



**Facultad de Ingenierías y Computación
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**

“Reciclado de Plástico PET”

Presentado por:

Juan Jose Gary Bolaños Zea

**Para Optar por el Grado Académico de Bachiller en:
INGENIERIA INDUSTRIAL**

Arequipa, diciembre del 2019

DEDICATORIA

A mi mamá Nancy.

Por siempre haber creído en mí, por los tantos consejos dados, por ser el pilar fundamental en mi vida y sobre todo por todo su amor.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los profesores de la Universidad Católica San Pablo, de quienes aprendí mucho y quienes no solo me enseñaron conocimientos propios de la carrera, sino que también me enseñaron a ser una mejor persona.

Gracias a Manuela, una de las personas más importantes en mi vida, sin su apoyo incondicional nada de esto hubiera sido posible.

Y por encima de todo, gracias mi familia por confiar en mí, por el apoyo incondicional y todo el amor. Pero en especial gracias a mi mamá por su paciencia y por estar ahí siempre apoyándome en los buenos y sobretodo en los malos tiempos.

RESUMEN

Los residuos sólidos constituyen una preocupación y un problema medioambiental que es de intereses social y en la actualidad es uno de los temas fundamentales para la sostenibilidad ambiental del planeta tierra. Por esta razón el objetivo de este trabajo es investigar todo acerca del proceso del plástico Polietileno Tereftalato PET, así como las tecnologías utilizadas para su reciclaje y todos los factores referidos entorno a él. Y los usos en la industria que se le da al PET Para esto se realizó una revisión teórica del tema utilizando una metodología con diseño no experimental exploratoria. Posteriormente se realizará en base a esta investigación una propuesta de implementación de planta de reciclaje de PET utilizando los conocimientos adquiridos en el presente trabajo.

PALABRAS CLAVE

Medio Ambiente, Residuos, Plástico, Polietileno Tereftalato (PET), Reciclaje

ABSTRACT

Solid waste is a concern and an environmental problem that is of social interest and is currently one of the fundamental issues for the environmental sustainability of the planet earth. For this reason the objective of this work is to investigate everything about the plastic polyethylene terephthalate PET process, as well as the technologies used for its recycling and all the factors referred to it. And the uses in the industry to be the PET To do this a theoretical review of the subject was made using a methodology with non-experimental exploratory design. Subsequently, based on this research, a proposal for the implementation of a PET recycling plant will be carried out using the knowledge acquired in the present work.

KEYWORDS

Environment, Waste, Plastic, Polyethylene Terephthalate (PET), Recycling

INDICE GENERAL

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. Descripción del problema de investigación	1
1.1.1. Formulación del Problema (Interrogante principal)	3
1.1.2. Sistematización del problema (Interrogantes secundarias)	3
1.2. Objetivos de la investigación.	3
1.2.1. Objetivo General.	3
1.2.2. Objetivos específicos.	3
1.3. Justificación de la investigación	3
1.3.1. Conveniencia	3
1.3.2. Justificación Teórica	3
1.3.3. Justificación Practica.	4
1.4. Delimitación del trabajo	4
1.4.1. Delimitación Temática	4
1.4.2. Delimitación Espacial	4
1.4.3. Delimitación Temporal	5
CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de Investigación sobre el tema	5
2.2 Marco Conceptual	6
2.2.1. Medio Ambiente	6
2.2.2. Residuos Solidos	7
2.2.3. Ecoeficiencia	10
2.2.4. Reciclaje	10
2.2.5. El Plástico	13
2.2.6. Polietileno Tereftalato (PET)	16
2.2.7. Tipos de reciclaje del Tereftalato de Polietileno (PET)	24
2.2.8. Reciclaje de PET en el Perú	35
2.2.9. Consecuencias del PET en nuestro planeta	37
2.2. Hipótesis.	38

CAPITULO III: METODO DE INVESTIGACION	38
3.1. Diseño de Investigación	38
3.1.1. Diseño No Experimental	38
3.2. Tipo de Investigación	38
3.2.1. Exploratoria:	38
3.3. Métodos de Investigación	38
3.3.1. Según el tipo de información	38
3.3.2. Según el tipo de reflexión	38
3.4. Levantamiento de datos	39
3.4.1. Técnicas de investigación	39
3.5. Análisis de Datos	39
3.6. Mapa Mental	40
3.7. Análisis Crítico de la Literatura (Estado del Arte)	41
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS	42
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios (toneladas por año).....	9
Figura 2. Códigos de la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI).....	15
Figura 3. Símbolo del PET	17
Figura 4. Diagrama de Flujo de Proceso de Producción	19
Figura 5. Ciclo de Vida del PET	22
Figura 6. Proceso del Reciclaje Mecánico del PET	25
Figura 7. Proceso de Reciclado de PET	29
Figura 8. Características del PET y RPET	30
Figura 9. Proceso del Reciclaje Químico	32
Figura 10. Proceso del Reciclaje Energético del PET	35

CAPITULO I: INTRODUCCION

El presente borrador de trabajo de investigación titulado “Reciclado de plástico PET”, es una investigación que tiene por objetivo realizar una búsqueda de información referida al tema de reciclado más específicamente el reciclado de plástico PET, así como sus diferentes tipos de procesos y el uso que se le da al PET reciclado.

Al hablar de reciclado es también necesario hacer mención a los conceptos básicos relacionados con el tema principal como por ejemplo medio ambiente, residuos, plástico, etc., los cuales son abordados pues se consideraron de suma importancia para este trabajo.

En el Capítulo I presenta la definición del problema y su formulación, los objetivos, la justificación, así como su delimitación, todo lo que dará origen al presente trabajo de investigación. Así como la formulación del problema mediante la interrogante principal y también sus interrogantes secundarias.

En el Capítulo II se abordan los antecedentes referentes a nuestro tema de investigación, así como también el marco teórico necesario. Lo que fundamentara el desarrollo de este proyecto de investigación, adicionalmente se encuentra la aproximación a la hipótesis.

1.1. Descripción del problema de investigación.

Según el documento “Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050” publicado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2001), de lo que va el presente año bordeamos los 32 millones de personas: en tanto que, en el 2020, superaríamos los 32 millones de habitantes, como podemos observar el crecimiento de la población es bastante acelerado, lo que implica que la demanda de alimentos, luz, agua, recursos naturales entre otros sea cada vez mayor ocasionando un incremento considerable de residuos sólidos.

El uso desmedido de los recursos naturales y el aumento de la contaminación ambiental están dañando nuestro ecosistema, originando que muchos de estos no se regeneren.

Actualmente de los desechos que generamos diariamente el 3% se vierte en un río, laguna o al mar, 12% se quema al aire libre, contaminando el medio ambiente, 61% se deja en un botadero a cielo abierto, el 21% es destinado a los rellenos sanitarios mientras que solo un 2% se recicla y 1% que no se precisa (Bardales, 2016).

Según el Centro de Desarrollo Nacional de la Sociedad Nacional de Industrias existen en el Perú tan solo 238 empresas que a la actualidad cuentan con la certificación ISO-14001 (CDI, 2017). Estas empresas están tomando el liderazgo en este tema estableciendo políticas internas que muestran su compromiso con el medio ambiente, utilizar el modelo de “Hacer más con menos”, reducción de impactos ambientales, buscar la forma de cambiar o modificar los procesos productivos y tener un marketing a favor del medio ambiente, entre otros.

En los últimos años diferentes proyectos, organismos, instituciones y otros preocupados por el medio ambiente, han conseguido con ayuda de la comunidad dar la importancia al reciclaje y sus diferentes alternativas para formar parte de los asuntos de organizaciones internacionales, gobiernos, empresas y comunidades.

Todo lo antes mencionado son solo muestras de la importancia del reciclaje en favor del medio ambiente de los beneficios que puede generar a la población mundial y al medio ambiente.

Uno de estos principales desechos es el PET debido a que se encuentra en la mayoría de envases plásticos, y también tiene diversos usos en diferentes utensilios del día a día. De acuerdo al segmento web “Clima de Cambios” de la PUCP, la empresa San Miguel Industrias, la cual se dedica a la fabricación de envases de plástico PET, “unos 2 729 622 624 envases de plástico PET son fabricados en un año en Perú. Esto equivale a 1 784 753 barriles de petróleo, cantidad que pudo abastecer de combustible a 10 500 carros durante ese mismo año” (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016).

Es por eso que el problema que se plantea nace por la necesidad personal de adquirir los conocimientos necesarios sobre el reciclaje de Tereftalato de Polietileno (PET) para

a partir de dicho conocimiento poder contribuir a futuro con la creación de una empresa que pueda contribuir con el medio ambiente.

1.1.1. Formulación del Problema (Interrogante principal)

¿Qué conocimientos, y tecnologías existen acerca del reciclado de PET?

1.1.2. Sistematización del problema (Interrogantes secundarias)

¿Qué tipos de reciclaje de PET existen en la actualidad?

¿Cuáles son los usos de PET reciclado y su perspectiva en nuestro país?

¿Cuál es el impacto ambiental del reciclado de PET?

1.2. Objetivos de la investigación.

1.2.1. Objetivo General.

Describir los procesos y tecnología desarrollada para el reciclado de PET.

1.2.2. Objetivos específicos.

1° Identificar los diferentes tipos de reciclaje de PET existentes.

2° Recolectar información de los diferentes usos del PET reciclado en el Perú.

3° Identificar el impacto ambiental del reciclado de PET.

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Conveniencia

El reciclaje es la solución a toda la contaminación que afecta actualmente a nuestro planeta tierra, como ingeniero industrial tengo el deber de proponer soluciones que sean factibles e innovadoras. Por eso el fin de la presente investigación es el de adquirir todos los conocimientos necesarios acerca del reciclaje, con mayor énfasis en el reciclaje del PET. Y dicho conocimiento adquirido será de suma importancia para la realización de un posterior trabajo de Tesis.

1.3.2. Justificación Teórica

Este trabajo de investigación es realizado con el propósito de recolectar conocimiento existente sobre el Reciclaje de PET, debido a que en la actualidad la contaminación por plástico PET está alcanzando un punto alto en nuestra realidad

tanto nacional como mundial, principalmente porque el PET al ser de uso masivo en envases plásticos de bebidas y/o alimentos produce gran cantidad de desechos sólidos al año y es necesario buscar soluciones que se puedan aplicar y uno de los primeros pasos es recabar información para así poder plantear diferentes soluciones de acuerdo a cada realidad.

