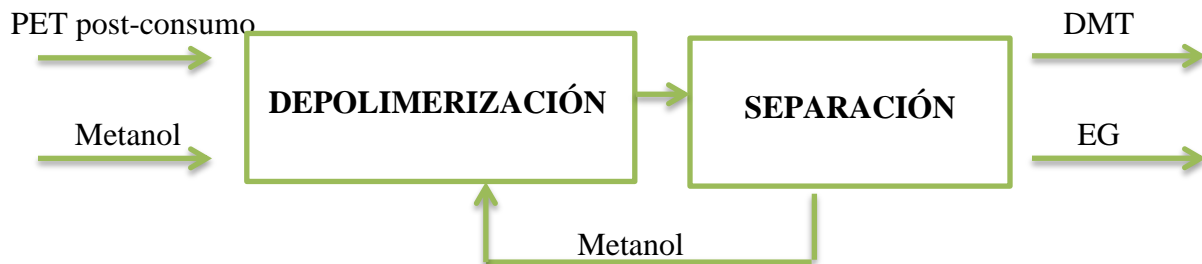
Para este proceso se requiere de las siguientes operaciones unitarias, descritas a continuación:

- la filtración centrífuga
- La cristalización multi etapa
- La destilación al vacío

Por medio de estas etapas se busca descomponer el PET en sus moléculas básicas, en este caso se hace referencia al dimetil tereftalato y etilenglicol, las cuales se pretenden reintegrar nuevamente a los procesos de polimerización para la obtención de PET virgen.

Dando como producto dimetil tereftalato de alta calidad con resultados bastante consistentes. Este proceso permite ser implementado no solo para PET transparente sino también para PET el de otras tonalidades y con contenidos de otros polímeros contaminantes (PE, PVC, polímeros termoestables). El metanol recuperado es reutilizado (Tecnología de los Plástico, 2011).

Figura 22 Diagrama de Metanólisis del PET



4.2.4.1. EXPERIENCIA EXITOSA DE LA TECNOLOGIA

En la actualidad la metanólisis es uno de los únicos procesos de despolimerización que son llevados a cabo comercialmente, La empresa que aplica este proceso como parte de su área industrial se encuentra ubicada en el estado de Texas, USA. La cual inicia labores en 6 de enero del año 1991, con 25 años trabajando Hoechst Celanese en conjunto con Coca Cola USA. Son los pioneros en la implementación de este proceso, contando como materia prima los residuos de PET post-consumo, con el propósito de obtener Dimetil tereftalato (DMT) como resultado de la aplicación de esta tecnología.

Se debe destacar que al someterse el PET post-consumo a reacciones con metanol se obtiene DMT de tal alta calidad y estándares que podrá ser reincorporado en aplicaciones que estarán en contacto con alimentos. (Colet Lagrille, 2015)

Se debe hacer hincapié que en este caso no se cuenta con detalle del todo el circuito de operaciones al cual es sometido el residuo de PET post-consumo para ser posteriormente valorizado, es por esta razón que no se permite realizar una descripción más detallada.

4.2.4.2.IMPORTANCIA AMBIENTAL

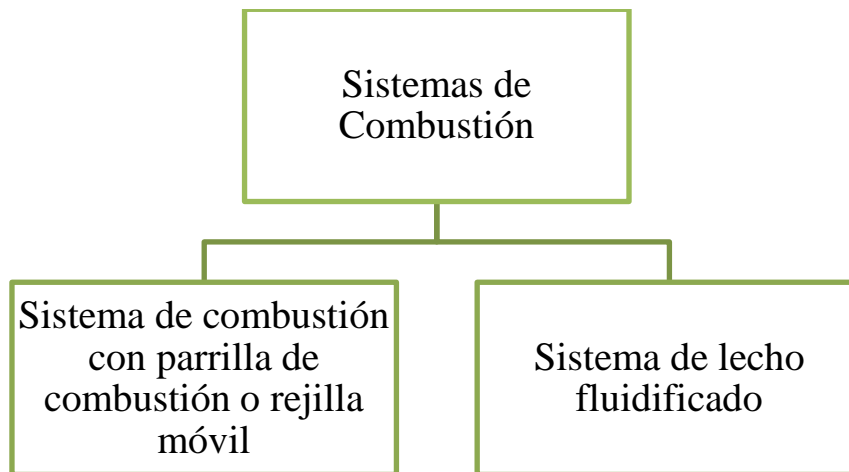
La metanolisis por medio de la descomposición del PET post-consumo genera dos moléculas básicas (Dimetil tereftalato y etilenglicol), las cuales presentan las mismas características que las que componen la resina de PET virgen, por lo cual se permite la conservación y preservación de los recurso natural no renovable y disminución de los impactos ambientales asociados a la obtención de la materia prima para la este. Por otro lado con relación a esta tecnología se presenta la desventaja de que esta requiere de una clasificación previa acorde al tipo de resina para su óptimo rendimiento y calidad del producto. (Yano, Gnet, Kondo, Matsubana, & Oomoto, 2003).

4.3. RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

La recuperación energética surge como una alternativa para encontrar una forma más eficiente de gestionar los residuos y obtener una nueva fuente de abastecimiento energético, este proceso se basa principalmente en la combustión de los residuos (Ecoplas, 2011).

Estos sistemas de combustión se dividen en dos categorías:

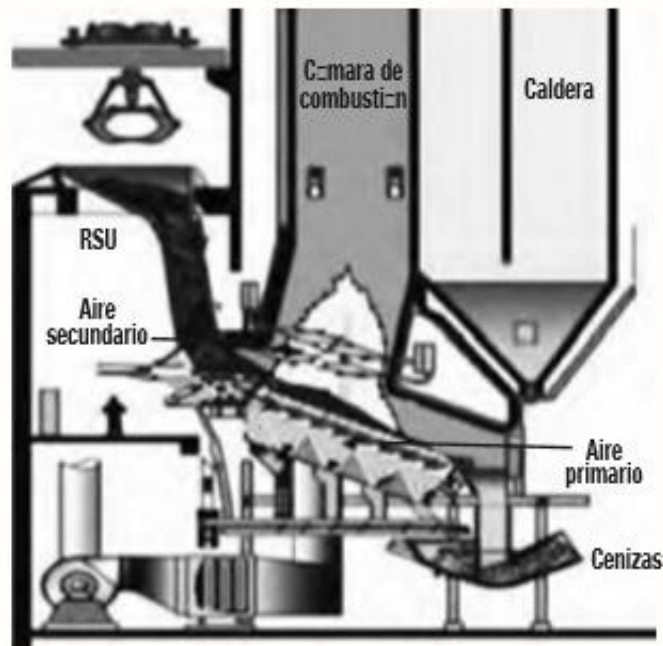
Figura 23 Sistemas de Combustión



4.3.1. SISTEMA DE COMBUSTIÓN CON PARRILLA DE COMBUSTIÓN O REJILLA MÓVIL

El corazón del sistema de combustión es la rejilla móvil que tiene como principales propósitos transportar el combustible (los residuos) y suministrar y distribuir el aire primario de la combustión a las capas de residuo que se inyecta debajo de la misma. (Ecoplas, 2011)

Figura 24 Sistema de combustión con rejilla móvil



Fuente: Manual de Valorización de Residuos Sólidos, ECOPLAS

4.3.1.1. FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de este sistema de combustión, consiste en el avance de los residuos o combustible por medio de una parrilla, donde el arrastre de los residuos se da por medio de unos elementos provistos de movimiento relativo entre sí. Estos elementos sostienen al combustible, insuflándose entre los mismos el aire necesario para la combustión. Según van avanzando los residuos se va completando la combustión de los

mismos, de forma que a la salida el contenido de hollín, monóxido de carbono e hidrocarburos (inquemados) es bajo.

El material de combustión en su avance por la parrilla, pasa por tres etapas consecutivas del proceso.

En la primera de ellas se produce un secado, evaporándose el agua contenida en el material. La combustión principal tiene lugar en la segunda fase, y en la última fase se completa la combustión en aquellas fracciones de mayor temperatura de ignición.

Los gases desprendidos de la combustión se envuelven en una corriente de aire al abandonar las parrillas.

Se debe tener presente, que las parrillas de las calderas pueden ser fijas, móviles o sistemas mixtos. En el caso de ser fijas, suelen estar dispuestas en forma inclinada y ser vibratorias, a fin de facilitar la distribución del combustible y favorecer la evacuación de cenizas al recipiente de recogida de cenizas o cenicero. Los gases calientes de la combustión se hacen pasar a través de la sección de convección de la caldera, generalmente situada en la parte superior de la parrilla, donde ceden el calor al agua de circulación y se produce el vapor que alimenta a la turbina. En ocasiones se instala un economizador que puede ser exterior o interior a la cámara de combustión y donde se baja la temperatura de humos hasta unos 100°C. La alimentación de aire primario se lleva a cabo mediante soplantes, introduciéndose normalmente el aire a nivel de la cámara de combustión, por debajo de la parrilla; en otros casos, también se introduce aire primario en la zona de pre combustión en el caso de calderas alimentadas con balas de paja.

