

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
TUXTLA GUTIÉRREZ

DIRECCIÓN GENERAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

QUE PRESENTA:

ITZAELO TOLEDO ZAVALA

CON EL TEMA:

“RECICLAMIENTO DEL PET”

MEDIANTE:

OPCION X

(MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

DIRECCIÓN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 05 de marzo 2013

OFICIO NUM. DEP-CT-23/2013

C. ITZAELE TOLEDO ZAVALA

PASANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
P R E S E N T E.

Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. , MTRA. ROCÍO FARRERA ÁLCAZAR, ING. LEONARDO GÓMEZ GUTIÉRREZ, ING. RODRIGO FERRER GONZÁLEZ e ING. WILBERT M. BLANCO CARRILLO , en el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

"RECICLAMIENTO DEL PET"

Registrado mediante la opción:

X (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

A T E N T A M E N T E
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"

M.I. APOLINAR PÉREZ LOPEZ
ENCARGADO DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
PROFESIONALES
C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
C.c.p.- Expediente
I'JLMN/M'APL/l'eeam

Vo. Bo.

M. en C. JOSÉ LUIS MÉNDEZ NAVARRO
DIRECTOR


Secretaría de Educ. Pública
Instituto Tecnológico
de Tuxtla Gutiérrez
Div. de Est. Profesionales



CONTENIDO

I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.JUSTIFICACIÓN.....	3
III.OBJETIVOS.....	5
III.1 Objetivo general.....	5
III.2 Objetivos específicos.....	5
IV.CARACTERIZACIÓN DEL AREA QUE SE PARTICIPÓ.....	6
IV.1 Organigrama.....	7
V.PROBLEMAS A RESOLVER.....	8
VI.ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
VII.FUNDAMENTO TEÓRICO.....	10
VII.1 Antecedentes.....	10
VII.2 Concepto.....	11
VII.3 Propiedades.....	12
VII.3.1 Propiedades físicas y químicas.....	13
VII.3.2 Carga de rotura.....	14
VII.3.3 Modulo de elasticidad.....	14
VII.3.4 Cristalinidad.....	14
VII.3.5 Propiedades mecánicas.....	15
VII.3.6 Propiedades ópticas.....	15
VII.4 Aplicaciones.....	15
VII.4.1 Fabricación de envases.....	16
VII.4.2 Fibras de poliéster.....	17
VII.4.3 Fabricación de piezas técnicas.....	17
VII.4.4 Otros usos.....	17

VII.5 Proceso industrial del PET.....	18
VII.6 Polimerización.....	22
VII.7 Post polimerización.....	24
VII.8 Diagrama para la producción del PET.....	25
VII.9 Estructura del PET.....	25
VII.10 Aspectos positivos del uso de Tereftalato de Polietileno...	29
VII.11 Problemática del PET en el medio ambiente.....	30
VII.12 Reciclado del PET.....	32
VII.13 Técnicas de reciclado.....	35
VII.13.1 Tendencia de desechos de plásticos.....	36
VII.13.2 Reciclado mecánico.....	36
VII.13.3 Reciclado químico.....	37
VII.13.4 Reciclado de aprovechamiento energético.....	38
VII.13.4.1 Contenido energético.....	39
VII.14 Proceso de reciclado de PET.....	39
VII.15 Ventajas del reciclamiento.....	40
VII.16 Usos y aplicaciones del PET reciclado.....	40
VII.17 Norma para el reciclado del PET.....	41
VII.18 Tipos de plásticos.....	43
VII.19 Codificación de plásticos.....	44
VII.19.1 PET.....	45
VII.19.2 PEAD.....	46
VII.19.3 PVC.....	47
VII.19.4 PEBD.....	48
VII.19.5 PP.....	50

VII.19.6 PS.....	51
VII.19.7 OTROS.....	52
VII.20 Alternativas ecológicas.....	53
VII.21 Datos técnicos.....	54
VII.22 Valores de permeabilidad.....	54
VII.23 Resistencia química del PET.....	54
VII.24 Características del PET.....	55
VII.25 Ventajas del reciclamiento.....	55
VII.26 Desventajas del reciclamiento.....	56
VII.27 Empresas fabricantes de PET.....	57
VII.28 Empresas recicladoras de PET.....	58
VIII.PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	59
VIII.1 Diagrama de flujo de proceso.....	62
IX.RESULTADOS.....	63
X.CONCLUSIONES.....	68
Recomendaciones.....	69
Sugerencias.....	70
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	71
ANEXOS.....	72
Anexo 1.....	72
Anexo 2.....	77
Anexo 3.....	79
Anexo 4.....	79
Anexo 5.....	80
Anexo 6.....	81
Anexo 7.....	82
Anexo 8.....	82

I.INTRODUCCIÓN

En la vida moderna el plástico ha constituido un fenómeno de indudable trascendencia. Diariamente se ven inmersos en toneladas de basura generadas por los habitantes, no siendo capaces de resarcir el daño ecológico. Actualmente enfrentan la falta de ordenamientos jurídicos que regulen un adecuado manejo de los recursos a través de la reducción de materias primas, la reutilización y el reciclaje. Con el fin de contrarrestar los problemas ambientales los países pueden establecer políticas económicas que busquen conservar el medio ambiente sin perjudicar los sectores económicos.

México es el segundo consumidor a nivel internacional de la resina PET para la producción de botellas. Ya que es el segundo consumidor mundial de refrescos, detrás de los Estados Unidos. México consume 18 billones de litros anualmente de bebidas contenidas en envases PET, equivalentes a 169 litros per cápita. ^[12]

Los sistemas municipales de recolección son insuficientes y deficientes, los rellenos sanitarios representan un costo alto para los municipios en cuanto al espacio, infraestructura, personal de barrido y recolección de basura.

De acuerdo a lo señalado por el Instituto Nacional de Ecología, los envases PET tardan aproximadamente 500 años en degradarse. Ocasionando problemas de contaminación del suelo y agua. Con el paso del tiempo los envases PET en los tiraderos de basura, los aditivos y estabilizadores que contienen pueden pasar a formar parte de los lixiviados, creando un peligro potencial para los acuíferos subterráneos.

En el caso de México no existen suficientes leyes en materia ambiental que obliguen a contrarrestar los problemas ecológicos e impulsen el crecimiento de la industria del reciclaje y la implementación de residuos como materias primas para la fabricación de productos secundarios. El PET, es el polímero de más fácil obtención, manejo y reutilización, del cual se obtienen diversos derivados para su uso en diversas industrias, como la textil, la alimenticia, para el aseo de la casa como escobas y cepillos, y la fabricación de flejes y laminas.

En general, las personas tienen muy poco conocimiento sobre lo que es un plástico, cómo se obtiene, cuáles son los tipos de plástico y sus aplicaciones, y cuáles son los procesos de transformación del mismo. Esta información es importante para quienes trabajan en la comercialización de plásticos, e industrias de producción o transformación del plástico, o apenas curiosos por el asunto. De tal forma surge como necesidad en este proyecto mostrar a una parte importante de la población las graves consecuencias del mal uso del plástico que va desde la manera de obtención, hasta los procesos que se utilizan para reciclarlos. ^[12]

Este proyecto consiste en recuperar el PET que desecharnos diariamente en el suelo debido a nuestra falta de educación y que no se le da ningún uso, en el cual el objetivo principal es recuperarlos y darle un uso, reciclarlos con la finalidad de obtener otros nuevos subproductos, conocer los diferentes tipos de plásticos que existen, saber sus ventajas y desventajas sobre su reciclado y sobre todo los beneficios que genera al reciclar el PET tanto en la economía como en la vida cotidiana.