Existen diferentes trabajos de investigación en las plataformas de repositorios de diferentes universidades tanto nacionales como internacionales, así como artículos en revistas especializadas, de las cuales se mencionan las más importantes en los antecedentes de la investigación.

1.3.3. Justificación Práctica.

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de conocer más acerca del Reciclaje de PET, con el fin de sentar las bases para posteriormente ser utilizada en la realización del Plan de Tesis. Dichas bases son los diferentes conceptos asociados al reciclaje, los distintos procesos que existen para realizar el reciclaje en la actualidad, así como los diferentes usos que se le da al PET una vez que es reciclado. Al ser un trabajo de investigación netamente teórico no brinda respuestas tangibles, pero si nos ofrece un panorama acerca del Reciclaje, sus procesos y el posterior uso del mismo; así como la realidad de nuestro país en cuanto al reciclaje.

1.4. Delimitación del trabajo

1.4.1. Delimitación Temática

El presente trabajo de investigación tiene como objeto de estudio el desarrollo de una investigación de todo lo referente del proceso de reciclado de Tereftalato de Polietileno (PET) su proceso de producción y los usos que se le da en la industria peruana al PET reciclado.

1.4.2. Delimitación Espacial

Base de datos como Google Académico, Google Books, Repositorios Universitarios y base de datos del MINAM, SINIA, y páginas web especializadas.

1.4.3. Delimitación Temporal

Se realizará la investigación durante el primer periodo del presente año, es decir del mes de febrero al mes de marzo del 2018.

CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Investigación sobre el tema.

A) Según la Revista de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima en su artículo: “Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster”, nos da claras luces de los diversos uso del PET reciclado no solo en envases plásticos sino que también en la industria textil convirtiendo el flake de PET en fibra corta de poliéster, el cual combinado con otras fibras en proporciones adecuadas nos permite utilizar el PET reciclado en la fabricación de ropa, relleno de cojines, alfombras y demás productos textiles. Contribuyendo así a la preservación del medio ambiente (Mansilla & Ruiz, 2009).

B) Según la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos aprobada por decreto legislativo N° 1278 el 22 de diciembre de 2016, la cual plantea que los instrumentos para el uso eficiente de los materiales y la gestión de los residuos sólidos son de vital importancia para una adecuada Gestión de Residuos Sólidos.

C) Según el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024 el cual es un instrumento, de planificación para el periodo 2016-2024, de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el cual nos brinda principios, lineamientos de política acerca del manejo de todo tipo de residuos, así como el marco normativo nacional en temas referente al cuidado del medio ambiente. Así como también un plan de acción del periodo antes detallado.

D) Oviedo (2014), estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba realizo un “Estudio de Factibilidad para Planta de Reciclado de Residuos de Plástico PET” para optar el título de Ingeniero Industrial. En dicho estudio de factibilidad, se determina si es factible o no, empezar una planta

de reciclado de botellas de plástico PET, la cual tendría como centro de funcionamiento la Ciudad de Malvinas Argentina, y llega también a la conclusión de que dicha planta deberá reciclar los residuos de toda la ciudad de Córdoba. En el estudio Oviedo (2009) concluye que:

El resultado de este trabajo fue que el proyecto está en condiciones óptimas para ser llevado a cabo, sin embargo, se necesita una inversión inicial elevada, pues necesita de una economía de escala para que pueda ser rentable. Además, es imperioso que las empresas relacionadas al rubro de la recolección de residuos en la Ciudad de Córdoba, Cotreco y Lusa, eleven su campo de recolección diferenciada (que a finales de febrero del 2014 abarcaba sólo un 36% de los barrios de la ciudad) para así poder abastecer de la materia prima necesaria al proyecto. (p.2)

2.2 Marco Conceptual.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación es de suma importancia conocer los principales conceptos que están vinculados al tema de reciclaje.

2.2.1. Medio Ambiente

Al hablar de reciclaje en general, es casi imposible que no abordemos el tema del medio ambiente pues están directamente relacionados el uno con el otro. El concepto de medio ambiente no está completamente definido ni se ha precisado con exactitud todo lo que concierne, sin embargo, la expresión “medio ambiente” remite a un conjunto de elementos del medio natural como la vegetación, la fauna, la tierra, el clima, el agua, y su interrelación.

Según las Naciones Unidas (1972) en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente en Estocolmo 1972 lo define como: “Medio ambiente es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas”.

2.2.2. Residuos Sólidos

Según la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (MINAM, 2016), estos son todos los elementos, sustancias, elementos o subproductos tanto en estado sólido o semisólido de los que su usuario dispone, o está obligado a disponer, en concordancia de lo constituido en las normas nacionales o de los peligros que provocan a la salubridad humana y al ecosistema ambiental. Según el CONAM (2006) estos se clasifican por:

A. Clasificación de los residuos sólidos

- Por su naturaleza: seca o mojada.
- Por su composición química: orgánica o inorgánica.
- Por los riesgos potenciales: peligrosos y no peligrosos.
- Por su origen de generación: domiciliarios, comerciales, de escuelas, de mercados, etc.

B. Tipos de residuos sólidos

Residuos orgánicos o biodegradables: Vienen a ser los desechos que se van descomponiendo mediante acción natural de organismos vivos. Estos residuos orgánicos se producen a partir de los restos de los organismos vivos: como las plantas y animales.

Entre los residuos que están incluidos en esta categoría están las cubiertas de frutas, tubérculos, verduras, resto de comidas, huesos, papel, telas naturales (seda, lino, algodón), etc.

Residuos inorgánicos o no biodegradables: Son desechos que no son degradables o no pueden ser transformados de forma natural o bien soportan una degradación muy lenta. Estos residuos se originan de minerales y productos artificiales.

Entre los residuos que están incluidos en esta categoría están los metales, vidrios, cristales, cartones, plásticos, pilas, etc.

Según el SINIA en el Perú se produce la siguiente cantidad de residuos sólidos domiciliarios:

SERIE	2015	2016	2017
Amazonas	35408.13	35698.25	36003.34
Ancash	154490.05	148850.24	146091.58
Apurimac	35951.14	40331.61	40392.63
Arequipa	204332.23	208531.63	210551.60
Ayacucho	81588.69	74312.65	81706.32
Cajamarca	103540.57	100792.64	99967.22
Callao	241205.15	223586.83	228384.53
Cusco	150302.47	152967.14	156747.69
Huancavelica	26536.22	24864.38	24780.11
Huanuco	61426.32	59710.55	59532.34
Ica	127460.21	130528.17	131804.24
Junin	167514.28	170500.97	178267.96
La Libertad	276843.31	265983.70	272369.60
Lambayeque	209774.09	208203.71	213775.70
Lima	212615.44	2160253.22	2172446.90
Loreto	149579.06	150052.09	142710.65
Madre De Dios	16667.04	19473.89	19629.61
Moquegua	22895.38	24692.17	24889.73
Pasco	25170.17	26295.78	27574.45
Piura	282678.50	275419.58	278953.15
Puno	126886.42	114858.71	122742.31
San Martin	105354.28	109700.43	110087.59
Tacna	52624.75	51299.56	51872.07
Tumbes	36914.20	36444.13	37438.13
Ucayali	87664.43	90551.28	91231.50

Figura 1. Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios (toneladas por año)

Fuente: SINIA. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1600>

2.2.3. Ecoeficiencia

Según la ficha técnica de Foy & Cutire (2010) La ecoeficiencia es el resultado de utilizar las ciencias económicas en el ámbito ecológico, en otras palabras, es, “hacer más con menos”.

La ecoeficiencia pone la mayor importancia en la creación de una ganancia tangible o intangible tanto para el creador como para el usuario final por lo cual reduce los costos y hace al bien o al servicio más atractivo para el cliente final.

A. Claves para lograr la Ecoeficiencia

Realizar más producción tanto de bienes tangibles como de intangibles con menor uso de recursos energético y a su vez reducir la huella ambiental, dando como salida una cantidad mucho mas manejable de residuos y una polución tratable. La ecoeficiencia centra las metas en los negocios, utilizando herramientas para mejorar el desempeño del ecosistema y el uso adecuado (eficiencia) de los recursos.

La ecoeficiencia une de una forma lineal el desempeño ambiental al desempeño financiero. Si el proceso utiliza sus recursos de una forma adecuada, se benefician tanto la economía como el ecosistema.

2.2.4. Reciclaje

El reciclaje es la actividad de recuperar los desechos sólidos al fin de reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos. CONAM (2006) indica que el reciclaje es uno de los conceptos de las tres erres, las otras dos son reducir, rehusar cuyo objetivo es controlar el exceso de generación de basura, el concepto de reducir implica realizar cambios en la conducta diaria para generar una menor cantidad de residuos, rehusar o recuperar es darles la máxima utilidad a las cosas sin necesidad de destruirlas o desecharlas.

Según Virginie (2011) el reciclaje es una cuestión individual que forma parte de un problema general social es decir que a nivel personal solo podemos reciclar una parte mínima de nuestra basura. Sin embargo, el reciclaje de la mayoría de materiales actuales requiere un tratamiento complejo que solo resulta viable a nivel industrial.

En la actualidad, la mayoría de las actividades de reciclaje en el mundo desarrollado tienden a realizarse por medio de programas oficiales administrados por las municipalidades y que usualmente siguen políticas establecidas a nivel estatal (provincial) o nacional.

El reciclaje informal sigue siendo una ocupación importante para individuos indigentes de los países subdesarrollados, al prevalecer un alto desempleo, altos índices de pobreza, falta de programas de seguridad social para la población más pobre y para desempleados, así como una demanda industrial de materias primas baratas.

2.2.4.1. Procesos para el aprovechamiento de los residuos

A continuación, se desarrollarán todos los procesos incluidos en la separación de residuos y las formas de segregación de estos:

a. Separación de residuos

Se pueden separar de acuerdo a las especificaciones del material del cual son residuos, se pueden separar plásticos, vidrios, metales, papeles, etc.

b. Formas de segregación de residuos

- Separación de la fuente

Es la recuperación de los productos que pueden pasar por el proceso de reciclado en el lugar donde se originan es decir en las casas, en las fábricas, los restaurantes, etc. Estos restos de productos que pueden servir para el proceso de reciclado son trasladados a los centros de

acopio y reciclaje correspondientes de acuerdo a sus características en donde los almacenan y en algunos casos son preparados para su posterior proceso o para ser exportados.