Asimismo, es imprescindible la inclusión de aire secundario en el proceso a efectos de producir una buena combustión de los volátiles desprendidos de la masa de residuos. Como en el caso del aire primario el secundario se introduce con soplantes, por orificios situados en la parte superior de la cámara de combustión. (Risalde, 2011)

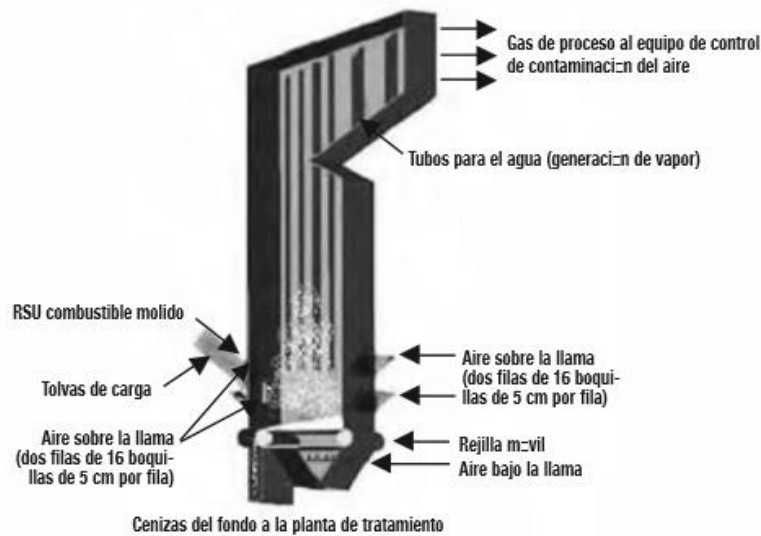
La tecnología de parrillas es el procedimiento más utilizado en Europa y América y permite alcanzar mayores capacidades horarias. Existen diferentes tipos de parrillas, siendo este elemento una de las características diferenciadoras más importante de cada fabricante. En términos generales, se puede distinguir cuatro tipos de parrillas:

- De barras longitudinales.
- De barras transversales.
- De rodillos.
- De alimentación invertida.

4.3.2. SISTEMA DE LECHO FLUIDIZADO

Es un sistema más moderno en la que los residuos se queman en un lecho fluidificado con el aire de combustión. Este sistema necesita que los residuos sean pre tratados mediante molinos o triturador para reducir su tamaño para poder mantener el lecho fluidificado.

Figura 25 Sistema de lecho fluidizado



Fuente: Manual de Valorización de Residuos Sólidos, ECOPLAS

El sistema de combustión en lecho fluidizado consiste en desarrollar la combustión en el seno de una masa de suspensión de: partículas de combustible, cenizas y a veces, un inerte, los cuales son fluidizados por una corriente de aire de combustión ascensional.

Si la velocidad del aire es baja, éste pasará a través de la masa de partículas sin dar lugar a ninguna distorsión en las mismas. Pero si se aumenta la velocidad del aire, llegará un momento en que la fuerza impulsora del aire sea próxima a la fuerza de la gravedad que mantiene juntas a las partículas en el fondo del cilindro, generando movimiento de las partículas y aumentando la porosidad en el lecho. Al aumentar aún más la velocidad del aire, se da lugar a que las partículas individuales se vean forzadas a ascender, viéndose suspendida en la corriente de aire y originando el denominado "lecho suspendido". Un aumento de la velocidad del aire originará una expansión del lecho, y permitirá el movimiento de las partículas en su interior, dando lugar a la fluidización (Risalde, 2011).

4.3.2.1. FUNCIONAMIENTO

Este sistema tiene como objetivo obtener una mezcla de combustible y aire, desarrollando la combustión con las menores temperaturas y exceso de aires posibles. Para

ello se utiliza un lecho de arena y se pone en suspensión -fluidización mediante la inyección de aire a presión a través de una serie de boquillas uniformemente distribuidas en el fondo del lecho de arena.

El aire se inyecta con la presión y caudales suficientes para utilizarse tanto como medio de fluidización como aporte del aire primario necesario para la combustión.

El lecho de arena se calienta normalmente mediante un quemador de gas natural hasta una temperatura que oscila entre 400 y 600 °C en función del tipo de combustible y a partir de la cual se inicia la alimentación de combustible que entrara en ignición en contacto con la arena y aire calientes. La temperatura del lecho oscila según los tipos de combustibles entre 750 y 850°C, temperatura que se mantiene inyectando gases de recirculación cuando sea necesario a través de las mismas toberas de aire de fluidización. La combustión se completa en la parte inmediatamente superior del lecho, mediante la inyección de aire secundario cuyo caudal se controla en función del contenido de oxígeno en los gases de combustión.

El proceso inicia encendiendo los ventiladores de tiro aspirado y forzado para provocar una ligera depresión y proporcionar el aire necesario para la fluidización y la combustión de los residuos, este es conocido como el aire primario. Con la entrada de aire de fluidización se inicia el despegue del lecho de arena y se arranca el quemador de gas natural para el calentamiento del lecho. Al alcanzarse una temperatura en el lecho de alrededor de 450°C se inicia la inyección de los residuos y al entrar en ignición colabora en el calentamiento del lecho. Cuando la producción de la caldera alcanza el 50% se interrumpe el funcionamiento del quemador del gas natural dándose por terminado el proceso de arranque y continuando la operación solo con los residuos. (Sadeca, 2011)

Existen dos tipos de combustores de lecho fluidizado, atendiendo al grado de fluidización del lecho y por tanto, a la velocidad de fluidización:

- Burbujeante: Opera con bajas velocidades del aire de fluidización y se caracteriza por permanecer en el lecho la mayor parte de los sólidos y solamente una parte,

normalmente inferior al 10%, pasan al ciclón. Este tipo de fluidización se denomina en "fase densa", caracterizándose por la superficie libre del lecho que permanece definida.

- **Circulante:** Con velocidades muy elevadas del aire de fluidización se produce el arrastre de gran cantidad de sólidos del lecho, pudiéndose reciclar una gran parte de éstos mediante un ciclón o multi ciclón, dando lugar al denominado "lecho fluidizado circulante".

Desde el punto de vista de la presión de operación del combustor, pueden hacerse dos divisiones: lechos fluidizados atmosféricos, que operan a la presión atmosférica, y lechos fluidizados a presión. La combustión en lecho fluidizado a presión aunque es más compleja de operar ofrece la posibilidad de utilizar turbinas de gas en la generación de electricidad, empleando ciclos combinados gas-vapor con un alto rendimiento global (Risalde, 2011).

Hoy en día existen diferentes tipos de lechos fluidizados, con aplicación a combustibles convencionales. Los lechos fluidizados se diferencian entre sí básicamente según la velocidad del aire en los mismos. Según se incrementa la velocidad del aire los lechos pasan de fijo a burbujeante, turbulento y circulante.

4.3.3. EXPERIENCIA EXITOSA DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA

Madrid es una de las ciudades que se ha caracterizado por realizar una adecuada valorización energética de los residuos, ya que es una de las opciones de tratamiento de residuos avaladas por las legislaciones europeas y española, con carácter preferente sobre la disposición de dichos materiales en vertederos.

En Madrid el Parque Tecnológico de Valdemingómez, desde el año 1978 concentra todas las instalaciones de tratamiento de residuos sólidos urbanos, a las que llegan las más de cuatro mil toneladas que se generan a diario en la Ciudad. Este parque tecnológico

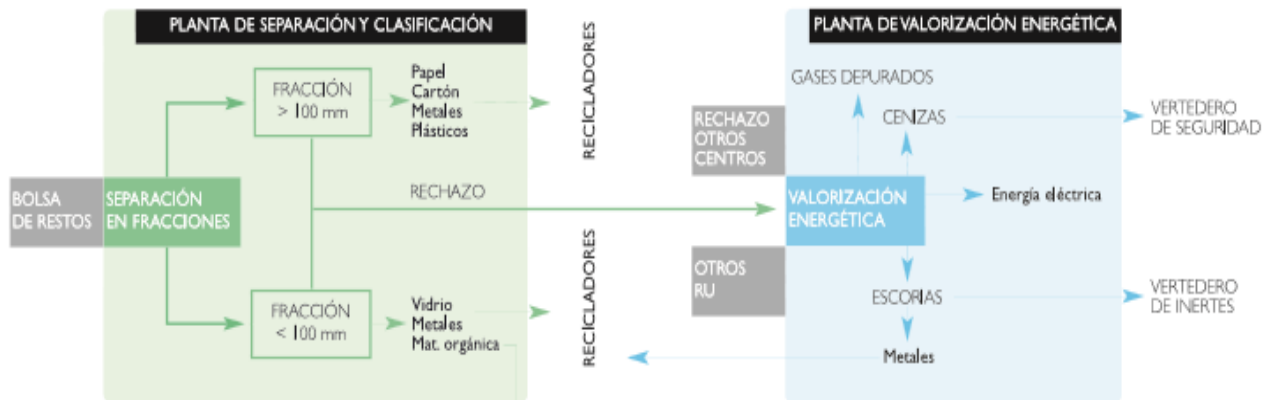
cuenta con cinco centros de tratamientos: Centro de la Paloma, Centro de Las Lomas, Centro de La Galiana, Centro de Las Dehesas y Complejo de Biometanización. Dentro de los cuales el Centro Las Lomas, es el único encargado de aprovechar el calor desprendido por la combustión de los residuos que no fue posible reciclar en las otras plantas para la producción de energía eléctrica.