II.JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se propuso para presentar un sistema de manejo de los residuos sólidos como son los plásticos PET, los cuales desechamos diariamente a nivel mundial y que provocan una gran contaminación hacia el medio ambiente, que repercute a la salud humana. Se realizó con el objetivo de reciclar el PET para disminuir la contaminación que generan estos plásticos, en el cual se generó otro nuevo producto, reduciendo esta problemática que existe en nuestro entorno.

Es importante la realización de este proyecto porque disminuiría la contaminación del medio ambiente por el PET, y al reciclarlo se puede obtener otros subproductos terminados. En este caso se fabricará una pieza técnica que servirá para material base reciclado en maquinado, sometiendo el PET a una serie de estudios, considerando las variables y propiedades necesarias para su posterior manejo, con la intención de sustituir a las piezas metálicas, poniéndolo a prueba en maquinarias para su funcionamiento y comprobar su resistencia y durabilidad. Esto beneficiará a toda la población y sobre todo al medio ambiente porque reducirá la problemática que existe en ella.

Con esto, la población debe de tomar en cuenta que para tener un lugar más limpio y panorámico, libre de contaminación, debe de tomar conciencia y cooperar para que este proceso se lleve a cabo, ya que esto se está convirtiendo en una gran problemática y cada vez va creciendo más y si no hacemos nada nuestro hogar que es el planeta será una gran amenaza para nuestra generación que viene detrás de nosotros. No solo el PET puede reciclarse, hay muchos desechos más que se pueden reciclar, pero debido a la falta de conocimiento y tecnología,

no lo hacemos. Pero esto se puede lograr poniendo programas, campañas, contenedores, centros de acopio y la conciencia de cada uno de nosotros para el buen almacenamiento del PET, y no desechar estos plásticos al suelo ya que tarda cientos de años en degradarse, aplicar reglamentos para el reciclado del PET y aplicar multas para aquellas personas que desobedezcan dicho reglamento para así evitar que se tiren mas desechos hacia el medio ambiente.

Es importante que la humanidad no tire estos plásticos al medio ambiente, porque nuestra fauna y flora se están extinguiendo a causa de nuestra irresponsabilidad y no nos damos cuenta de eso.

Con el reciclamiento del PET, se fabricaron piezas para centros de maquinado en aparatos electrónicos y se pusieron a prueba en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Industrial.

III.OBJETIVOS

III.1 OBJETIVO GENERAL:

Obtener material reciclado base a partir del PET recolectado para utilizarlo en el centro de maquinado en aparatos electrónicos.

III.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1.- Analizar las propiedades y características de botellas PET para su posterior estudio y manejo durante el reciclado y obtener el producto final.
- 2.- Diseñar y manufacturar los moldes de acero al carbón para obtener las placas del PET reciclado.
- 3.- Optimizar las condiciones de fundición del PET
- 4.- Obtener el material base y efectuar pruebas de control de calidad en base a la norma NMX-E-232-CNCP-2005.

IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

Este proyecto se realizó en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en el Laboratorio de Ing. Ambiental del edificio D, en el cual se utilizó el equipo necesario para la realización del proyecto “reciclamiento del PET”

Este proyecto abarca diferentes áreas, en las cuales están involucradas las asignaturas cursadas de la Lic. De Ingeniería Química en su estudio, como son:

Ingeniería Ambiental, el cual se relaciona con la problemática y el cuidado del medio ambiente.

Operaciones unitarias, porque se lleva a cabo la reducción del tamaño y la transferencia de calor del PET.

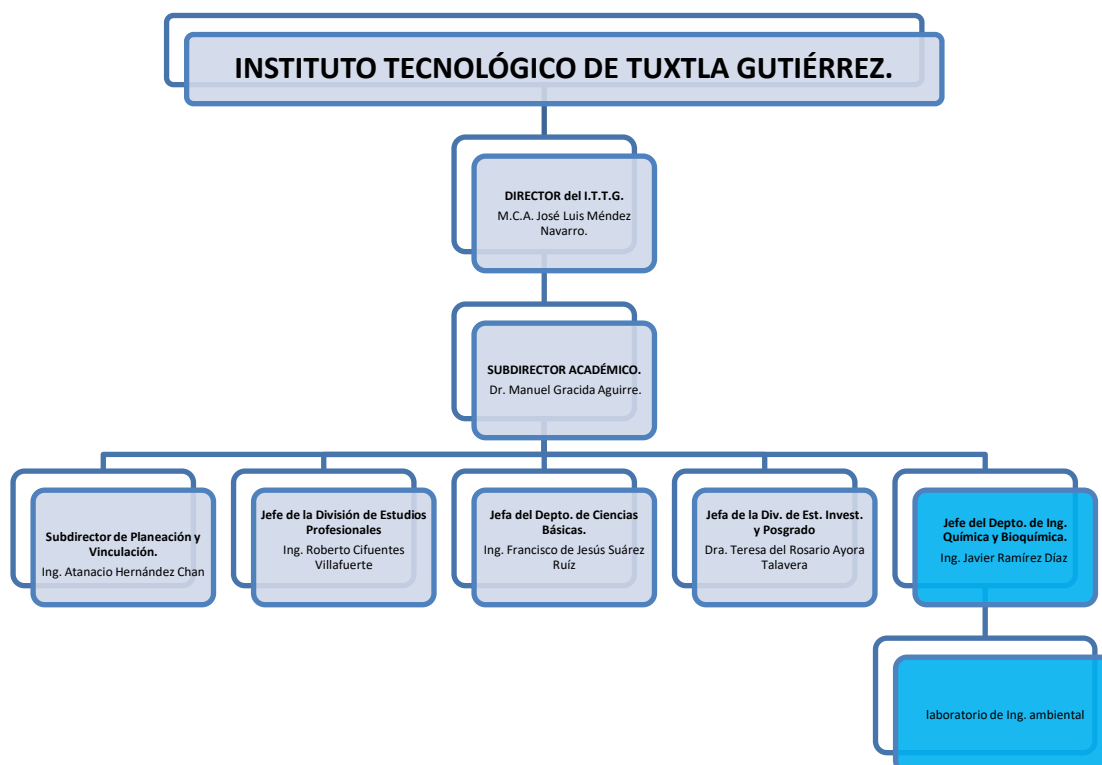
Balance de materia, porque hay un proceso de entrada de materia prima y salida de un producto terminado.

IV.1 ORGANIGRAMA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

MISIÓN. Formar de manera integral profesionistas de excelencia en la campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

VISIÓN. Ser una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.



Carretera Panamericana km 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

V.PROBLEMAS A RESOLVER

El PET en la actualidad es una problemática que existe a nivel mundial, ya que se generan toneladas de desechos de éste material ocasionados por la propia humanidad; la intención de este proyecto es la reutilización y el aprovechamiento del PET, darle un proceso adecuado y obtener de él otros subproductos que sean factibles para la humanidad.

Para realizar este proyecto denominado “reciclamiento del PET”, se llevara a cabo en el Laboratorio de Ing. Ambiental del Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, tanto su investigación bibliográfica como sus pruebas a nivel laboratorio.

Lo que se desea obtener en este proyecto, es reciclar el PET y llevarlo a una serie de procesos, en el cual al final se desea obtener unas placas de PET fundido, para ponerlas a pruebas en centros de maquinado y observar su resistencia y durabilidad. Con el PET se pueden obtener muchos otros subproductos que sean reutilizables, ya que la problemática de éste polímero se va haciendo un problema cada vez mayor y si no hacemos nada acabaremos con nuestro medio ambiente, por eso la importancia de este proyecto, aprovechar el material desechado y reutilizarlo para darle un valor agregado.