De acuerdo con ADS (s.f.):

La ventaja de esta forma de separación es que los productos que pueden ser reciclados cuando son recobrados al no estar en contacto con otro tipo de desecho ya sea orgánico o inorgánico no están contaminados reciclables recobrados no están contaminados. Esta modalidad ayuda a que el volumen de los residuos sólidos que llegan a las plantas de relleno sanitario sea muchísimo menor, generando así otra de sus ventajas la cual es de disminuir los costos municipales destinados a la recolección de residuos. Para que esta modalidad tenga un éxito total va a depender en mayor parte al continuo desarrollo de programas los cuales eduquen y concienticen a la sociedad sobre la importancia del reciclaje en nuestra vida diaria.

- Separación manual después del recogido

ADS (s.f.) concluye que “este tipo de separación ocurre después de la recogida. Este método no es recomendado al presentar problemas de salud y seguridad porque los materiales a recuperarse ya se han mezclado con otros desechos contaminados”.

- Separación mecánica

Según ADS (s.f.) la recuperación de materiales mediante medios mecánicos o electromecánicos es factible luego del recojo. Muchos de estos sistemas de separación mecánica van separando todos los materiales, lo que permite recuperar una cantidad mayor de los desechos sólidos en comparación a otros métodos manuales.

2.2.4.2. Recolección selectiva

Según CONAM (2009) es el acto de ir juntando de forma separada todos los residuos que se van produciendo; los cuales deben de estar oportunamente agrupados de acuerdo a sus características uniformes, para luego ser llevados a un centro de acopio o planta de aprovechamiento.

2.2.4.3. Centro de acopio- planta de reciclaje

Es aquel lugar que cumple una serie de requerimientos higiénico-sanitario para poder realizar la separación, selección y almacenaje por un periodo de tiempo los residuos que ahí van a parar, los cuales son generados de las fuentes antes descritas. En este lugar se recibe, compra o vende los residuos sólidos segregados, y se realizan algunos procesos parciales para luego ser vendidos o entregados a las plantas de reciclaje.

2.2.4.4. Planta de reciclaje

Son instalaciones que tienen como principal tarea la separación de forma mecánica de los todos los desechos recogidos de las fuentes de generación para que puedan volver a ser introducidos en el ciclo de producción.

2.2.4.5. Comercialización

Según el artículo N°19 de la Ley general de residuos, el mercado de residuos sólidos que van a ser reutilizado nuevamente en la industria para obtener productos de consumo humano de forma directa o indirecta, debe de ser realizado por empresas que se encuentren debidamente registradas ante el Ministerio de Salud.

2.2.5. El Plástico

2.2.5.1. Definición

De acuerdo con Química.ES (s.f.):

La definición se aplica a todas las sustancias de diferentes naturalezas como también diferentes estructuras que presentan una ausencia de un punto fijo de ebullición y mientras que se realiza el cambio de temperaturas, adquieren

propiedades físicas tales como flexibilidad y también elasticidad las cuales permiten realizar un modelado y también adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones.

El plástico está hecho con el gas natural o el petróleo crudo que se modifican de manera química en productos solidos llamados resinas.

2.2.5.2. Características de los plásticos

Los plásticos se diferencian de otros materiales debido principalmente a la relación directa entre resistencia y calidad, poseer unas cualidades excelentes para un buen aislamiento eléctrico y térmico además de poseer una buena resistencia a los disolventes, ácidos y demás materiales corrosivos. Su composición de moléculas enormes permite que sean de forma lineal, entrelazadas o en forma de ramificación, todo depende del tipo de plástico. Las moléculas rectas y bifurcadas son termo plásticas (toman una textura suave con el calor), mientras que las entrelazadas son termo endurecidas (toman una textura dura con el calor).

2.2.5.3. Tipos de plásticos

En la actualidad contamos con la existencia de dos clasificaciones de material plásticos los cuales son los termoplásticos y los termoestables.

- Termoplásticos

Son aquellos que se ablandan al ser sometidos a temperaturas altas, pero luego al enfriarse adquieren un endurecimiento, y estos son más del 80% de los plásticos existentes en el mercado.

- Termoestables

Son plásticos que se endurecen mediante el proceso de fraguado y luego de eso no pueden ser fundidos nuevamente ni moldeados, ocupan el 20% restante en el mercado (ARPET, S.F.)

2.2.5.4. Códigos de la sociedad de la Industria del plástico (SPI)

Según Wilhelm (2008) la ASTM International una de las organizaciones más grandes del mundo para el desarrollo voluntario de normas, propuso siete categorías para clasificar a los plásticos:








Código	Siglas	Nombre	Usos
	PET	Tereftalato de polietileno	Envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, medicamentos, etc.
	PEAD (HDPE)	Polietileno de alta densidad	Envases de leche, detergentes, champús, baldes, bolsas, tanques de agua, cajones para pescado, etc.
	PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías de agua, desagües, aceites, mangueras, cables, imitación de piel, y material de uso médico como catéteres, bolsas de sangre, etc.
	PEBD (LDPE)	Polietileno de baja densidad	Bolsas para basura.
	PP	Polipropileno	Envases de alimentos, materiales para la industria automotriz, bolsas de uso agrícola y cereales, tuberías de agua caliente, envolturas para protección de alimentos, pañales desechables, etc.
	PS	Poliestireno	Envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes, rellenos, etc.
	Otros	Resinas epoxídicas	Adhesivos e industria plástica; industria de la madera y la carpintería; elementos moldeados como enchufes, asas de recipientes, etc., espuma de colchones, rellenos de tapicería, etc.

Figura 2. Códigos de la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI)

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6. Polietileno Tereftalato (PET)

2.2.6.1. Definición

Según la secretaría del Medio Ambiente del estado de México (s.f) el PET está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. El PET se hace combinando el ácido tereftálico y el etilenglicol.

2.2.6.2. Historia del PET

De acuerdo con Quiminet (2005) la historia es la siguiente: El PET, fue patentado como polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941. La producción se inició a mediados de 1955; desde entonces, el PET se ha mantenido en un constante avance tecnológico hasta lograr el nivel de sofisticación, debido principalmente a su alta demanda a nivel mundial y a la diversidad de sus posibles usos en la industria. Whinfield y Dickson, quienes trabajaron en colaboración de los inventores W. K. Birtwhistle y C. G. Ritchiey para crear la primera fibra de poliéster llamada Tenileno en 1941. Y la segunda fibra de poliéster fue el Sacrón de DuPont. A mediados de la década de los años 70 se empezó a utilizar el PET en la producción y fabricación de envases para bebidas que tenían una apariencia ligera, que fueran transparentes y principalmente resistentes, gracias a eso el PET ha alcanzado un desarrollo fuera de lo común para empaques.

En todos estos años que el PET es comercializado se ha logrado diversificar en varios sectores ya sea reemplazando los productos que se usaban tradicionalmente o innovando en nuevas alternativas para el uso en envasado.

2.2.6.3. Tipos de PET

De acuerdo con García (s.f) de la web académica EUMED tenemos los siguientes tipos de PET:

- APET: Polietileno amorfo Tereftalato. El polímero PET se encuentra como cristalino cuando está en forma de pellets y se vuelve no cristalino o amorfo durante la extrusión. Antes de su utilización los trozos de PET deben ser recristalizados para poder ser utilizados en usos que requieran mantener las propiedades mecánicas a temperaturas altas, debido a que este tipo de material se reblandece a partir de la transición vítrea (80°C). Dicho material no puede ser utilizado en la fabricación de los envases a una calidad normal, ya que poder resistir temperaturas cercanas a 100°C.
- RPET: PET reciclado.
- PET post-industrial: Residuos de operaciones de arranque o scrap producido operaciones de elaboración, los cuales no son utilizados de nuevo en el producto principal.
- PET post-consumo: Esencialmente son botellas de gaseosas recicladas.

2.2.6.4. Identificación del PET

Quiminet (2005) concluye que se reconoce con el numero “01” o también utilizando las siglas PET, cercado por tres flechas en la base de los envases fabricados con este material, según el procedimiento identificación creado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI)”.



Figura 3. Símbolo del PET

Fuente: ARPET. Recuperado de

http://www.arpet.org/p_material_consulta_PET.html)

2.2.6.5. Propiedades del PET

El blog Tecnología de los Plásticos (2011) son propiedades importantes las siguientes:

- Alto índice de translucidez, aunque permite usar diferentes tintes.
- Alto índice de fortaleza ante el deterioro y erosión.
- Buen índice de deslizamiento.
- Resistencia química y térmica elevada.
- Muy buen obstáculo al CO₂, admisible al O₂ y la humedad.
- Adaptable a otros materiales utilizados como barrera, los cuales mejoran la calidad al ser usados en conjunto.
- Es un material que puede ser reciclado, sin embargo, esto reduce su índice de viscosidad.
- Apto para su uso en artículos los cuales tengan contacto indirecto o directo con productos alimenticios.

Las características físicas del PET y su alto grado de adaptabilidad para realizar diferentes especificaciones de índole técnico han causado los principales motivos debido a los cuales el PET ha sobrepasado un alto grado de crecimiento no solo en los envases (botellas, etc.), sino que también en la industria textil, elaborando fibras textiles.

2.2.6.6. Proceso de Producción del PET

De acuerdo con la página web Quiminet (2005):

Las resinas se presentan en un aspecto de diminutos tubos o chips, aquellos que cuando se encuentran deshumedecido se derriten y se introducen a presión en máquinas de varias cavidades; las cuales elaboran las preformas (envases aun no inflados y que solo poseen la boca del envase en apariencia final). Luego, las

preformas son impuestas a un proceso en donde se va calentado de forma gradual y precisa, entonces son colocadas en moldes y se procede a realizar estiramiento por medio de una varilla hasta que alcancen su tamaño definitivo, finalmente se infla la preforma con aire a presión hasta que alcancen la forma del molde y da paso al envase requerido.