La energía es recuperada a través de la incineración de los residuos sólidos Urbanos (RSU). En este caso la planta cuenta con un sistema de combustión de parrilla móvil. El cual consiste en transportar los residuos (combustible) a través de una rejilla que suministra y distribuye el aire primario de la combustión a las capas de residuo que se inyecta debajo de la misma.

La recuperación energética ocurre en una caldera de vapor, donde los gases calientes de la combustión son utilizados para calentar agua y producir vapor para el funcionamiento de turbinas (para electricidad) o para proveer calefacción a la industria y el hogar. Luego de extraer el calor de los gases de combustión (básicamente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno) éstos son “limpiados” por sistemas de purificación que utilizan alta tecnología.

El proceso de separación y clasificación de residuos y el realizado en la planta de valorización energética se ilustra en el siguiente esquema.

Figura 26 Sistema de tratamiento de residuos, Centro las Lomas



Fuente: Parque tecnológico de Valdemingómez, Sitio Oficial

Algunas condiciones generales de la Planta son las siguientes:

Tabla 4 Condiciones generales Centro Las Lomas

CONDICIONES GENERALES DE LA PLANTA	
Capacidad media de operación	900 t/día.
Tipo de residuo	Rechazos de tratamiento (planta de separación de Las Lomas y de otros Centros) y otros RU no aprovechables o de difícil tratamiento.
Líneas de incineración	3 hornos de lecho fluidizado de arena, calderas y sistemas de depuración de gases.
Sistema de generación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Caldera. • Turbina. • Subestación eléctrica.
Sistema de depuración de gases	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de mangas. • Ciclón. • Absorbedores.

	<ul style="list-style-type: none"> • Catalizadores.
Potencia eléctrica instalada	29,01 MW. Producción de vapor: 41 t/hora por línea a 47 bares y 425 °C.
Materiales recuperados	Férrico quemado.

Fuente: Parque tecnológico de Valdemingómez, Sitio Oficial

En la siguiente imagen se muestra una vista general de la planta de combustión de RSU y producción de compost de Las Lomas, ubicada en el Centro Medioambiental de Valdemingómez cerca de Madrid.

Figura 27 Centro de las Lomas



Fuente: Parque tecnológico de Valdemingómez, Sitio Oficial

Otra empresa que realiza en España una valorización energética de sus residuos es la Planta “Tratamiento y Selección de Residuos, S.A” (TERSA) de Sant Adrià de Besòs, ubicada en Barcelona y encargada de la minimización del volumen de los residuos mediante la combustión y aprovechamiento energético de la energía que genera este proceso para producir vapor y electricidad.

El tipo de combustión con el cual trabaja esta planta es el de parrilla móvil con una temperatura de 900°C y capacidad de incineración por línea de 14,5 ton/h. Esta planta trata aproximadamente el 31% de los residuos del área metropolitana de Barcelona y desde el

año 2011 hasta el 2015 presenta rendimientos del 70-90%. Con respecto a la aplicación de esta tecnología por esta empresa es pertinente aclarar que a la planta de recuperación energética ingresan todos los materiales que no pudieron ser reciclados dentro de los cuales se encuentran los diferentes tipos de plásticos (TERSA, 2016).

Figura 28 Planta de valorización energética TERSA



Fuente: Sitio Oficial Planta de Tratamiento y Selección de Residuos, S.A (TERSA)

4.3.4. CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Las plantas de Recuperación Energética modernas representan una importante inversión en la actualidad. Estas plantas tienen capacidad para procesar de 1000 a 1200 ton/día de residuos sólidos. Usualmente con dos hornos de combustión, por ejemplo dos líneas de 500 o 600 Tns/día cada una para asegurar la continuidad de la operación.

La inversión varía según la tecnología, ubicación, y procesos adicionales que tenga la planta. En el caso del Centro las Lomas, se estima que se requieren alrededor de 290 millones de Euros para tratar las capacidades mencionadas. Se debe tener en cuenta, que una parte importante de la inversión, estimada en un 20 a 25%, está destinada al sistema de purificación de los gases emitidos por la chimenea que deben cumplir estrictas normas internacionales para garantizar que no contaminen.

Cabe señalar que estas plantas reciben un pago por cada tonelada que consumen por parte de los municipios que disponen sus residuos que generalmente es el equivalente al costo de disponer los residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario.

Los ingresos monetarios de estas plantas son por la venta de la energía eléctrica generada a la red pública, a la tarifa mayorista y en algunos casos la venta de vapor o calefacción para los domicilios, comercios y oficinas cercanos.

4.3.5. IMPORTANCIA AMBIENTAL

Las plantas de combustión con recuperación de energía contribuyen fuertemente a combatir el calentamiento global. De acuerdo a la EPA (Environmental Protection Agency) de USA aproximadamente se evita la emisión de una tonelada de CO₂, equivalente por cada tonelada de residuos quemado en las plantas de combustión con recuperación de energía debido a los siguientes factores:

- Evita emisiones de Metano de los rellenos sanitarios: Cuando una tonelada de RSU se envía a una planta de combustión con recuperación de energía se evitan las emisiones de gas metano (que tiene 21 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono). Aunque parte de dicho metano puede ser recuperado para producir energía debe existir un volumen mínimo crítico para que la producción de energía sea económicamente viable.
- Evita emisiones de CO₂ por la menor combustión de combustibles fósiles: Cuando se genera un MW (Mega Watt) de electricidad a partir de los RSU se evita la emisión del CO₂ equivalente que hubiera sido generado por una usina eléctrica que quema
- combustibles fósiles (Ecoplas, 2011).

Esta disminución de gases con efecto invernadero podría hacer que las plantas de combustión de residuos califiquen para la emisión de bonos de carbono.

Dentro de los impactos negativos ocasionados por esta tecnología se encuentra la generación de gases contaminantes a la atmosfera, altos consumos de energía y la generación de ceniza y material férrico de difícil tratamiento producto de la combustión.

En la siguiente tabla se describen cada una de las tecnologías analizadas anteriormente, resumiendo la información en cuatro aspectos:

Producto: Material obtenido una vez es procesado el PET por la tecnología

Rendimiento: Cantidad de producto obtenido por unidad de masa de PET.

Impactos ambientales: Pertinencia ambiental de la tecnología teniendo en cuenta las alteraciones medioambientales de esta.

Nivel de costo: De acuerdo a la inversión inicial requerida para implementar la tecnología, la facilidad de adquisición de esta y su sostenimiento durante la operación, se determina si la tecnología tiene un costo alto, medio o bajo.

Tabla 5 Aspectos generales Reciclaje Mecánico

COMPARACIÓN DE TECNOLOGIAS					
TECNOLOGIA	PRODUCTO	RENDIMIENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		NIVEL DE COSTO
			POSITIVOS	NEGATIVOS	

RECICLAJE MECANICO	Resina de PET grado alimenticio	62,50%	Disminución del volumen y cantidad de residuos en vertederos y rellenos sanitarios.	Presencia de Vectores	Mediano costo, maquinaria y equipos de fácil adquisición
			Reducción en emisiones de CO ₂ y de gases efecto invernadero		
			Reducción en las alteraciones ecosistémicas		
			Tratamiento de aguas residuales para su apta disposición en cuerpos de agua	Material Particulado	
			Disminución de contaminación del suelo	Incremento en los niveles de ruido	
			Reducción en el consumo energético		
			Disminución en las alteraciones paisajísticas		
			Incremento en ingresos para familias que se dedican a la labor de acopio de materiales reciclables.	olores ofensivos	
			Valorización de residuos post-consumo		
			Educación ambiental en la gestión integral de los residuos sólidos		
Disminución en el consumo de materia prima virgen por productos de materiales reciclables en la industria					

Tabla 6 Aspectos generales Reciclaje Químico-Pirólisis

COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS						
TECNOLOGÍA	PRODUCTO	RENDIMIENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		NIVEL DE COSTO	
			POSITIVOS	NEGATIVOS		
AJE QUÍ	PIRÓLISIS	Queroseno, Diésel, Gasolina y	90-98%	Se genera una fracción líquida fácil de manejar, transportar y almacenar	Los hidrocarburos líquidos deben ser sometidos a un	Altos costos de inversión, sin embargo el