VI.ALCANCES Y LIMITACIONES

Limitaciones: El proyecto se realizó en un laboratorio con condiciones regulares el cual cuenta con una mufla pequeña un poco deteriorada, en la cual solo se puede procesar una muestra a la vez con capacidad de un molde circular y esto no permitió avanzar más rápidamente en las pruebas de la elaboración del proyecto.

Alcances: Se realizó el proyecto y se hicieron las pruebas a nivel laboratorio en una mufla pequeña para capacidad de un molde y se obtuvo la placa de PET deseada, se puso a prueba en el centro de maquinado y resulto muy efectivo, ya que sus características que presentó son muy aceptables, el cual el proyecto si es factible de acuerdo a los objetivos establecidos.

VII.FUNDAMENTO TEÓRICO

VII.1 ANTECEDENTES

El PET fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto.

[1]

El plástico como invento se le atribuye a Leo Hendrik Baekeland que vendió el primero llamado baquelita en 1909. A lo largo del siglo XX el uso del plástico se hizo extremadamente popular y llegó a sustituir a otros materiales tradicionales tanto en el ámbito doméstico, como industrial y comercial. [1]

A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se comenzó a emplear en forma de filme para envasar alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976. Pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno como por ejemplo el agua mineral y los refrescos carbonatados. Desde principios de los años 2000 se utiliza también para el envasado de cervezas. [1]

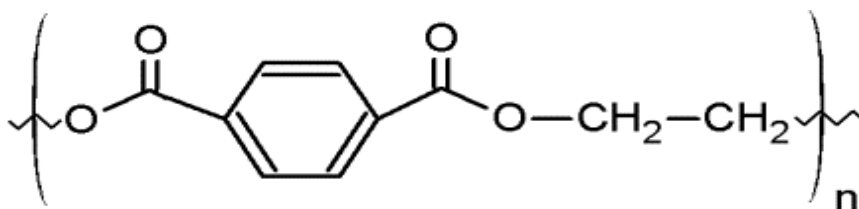
Aunque originalmente se produjo para fibras, el PET empezó a ser usado como películas para empaquetar a mediados de los años sesenta, y en los inicios de los setentas, la técnica para expandir botellas orientadas biaxialmente se desarrolló

comercialmente. Las Botellas hoy día, representan el uso más significativo de resinas de PET. [1]

VII.2 CONCEPTO

El Tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno Tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, *Polyethylene Terephthalate*) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres bajo diferentes marcas comerciales, por ejemplo, en los Estados Unidos y Gran Bretaña usan los nombres de Mylar y Melinex. [1]

Su fórmula es:



Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenecer al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. [1]

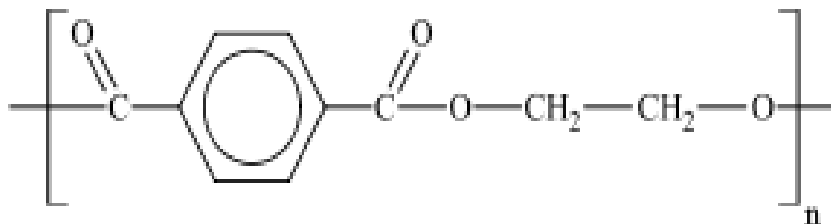
Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y láminas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con esto se logra una mayor transparencia, la razón de su

transparencia al enfriarse rápido consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere («scattering» en inglés) con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica. [1]

VII.3 PROPIEDADES

Presentan propiedades químicas como características más relevantes:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.



Unidad repetitiva de PET.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas. [1]

VII.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Fórmula molecular	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Densidad amorfa	1.37 g/cm³
Densidad cristalina	1.45 g/cm³
Modulo de Young (E)	2800 – 3100 Mpa
Presión	55 – 75 Mpa
Limite elástico	50 – 150 %
Notch test	3.6 kJ/m²
Glass temperature	75 °C
Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Conductividad térmica	0.24 W/(m·K)
Coefficiente de dilatación lineal (α)	$7 \times 10^{-5} / K$
Calor específico (c)	1.0 kJ/(Kg·K)
Absorción de agua (ASTM)	0.16
Índice de refracción	1.575
Costo	7.25 – 18 \$/Kg

VII.3.2 CARGA DE ROTURA

Amorfo no orientado	560 Kg/cm²
Cristalino orientado	2500 Kg/cm²

VII.3.3 MODULO DE ELASTICIDAD

Amorfo (MPu)*	2.100/2.400
Cristalino (MPu)*	2.800/3.100

***Mpu:** Multiple Process Unit, microchip procesador diseñado para realizar tareas múltiples dentro de un sistema de cómputo.

VII.3.4 CRISTALINIDAD

Temperatura	Color
Amorfa	Transparente
Cristalina	Blanco opaco

El PET tiene una viscosidad entre 0.5 y 0.6 centiestokes, esta propiedad le da resistencia a la tensión, a la abrasión y hace imposible la reacción química con hidrocarburos aromáticos, alcoholes, detergentes, soluciones acuosa de ácidos débiles y fuertes, blanqueadores, etc. ^[1]

VII.3.5 PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia a la tracción hasta la deformación (Mpa)	59
Resistencia a la tracción hasta la rotura (Mpa)	No rompe
Alargamiento hasta la rotura	No rompe
Modulo de elasticidad en tracción (Mpa)	2420
Resistencia a la flexión (Mpa)	86
Resistencia al impacto Charpy	No rompe
Dureza Rockwell, M/R	111
Dureza a la presión de la bola	117
Relación de Poisson	0.37 – 0.44

Mpa: Mega pascales

VII.3.6 PROPIEDADES ÓPTICAS

Transmisión de luz (W)	89
Índice de Refracción	1.576

[1]

VII.4 APLICACIONES

Entre algunas de las aplicaciones que tiene el PET, se encuentran:

VII.4.1 FABRICACIÓN DE ENVASES:

La mayoría de los envases que manejamos en nuestra vida cotidiana están elaborados con PET (exceptuando los fabricados con PVC). Se utiliza para envases de productos alimentarios y no alimentarios:

- Bebidas carbónicas
- Aguas minerales
- Aceite
- Zumos, té
- Vinos y bebidas alcohólicas
- Detergentes y productos de limpieza
- Productos cosméticos
- Salsas y otros alimentos
- Productos químicos y lubricantes
- Productos para tratamientos agrícolas
- Películas
- Contenedores alimentarios
- Cintas de audio/video
- Fotografía
- Aplicaciones eléctricas
- Electrónicas
- Embalajes especiales
- De Rayos X

VII.4.2 FIBRAS DE POLIÉSTER:

El PET es prácticamente el poliéster (TERMOPLASTICO) comercialmente más importante en la obtención de fibras. Todos sabemos que las prendas hechas de fibra de poliéster, son muy resistentes a las arrugas y pueden lavarse repetidas veces sin necesidad de un planchado posterior. Normalmente estas fibras de poliéster para prendas de vestir, se utilizan mezcladas con algodón o lana. ^[1]

VII.4.3 FABRICACIÓN DE PIEZAS TÉCNICAS:

El PET reforzado con fibra de vidrio o sin reforzar, tiene gran importancia en la fabricación de piezas resistentes al desgaste, (cojinetes, piezas de cerraduras, ruedas dentadas, partes de automóviles y aparatos electrónicos, entre otros), en dispositivos eléctricos, por sus propiedades ignífugas, dieléctricas, térmicas y de estabilidad dimensional. ^[1]