A continuación, un diagrama de flujo en el que se detalla el proceso de producción:

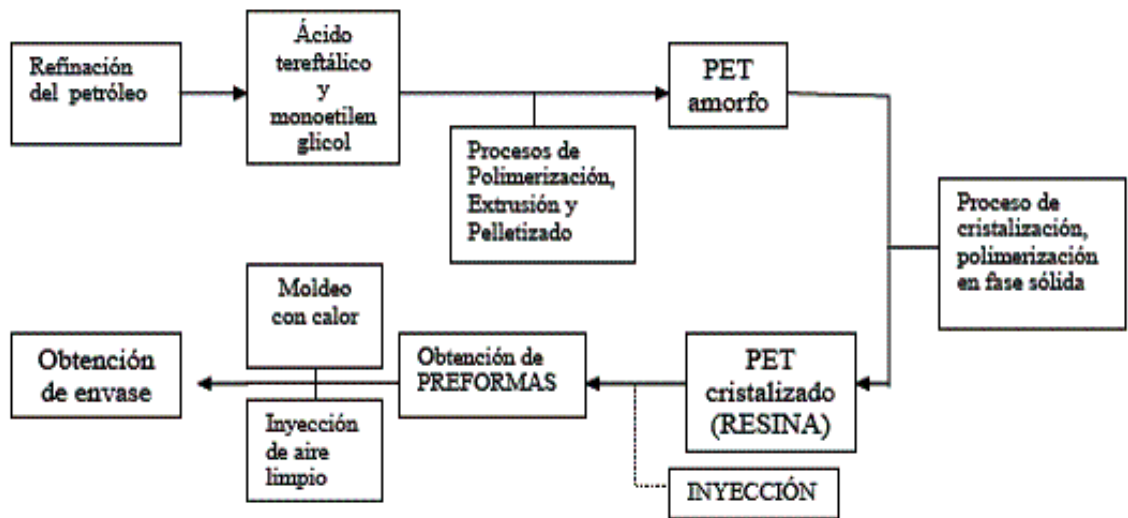


Figura 4. Diagrama de Flujo de Proceso de Producción

Fuente: Quiminet. Recuperado de

<https://www.quiminet.com/articulos/proceso-de-produccion-del-pet-2561170.htm>).

2.2.6.7. Aplicaciones del PET

De acuerdo al portal web ANEP (2010) por más de los 40 años que es comercializable, el PET se ha adaptado a diversos sectores reemplazando a materiales que eran usados de forma tradicional o instaurando innovadoras opciones para un envasado responsable.

- ENVASES
 - Bebidas gaseosas
 - Aguas minerales
 - Aceite
 - Zumos, té y bebidas isotónicas
 - Vinos y bebidas alcohólicas
 - Detergentes y productos de limpieza
 - Productos cosméticos
 - Salsas y otros alimentos
 - Productos químicos y lubricantes
 - Productos para tratamientos agrícolas
- FILMS:
 - Envases alimenticios
 - Blisters
 - Films (en láminas)
 - Films "High-Tech"
 - Embalajes especiales
- OTRAS APLICACIONES
 - Tubos
 - Perfiles
 - Marcos
 - Fibra textil
 - Materia prima para madera

2.2.6.8. Degradación del PET

La degradación es un proceso dirigido a modificar la estructura del polímero para hacerlo vulnerable y perecedero y que desaparezca como residuo. Algunos de los procedimientos de degradación se basan en la acción de la luz (fotodegradación), del calor (degradación térmica), de los microorganismos (biodegradación), etc.

El primer efecto que causa la degradación es la disminución del peso molecular del polímero y en ocasiones aparece una reticulación en el mismo.

En el proceso de la degradación de un plástico se observan variaciones tanto físicas como químicas en el mismo. Entre las modificaciones físicas pueden citarse la pérdida de brillo y color, la formación de grietas, la aparición de zonas pegajosas, y endurecimientos con la consiguiente pérdida de propiedades.

Los cambios químicos producidos van dirigidos fundamentalmente a la aparición de grupos funcionales nuevos que se ha comprobado facilitan la ruptura de las cadenas macromoleculares (CIT - Centro de Información Técnica, 2007).



Figura 5. Ciclo de Vida del PET

Fuente: Tecnología de los Plásticos. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/05/proceso->

2.2.6.8.1. Fotodegradación:

La mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa. Es el caso de los filmes de polietileno utilizados en la agricultura que con el tiempo pierden elasticidad, haciéndose frágiles, quebradizos, llegando a rasgar fácilmente. Este envejecimiento se atribuye a una reacción de fotooxidación térmica en cadena producida por la radiación luminosa de mayor energía correspondiente a una longitud de onda comprendida entre 290 y 350

nanómetros, en la que se generan grupos carbonilo. Estos grupos son los que desencadenan las reacciones degradativas del plástico (CIT - Centro de Información Técnica, 2007).

2.2.6.8.2. Degradación Térmica:

La estabilidad térmica de un material plástico depende de dos mecanismos. El primero es un proceso reversible y representa el ablandamiento del material al aumentar la temperatura. La magnitud de este proceso solamente depende de la temperatura. Sin embargo, la determinación de cambios reversibles en las propiedades incluye un factor temporal debido a la relajación del plástico.

El segundo mecanismo es la descomposición irreversible de la sustancia debido al calor. Este proceso depende tanto de la temperatura como del tiempo y está afectado por otros factores como la atmosfera circundante.

La degradación térmica ocurre cuando el polímero, a temperaturas elevadas, empieza a experimentar cambios químicos sin el concurso de otras sustancias químicas (Posada, 2009)

2.2.6.8.3. Biodegradación:

La mayoría de los plásticos son inmunes al ataque de microorganismos, hongos y levaduras, aunque se modifiquen las condiciones ambientales de uso como la temperatura, el grado de humedad, la concentración de oxígeno, etc. Se ha comprobado que aquellos plásticos que han sufrido primeramente una fotooxidación, son vulnerables a ciertos microorganismos y a las enzimas generadas por éstos.

La condición estructural que favorece la biodegradación es que en la molécula exista un grupo carbonilo vecino a un átomo de carbono secundario o terciario para que pueda ser transformado por el microorganismo en un carbonilo, siendo en ese punto donde tiene lugar la fragmentación. Una vez

formado el grupo carbonilo, el ataque continúa por acción de las enzimas mediante un proceso hidrolítico que reduce las cadenas macromoleculares a fragmentos que ya pueden ser digeridos por los microorganismos.

Para facilitar la biodegradación, suelen incorporarse al material polímeros naturales como el almidón o celulosa ya que, al degradarse, dejan huecos y porosidades en el plástico que favorecen el desmoronamiento y degradación de aquellos. Estos polímeros naturales se degradan por reacciones de hidrólisis seguidas de oxidación posterior. También se sintetizan polímeros en los que existen en las cadenas grupos fácilmente hidrolizables, como amidas, ésteres, uretanos, etc.

Para que tenga lugar el proceso biodegradativo, han de darse ciertas condiciones en el medio como son, además de la presencia de microorganismos, una concentración adecuada de oxígeno y de humedad.

La temperatura debe controlarse en un intervalo determinado generalmente entre 20 y 60 °C y el pH del medio no debe ser ni demasiado ácido ni demasiado alcalino, por lo general está comprendido entre 5 y 8. En estas condiciones los microorganismos ejercen su acción degradativa (CIT - Centro de Información Técnica, 2007).

2.2.7. Tipos de reciclaje del Tereftalato de Polietileno (PET)

Existen tres procesos para poder utilizar los envases de PET cuando su vida útil acaba: someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico o a un reciclado energético (usándolos como fuente de energía).

2.2.7.1. Reciclaje Mecánico

El reciclaje mecánico es un proceso físico mediante el cual el plástico PET postconsumo o el industrial (scrap) es recuperado, lo que nos permite poder volver a utilizarlo.

Esta técnica radica en la trituración, segregación y desinfección de los envases. El producto resultante de este proceso es llamado escamas (flakes) y es

destinado directamente sin tener la necesidad de volver a hacer pellets con ellos, en la elaboración de productos de inyección o extrusión. Todo el material que es reciclado mecánicamente viene de dos grandes fuentes:

- Los residuos plásticos provenientes de los procesos de fabricación, es decir, todo aquel subproducto que sobra luego del proceso. A este tipo de desechos se les nombra scrap. El scrap es más sencillo de reciclar pues se encuentra inocuo y conserva una composición homogénea, debido a que no se encuentra combinado con diferentes compuestos de plásticos. Determinados procedimientos de modificación (por ejemplo, el termo formado) producen entre el 30-50% de scrap, que usualmente pasa a ser reciclado.
- Los residuos plásticos provenientes de los desechos sólidos de la sociedad urbana.

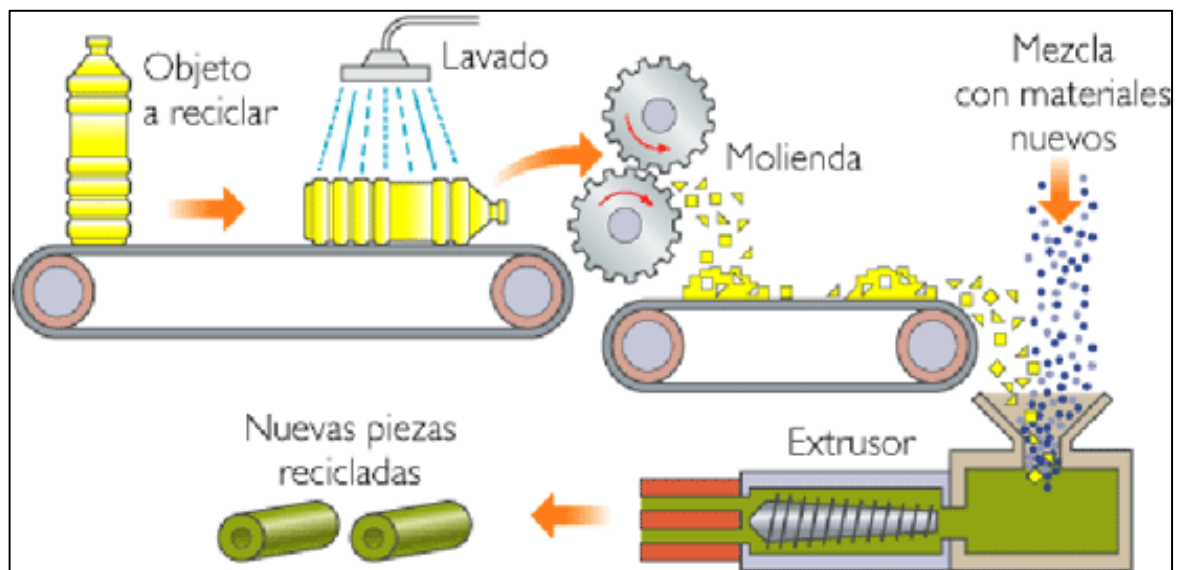


Figura 6. Proceso del Reciclaje Mecánico del PET

Fuente: SNLERR. Recuperado de <http://snlerr.blogspot.pe/>

La calidad del producto resultante va a depender mucho de la segregación previa de los distintos materiales plásticos, de que no posea impurezas y de la

limpieza de los mismos, es por eso que una parte muy importante es las de seleccionar el seleccionar el proceso y los subprocesos adecuados (separación, lavado en frío, lavado en caliente, secado, etc.). Dentro del reciclado mecánico se puede distinguir dos diferentes clases de procesos: reciclado mecánico convencional y proceso de súper-limpieza; siendo el segundo complementario al primero, y el cual se requiere para que el producto resultante se pueda utilizar para que se encuentre en contacto directo o indirecto con productos alimenticios.