		Aceite		Reducción de emisiones a la atmósfera al ser un proceso cerrado	proceso de refinado al igual que los gases.	diseño es adaptable a la cantidad de material a procesar.
				Admite como combustible (alimentación) material residual de otros procesos		
				No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la combustión	Generación de cenizas producto del reactor pirolítico	
				Todos los productos o subproductos generados pueden ser reutilizados (transforma muchos procesos lineales en cíclicos)		
				El proceso es autosuficiente con respecto a la energía		

Tabla 7 Aspectos generales Reciclaje Químico Hidrogenación

COMPARACIÓN DE TECNOLOGIAS						
TECNOLOGIA		PRODUCTO	RENDIMIENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		NIVEL DE COSTO
				POSITIVOS	NEGATIVOS	
RECICLAJE QUÍMICO	HIDROGENIZACIÓN	Hidrocarburos alifáticos gaseosos (mezcla de gases), líquidos similares al petróleo y derivados del mismo.	sin información	Esta tecnología tiene como producto materiales muy puros, por lo cual no requieren extensos tratamientos posteriores para su refinación, lo que conlleva a que se conserve el recurso hídrico y se minimice la implementación de químicos para su tratamiento.	Presenta problemas de corrosión derivados del HCL y otros compuestos generados en el proceso	Altos costos de inversión

Tabla 8 Aspectos generales Reciclaje Químico-Gasificación

COMPARACIÓN DE TECNOLOGIAS						
TECNOLOGIA		PRODUCTO	RENDIMIENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		NIVEL DE COSTO
				POSITIVOS	NEGATIVOS	
RECICLAJE QUÍMICO	GASIFICACIÓN	Hidrogeno y Monoxido de Carbono	70-80%	Reducción de volumen y masa de residuos	Requiere una fuente de energia adicional para generar calor e iniciar el proceso	Altos costos de inversión, sin embargo, el diseño se adapta a la cantidad de material a procesar
				Reducción de concentraciones de particulas de oxidos de nitrogeno y de azufre debido a la limpieza del gas de sintesis.		
				Presenta una barrera para la formación de dioxinas y furanos.		
				Previene la formación de cloro libre.		

Tabla 9 Aspectos generales Reciclaje Químico-Metanólisis

COMPARACIÓN DE TECNOLOGIAS						
TECNOLOGIA		PRODUCTO	RENDIMIENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		NIVEL DE COSTO
				POSITIVOS	NEGATIVOS	
RECICLAJE QUÍMICO	METANÓLISIS	Dimetil tereftalato y etilen glicol	sin información	La metanolisis por medio de la descomposición del PET post-consumo genera dos moléculas básicas (Dimetil tereftalato y etilenglicol), las cuales presentan las mismas características que las que componen la resina de PET virgen, por lo cual se permite la conservación y preservación de los recurso natural no renovable y disminución de los impactos ambientales asociados a la obtención de la materia prima para la este.	Sin información	Altos costos de inversión

Tabla 10 Aspectos generales Recuperación Energetica

COMPARACIÓN DE TECNOLOGIAS					
TECNOLOGIA	PRODUCTO	RENDIMIENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		NIVEL DE COSTO
			POSITIVOS	NEGATIVOS	
RECUPERACIÓN ENERGETICA	Calor de los gases de Combustión, vapor de alta presión y energía	73-90%	Evita emisiones de Metano de los rellenos sanitarios: Cuando una tonelada de RSU se envía a una planta de combustión con recuperación de energía se evitan las emisiones de gas metano (que tiene 21 veces más efecto invernadero que el dióxido de carbono).	Generación de gases a la atmosfera.	Altos costos de inversión y de transporte
			Evita emisiones de CO2 por la menor combustión de combustibles fósiles	Cenizas resultantes del proceso	
			Disminución de contaminación y compactación del suelo.	Material ferrico de difícil tratamiento.	
			Reducción de la masa de residuos de hasta un 90%, obteniéndose un residuo inerte		
			Destrucción de sustancias potencialmente nocivas	Altos consumos energeticos	
			Disminución del volumen y cantidad de residuos en vertederos y rellenos sanitarios. Prolongando la vida del relleno		

4.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE TECNOLOGIA

Partiendo del estudio realizado en el capítulo anterior de cada una de las tecnologías de reciclaje (mecánico y químico) y de recuperación energética investigadas e implementadas en el contexto internacional, se procede a mostrar la fase de selección de la tecnología que más se acople a las condiciones políticas, sociales, económicas y ambientales de la Ciudad de Manizales.

La selección se basó en dos etapas:

4.4.1. PRIMERA ETAPA: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

En esta etapa, se analizaron las tecnologías, tomando como referencia algunos de los criterios establecidos por la resolución 754 de 2014, la cual adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos para Colombia.

Esta metodología en el literal 4.4.7 determina los aspectos que debe considerar todo programa de aprovechamiento que se desee integrar al PGIRS, basado en las siguientes consideraciones:

- Proyectos de sensibilización, educación y Capacitación
- Estudio de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos
- Estrategia técnica, operativa y administrativa.

De los aspectos citados anteriormente, el análisis de las tecnologías, se realizó con base en el estudio de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos, del cual solo se tomaron algunos criterios teniendo en cuenta que este es el primer estudio llevado a cabo en la ciudad de Manizales y que la información en la que se basó el estudio es secundaria y por lo tanto es limitada para hacer un análisis de factibilidad completo.

El análisis de los criterios se llevó a cabo por medio de una matriz en la cual se analizaron diferentes aspectos financieros, técnicos, ambientales y sociales. (Ver Anexo 1)

[MATRIZ ANALISIS DE TECNOLOGIAS.xlsx](#)

4.4.2. SEGUNDA ETAPA: DIAGNOSTICO DE LA TECNOLOGÍA

Una vez realizado el análisis anterior y teniendo conocimiento de que información se dispone con respecto a cada una de las tecnologías, se procedió a organizar la información basándose en los siguientes cinco criterios:

- Cantidad Reciclable de PET: En este criterio se determinó si la cantidad de material plástico PET aprovechable de la ciudad de Manizales es suficiente para obtener un eficiente desarrollo de la tecnología.
- Maduración: Se determinó si las tecnologías se encuentran a escala de laboratorio, plantas piloto o implementadas a nivel industrial (Comercial).
- Beneficio Ambiental: Se evaluó la pertinencia ambiental de la tecnología teniendo en cuenta las alteraciones medioambientales (impactos positivos y negativos) que genera su implementación.
- Producto: En este criterio se evaluó la viabilidad comercial del producto de cada una de las tecnologías.
- Actores Interesados: Se determinó la factibilidad de compra por parte de los diferentes mercados en la industria y su posible vinculación en el desarrollo e implementación de la tecnología.

La evaluación de cada uno de los criterios con respecto a cada tecnología se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 11 Análisis de tecnología Reciclaje Mecánico

ANALISIS DE TECNOLOGIA: RECICLAJE MECANICO				
CANTIDAD RECICLABLE DE PET	MADURACIÓN	IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS	PRODUCTO	ACTORES INTERESADOS
<p>La cantidad de PET reciclado para Manizales (12,704 Ton/mes) solo equivale al 0,20% de la materia prima que se implementa en la planta de reciclaje mecánico Petstar en México. Por lo cual se considera que la cantidad con la que cuenta la ciudad es insuficiente y podría perderse gran parte del potencial de la infraestructura propia de la tecnología.</p>	<p>Es mucha la información que se encuentra con relación a la tecnología, en la cual se describen las fases del método, los rendimientos y la infraestructura necesaria para su ejecución. Adicional a esto, son muchos los casos exitosos donde se ve aplicada esta tecnología, como lo es Petstar.</p>	<p>Presencia de Vectores</p>	<p>Escamas de PET o Resinas (Pellets de PET)</p>	<p>Empresas embotelladoras y mercados textiles a nivel nacional o internacional.</p>
		<p>Demanda de recursos hídricos y energéticos</p>		
		<p>Material Particulado</p>		
		<p>Incremento en los niveles de ruido</p>		
		<p>olores ofensivos</p>		

Tabla 12 Análisis de tecnología Reciclaje Químico, Pirólisis

ANALISIS DE TECNOLOGIA: RECICLAJE QUÍMICO PIRÓLISIS					
CANTIDAD RECICLABLE DE PET NECESARIA PARA LA TECNOLOGIA	MADURACIÓN	ALTERACIONES AMBIENTALES	PRODUCTO	ACTORES INTERESADOS	
<p>La infraestructura y la maquinaria para desarrollar la tecnología, depende en gran medida de la cantidad a procesar, por lo cual es posible afirmar que esta tecnología es totalmente aplicable a la cantidad promedio mensual de material PET aprovechado en la Ciudad de Manizales. Adicional a esto, cuenta con rendimientos de mínimo el 90% y máximo el 98%. Por lo cual todo el material se aprovecha incluso el residuo generado del procesamiento se emplea para la fabricación de otro material.</p>	<p>La información con relación a la tecnología es amplia, en la cual se explica claramente su funcionamiento y etapas, son muchas las investigaciones y pruebas piloto que a nivel nacional e internacional se han realizado. A su vez son muchas las empresas que trabajan con dicha tecnología como proceso principal de su cadena productiva o como parte de este, sin embargo son procesos aplicados a otros materiales diferentes al PET. Con respecto a la viabilidad investigativa y de aplicación en la Ciudad de Manizales es factible, debido a que ya se han desarrollado pilotajes e investigaciones considerables exitosas en el municipio.</p>	<p>Generación de cenizas</p>	<p>Queroseno</p>	<p>Refinerías y petroquímicas</p>	
			<p>Gasolina</p>		
		<p>Generación de residuos plásticos en el reactor pirólítico</p>	<p>Diésel</p>	<p>Aceite</p>	<p>Empresas refinadoras de petróleo</p>