VII.4.4 OTROS USOS PARA LA FABRICACIÓN DE:

- Tubos
- Perfiles
- Marcos
- Paredes
- Construcción
- Piezas inyectadas
- Fibras Textiles

Además de los anteriores, existen otros usos, en películas y se usan solamente para productos muy sensibles a la humedad y que requieren un alarga vida de anaquel como dulces, galletas, fármacos, reactivos y polvos para preparar bebidas. ^[1]

VII.5 PROCESO INDUSTRIAL DEL PET

El plástico es considerado un material polimérico orgánico (compuesto por moléculas orgánicas gigantes) que puede deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nylon. ^[6]

La fabricación de los plásticos y sus manufacturados implica cuatro pasos básicos: obtención de las materias primas, síntesis del polímero básico, obtención del polímero como un producto utilizable industrialmente y moldeo o deformación del plástico hasta su forma definitiva. ^[6]

La primera parte de la producción de plásticos consiste en la elaboración de polímeros en la industria química. Hoy en día la recuperación de plásticos post-consumidor es esencial también. Parte de los plásticos terminados por la industria se usan directamente en forma de grano o resina. Más frecuentemente, se utilizan varias formas de moldeo (por inyección, compresión,

rotación, inflación, etc.) o la extrusión de perfiles o hilos. Parte del mayor proceso de plásticos se realiza en una máquina horneadora.

En un principio, la mayoría de los plásticos se fabricaban a partir de resinas de origen vegetal, como la celulosa (del algodón), el furfural (de la cáscara de la avena), aceites de semillas y derivados del almidón o del carbón. La caseína de la leche era uno de los materiales no vegetales utilizados. A pesar de que la producción del nylon se basaba originalmente en el carbón, el aire y el agua, y de que el nylon se fabrica todavía con semillas de ricino, la mayoría de los plásticos se elaboran hoy con derivados del petróleo. Las materias primas derivadas del petróleo son tan baratas como abundantes. No obstante, dado que las existencias mundiales de petróleo tienen un límite, se están investigando otras fuentes de materias primas, como la gasificación del carbón.

El mercado mundial de PET es de alrededor 32 millones de toneladas al año. Más del 60 por ciento, o sea, la mayor parte llega al comercio en forma de fibras de poliéster, restando por lo tanto, cerca de 13 millones de toneladas de PET como materia prima para envases. ^[6]

En la tabla siguiente se relacionan los sectores, el tamaño más estándar, y el material alternativo que coexiste con el PET o que ha sido sustituido por éste:

Sector	Tamaño (L)	Aplicación	Material sustituido
Bebidas, refrescos	0.2 – 2.0	Alimentos	Vidrio, lata
Aguas minerales	0.2 – 2.0	Alimentos	PVC, HDPE, vidrio
Aceite comestible	0.5 – 5.0	Alimentos	PVC, HDPE, vidrio
Vinagres	1.0	Alimentos	PVC, HDPE, vidrio
Salsas	0.3 – 0.5	Alimentos	HDPE, vidrio
Cosmética	0.3 – 1.0	Cremas, perfumes	PVC, HDPE
Farmacias	0.3 – 0.5	Bucales, jarabes	Vidrio
Licores	0.1 – 0.5	Envases licores	Vidrio
Detergentes	1.0 – 1.5	Limpia pisos	PVC, HDPE
Químicos	1.0 – 5.0	Químicos	Vidrio

[6]

L: litros

Es la fuerza del material la que contribuye para hacer del PET el éxito que es. De hecho, las bebidas suaves carbonatadas pueden generar presión dentro de la botella que alcanza los 6 bar. Sin embargo, tan alta presión es permitida en la botella gracias a la alineación de macro-moléculas (cristalización) ocurriendo a ambos durante el proceso de hilado de la resina y el sople-moldeado, la presión no es capaz de deformar la botella, ni de hacerla explotar. [7]

A lo largo de los años, la industria ha asumido las preocupaciones medioambientales cada vez más, disminuyendo la cantidad de material crudo

necesitado para la fabricación de botellas significativamente. Hoy día, un recipiente de PET de 1.5 litros es manufacturado con sólo 35 gramos de material.

[7]

Otro rasgo llamativo de PET en el lado medioambiental es que es totalmente reciclable. Las razones principales que mantienen el éxito de los recipientes de PET son que, gracias a la estructura molecular del material, es irrompible. Lo que es más, el empaquetamiento con PET es ligero, transparente y resellable.

Hacer una botella de PET empieza desde las materias primas: etileno y paraxileno. Los derivados de estas dos sustancias (glycol de etileno y ácido tereftálico) se hacen reaccionar para obtener la resina PET. La resina, en forma de cilindros pequeños llamados pellets, son fundidos e inyectados en un molde para hacer una preforma. La preforma, una clase de tubo de ensayo, más corto que la botella que será, pero con las paredes más gruesas, se sopla y amolda entonces. Durante la fase de soplo-moldura, el aire a alta presión es soplado en la preforma permitiéndole tomar la forma exacta del molde en el que fue introducido. El producto final es una botella transparente, fuerte y ligera.

Otra ventaja del material reside en sus propiedades físicas que permiten gran libertad en el diseño de empaques. [7]

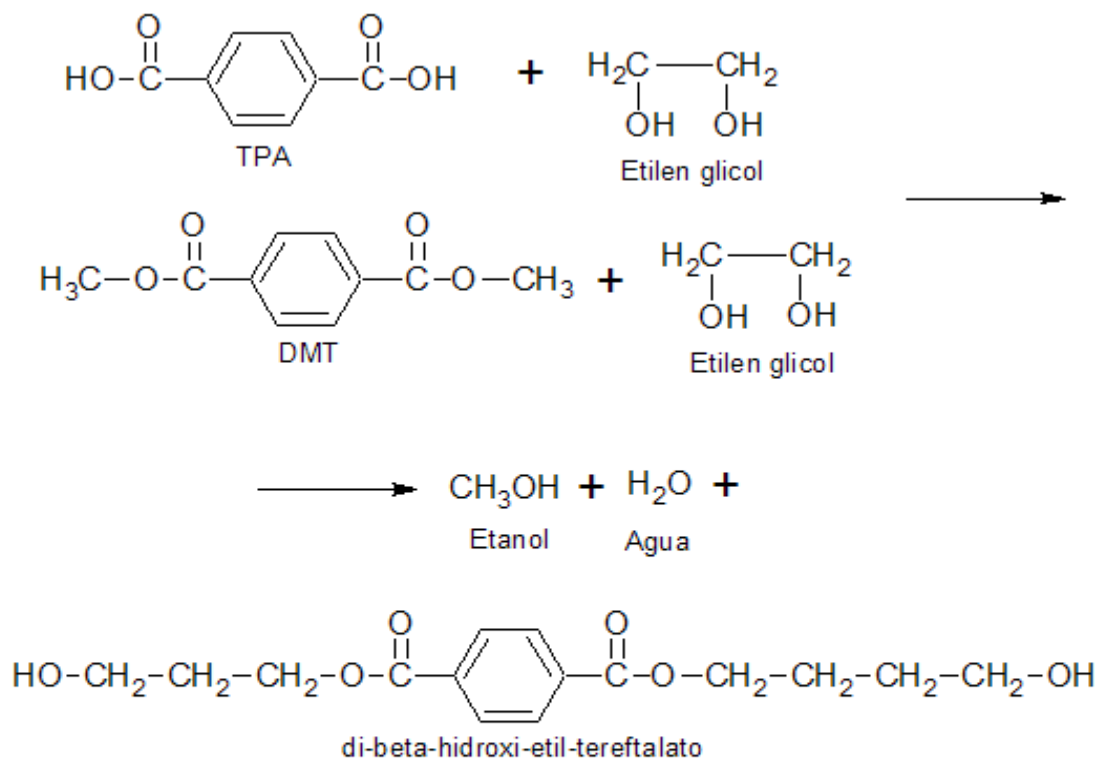
VII.6 POLIMERIZACIÓN

Industrialmente, se puede partir de dos productos intermedios distintos:

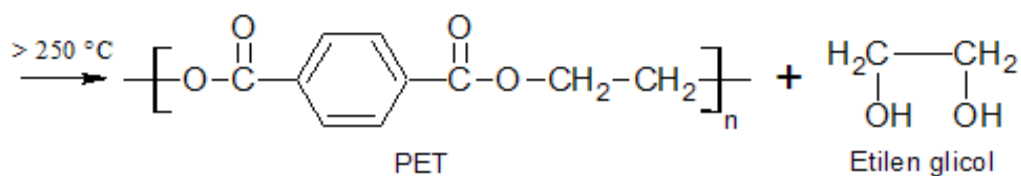
- TPA ácido tereftálico;
- DMT dimetiltereftalato

Haciendo reaccionar por esterificación TPA o DMT con glicol etilénico se obtiene el monómero Bis-beta-hidroxi-etil-tereftalato, el cual en una fase sucesiva, mediante policondensación, se polimeriza en PET según el esquema.

Esterificación



Policondensación



En la reacción de esterificación, se elimina agua en el proceso del TPA y metanol en el proceso del DMT. [6]

La reacción de policondensación se facilita mediante catalizadores y elevadas temperaturas (arriba de 270°C). La eliminación del glicol etilénico es favorecida por el vacío que se aplica en la autoclave; el glicol recuperado se destila y vuelve al proceso de fabricación.

VII.7 POLIMERIZACIÓN EN ESTADO SÓLIDO O POSTPOLIMERIZACIÓN

Esta es una fase ulterior de polimerización del PET.

El granulo cristalizado se carga en un reactor cilíndrico en cuyo interior, durante tiempos muy largos, es sometido a un flujo de gas inerte (nitrógeno) a temperatura elevada (sobre los 200 ° C). [6]

Este tratamiento realiza una reacción de polimerización que hace aumentar posteriormente el peso molecular de la resina hasta los valores correspondientes de I.V. (0.72 – 0.86) idóneos para la fabricación de la botella. El aumento de la viscosidad intrínseca es directamente proporcional al aumento del peso molecular.

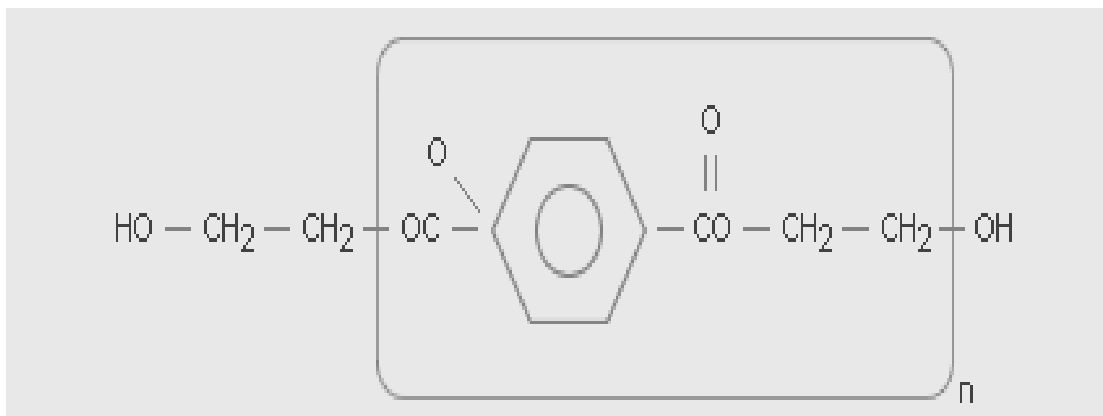
[6]

De estos reactores, se descarga PET de elevado porcentaje de cristalinidad (> 50) con viscosidad Grado para Botella ("Bottle Grade").

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PRODUCCIÓN DEL PET



ESTRUCTURA DEL PET



[6]

Las líneas de productos de PET son tres:

PET de grado textil: Se emplea para la producción de fibras de confección - es muy utilizado en mezclas de diversos porcentajes con el algodón - y para rellenos de edredones o almohadas, además de manufacturarse con él tejidos industriales de sustentación para cauchos, lonas, bandas transportadoras y otros numerosos artículos.

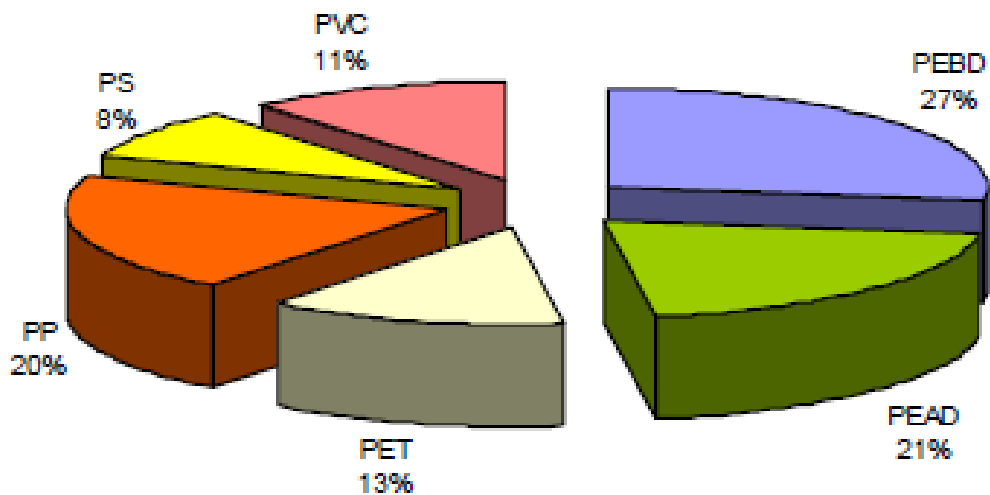
PET de grado botella: comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector. También se ha comenzado a utilizar el PET para el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas, miel. Su próximo reto es el envasado de leche y, sobre todo, de cerveza, mercados donde ya se han emprendido pequeñas pero decididas aproximaciones.

PET de grado film: El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de film: en la práctica, todas las películas fotográficas, de rayos X y de audio están hechas de PET. ^[6]

En la siguiente tabla se muestra el consumo de los plásticos más utilizados por la industria donde se destaca al PET como el cuarto más usado.