2.2.7.1.1. Etapas del Reciclaje Mecánico

A. Limpieza

Acondicionamiento para obtener una materia prima adecuada, sin suciedad o sustancias que puedan dañar tanto a las maquinas como al producto final.

B. Clasificación:

Selección y separación de los plásticos. Se han desarrollado varias técnicas de separación basadas en métodos físicos de diferente naturaleza:

1)Técnicas de flotación-hundimiento basadas en la diferencia de densidad:

La densidad de los plásticos, presenta una diferencia que puede ser utilizada para separarlos por flotación en disolventes de diferente densidad.

El procedimiento a seguir consiste en trocear la mezcla de plásticos de manera homogénea e introducirla en agua que incorpora una pequeña cantidad de detergente para conseguir que el agua moje al plástico. Así, quedan sobre nadando aquellos plásticos con densidad menor a la unidad, hundiéndose los que poseen una densidad mayor que uno.

2)Utilización de disolventes: El procedimiento de separación basado en la aplicación de disolventes fue desarrollado por Seymour y Stahl en la Universidad de Houston para una mezcla de PE, PS, PVAC.

El procedimiento consiste en disolver la mezcla de plásticos en tolueno a temperatura ambiente. En este disolvente no se disuelven el PE ni el PVC, por lo que se separan por filtración.

3) Técnicas espectroscópicas: Se basan en la diferente respuesta que tienen los plásticos a la radiación electromagnética en función de su estructura química. Son técnicas de respuesta muy rápida por lo que se han podido aplicar en separaciones en tiempo real y de manera automatizada. Citaremos como las más importantes: la fluorescencia de rayos X y la radiación infrarroja.

4) Técnicas electroestáticas: A este grupo pertenece la separación triboeléctrica basada en la carga electrostática que se genera en pequeñas partículas de plástico provocada en la fricción con la pared del cilindro provocada por un molino de aire.

Una vez cargadas las partículas se proyectan a un campo electrostático creado entre unas placas metálicas a las que se aplica un potencial de 120.000 voltios.

5) Utilización de marcadores químicos: En este método de separación basado en la incorporación de marcadores químicos proporcionan al material una cierta propiedad física fácilmente identificable, como la respuesta fluorescente a la radiación ultravioleta, o la respuesta a la radiación infrarroja. El procedimiento consiste en la incorporación específica de un determinado marcador para cada polímero consiguiéndose una respuesta rápida y fiable fácilmente incorporable a una cadena de triaje automatizada.

6) Marcado mecánico: Este procedimiento consiste en marcar cada artículo de plástico con un triángulo de flechas curvas, en cuyo interior aparece un número identificativo de cada plástico.

Además, se suele hacer una detección y separación de elementos metálicos férricos del triturado mediante imanes dispuestos en diferentes puntos de la línea, antes de los trituradores para protegerlos y también después para evitar el desgaste del resto de la maquinaria durante el proceso.

Estos procesos de separación de impurezas se pueden realizar en diferentes puntos a lo largo de toda la línea de reciclado, pudiendo ser más o menos exhaustivos en función de la aplicación prevista y de las condiciones en las que el residuo llega a la planta recicladora.

C. Triturado

Obtención de un tamaño de grano adecuado mediante cuchillas de acero inoxidable.

D. Lavado

Eliminación de cualquier tipo de suciedad o impureza mediante lavado, aclarado y centrifugado (secado). Seguidamente los residuos se vuelven a moler y a secar.

E. Granceado

Se realiza mediante un proceso de extrusión. El material se homogeneiza por fundición y a continuación se molde la masa fundida en forma de filamento. Tras la extrusión el plástico pasa a través de un filtro para eliminar los restos de contaminantes distintos a los plásticos y se corta en pequeños trozos con una hélice obteniendo la granza reciclada.

Posteriormente, el material se enfría con agua solidificándose en forma de pellets. La granza reciclada húmeda pasa por una centrifuga. Una vez que la granza esta seca se pasa mediante una corriente de aire a una tolva, a través de la cual se van llenando los sacos.

El reciclaje mecánico es la alternativa más desarrollada para recuperar los residuos plásticos, aunque a veces este tipo de reciclaje no es el más adecuado, debido a que el rendimiento no es suficiente para poder lograr una eficiencia económica a través de una

eficiencia ecológica. En estos casos existen otras opciones para alargar la vida de estos materiales a través de diferentes tipos de reacciones químicas. Estas opciones son el reciclaje químico y valorización energética (CEDEX, 2013).

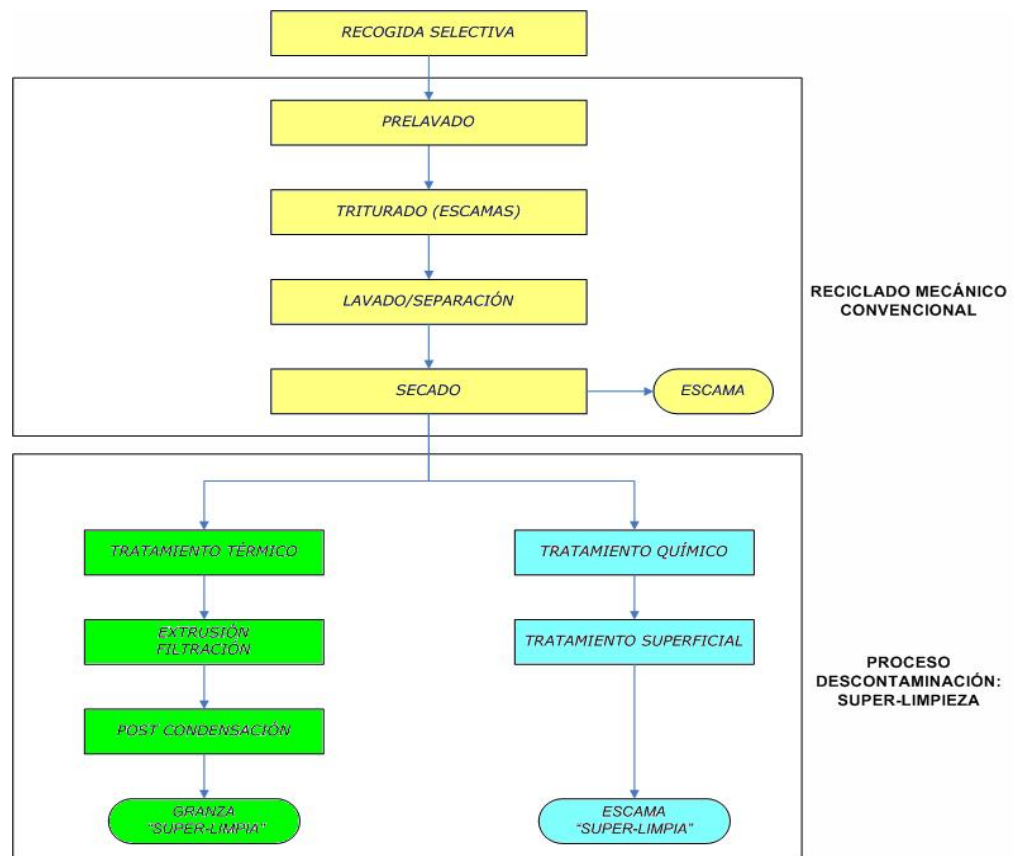


Figura 7. Proceso de Reciclado de PET

Fuente: Elaboración Propia

2.2.7.1.2. Propiedades del PET reciclado mecánicamente

Las propiedades del PET que fue reciclado mecánicamente al ser comparadas con el PET virgen podrían ser atribuidas esencialmente a su historial térmico adicional que experimento el material que fue reciclado, lo cual disminuye en su peso molecular, incrementando también el ácido carboxílico, su color y nivel de acetaldehído.

De acuerdo con estudios se ha demostrado que PET reciclado adquiere un menor módulo de Young, así como una elongación mayor a la rotura y una resistencia superior al impacto en comparación con el PET virgen. De esta manera el RPET tiene a ser mucho más dúctil en comparación al PET virgen que es más frágil. A continuación, se presenta una tabla de comparación del PET y del RPET.

Características del PET y RPET		
Propiedad	PET virgen	RPET
Módulo de Young [MPa]	1890	1630
Resistencia a la rotura [MPa]	47	24
Elongación a la rotura [%]	3,2	110
Resistencia al impacto [$J m^{-1}$]	12	20
IV ($dl g^{-1}$)	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión ($^{\circ}C$)	244 - 254	247 - 253
Peso molecular ($g mol^{-1}$)	81600	58400

Figura 8. Características del PET y RPET

Fuente: Tecnología de los Plásticos. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>)

2.2.7.2. Reciclaje Químico

El reciclado químico puede considerarse como un proceso complementario al reciclado mecánico debido a que ofrece diferentes posibilidades que resuelven las limitaciones del mecánico, entre las cuales se encuentra la necesidad de disponer de grandes cantidades de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos para poder garantizar la calidad del producto final.

El reciclado químico es un proceso mediante el cual se produce la descomposición del polímero para obtener los componentes de partida (monómeros) y a partir de ellos, y tras un nuevo proceso de polimerización se obtienen nuevos materiales poliméricos. lo cual es la principal razón que se pueda ampliar la gama de materiales para el reciclado y el ahorro sustancial de petróleo y gas, las cuales son las materias primas básicas en la elaboración de PET.

Según la Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET (ARPET) (2011-2017): En la actualidad la tecnología aun está en desarrollo para realizar el reciclado a categoría industrial.