Tabla 13 Análisis de tecnología Reciclaje químico, Hidrogenación

ANALISIS DE TECNOLOGIA: RECICLAJE QUÍMICO HIDROGENACIÓN				
CANTIDAD RECICLABLE DE PET NECESARIA PARA LA TECNOLOGIA	MADURACIÓN	ALTERACIONES AMBIENTALES	PRODUCTO	ACTORES INTERESADOS
Sin Información	La información con relación a esta tecnología es escasa, de igual forma no se tienen muchos ejemplos de experiencias exitosas de aplicación de esta tecnología. No existe una explicación adecuada de su funcionamiento	Presenta problemas de corrosión derivados del HCL y otros compuestos generados en el proceso	Hidrocarburos alifáticos gaseosos (mezcla de gases) y líquidos similares al petróleo y derivados del mismo	Empresas petroquímicas y químicas.

Tabla 14 *Análisis de tecnología Reciclaje químico, Gasificación*

ANALISIS DE TECNOLOGIA: RECICLAJE QUÍMICO GASIFICACIÓN				
CANTIDAD RECICLABLE DE PET NECESARIA PARA LA TECNOLOGIA	MADURACIÓN	ALTERACIONES AMBIENTALES	PRODUCTO	ACTORES INTERESADOS
El diseño de la tecnología está ligado a la demanda que se tiene del material PET a procesar, en este sentido, es posible afirmar que la tecnología es aplicable para tratar la cantidad de material plástico PET en la Ciudad de Manizales.	La información con relación a esta tecnología es amplia con respecto al procesamiento de residuos sólidos es general, no como tal para el procesamiento del PET. De igual forma se conocen algunas experiencias exitosas de aplicación de la tecnología.	Requiere una fuente de energía adicional para generar calor e iniciar el proceso	Hidrogeno y Monóxido de Carbono	Empresas petroquímicas y químicas.

Tabla 15 *Análisis de tecnología Reciclaje químico, Metanólisis*

ANALISIS DE TECNOLOGIA: RECICLAJE QUÍMICO METANÓLISIS				
CANTIDAD RECICLABLE DE PET NECESARIA PARA LA TECNOLOGIA	MADURACIÓN	ALTERACIONES AMBIENTALES	PRODUCTO	ACTORES INTERESADOS

<p>Esta tecnología está diseñada principalmente para tratar grandes cantidades de material, por lo cual es posible afirmar que en caso de tratar la cantidad promedio mensual de PET aprovechable en la ciudad esta estaría perdiendo la eficiencia total dispuesta para su diseño, por lo cual se requiere mayor cantidad de material.</p>	<p>La información y documentación con relación a la tecnología es muy poca, por lo cual se encuentran muy pocas experiencias exitosas de la aplicación de esta y sus rendimientos. De igual forma no se tiene conocimiento de la infraestructura y costo de los equipos e inversión para su desarrollo.</p>	<p>Sin Información</p>	<p>Dimetil tereftalato y etilen glicol</p>	<p>Industrias de plásticos</p>
---	---	------------------------	--	--------------------------------

Tabla 16 Análisis de tecnología Recuperación Energética

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA: RECUPERACIÓN ENERGÉTICA				
CANTIDAD RECICLABLE DE PET NECESARIA PARA LA TECNOLOGÍA	MADURACIÓN	ALTERACIONES AMBIENTALES	PRODUCTO	ACTORES INTERESADOS
<p>En vista de que el proceso de la recuperación energética es continuo, es posible afirmar que es mucha la cantidad de material que se requiere para implementarla. Los hornos de combustión son generalmente grandes aunque es posible diseñar un horno para la cantidad con la que cuenta la</p>	<p>La información disponible con relación a la tecnología es buena, se encuentran buenas fuentes en las que se describen los diferentes procesos de combustión asociados a esta. En la unión Europea son muchas las empresas</p>	<p>Generación de gases a la atmósfera.</p>	<p>Calor de los gases de combustión, vapor de alta presión y energía</p>	<p>Mercado de energía. En Manizales actores encargados como el Grupo EPM (CHEC), GENSA.</p>
		<p>Material férreo de difícil tratamiento.</p>		
		<p>Cenizas resultantes</p>		

<p>ciudad, sin embargo los costos de inversión generalmente son altos.</p>	<p>que trabajan con esta tecnología, adicional a esto la normativa que rige estos países, avala totalmente el manejo de los materiales por medio de la recuperación energética.</p>	<p>del proceso.</p>		
--	---	---------------------	--	--

De los criterios analizados anteriormente se obtuvo la siguiente comparación

1. Cantidad de PET reciclado necesario para la tecnología

Como se puede observar en la tabla los métodos del reciclaje químico se destacan de las otras dos tecnologías como los métodos que mayor adaptabilidad presentan en cuanto al diseño, debido a que estos se realizan de acuerdo a la cantidad de residuos PET a tratar en el sistema, en este caso el material disponible de la Ciudad de Manizales. El reciclaje mecánico o energético requiere de mayor volumen de material para aprovechar la eficiencia total del sistema. Se debe tener presente que la recuperación energética puede emplearse para tratar otros residuos plásticos al igual que el reciclaje químico, pero en este estudio solo se realizó el análisis del potencial de uso de la tecnología para el PET.

2. Maduración de la Tecnología

Las tecnologías que cuentan con mayor investigación en cuanto a su descripción, funcionamiento y procesamiento son el reciclaje mecánico, la recuperación energética y la pirolisis (Reciclaje químico). Destacándose el reciclaje mecánico con gran cantidad de experiencias exitosas de aplicación en el contexto nacional e internacional. De igual forma, la recuperación energética según lo

analizado en el estudio se destaca como la principal tecnología empleada en la unión europea. Con respecto a la Pirolisis es posible aclarar que si bien no son muy conocidos los procesos que llevan a cabo las empresas que la aplican, es una tecnología bastante investigada, aplicada y en la Ciudad de Manizales punto de partida y prueba piloto exitosa del manejo de residuos PET. La Gasificación de igual forma, se ha caracteriza por ser una tecnología muy investigada y aplicada en el contexto internacional para tratar residuos sólidos urbanos sin ningún tipo de clasificación, hasta el momento son pocos los antecedentes que se conocen de la implementación de esta tecnología para manejar materiales plásticos de tipo PET. Con respecto a la Hidrogenación y la Metanolisis no se tienen muchas experiencias de aplicación de la tecnología.

3. Importancia Ambiental

La tecnología que menor generación de impactos negativos presenta es la Pirolisis, todo ello debido a que es un sistema cerrado en el que todos los materiales producidos se aprovechan, de esta forma a pesar de ser sometido el material plástico PET a altas temperaturas para cambiar su estado, los gases generados todos son aprovechados dentro del mismo proceso, convirtiendo la tecnología en un proceso de cero emisión. El único residuo que genera el método es una pequeña cantidad de restos plásticos en el reactor, el cual según información proporcionada por el Ingeniero Agrónomo Juan David Peláez a través de la empresa Sustratos de Colombia S.A puede ser empleado en la producción de madera plástica. Como se puede observar ambientalmente es una tecnología limpia, comparada con el reciclaje mecánico que genera material particulado, olores ofensivos y ruido, y la recuperación energética que por sus actividades de combustión genera gases que afectan la atmosfera como el dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, cenizas y material férrico de difícil tratamiento.

En cuanto a la demanda de recursos naturales, el reciclaje mecánico es la tecnología que mayor cantidad de agua requiere para su procesamiento, especialmente en las fases de lavado y pre lavado, todo ello debido a que se debe limpiar el material para obtener una resina limpia para comercializar.

Las tecnologías que presentan una demanda energética más alta para su procesamiento son el reciclaje mecánico y el reciclaje químico como el caso de la gasificación que requiere de una fuente de energía adicional para llevar a cabo el proceso.

4. Costo

Todas las tecnologías analizadas requieren de un costo de inversión elevado, sin embargo se deben tener presente las siguientes consideraciones:

- El reciclaje mecánico, si bien requiere de mucha maquinaria, estas son comercialmente más accesibles en el mercado que las otras tecnologías.
- La Pirólisis aunque requiere de mucho presupuesto para la compra de los hornos pirólíticos, es una tecnología que se puede adaptar y diseñar de acuerdo a la disponibilidad del material a tratar.
- La Hidrogenación, Gasificación y Metanólisis han sido poco implementadas a gran escala, convirtiéndose en tecnologías de escasa comercialización. Situación que eleva los costos de implementación.
- La Recuperación energética requiere de altos costos de inversión, en cuanto a maquinaria e infraestructura. Los costos de transporte también son elevados ya que debido a la generación de gases, esta tecnología presenta restricciones de ubicación dentro de la ciudad y en parques industriales, motivo por el cual se debe situar a las afueras.