PLÁSTICOS	Abreviatura	MILES DE TONELADAS
Polietileno de baja densidad	PEBD	1314
Polietileno de alta densidad	PEAD	1022
Tereftalato de polietileno	PET	633
Polipropileno	PP	974
Poliestireno	PS	389
Policloruro de vinilo	PVC	535
	TOTAL	6424

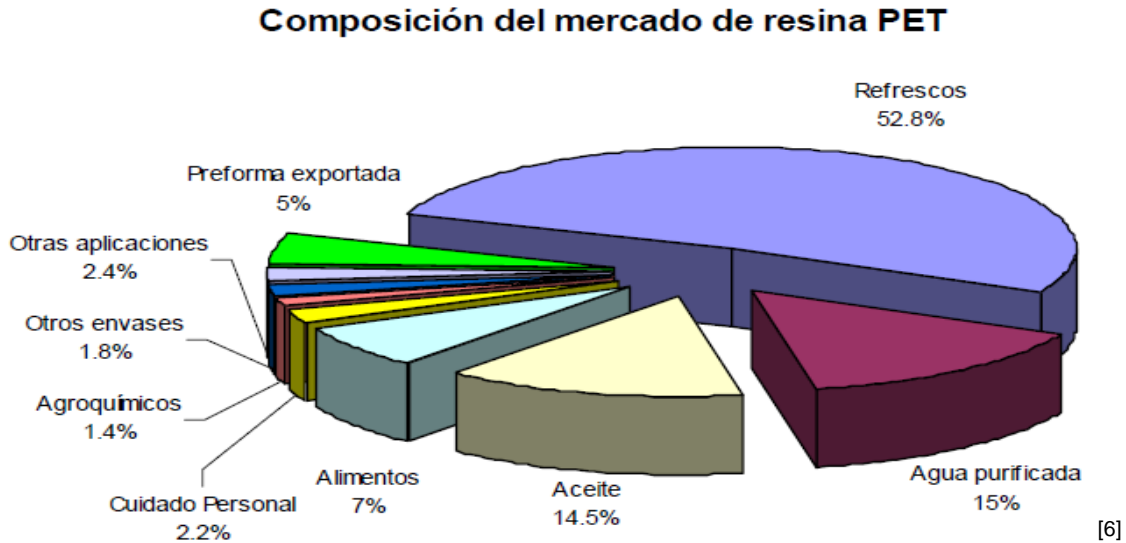
Consumo de plásticos más utilizados en la industria.



Porcentaje del consumo de plásticos más utilizados en la industria.

A continuación se muestra la siguiente tabla, el cual el PET ocupa el mayor porcentaje de consumo:

SEGMENTO	PORCENTAJE DE MERCADO
Refrescos	52.8 %
Agua purificada	14.9 %
Aceite	14.5 %
Alimentos	7.0 %
Cuidado personal	2.2 %
Agroquímicos	1.4 %
Licores	0.3 %
Otros envases	1.5 %
Otras aplicaciones	2.4 %
Preforma exportada	5.0 %
TOTAL	100 %



En cuanto a la producción específica de PET encontramos que esta industria destina mayoritariamente el material al mercado de refrescos. [6]

Para la industria de elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, las botellas de PET se pueden dividir en:

RETORNABLES: que pueden utilizarse nuevamente después de su primer uso, mediante un sistema de limpieza y esterilización hasta 25 veces antes de que el producto pierda algunas propiedades, y

NO RETORNABLES: que después de su primer uso, son material de desecho.

A NIVEL NACIONAL

Demanda del PET	413,000 t/año
Envases de PET recuperados	71,300 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	17.3 %

[6]

VII.10 ASPECTOS POSITIVOS DEL USO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO

Como algunos de los aspectos positivos que encontramos para el uso de este material, principalmente empleado en envases de productos destinados a la venta, podemos destacar:

- Que actúa como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂.
- Es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes
- Irrompible
- Liviano
- Impermeable
- Levemente tóxico, recientemente se ha descubierto que las botellas que se usan para embotellar zumos de frutas ácidos liberan algo de antimonio(Sb), aunque por debajo de los límites que admite la Organización Mundial de la Salud (OMS) (20µg/L)
- Inerte (al contenido)
- Resistencia esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza
- Alta resistencia química y buenas propiedades térmicas, posee una gran indeformabilidad al calor
- Totalmente reciclable
- Superficie barnizable
- Estabilidad a la intemperie
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras. ^[1]

VII.11 PROBLEMÁTICA DE LOS PLÁSTICOS EN EL MEDIO AMBIENTE

Se considera que estos materiales contribuyen en una mayor proporción a la formación de los residuos que tiene la sociedad pero los estudios realizados por especialistas indican que solamente el 4% del petróleo comercial es utilizado para este fin. Es muy frecuente encontrar en los basureros la incineración de los plásticos, desprenden un alto poder calorífico, consume aire en la combustión y desprenden compuestos volátiles como son: cuando se quema el PVC se genera ácido clorhídrico y si se trata de resina poliéster se genera HCN, sin embargo cuando la combustión es incompleta se produce hollín, otros contienen aditivos que se quedan en las cenizas y provocan transformación del suelo; durante la combustión el medio ambiente más afectado es la atmósfera ya que se incrementa de los compuestos amoníaco, dióxidos de azufre, compuestos de nitrógeno, ácidos orgánicos que tienen propiedades corrosivas.

Los envases PET son fácilmente identificables a través de un símbolo en forma de triángulo formado por flechas con el número 1 en el centro y bajo este, las siglas PET o PETE. Gracias a las propiedades del PET este es 100% reciclable, sin embargo en México solamente se recicla el 20%. [9]

El 52.48% de los residuos plásticos se destina a la fabricación de envases y embalajes, de las cuales el 13%6 se utiliza en la fabricación de PET. Equivalentes a una producción anual de entre 8,000 y 12,000 millones de botellas. El 65% de los envases elaborados de PET se utilizan para la fabricación de refrescos. [9]



Figura 1. Se observa un ejemplo de la problemática que existe con el PET en el medio ambiente.

Hasta el momento, la información recabada no permite determinar la cantidad de envases de PET que se encuentran dispuestos inadecuadamente; sin embargo, es notoria su presencia en los cauces de corrientes superficiales y en el drenaje, provocando taponamiento del sistema y dificultades en los procesos de desazolve, lo que facilita inundaciones en la temporada de lluvias; además de generar "montañas" de envases en las orillas de los cauces de ríos. Los lotes baldíos representan también un fuerte foco de atracción para el desecho de diversos residuos, de entre los cuales destacan los envases de PET. ^[9]

A pesar de que las características físicas y químicas aseguran que este material es inerte en el medio ambiente, el impacto visual que produce la inadecuada disposición de estos envases es alto y muy perceptible por la población. ^[9]

VII.12 RECICLADO DEL PET

Los recipientes son 100% reciclables. Siendo el envase sumamente ligero, también ayuda a disminuir la formación de desechos de empaque al mismo tiempo que reduce la emisión de contaminantes durante su transporte. Además, dado que se requiere menos combustible durante su transporte, también ayuda a la conservación de la energía. [7]

Fue en 1977 que la primera botella fue reciclada y se convirtió en una base de una nueva botella. Pronto sin embargo, la industria de fibra descubrió la "nueva" fuente de material y empezó a usarlo para hacer textiles y alfombras. Hoy, aunque la "botella para embotellar" y el proceso de reciclado está creciendo, el mercado de fibra todavía es la mayor para el PET recuperado. Estos recipientes se usan para toda clase de bebidas: como cerveza y jugos de fruta que son sensibles a la luz. De hecho el sabor de los jugos y la cerveza pueden degradarse si la luz UV penetra las paredes del recipiente. El PET puede acomodarse a las necesidades del gusto de jugos de fruta, gracias a una barrera funcional que puede insertarse dentro de las paredes de la botella. Esto es lo que se llama "botellas de barrera" en el argot del PET. Para dar nacimiento a un nuevo producto, deben coleccionarse los recipientes usados por encima de todo. Hoy día, la mayor parte de las ciudades europeas y americanas ha puesto en lugar un esquema de la colección para recuperar los artículos reciclables. [7]



Figura 2. Reciclado del PET a grandes volúmenes.