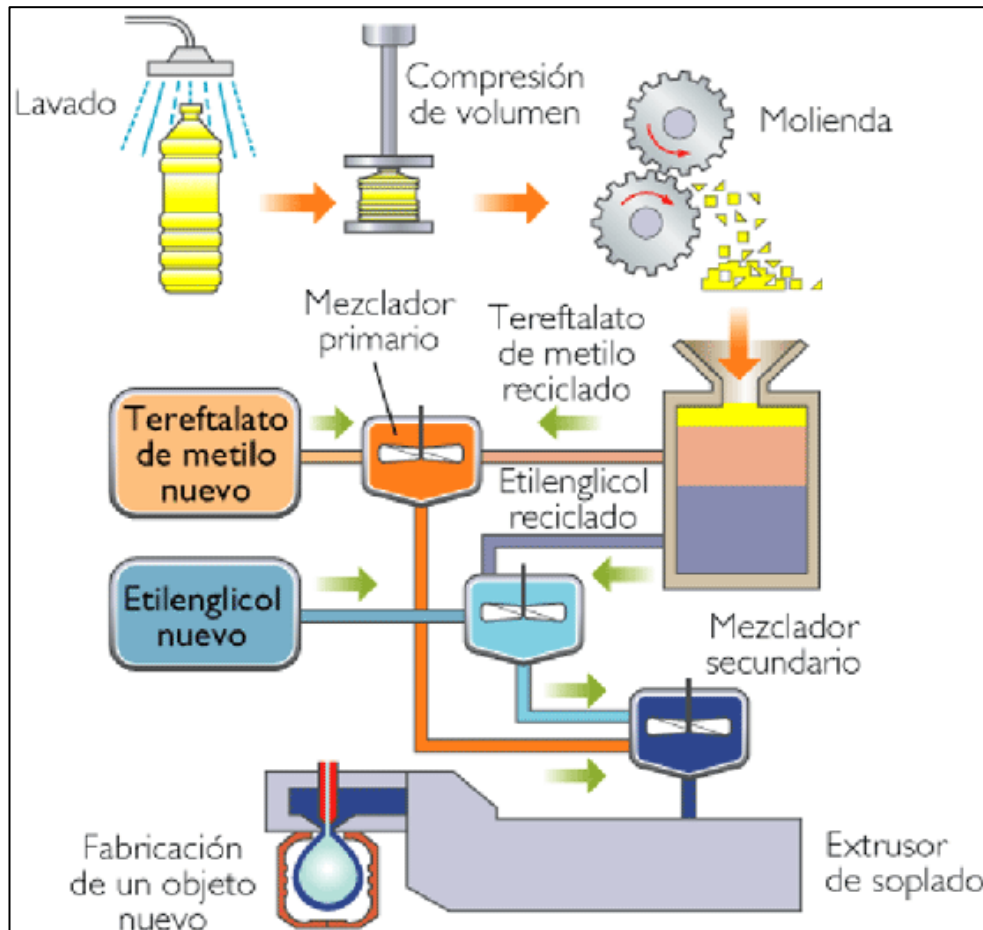


Figura 9. Proceso del Reciclaje Químico

Fuente: Tecnología de los Plásticos. Recuperado de <http://volandoboyshacialuzdivina.blogspot.pe/2010/12/proceso-de-reciclaje.html>)

2.2.7.2.1. Tipos del Reciclaje Químico

De acuerdo con el sitio web especializado EcoBar (2011) el reciclado químico puede realizarse mediante diferentes procesos, como, por ejemplo:

A. Despolimerización Térmica

Este tipo de reciclaje químico agrupa las tecnologías que permiten la transformación de los polímeros en monómeros u oligómeros mediante aporte de calor sin que un reactivo químico intervenga en las reacciones de ruptura de las cadenas.

- Craqueo y pirolisis térmica:

Los procedimientos que reciben las fracciones pesadas del petróleo en las refinerías pueden ser utilizadas en los plásticos. Dichos procedimientos son únicamente térmicos o también se puede realizar en con la ayuda de catalizadores. De los primeros existen el craqueo térmico y la pirolisis los cuales son realizados usualmente sin la presencia de oxígeno y a temperaturas comprendidas entre 400 y 800 °C todo esto a una presión reducida

- Hidrogenación:

Es un medio en el cual se licuan los desechos plásticos antes de que sean sometidos a pirolisis en donde se obtienen olefinas y aromáticos.

Posee un espacio para poder reciclar 40.000 Tm/año de desecho de plástico molido, Incluyendo hasta un 10% de PVC.

- Transformaciones catalíticas:

Se producen con el uso de catalizadores y se obtienen fracciones hidrocarbonadas de distinto uso y composición.

B. Disolución

Los procedimientos de disolución de los plásticos permitan recuperar los polímeros purificados eliminando los materiales contaminantes contenidos en los desechos. Estos no implican la modificación química de las moléculas de los polímeros, pero no corresponden ni a un reciclaje mecánico ni a una valorización energética de los residuos.

C. Reacciones de Despolimerización

En el caso de los polímeros de condensación, el proceso de reciclado químico rescata todos los monómeros de partida, los cuales son destinado nuevamente a la adquisición de polímero. Por ejemplo, los poliésteres, las poliamidas y también a los poliuretanos.

Sin embargo, las consecuencias de despolimerización, se encuentran más afiliados a los procesos hidrolíticos. Por ejemplo, las reacciones más relevantes que son aplicadas al PET son:

-Metanolisis: Radica en una despolimerización total del producto plástico mediante la actuación del metanol. Es un proceso de trans-esterificación en el cual se produce tereftalato de metilo y etilenglicol.

-Glicólisis: Orienta a la despolimerización parcial mediante la actuación del etilenglicol, obteniendo el éster hidroxietílico y una combinación de oligómeros. La combinación de la reacción se somete a una depuración, es polimerizada posteriormente con resina virgen.

-Hidrólisis: Es un proceso que tiene como fin la despolimerización total debido a la actuación del agua con presencia de ácidos.

2.2.7.3. Reciclaje Energético o Valorización Energética

Muchos residuos plásticos tienen propiedades de combustión y pueden ser usados de combustible. El residuo plástico se traslada hacia una incineradora para ser quemado, produciendo energía calorífica la cual puede ser utilizada en las casas o en fábricas, o también para producir electricidad. Para que podamos entender 1kg de polipropileno al ser incinerado produce casi tres veces más energía calorífica que al incinerar 1 kg de leña; de la misma forma 1 kg de PET produce la misma energía que 1 kg de carbón; o 1 kg de polietileno produce la misma energía que 1 kg de gasóleo. Sin embargo, al ser un proceso de combustión, se produce CO₂ el cual es expulsado hacia la atmosfera y contribuye a generar el efecto invernadero, de la misma forma se expulsa diferentes compuestos gaseosos que pueden resultar tóxicos. Para ello este proceso debe necesariamente estar ligado al uso de controles y medidas de seguridad para evitar efectos negativos.

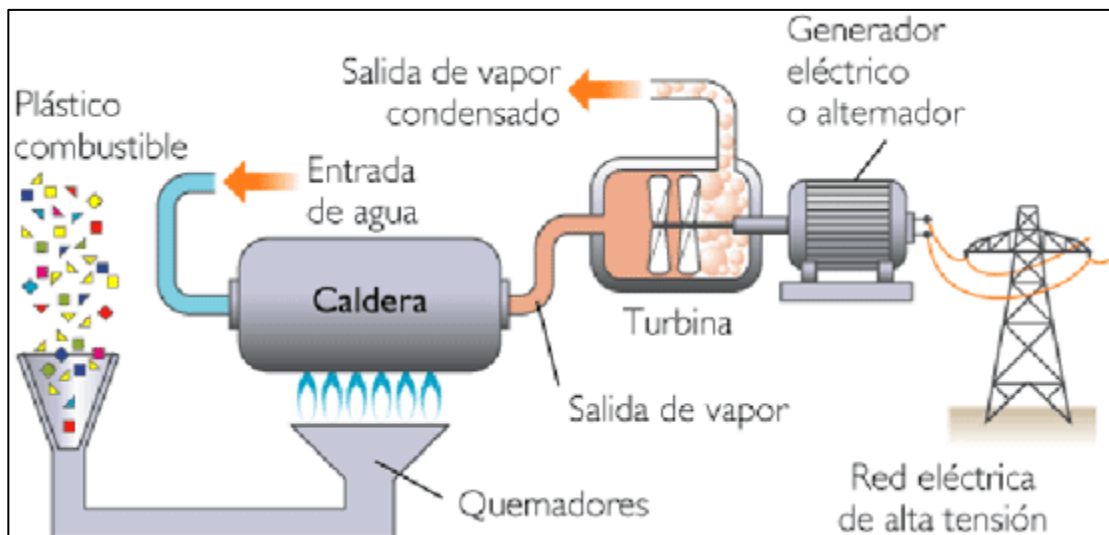


Figura 10. Proceso del Reciclaje Energético del PET

Fuente: Ambysoc. Recuperado de <http://ambysoc1.blogspot.pe/2012/08/sabias-que.html>

2.2.8. Reciclaje de PET en el Perú

En el Perú se producen 2 729 622 624 envases de plástico PET anualmente, de las cuales menos del 35% son recicladas, esta baja cantidad se debe principalmente a que el Perú fue uno de los últimos países de la región en reglamentar el uso de PET reciclado para la producción y comercialización de sus productos en el 2015.

En la actualidad la gran cantidad de desechos plásticos obliga buscar nuevas alternativas para para un desarrollo sostenible lo cual genera nuevas empresas dedicadas al rubro, generando la oportunidad de trabajo formal además de usos del PET reciclado. Es importante reciclar PET porque una tonelada de plástico reciclado permite ahorrar 5.774 KWh de energía, 16,3 barriles (2.604 litros) de petróleo, 98 millones BTUs de energía y 22 metros cúbicos de espacio de vertedero. A continuación, se nombrará algunas de las empresas representativas en el Perú que trabajan con PET reciclado y los diferentes usos que le dan.

2.2.8.1. San Miguel Industrias PET

Es una de las primeras empresas en utilizar el PET reciclado en sus productos, la compañía cuenta con una planta de producción de envases rígidos y una

modernísima planta de reciclaje que es la primera en Perú, además de otras seis plantas fuera del país y diez plantas inhouse dentro. En esa infraestructura de 900,000 m², se producen en promedio 100 millones de envases al mes, y para la producción de estos envases San Miguel utiliza el 25% de resina de PET reciclada siendo el 75% restante resina virgen (La Republica, 2016). Entre sus clientes, están Backus, Aje, Don Jorge y otras compañías productoras de bebidas gaseosas, aguas y hasta comestibles.