5. Actores interesados y Producto

Económicamente los productos generados a partir de la Pirólisis (Queroseno, Diésel, Gasolina, Aceite) y la recuperación energética (Calor y Energía), son los más demandados y más comercializados a nivel industrial tanto nacional como internacionalmente. Todo ello debido a que son productos derivados del petróleo, un recurso natural no renovable.

Se debe tener presente que las consideraciones de aplicación y ejecución de la tecnología deben estar sujetas a lo dispuesto por el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio, en el cual se establecen los parámetros a seguir en caso de ubicación de viviendas, actividades productivas, industriales y culturales, haciendo uso adecuado del suelo y respetando las áreas protegidas.

4.4.3. TERCERA ETAPA: PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

La evaluación de los criterios se realizó asignando valores de 1 a 5 a cada uno de ellos, siendo 5 la calificación más alta y de mayor cumplimiento y 1 la calificación más baja, con el fin de categorizar las tecnologías de acuerdo a su aplicabilidad, igualmente se asignaron unos pesos a cada uno de los criterios.

A continuación se describe el porcentaje asignado a cada uno de los criterios:

Maduración: Se asignó el 30% de acuerdo a su implementación a nivel nacional e internacional.

Pertinencia ambiental: Se asignó el 20% a este criterio basándose en las ventajas ambientales de la tecnología.

Producto: Se asignó el 20% teniendo en cuenta la demanda y el posicionamiento de este producto en el mercado

Actores: Se asignó el 20% basándose en quienes podrían estar interesados en el producto de las tecnologías.

Cantidad: Se asignó el 10 %, se dio este valor debido a que en caso de necesitar una mayor cantidad de PET aparte del aprovechable de Manizales, es posible utilizar otro tipo de residuos o plantear alternativas utilizando el PET aprovechable proveniente de los municipios de la región.

A continuación se muestra la ponderación asignada a cada uno de los criterios analizados de acuerdo a cada tecnología:

Tabla 17 Ponderación de Criterios

PONDERACIÓN DE CRITERIOS							
CRITERIO	% PESO	RECICLAJE MECANICO	RECICLAJE QUIMICO				RECUPERACIÓN ENERGETICA
			PIROLISIS	GASIFICACIÓN	HIDROGENACIÓN	METANOLISIS	
MADURACIÓN	30	5	4	3	2	2	4
PERTINENCIA AMBIENTAL	20	3	5	4	3	4	2
PRODUCTO	20	4	4	4	5	4	5
ACTORES INTEREZADOS	20	3	5	4	4	4	4
CANTIDAD	10	4	5	5	5	5	3
TOTAL		3,9	4,5	3,8	3,5	3,5	3,7

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido por la evaluación de los criterios, teniendo en cuenta que la tecnología que obtuvo mayor ponderación es aquella que más se ajusta en cumplimiento a los aspectos analizados anteriormente (criterios).

Tabla 18 Resultados Ponderación de Criterios

RESULTADOS	
PONDERACIÓN DE CRITERIOS	
4,5	PIROLISIS
3,9	RECICLAJE MECANICO
3,8	GASIFICACIÓN
3,7	RECUPERACIÓN ENERGETICA
3,5	METANOLISIS
3,5	HIDROGENACIÓN

De acuerdo al análisis realizado y a la comparación de las tecnologías basado en los cinco criterios: Cantidad de PET reciclado necesario, Maduración de la Tecnología, pertenencia ambiental, viabilidad comercial del producto y actores interesados, es posible concluir que las tres tecnologías seleccionadas fueron la Pirólisis (Reciclaje químico), el reciclaje mecánico y la gasificación. Destacándose como tecnologías con la capacidad de procesar la cantidad de material PET aprovechable en la Ciudad de Manizales, de considerable importancia ambiental y en especial con alto potencial de aprovechamiento, además de ser tecnologías ya investigadas y aplicadas en otras regiones.

De las tecnología de reciclaje (mecánico y químico) y de recuperación energética, es la pirolisis quien se destaca ambientalmente sobre las otras tecnologías, debido a que es un proceso cero emisión en el cual todos los gases se aprovechan y solo se obtiene un

residuo, una pequeña cantidad de ceniza producto de la transformación del plástico en el reactor, la cual puede ser empleada para la fabricación de otros productos.

Se debe tener presente que las tecnologías de Pirólisis y recuperación energética se pueden aplicar en el procesamiento de otro tipo de residuos no necesariamente el PET, por lo que la eficiencia de estas tecnologías es aún mayor.

Con relación a cada una de las tecnologías es importante determinar la capacidad instalada de cada una de ellas, para que no quede sobre o sub dimensionado con respecto a la cantidad de residuos generados o también para determinar un plan de recolección selectiva no solo en la ciudad de Manizales sino también en otros municipios de la región.

Según ECOREPLAST, un consorcio de empresas europeas especializadas en el sector del reciclaje de plástico, el tratamiento de los residuos plásticos no debe ser resuelto unilateralmente por una u otra tecnología, al contrario, se requiere la articulación de estas para obtener un producto de buena calidad y mejorar las condiciones de aprovechamiento del municipio (ECOREPLAST, 2010).

4.5. FORMULACIÓN DEL PROGRAMA

La formulación del programa de implementación está basado en dos subprogramas, el programa de recolección selectiva y el programa de inversión. El primero describe las etapas que se deben llevar a cabo en cuanto a la sensibilización ambiental y el trabajo articulado con la comunidad, además de describir la metodología de recolección del material a procesar; y el segundo detalla cuales son los estudios que se deben incluir dentro del programa de inversión, en los cuales se realiza un análisis técnico, administrativo, ambiental y financiero concluyendo la viabilidad de implementar el proyecto (tecnología). Las consideraciones a tener en cuenta relacionadas con cada programa se describen a continuación:

4.5.1. PROGRAMA DE RECOLECCIÓN SELECTIVA

El programa de educación ambiental debe estar basado en los siguientes estudios.

4.5.1.1. SENSIBILIZACIÓN AMBIENTAL

- a) Identificación de la población objetivo
- b) Estructuración de la plataforma temática
- c) Diseño de la metodología
- d) Estrategias de Comunicación
- e) Compromiso ambiental
- f) Estimulo
- g) Evaluación del proceso

4.5.1.2. RECOLECCIÓN SELECTIVA (LOGISTICA)

- a) Ubicación de puntos móviles y fijos
- b) Estimado de operarios de recolección
- c) Esquema de rutas selectivas
- d) Delimitación de horarios de recolección
- e) Sistemas de clasificación de residuos a tratar
- f) Transporte

4.5.1.3. ACOPIO

- a) Plata física:
 - Normativa
 - Capacidad
 - Dimensiones

- Maquinaria
- Distribución

b) Registros de acopio y comercialización del material

- Inventarios (cantidad ingresada a la planta, cantidad recuperada, producto comercializado)

4.5.2. PROGRAMA DE INVERSIÓN

El programa de inversión determina la viabilidad del proyecto desde los diferentes estudios a nivel económico.

4.5.2.1. ESTUDIO DE MERCADO

a) Investigación de Mercados del Consumidor

En primer lugar es importante utilizar la técnica de la observación, para determinar la situación actual del mercado de los productos que pueden ser competencia.

- Definir Población Objetivo. (segmentación de Mercados)
- Diseño del Instrumento piloto: entrevista, encuesta, grupos foco
- Prueba del instrumento piloto: este incluye la reunión con grupos foco, es decir los Inversionistas interesados en conocer más el proyecto, para determinar la viabilidad y aceptación del proyecto por parte del mercado potencial y de los inversionistas.

- Tabulación y análisis de información. Se deben identificar los diferentes segmentos del mercado, sus características y potencial, además de resumir los resultados del instrumento piloto
- Proyección de la Demanda Inicial del Proyecto: demanda estimada del proyecto una vez entre en operación

b) Estrategias de mercado: Basado en las 5 P

- Producto: se dan a conocer los atributos, características y beneficios del producto (tecnología)
- Precio: Definir a como se vende el producto, las condiciones de pago, políticas de pago, si se va a realizar un contrato y si existirán descuentos por volumen.

En primer lugar se debe concretar el precio con base a:

- Costos de producción
- Comportamiento del mercado: en este aspecto se tienen en cuenta los precios establecidos por proyectos similares bien sea competencia directa o indirecta
- Diferenciación del Proyecto
- La intervención de alguna organización pública o privada
- Superintendencia de servicios públicos

c) Promoción: Estrategias para dar a conocer el producto

En este caso teniendo en cuenta el tipo de producto obtenido se debe hacer énfasis en el valor agregado que representa la tecnología, debido a que es una tecnología verde con disminución en impactos ambientales comparados con otras.