El segundo paso en recuperar es enviar el material a una planta dónde los materiales son separados según su naturaleza. Las botellas recuperadas entonces son perforadas y embaladas y enviadas a un reclamador. El reclamador, es una fábrica que trasforma las botellas en hojuelas de PET, el material crudo es la base de los productos reciclados. La primera cosa que el reclamador tiene que hacer es desembalar los bultos. Para asegurarse que el producto final será tan puro como sea posible, las botellas desembaladas se ordenan una vez más después se pre-lavan y las convierten en hojuelas. Las hojuelas se lavan, secan, se almacenan y se venden. Cuando las hojuelas se venden entra en acción el verdadero proceso de reciclado: se funden las hojuelas, se obtiene el material, y entonces es fabricado un nuevo producto.

Todos los productos hechos de un solo tipo de plástico deben ser marcados ya que probablemente se les desechará algún día. Esto incluye juguetes, ganchos de plástico, botes de basura, estantes y muchos productos más.

Los productos tales como los discos compactos, videocintas y discos de computadora son hechos de materiales mezclados que no se pueden reciclar, a menos que se les desacople primero. [7]

Hay que tener en cuenta que en los principales países consumidores de PET: Italia, Francia, Reino Unido y España, los sistemas de recogida selectiva de envases aún se encuentran en una etapa relativamente incipiente. Así, en Italia se recupera un 10% del consumo total de PET, mientras que en los otros tres países las cifras son aún más modestas, entre el 1 y el 3%. Comparativamente, estas cifras están muy lejos del 35% que se alcanza en Estados Unidos, o de porcentajes cercanos al 90% de reciclado que se consiguen en Holanda, Suiza y Suecia. [7]

El reciclado es el reproceso de los materiales, en este caso del PET, para acondicionarlos con el propósito de integrarlos nuevamente a un ciclo productivo como materia prima. [11]

Hay tres maneras de aprovechar los envases de PET una vez que terminó su vida útil: someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico, o a un reciclado energético empleándolos como fuente de energía. El ciclo de vida se muestra en este diagrama:



Figura 3. Proceso y reproceso de los materiales plásticos (PET) [11]

VII.13 TECNICAS DE RECICLADO

Con el objeto de encontrar soluciones para manejar desechos plásticos, se desarrollaron algunas técnicas de reciclado; sin embargo, para llevar a cabo esta tarea es importante considerar algunos factores:

- **Factor Ecológico:** Ayuda a resolver el problema de desperdicios plásticos, se ahorra hasta el 88% de la energía que se requiere para producirlos a partir de petroquímicos y conservar los recursos naturales al reutilizar los petroquímicos.
- **Factor Económico:** El precio del material reciclado debe ser menor que el virgen, con lo que el costo del producto se reduce y puede competir en el mercado. Existe un gran ahorro de energía cuando se reciclan plásticos por que

consume menos que la empleada para transformar los plásticos a partir de petroquímicos.

- **Factor de Escasez:** La transformación de plástico ha crecido y, además ha atravesado por varias crisis de materiales. Estos dos factores propician la escasez y desabasto de materias primas que originan buscar otras fuentes de abasto como los plásticos reciclados. [6]

VII.13.1 TENDENCIAS DE DESECHOS PLASTICOS

La secuencia de acciones para disminuir el problema que generan los materiales de vida útil corta se describe en la figura 4:

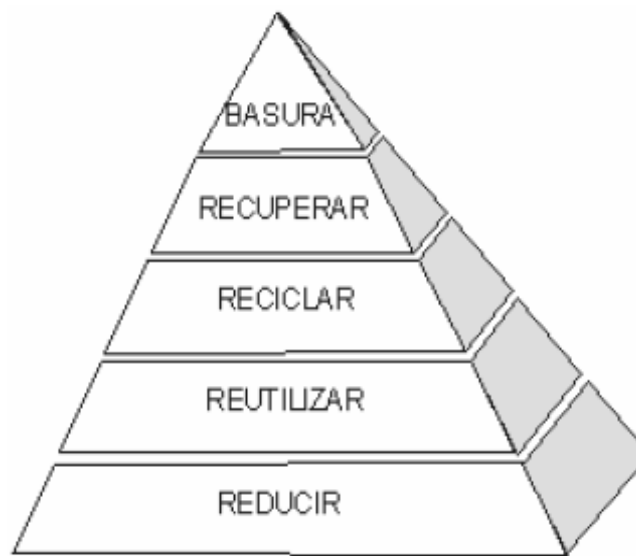


Figura 4. Los pasos a seguir para disminuir la problemática de los plásticos.

VII.13.2 RECICLADO MECÁNICO

La técnica más utilizada en la actualidad es el reciclado mecánico. Consiste en la molienda, separación y lavado de envases. Las escamas resultantes de este

proceso se pueden destinar de forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión. [6]



Figura 5. Reciclado mecánico con mezcla de materiales. [6]

VII.13.3 RECICLADO QUÍMICO

Actualmente se están desarrollando tecnologías a escala industrial para el reciclaje químico que consiste en la separación de los componentes básicos de la resina y la síntesis de la nueva materia virgen, lo cual permite ampliar la gama de los materiales a reciclar y el sustancial ahorro de gas y petróleo, que son las materias básicas del PET.

Existen varios procesos de reciclado químico, de los cuales los más importantes son: metanólisis, glicólisis e hidrólisis. [6]



Figura 6. Proceso de metanolisis. [6]

VII.13.4 RECICLADO DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

Dentro de las estrategias de las RRR's, existe la alternativa de aprovechamiento energético tal cual se aplica en varios países extranjeros. El PET como ya se menciona es un polímero que está formado solo por átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno, por lo cual al ser quemado solo produce dióxido de carbono y agua ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) con desprendimiento de energía.

Es posible aprovechar este material como combustible en los casos donde por costos de acopio y transporte sea inviable algún otro procedimiento de reciclado, para calefacción de asilos, escuelas y otros usos como la fabricación de ladrillos, etc. [6]

Un gramo de PET libera una energía de 22, 075 Btu similar a la que tienen otros combustibles derivados del petróleo.

VII.13.4.1 Contenido energético

COMBUSTIBLE	Btu/g
Poliolefinas	43, 929
Carbón	23, 178
PET	22, 075
Papel periódico	17, 660
Basura húmeda	6, 181

[6]

VII.14 EL PROCESO DEL RECICLADO DEL PET, CONSISTE EN:

- Acopio
- Selección
- Molido
- Lavado y secado
- Peletizado
- Transformación en producto

VII.15 VENTAJAS DEL RECICLAMIENTO

Actualmente, se cuenta con este tipo de procesos de reciclaje, pero la diferencia al que se propone, es que se utiliza material reciclable conocido por envases PET lo cual representa un ahorro significativo al no utilizar material virgen, el cual podríamos sustituir por material reciclado.

Se reducen así los agentes contaminantes que dañan el ecosistema.

Si el proceso se lleva a cabo industrialmente tendrían un nivel con más complejidad significativa en su automatización total de todo el proceso y generaría empleos.

El tipo de mercado al que se enfocaría el producto, lo determinaría la necesidad del consumidor y la de el entorno pudiendo ser estas las de diferentes mercados como por ejemplo en áreas de oficinas, usos domésticos e industriales, en la industria de la construcción, etc.