2.2.8.2. Gexim SAC

Fundada en 1991 por la familia peruana de origen italiano Gelmi, Gexim inició sus operaciones en Lima produciendo fibra virgen de poliéster. Fue cuatro años después que vieron la oportunidad de, a partir de su negocio, sumar un granito de arena en favor del medio ambiente creando una línea de fabricación de fibra de poliéster de material reciclado y también apoyan a los pequeños recicladores, pues les compran de manera directa su material. A la fecha es la única empresa que produce fibra de poliéster de alta calidad utilizando PET reciclado. La gama de productos de Gexim incluye una diversidad de frazadas geotextiles, planchas de Sisal para el relleno de colchones y el aislante acústico térmico que se utiliza en la construcción civil con drywall (Gexim, 2017).

2.2.8.3. Texeco Perú Sac

Textiles Ecológicos (Texeco) es una empresa fabricante de productos de fibra de poliéster. Nace en el 2006 y cuenta con una vasta experiencia en sector textil con presencia en todo el mercado peruano. Pero es en los últimos años que ha cambiado su paradigma radicalmente al empezar a utilizar fibra de poliéster reciclado de PET para la elaboración de sus productos, el cual es provisto por Gexim (TEXECO, 2016). La gama de productos son los siguientes:

- Sector Decoración:

GUATA “Panqueque” producto específico para edredones en 3 calidades TF-TS-TP.

PAIL frazadas en tejido no tejido en lana de poliéster térmica y antialérgica.

SISAL PET producto para refuerzo entre resorte y colchón colores blanco y gris tipo SP 01.

SISAL PET producto en colores para creaciones de bolsas ecológicas y otros artículos tipo SP 02.

FIELTRO en variados gramajes y colores para usos múltiples.

- Sector Construcción:

ECO TERM Aislante térmico y acústico.

“GEO ECO” geotextil ecológico hecho 100% de RPET para carreteras, cimentación y erosión de suelos.

2.2.9. Consecuencias del PET en nuestro planeta

- Toxicidad de los alimentos: algunos aditivos usados para la fabricación de plástico PET convierten en tóxicos ciertos alimentos al entrar en contacto con ellos, contaminando la sangre de los seres humanos y provocando problemas de salud.
- Destrucción del ecosistema: los fragmentos en que se va dividiendo el plástico y que contaminan todos los mares del planeta acumulan sustancias tóxicas que provocan graves daños en el ecosistema, destruyendo la vida animal y floral de muchos puntos del globo y contaminando las reservas naturales que posteriormente se utilizan para consumo humano.
- Difícil eliminación del plástico: dependiendo del tipo de plásticos, los productos fabricados con este material pueden tardar en descomponerse más de 600 años, siendo necesario poner límites a su fabricación e impulsar el reciclaje de plástico en ámbitos profesionales y personales (Gómez, 2016).

2.2. Hipótesis.

Es posible que mediante la investigación de información referente al tema de reciclado de PET, se pueda conocer los procesos, la tecnología, los diferentes usos de PET reciclado en la industria peruana; para así poder profundizar más en todo el mundo del PET reciclado para un posterior trabajo de investigación mucho más detallado y específico.

CAPITULO III: METODO DE INVESTIGACION

3.1. Diseño de Investigación

3.1.1. Diseño No Experimental

En el presente trabajo de investigación tiene un diseño no experimental porque principalmente buscamos conocer y almacenar información acerca del reciclado de PET, su proceso y usos en la industria peruana.

3.2. Tipo de Investigación

3.2.1. Exploratoria:

Mediante la investigación exploratoria se puede tener un panorama global del reciclado de PET y las tecnologías más utilizadas, con el objetivo de tener una investigación preliminar.

3.3. Métodos de Investigación

3.3.1. Según el tipo de información

- a. Cualitativo: Se desarrollará una investigación cualitativa, debido a que es la fase inicial del trabajo de investigación, para determinar las principales características generales de los residuos plásticos, reciclaje, PET, etc., de forma completa y detallada.

3.3.2. Según el tipo de reflexión

- a. Histórico: Analizar la cantidad de información relacionada al reciclaje de PET, realizando una investigación por las principales bases de datos.

3.4. Levantamiento de datos

3.4.1. Técnicas de investigación

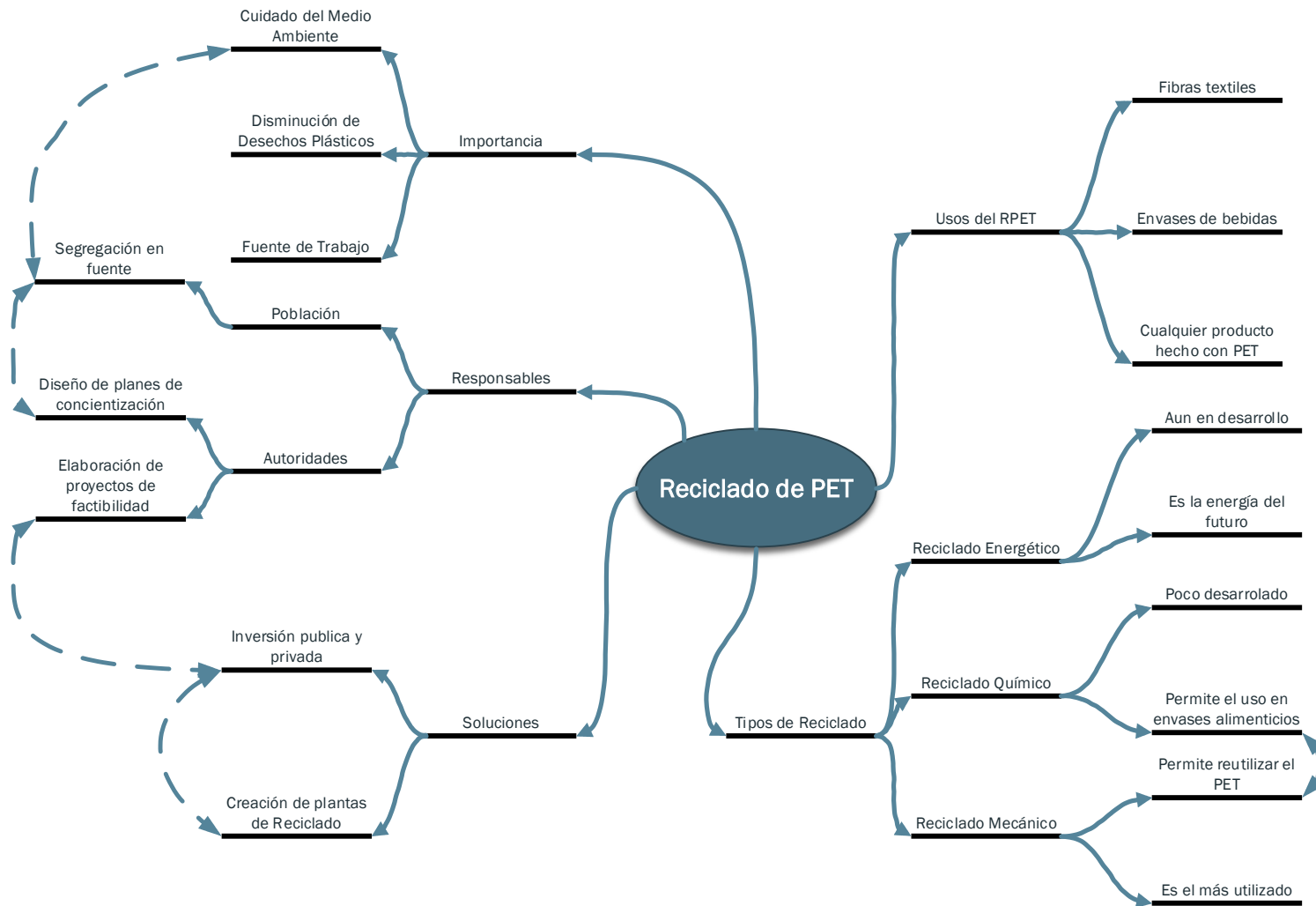
a. Investigación documental: este método es importante debido a que se hace uso del lenguaje escrito lo cual hace posible el procesamiento de información obtenida de las bases de datos. También nos permite conocer:

- Información del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos.
- Técnicas de reciclaje de PET.
- Todo lo referente al tema de investigación.

3.5. Análisis de Datos

Se realizó el análisis de diferentes bases de datos: Google Académico, Google Books, páginas web especializadas, como también en repositorios universitarios y en artículos científicos. Inicialmente se identificaron varios títulos tentativos, pero luego de realizar una revisión breve a los resúmenes se fue descartando los que menos aporte daban a la investigación. Con los seleccionados se realizó un análisis de los índices identificando los temas de importancia que nos permitirán realizar la investigación. A continuación, se realizó una lectura completa del artículo “Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster” (2009) de la Revista Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima el cual nos brindó mucha información y una visión acerca de un uso alternativo del PET reciclado, después se continuo con las lecturas de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024, y del “Estudio de Factibilidad para Planta de Reciclado de Residuos de Plástico PET” realizado por Oviedo(2014) pero solo de las partes necesarias para nuestra investigación, así como de páginas web especializadas como el blog peruano <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/> el cual brindo la mayoría de información relacionada al proceso de reciclaje de PET. Con toda esta información recopilada se procedió a realizar el presente trabajo de investigación.

3.6. Mapa Mental



3.7. Análisis Crítico de la Literatura (Estado del Arte)

A continuación, se analiza las dos fuentes que se consideran más importantes para este trabajo pues aportaron más del 50% de información necesaria.

ESTADO DEL ARTE				
IDENTIFICACION	OBJETIVO GENERAL	CATEGORIAS/VA RIABLES	INSTRUMENTOS RECOLECCION DE LA INFORMACION	RESULTADOS
Oviedo, T. (2014). <i>Estudio de Factibilidad para Planta de Reciclado de Residuos de Plástico PET</i> (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. Recuperado el 20 de setiembre del 2017 de https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1542/Proyecto%20Integrador%20-%20Estudio%20de%20Factibilidad%20para%20Planta%20de%20Reciclado%20de%20Residuos%20de%20Pl%C3%A1stico%20PET.pdf?sequence=1	Elaborar un estudio de factibilidad para ver si es o no es viable y rentable el proyecto de implementar una planta de reciclado de PET	Reciclado PET Economía de Escala	Estudio de mercado Trabajo en campo Investigación bibliográfica	El resultado de este trabajo fue que el proyecto está en condiciones óptimas para ser llevado a cabo, sin embargo, se necesita una inversión inicial elevada, pues necesita de una economía de escala para que pueda ser rentable
Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET (ARPET) (Sin Fecha). Reciclado del PET. Recuperado el 20 de setiembre del 2017 de http://www.arpet.org/p_so bre_PET.html	Reunir toda la información del quehacer ambiental académico y de las instituciones ambientales del mundo del reciclaje, el desarrollo sustentable, las energías renovables. Difundiendo información a todo el que este interesado.	Reciclado Energía renovable Medio ambiente Desarrollo sustentable	Colaboración de sus integrantes. Investigación de otras páginas especializadas.	Es una página que colabora muchísimo no solo con la población argentina sino que mediante su plataforma digital, brinda acceso a la información para todo el mundo. Y esta en constante actualización con nuevas investigaciones y noticias referentes al reciclaje.

CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

En el presente trabajo identificamos la gran problemática de este siglo, la cual es qué hacer con los residuos de los productos que utilizamos, en este caso nos centramos en los residuos de plástico PET el cual está presente en la mayoría de envases que diariamente usamos. Para este primer trabajo de investigación nos centramos en los tres más importantes métodos de reciclaje, los cuales son reciclaje mecánico, químico y energético. En la actualidad el más usado debido a la facilidad del proceso es el mecánico, siendo este también el más fácil de implementar y contando con un proceso relativamente rápido para la obtención de PET reciclado. Y es el más usado en la mayoría de proyectos de implementación para plantas de reciclaje alrededor del mundo. Además, ha sido necesario desarrollar diferentes términos que van ligados al tema de reciclado pues para poder hablar de reciclado debemos también conocer los residuos involucrados, así como también las directrices que brindan las entidades especializadas como el MINAM a través de la SINIA en lo referente a la gestión de residuos sólidos en nuestro país.

También obtenemos de resultado que de los tres tipos de reciclaje que se han descrito en este trabajo, el que más se adecua a los requerimientos de nuestra economía viene a ser el Reciclaje Mecánico pues la inversión inicial no sería demasiado alta y satisfacerla a la problemática de la cantidad de residuos sin tratar que tenemos hoy por hoy, sin embargo cabe resaltar que el Reciclaje Químico que actúa después del mecánico y cuyo fin es el de hacer que el RPET pueda ser utilizado para envases destinados al consumo humano vendría a ser la mejor elección pues no permitiría tener mayor margen de utilización del RPET, sin embargo su costo es demasiado alto y su proceso muy tedioso. El último tipo de reciclaje que es el Energético aún necesita mucha investigación y estudios para pulir su proceso pues la idea de poder transformar en energía una botella de plástico podría ser la diferencia para el futuro que nos espera.

Mediante este trabajo de investigación se espera sentar las bases para la realización de un plan de tesis y posterior tesis para la formulación de un Proyecto de Implementación de una Planta de Reciclado de PET en la ciudad de Puno.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se describieron los procesos y la tecnología desarrollada para el reciclado del PET a partir de la búsqueda de diferentes trabajos de investigación relacionados con el tema de reciclaje de PET, así como el diferentes paginas especializadas en reciclaje las cuales pertenecen a países que adoptaron el reciclaje de PET como un tema se suma importancia.
- Se identifican los diferentes tipos de reciclaje de PET existentes en la actualidad, los cuales son Reciclaje Mecánico, Reciclaje Químico y Reciclaje Energético.
- Se investigó y recolecto información de los diferentes usos que se le da al PET reciclado en nuestro país, y también a las empresas más importantes que utilizan el PET reciclado en su industria como lo son San Miguel, Gexim y Texeco.
- Se identificó el impacto ambiental no solo de la contaminación del PET en el medio ambiente sino también de la reducción del mismo al adoptar el reciclado de PET. Así mismo se abordó el tema de la degradación de PET en nuestro ambiente pues gracias al consumo masivo de este material y a la falta de educación de reciclaje, se viene contaminando el medio ambiente con PET.
- En la actualidad la mayoría de información respecto al reciclado de PET se encuentra principalmente en medios digitales. Por esta razón casi todas las fuentes bibliográficas son digitales, pero es información relevante pues se trata de páginas especializadas de países como México, España o Argentina, los cuales llevan utilizando el reciclado de PET desde hace muchos años.
- Este trabajo de investigación tiene como objetivo personal, el de ir profundizando en el tema de reciclado de PET debido a que para el trabajo de Tesis se planea

realizar un Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Planta Recicladora en la Ciudad de Puno

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio con mayor profundidad sobre los 3 procesos de obtención de PET reciclado.
- Se recomienda sustituir el PET puro por el PET reciclado en la fabricación de la mayoría de productos de mayor consumo que son elaborados con PET.
- Se recomienda promover la realización de más trabajos de investigación respecto al PET reciclado, debido a que su uso en la industria peruana será de suma importancia para el cuidado de nuestro medio ambiente.
- Se recomienda concientizar a los alumnos de la universidad sobre la importancia del reciclaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET (ARPET). (Sin fecha). *Reciclaje de plásticos*. Disponible en: www.arpet.org/docs/Reciclaje-de-plasticos.doc Recuperado el 20 de setiembre del 2017.

Asociación Civil Argentina Pro Reciclado del PET (ARPET). (s.f.). *Reciclado del PET*. Recuperado de http://www.arpet.org/p_sobre_PET.html

Asociación Nacional del Envase de PET ANEP. (2010). *Desarrollo de aplicaciones comerciales*. Recuperado de https://www.anep-pet.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=12

Autoridad de Desperdicios Sólidos ADS. (Sin fecha). *Manejo de Residuos*. Recuperado de <http://www.ads.pr.gov/programas/manejo-de-residuos/>

Bardales, P. (2016). *El Reciclaje en el Perú y el Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <http://iqt.utero.pe/2016/10/10/el-reciclaje-en-el-peru-y-el-desarrollo-sostenible/>

CEDEX – Catalogo de Residuos Utilizables en Construcción (2013). *Reciclaje Mecánico*. Gobierno de España, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Recuperado de <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/249/reciclaje-mecanico.html>

CDI (Centro de Desarrollo Nacional). (2017). *Empresas certificadas con ISO 14001 en el Perú*. Recuperado de http://www.cdi.org.pe/asistencia_empcertificadas_ISO14000.htm

CIT - Centro de Información Técnica. (2007). *Degradación de los Materiales Plásticos*. Recuperado de <http://ecoplas.org.ar>: <http://ecoplas.org.ar/pdf/21.pdf>

CONAM. (2006). *Guía Técnica para la formulación e implementación de planes de minimización y reaprovechamiento de residuos sólidos en el nivel municipal*.

Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-tecnica-formulacion-implementation-planes-minimizacion>

Ecobar. (2010). *Separación de Plásticos*. Recuperado de <http://www.ecobar.info/materiales-separacion-mezcla-mecanico-quimico-valorizacion-energetica-degradacion/>

EcuRed (Sin fecha). *Contaminación del Medio Ambiente*. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Contaminaci%C3%B3n del Medio Ambiente](https://www.ecured.cu/Contaminaci%C3%B3n%20del%20Medio%20Ambiente)

Escuelas Idea Sana EROSKI. (Sin fecha). *La Importancia de reciclar*. Recuperado de <http://www.arpet.org/docs/La-importancia-de-reciclar.pdf>

Foy, P.; Cutire, S. (2010). *La Ecoeficiencia: un Nuevo Escenario Jurídico Ambiental*. Recuperado de http://aempresarial.com/servicios/revista/23_34_LNSUJGGTSAJBMSKSTMEHFUM_DNDRDBZLNMDIWKOPDPZEHLPAFBE.pdf

García, M.; Salgado, F. (2007). *Reciclado de PET Alternativas de comercialización*. Recuperado de <http://www.arpet.org/docs/Reciclado-de-PET-Alternativas-de-comercializacion-UBA.pdf>

García, A. (s.f). *Glosario de Términos en Plásticos*. Recuperado de <http://www.eumed.net/cursecon/dic/glos-plasticos.htm>

Gexim. (2017). *Conciencia Ambiental*. Obtenido de www.gexim.com.pe: <http://www.gexim.com.pe>

Gómez, J. (2016). *Diagnóstico Del Impacto Del Plástico - Botellas Sobre El Medio Ambiente: Un Estado Del Arte* (tesis de pregrado). Universidad Santo Tomas, Cundinamarca, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10047/Gomez2016.pdf?sequence=1>

- INEI (2001). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0466/Libro.pdf
- López, D.; Arandes, J.; Bilbao, J. (2004) *Reciclado de Residuos Plásticos*. Recuperado de <http://www.arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf>
- Mansilla Pérez, L.; Ruiz Ruiz, M. (2009). *Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster*. *Ingeniería Industrial*, (27), 123-137.
- MINAM (2016). *Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>
- MINAM (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024*. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>
- NACIONES UNIDAS (1972). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente en Estocolmo*. Recuperado de <https://www.dipublico.org/conferencias-diplomaticas-naciones-unidas/conferencia-de-las-naciones-unidas-sobre-el-medio-humano-estocolmo-5-a-16-de-junio-de-1972/>
- Oviedo, T. (2014). *Estudio de Factibilidad para Planta de Reciclado de Residuos de Plástico PET* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1542/Proyecto%20Integrador%20-%20Estudio%20de%20Factibilidad%20para%20Planta%20de%20Reciclado%20de%20Residuos%20de%20PI%3%A1stico%20PET.pdf?sequence=1>
- Posada, B. (2009). *La Degradación de los Plásticos*, Revista Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/>

Pontificia Universidad Católica del Perú (2016). *Reciclando plástico PET en el Perú*. Recuperado de <http://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/reciclando-plastico-pet-en-el-peru/>

Quimica.Es (Sin fecha). *Plástico*. Recuperado de <http://www.quimica.es/enciclopedia/Pl%C3%A1stico.html>

QuimiNet (2005). *Historia del PET*. Recuperado el 24 de setiembre del 2017 de <https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm>

Secretaria del Medio Ambiente del estado de Mexico (s.f.). *¿Que es Polietileno-Tereftalato?*. Recuperado de http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato

Serrano, C. (2001). *Reciclaje de PET*. Recuperado el 20 de setiembre del 2017 de <http://www.arpet.org/docs/Reciclaje-de-PET-Serrano-EEUU.pdf>

Tecnología de los Plásticos (2011). *Proceso de Reciclaje del PET*. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

TEXECO. (2016). *Textiles Ecologicos SAC*. Obtenido de <http://www.texecoperu.com.pe>

Virginie, M. (2011). *Los Caminos del Reciclaje*. Barcelona: Nuevos Emprendimientos Editoriales.

Wilhelm, R. (2008). *Códigos de identificación de resinas*. Recuperado de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO08/wilhelm_sps08.html