La información se presenta al cliente o inversionista por medio de un mensaje, contacto directo con entidades, mostrando que necesidades satisface el producto en su empresa u organización.

También se debe determinar la posibilidad de generar alianzas estratégicas con entidades públicas o privadas, considerados como usuarios de interés para el proyecto. (Convenios empresariales)

d) Plaza o Canales de distribución: Se determina como se distribuirá el producto, en donde, tiempos de entrega y cantidades.

4.5.2.2.ESTUDIO TECNICO

a) Ingeniería del Proyecto

- Proceso Productivo: Identificación de las fases del proceso

b) Definición y Cuantificación de Necesidades de Espacios en el área técnica

c) Definición de necesidades de maquinarias y equipos: Identificación de los equipos necesarios, capacidades de cada uno, proveedores, costos, dimensiones, costo de mantenimiento, equipos auxiliares, costos de instalación, puesta en marcha.

- Selección de maquinaria y equipos para el proceso, incluyendo costos y capacidad.
 - Análisis de la opción de comprar o alquiler de maquinarias o equipos.
- d) Distribución de la Planta: Plano y diseño de la planta de acuerdo a las necesidades de espacios
- e) Estructura administrativa en el área técnica y necesidades de personal.
- f) Cuadro de valoración de Inversiones.
- Obras físicas.
 - De maquinaria y equipo.
 - Salarios y prestaciones de personal técnico.
 - De insumos y de seguros.
 - De muebles y enseres.
 - Otras inversiones necesarias.
- g) Localización de Planta.

4.5.2.3. ESTUDIO ADMINISTRATIVO

- a) Misión, Visión, Valores.
- b) Estructura administrativa del proyecto.
- c) Definición de necesidades en cada una de las áreas funcionales: identificación de los muebles y enseres necesarios, Software, computadoras etc.
- d) Funciones básicas por cada una de las áreas funcionales y perfil de cargos.

- e) Análisis de la posibilidad de externalizar algunas áreas administrativas (Outsourcing)
- f) Necesidades de personal, cálculo de salarios y prestaciones sociales.
- g) Otras inversiones necesarias (Vehículo, seguros, pre operativos, impuestos municipales, licencias)
- h) Estructura jurídica de la empresa.
- i) Costos de legalización.

4.5.2.4. ESTUDIO AMBIENTAL

- a) Delimitación del área de influencia directa e indirecta del proyecto
- b) Compatibilidad del proyecto con el uso de suelos establecidos en el POT.
- c) Información sobre los recursos naturales renovables que se pretenden usar, aprovechar o afectar para el desarrollo del proyecto.
- d) Descripción, caracterización y análisis del medio biótico, abiótico, socioeconómico en el cual se pretende desarrollar el proyecto.
- e) Impacto ambiental del proyecto.

- f) Medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos ambientales negativos que pueda ocasionar el proyecto, obra o actividad en el medio ambiente y/o a las comunidades durante las fases de construcción, operación, mantenimiento, desmantelamiento, abandono y/o terminación del proyecto.
- g) Licencias ambientales necesarias para el desarrollo del proyecto.

4.5.2.4..ESTUDIO FINANCIERO

Antes de realizar el estudio financiero se deben determinar los medios por lo cuales se hallaran los posibles inversionistas del proyecto. Dichos medios se describen a continuación.

- Entes gubernamentales: Alcaldía, Gobernación, Cámara de Comercio. Por medio de las cuales se potencializa el proyecto y se localizan posibles inversionistas o convenios de cooperación nacional e internacional.
- Empresas u organizaciones privadas: En el caso de la ciudad de Manizales las empresas relacionadas con el proyecto a desarrollar (implementación de la tecnología) podrían ser EMAS, CHEC, Gensa. A nivel nacional podrían estar interesados EPM, EKORED.
- Fondos de Inversión: Dentro de los cuales se encuentra el Fondo Emprender y las Bancas de Inversión, los cuales buscan proyectos rentables con el fin de invertir.

- a) Determinación de la inversión inicial: una vez se tiene el posible inversionista se determina el tipo de inversión con la cual participara. Los tipos de inversión se describen a continuación.
- Inversiones fijas: Costos de infraestructura física, maquinaria y equipos descritos durante el estudio técnico.
 - Inversiones diferidas: valor destinado a los gastos de compra de predios, de la planta de producción y prueba de maquinaria utilizados antes de que el proyecto esté en marcha.
 - Inversiones en capital de trabajo: Recursos económicos, capital e inventario
- b) Estructura de financiamiento.
- Recursos propios.
 - Recursos de terceros.
- c) Ingresos del Proyecto a 5 años
- d) Egresos del proyecto a 5 años
- e) Utilidades del proyecto a 5 años.
- f) Flujos de caja del proyecto.
- g) Evaluación Financiera

- Valor presente neto: Debe ser mayor a cero para ser viable
 - Tasa de rendimiento: Debe ser superior a la tasa esperada por los inversionistas
 - Periodo de recuperación: tiempo en el cual se recupera la inversión inicial
- h) Definición del valor total del proyecto (valoración): se define el valor total del proyecto, determinado por los estudios descritos anteriormente (Parra, 2016)

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Del análisis realizado es esta investigación es posible concluir que las tres tecnologías seleccionadas de mayor aplicación para el contexto social, económico y ambiental para la Ciudad de Manizales son la Pirólisis (Reciclaje químico), el reciclaje mecánico y la gasificación, tecnologías con la capacidad de procesar la cantidad de material PET aprovechable en la Ciudad, de considerable importancia ambiental y en especial con alto potencial de aprovechamiento, además de ser tecnologías ya investigadas y aplicadas en otras regiones.

La Pirólisis se destaca de las otras tecnologías debido a que es la que menor generación de impactos negativos presenta, todo ello debido a que es un sistema cerrado en el que todos los materiales producidos se aprovechan, de esta forma a pesar de ser sometido el material plástico PET a altas temperaturas para cambiar su estado, los gases generados todos son aprovechados dentro del mismo proceso, convirtiendo la tecnología en un proceso de cero emisión. El único residuo que genera el método es una pequeña cantidad de restos plásticos en el reactor, el cual puede ser empleado en la producción de otros materiales.

Con respecto a la maduración de la tecnología es posible concluir que de las tres tecnologías seleccionadas, son el reciclaje mecánico y la pirólisis quienes se destacan como tecnologías con experiencias de aplicación exitosa, siendo el reciclaje mecánico el que más se aplica dentro del contexto nacional.

De igual forma la recuperación energética se destaca por ser una tecnología muy aplicada en la unión europea, con gran demanda por el producto energético que genera, pero es importante aclarar que esta tecnología no es totalmente aplicable al contexto de Manizales debido a que en nuestra región ya existe la generación de energía a partir de hidroeléctricas, un sistema bastante consolidado y mucho más económico que la generación de energía a raíz de residuos. Sin embargo, aunque Manizales cuente con cierta seguridad

energética, no está de más prever otro tipo de alternativas que ayuden a apaciguar los cambios generados por la variabilidad climática sobre los sistemas de generación de energía ya existentes.

Otra conclusión que se puede extraer del análisis de los criterios con relación a cada una de las tecnologías es que la pirolisis, la gasificación y la recuperación energética pueden ser fácilmente adaptables a procesar otro tipo de materiales diferentes al PET, siendo una alternativa de aprovechamiento para distintos residuos.

Una vez se desea aplicar la tecnología es importante determinar la capacidad instalada de ella, para que no quede sobre o sub dimensionado con respecto a la cantidad de residuos generados o también para determinar un plan de recolección selectiva no solo en la ciudad de Manizales sino también en otros municipios de la región.

Finalmente, con relación al programa de implementación es posible afirmar que dicho paso a paso es el punto de partida para tener un desarrollo integral de esta tecnología, en el cual se vincule el programa de aprovechamiento al trabajo conjunto con la comunidad y entes responsables.

SUGERENCIAS

Se sugiere para futuras investigaciones realizar un estudio de prefactibilidad mas concreto con relación a las tres tecnologías seleccionadas en este estudio, de manera que se determine más certeramente la viabilidad de implementar esta tecnologia en la Ciudad.

De igual forma se recomienda realizar una investigación determinando la cantidad de residuos aprovechables de toda la región y analizando la viabilidad de implementar estas tecnologías para su procesamiento.

REFERENCIAS

- Velasco Cancino, A. R. (2011). *Propuesta Conceptual de un Sistema de Gasificación de Residuos Sólidos Urbanos Integrado a un Sistema de Generación de Energía*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Abreu, J. E. (2015). EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS Y SUS OPORTUNIDADES PARA CUBA. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
- AGROWASTE. (2012). *Pirólisis*. España.
- Alcaldía de Manizales. (2004). *Sistema Electrónico de Contratación Pública*. Obtenido de <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=15-12-3492801>
- Alcaldía de Manizales. (2015). *Alcaldía de Manizales*. Obtenido de <http://www.manizales.gov.co/Contenido/Alcaldia/37/objetivos-funciones-y-deberes>
- Alcaldía de Manizales, Secretaría de Medio Ambiente, Secretaría de Obras Públicas, Secretaría de Planeación . (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Manizales 2015-2027*. Manizales.
- Alcaldía de Manizales,Secretaría de Medio Ambiente,Secretaría de Obras Públicas,Secretaría de Planeación. (2015). *PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE MANIZALES PGIRS 2015 – 2027*. Manizales: Alcaldía de Manizales.
- AL-Salem, J. Baeyend, & P. Lettieri. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW):. *ELSEVIER*, 2625-2643.
- ASIPLA . (2010). *Analisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Cilo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plasticos en Chile* .
- Association of Plastics Manufacturers. (2015). *An analysis of European Plastics protuction, demand and waste data*. Europa.
- Benjamin, A. (2012). *¿De qué manera el combustible fósil impacta sobre la sustentabilidad del ecosistema?* Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/manera-combustible-fosil-impacta-sustentabilidad-del-ecosistema-como_52806/

- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*.
- CARACOLRADIO. (26 de Junio de 2009). Obtenido de http://caracol.com.co/radio/2009/06/26/ecologia/1246034100_835735.html
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y Valorización energética de Residuos*.
- Chiluiza Ilangarí, M. B., & Tacle Humanante, C. I. (2013). *Diseño y construcción de un equipo para el lavado ácido o básico de los gránulos del plástico reciclado PET*.
Riobamba: Escuela Superios Politecnica de Chimborazo.
- Colet Lagrille, M. N. (2015). *Estudio de las variables de operación del proceso de pirólisis catalítica del polietileno*. Santiago : Universidad de Chile.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas. CORPOCALDAS. (2015). *Plan de acción 2013-2015*. Manizales.
- Diana Alexandra Navas Torres, P. A. (2010). *Procesos para la obtención del Petroleo y los Impactos Ambientales generados por actividades petroleras*. Bucaramanga:
Universidad Industrial del Santander, Escuela de Ingenieria Quimica,
Especializacion en Ingenieria Ambiental.
- Dinero Mentor. (2011). La diez petroleras con mayor producción en Colombia . *Revista Dinero*.
- Dpto. Química Orgánica. (s.f.). *Universidad de Valladolid*. Recuperado el 26 de Marzo de 2016, de Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales:
<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/bibliografia.htm>
- Duque Ingunza, Lopez Fonseca, De Rivas, & Gutiérrez Ortiz. (2013). Situación actual de los residuos plásticos y su gestión Reciclado de PET. *Revista Técnica Medio Ambiental*, 8-9-10-11-12-13-14-15-161718.
- ecointeligencia . (4 de Febrero de 2013). Obtenido de <http://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/>
- Ecointeligencia. (4 de Febrero de 2013). Obtenido de <http://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/>

- Ecopetrol. (9 de Noviembre de 2014). Obtenido de <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion/refinar>
- ECOPLAS. (2011). *ECOPLAS Entidad Tecnica Profesional especializada en Plásticos y medio Ambiente*. Obtenido de http://www.ecoplas.org.ar/valorizacion_reciclado_plasticos.php
- Ecoplas. (2011). *Manual de Valorización de los Residuos Plásticos*. Buenos Aires.
- ECOREPLAST. (20 de Diciembre de 2010). *Ecobar PLastic Recycling Technology*. Obtenido de <http://www.ecobar.info/category/plasticos/>
- Empresa Metropolitana de Aseo S.A E.S.P. (2015). *Manual de Inducción al Sistema Integrado de Gestión*. Manizales.
- GRANADOS, J. F., & ROA, H. F. (2004). *PLAN DE NEGOCIOS PARA REPROCESAR ENVASES FABRICADOS CON PET Y SU*. Chia.
- Javier Fuentes Granados, H. F. (2009). *Plan de negocios para reprocesar envases fabricados con PET y su comercialización en hojuelas en la Ciudad de Bogotá*. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Jesús, A. (26 de Mayo de 2014). *Ingenieria Química.net*. Obtenido de <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/361-pirolisis>
- JunqueraI Diz , I. (2010). *Gasificación de Residuos Plásticos para la Producción de Electricidad en Régimen Especial*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Kaminsky, J. S. (2006). *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*. Mayo.
- Leyva, M. N. (2016). PetStar, la estrella del reciclaje de PET. *Plastics Technology México*.
- Li Shen, J. H. (2009). *Product overview and market projection of emerging bio-based plastics* . Europa.
- Maldonado, A. T. (2012). *La Complejidad de la Problemática Ambiental de los Residuos Plásticos: Una aproximación al analisis narrativo de política pública en Bogota*. Bogota. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf>

- MINAMBIENTE. (2015). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/33-cambio-climatico/cambio-climatico-articulos/465-plantilla-cambio-climatico-21>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Sector Plásticos Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*. Bogota.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2004).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Julio de 2004). *Sector Plástico, Principales procesos básicos de transformación de la Industria Plástica y Manejo, Aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*. Obtenido de Bogota Colombia:
http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2014). *Informe de Industria*. Bogota : Editorial OEE.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Mejores Técnicas Disponibles de Referencia Europea. Producción de Polímeros*. España.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea. Producción de Polimeros*.
- Ministerio de Vivienda. (2015). *MINVIVIENDA*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos>
- Muerza, A. F. (10 de Mayo de 2006). *eco2site*. Obtenido de <http://www.eco2site.com/Informe-432-Bioplasticos->
- Naranjo Vasco, J. M. (2010). *Producción de Polihidroxibutirato a partir de residuos Agroindustriales*. Manizales.
- PCI. (s.f.). *PCI PET Packaging Resin and Recycling*. Reino Unido.
- Peláez, J. D. (Abril de 2016). Pirólisis. (K. M. Camargo, Entrevistador)

- Pelaez, J. D. (15 de Abril de 2016). Tecnología Pirólisis. (K. M. Camargo, Entrevistador)
- Pérez, L. M. (2009). *Estudio del uso del Polietileno Tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- PETSTAR. (junio de 2009). *PETSTAR*. Recuperado el 07 de Marzo de 2016, de Nuestra Historia: <http://www.petstar.mx/empresa>
- PGIRS (Dirección). (2014). *PGIRS Manizales Septiembre 2014* [Película].
- PlasticsEurope. (2012). *Plásticos - Situación en 2012. Análisis de la producción, la demanda y de la recuperación de plástico en Europa en 2011*.
- Proyecto SIGMA II. (2011). *Problemática ambiental ligada al transporte por carretera*. Madrid.
- Quito Chulca, R. A., & Villafuerte Chompol, E. F. (2011). *Planta de Reciclado Polietilentereftalato*. Guayaqui.
- Ramon, S. S. (2014). *Impacto ambiental de quemar residuos solidos*. peru.
- Risalde, D. J. (2011). *CENTRAL TÉRMICA DE BIOMASA DE 5 Mw DE POTENCIA. Estudio de las Tecnologías de Combustión Anexo10*. Madrid.
- Sadeca, V. (Dirección). (2011). *Caldera vulcano de combustión en lecho fluidizado instalada en la planta generadora de electricidad de la UTE IDAE-DACSA* [Película].
- Tapia, A. R. (2012). *Industrialización y Exportación de Plástico PET*. Queretano, México: Universidad Autónoma de Queretano.
- Tecnología de los Plástico. (6 de Julio de 2011). *Tecnología de los Plástico*. Recuperado el 13 de Marzo de 2016, de <http://tecnologiadelosplasticos.com.co>
- TERSA. (2016). *Tratamiento y Selección de Residuos, S.A. (TERSA)*. Obtenido de http://www.teresa.cat/es/planta-de-valorizaci%C3%B3n-energ%C3%A1tica_2172
- ThermoFuel. (2013). *ThermoFuel*. Obtenido de <http://thermofuel.com.au/latest-news/69-some-text-in-the-slider>
- ThermoFuel. (2013). *ThermoFuel*. Obtenido de <http://thermofuel.com.au/latest-news/42-home-page-module-2/66-news-test-2>

Twenergy. (14 de Junio de 2013). *Twenergy* . Obtenido de EL SÉPTIMO CONTINENTE:

LA ISLA DE PLÁSTICOS DEL PACÍFICO: <http://twenergy.com/a/el-septimo-continente-la-isla-de-plasticos-del-pacifico-881>

Valdez, L. H. (2009). *Contaminación ambiental a causa de las refinerías*. Madero, Tamaulipas.

Victor Adrian Gomez, R. G. (2013). *Proyecto de inversión para la instalación de una planta recicladora de envases PET*. México: Instituto politécnico Nacional.

yano, F., Gnet, M., Kondo , Y., Matsubana, W., & Oomoto, S. (2003). Development of chemical recycling process for post- consumer PET bottles by methanolysis in supercritical methanol. *Technical Review*, 1-4.

Zurita Saltos, D. A. (2013). *Gasificación térmica y catalítica de residuos sólidos de PET* . Quito: Universidad Central de Ecuador.