El reciclado se basa en la utilización de envases desechables o envases PET como materia prima que actualmente encontramos en las calles de la ciudad y sobre todo en los hogares de diferentes partes del mundo. ^[8]

VII.16 USOS Y APLICACIONES DEL PET RECICLADO

La industria incorpora a sus procesos de producción, el material de PET reciclado. Este material debe cumplir con algunas especificaciones que dependerán para el uso o para el producto que se pretende fabricar, pero en general, se debe contar con un producto de excelente calidad. ^[8]

Después de ser reunido, seleccionado y limpiado, los envases PET pueden ser reciclados en muchos productos nuevos. El PET reciclado es transformado en varios tipos de ropa de poliéster, alfombras, fibras para bolsas de dormir (sleeping bags) y abrigos, auto partes, correas industriales y hasta nuevas botellas de plástico.

Existen 5 grandes clasificaciones:

1. Aplicaciones de embalaje (como botellas nuevas)
2. Aplicaciones en láminas y film (láminas para rayos X)
3. Correas
4. Resina industrial (fabricación de autopartes)
5. Fibras (como alfombras y otras fibras textiles)

PARA LA INDUSTRIA TEXTIL

Ya sea como filamento continuo o como fibra cortada, el PET encabeza a los polímeros textiles. Se emplea para la producción de fibras de confección, es muy utilizado en mezclas de diversos porcentajes con el algodón, y para rellenos de edredones o almohadas, además de manufacturarse con los tejidos industriales de sustentación para cauchos, lonas, bandas transportadoras y otros numerosos artículos. ^[8]

Entre los productos que se elaboran a partir de PET reciclado, se pueden mencionar:

- Fibra poliéster (54.50 %)
 - Para relleno térmico
 - Para alfombras
 - Para ropa
 - Material de relleno
 - Mantas
 - Mochilas, ropa deportiva y zapatos
- Envases para alimentos (14.40 %)
- Correas (13.20 %)
 - Cinturones
 - Fleje
- Contenedores (7.20 %)
 - Contenedores para reciclado
 - Envases de productos no alimenticios
- Hojas y films (6.60 %)
 - Cascos para botes
- Otros (2.70 %)
 - Combustible alternativo
 - Madera plástica
 - Muebles
 - Autopartes (facias, tapas de distribuidor y paneles exteriores)
- Resina (1.40 %)
 - Aisladores

- Tapones
- Monofilamentos y cabos ^[8]

VII.17 NORMA PARA EL RECICLADO DEL PET

En la Legislación Ambiental, existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) que son aplicables y complementarias a los preceptos relacionados al manejo de los residuos sólidos y se pueden agrupar en:

- Tratamiento y Disposición Final de residuos sólidos.
- Generación de residuos sólidos.
- Peso volumétrico
- Composición de los residuos sólidos.
- Características físicas y químicas de los residuos sólidos municipales.

Símbolo Internacional del Reciclaje



Norma Oficial Mexicana NMX-E-232-CNCP-2005

Que la Norma Mexicana NMX-E-232-CNCP-2005 establece y describe los símbolos de identificación que deben portar los productos fabricados de plástico en lo que al material se refiere, con la finalidad de facilitar su recolección,

selección, separación, acopio, reciclado y/o reaprovechamiento. El símbolo está constituido por un triángulo formado por tres flechas, un número en el centro que indica el tipo de plástico y por debajo del triángulo la abreviatura que identifica a dicho plástico. [5]

VII.18 TIPOS DE PLÁSTICOS

En México se consumen más de 200,000 botellas de plástico cada hora, y las tendencias de empaques en bienes de consumo han provocado que esta cifra se incremente día a día. Existen más de 50 tipos diferentes de plásticos, dentro de los cuales 7 son los más comunes. [4]

Los plásticos que encontramos en el mercado suelen diferenciarse mediante un número del "1" al "7", ubicado generalmente en su parte inferior. Esta es la clasificación de la Sociedad de Industrias del Plástico (SPI en inglés), que ha sido adoptada en todo el mundo. Dado que la calidad de un plástico se deteriora rápidamente al combinarlo con otro plástico diferente, la utilidad de este código es ayudar en la separación de los diferentes tipos de plástico y maximizar así el número de veces que pueden ser reciclados. El significado de este código se muestra a continuación:

Abreviatura	Nombre completo
1 PET, PETE	Polietilén tereftalato
2 HDPE, PEAD	Polietileno de alta densidad
3 V, PVC	Cloruro de polivinilo
4 LDPE, PEBD	Polietileno de baja densidad
5 PP	Polipropileno
6 PS	Poliestireno
7 otro	

Códigos de los diferentes tipos de plásticos.

Dentro de "otros" podemos encontrar plásticos como el poliuretano (PU), acrilonitrilo-butadienestireno (ABS), policarbonato (PC) y los biopolímeros.

Sin plásticos, se necesitaría de un 400 por ciento de material adicional por peso, y de un 200 por ciento de material adicional por volumen para hacer productos de empaquetar, en tanto que el volumen del empaquetado crecería lo doble. [4]

Al usar plástico reciclado en embalajes, los fabricantes de productos estadounidenses ahorrarían cada año la energía suficiente para dar electricidad a una ciudad de un millón de casas por tres años y medio. [4]

VII.19 CODIFICACIÓN DE PLÁSTICOS

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos existe un sistema de codificación que se muestra en la Tabla 1. Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado con el código correspondiente en medio según el material específico. [3]

Los plásticos son materiales sintéticos caracterizados por su elevado peso molecular, poco peso específico y muy moldeables, están hechos de sustancias químicas y aceites a través de un proceso llamado polimerización.

La polimerización es la reacción química, en la que varias moléculas se combinan para formar otra en la que se repiten unidades estructurales de las primitivas. Estos plásticos se identifican con números del 1 al 7 dentro de un triángulo de flechas, normado en México por la norma NMX-E-232-SCFI-1999, ya que cada plástico tiene sus propiedades y aplicaciones específicas.

TABLA 1



Figura 7. Diferentes tipos de plásticos

VII.19.1 PET

Figura 8. (Tereftalato de Polietileno)

Sus propiedades más características son:

- Alta rigidez y dureza.
- Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes.
- Superficie barnizable.
- Gran indeformabilidad al calor.
- Muy buenas características eléctricas y dieléctricas.

- Alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras.

El PET es un plástico técnico de gran calidad para numerosas aplicaciones. Entre ellas destacan:

- Fabricación de piezas técnicas
- Fibras de poliéster
- Fabricación de envases

Por ello, entre los materiales más fabricados destacan: envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, medicamentos. [3]

VII.19.2 PEAD (HDPE)



Figura 9. (Polietileno de alta densidad)

Sus propiedades más características son:

- Se obtiene a bajas presiones.

- Se obtiene a temperaturas bajas en presencia de un catalizador órgano-metálico.
- Su dureza y rigidez son mayores que las del PEBD.
- Su densidad es 0,94.
- Su aspecto varía según el grado y el grosor.
- Es impermeable.
- No es tóxico.

Entre los materiales más fabricados con este plástico destacan: envases de leche, detergentes, champú, baldes, bolsas, tanques de agua, cajones para pescado, juguetes, etc. [3]

VII.19.3 PVC



Figura 10. (Policloruro de vinilo)

Sus propiedades más características son:

- Es necesario añadirle aditivos para que adquiera las propiedades que permitan su utilización en las diversas aplicaciones.
- Puede adquirir propiedades muy distintas.
- Es un material muy apreciado y utilizado.
- Tiene un bajo precio.
- Puede ser flexible o rígido.
- Puede ser transparente, translúcido u opaco
- Puede ser compacto o espumado.

Los materiales que más se fabrican con este plástico son: tuberías, desagües, aceites, mangueras, cables, simil cuero, usos médicos como catéteres, bolsas de sangre, juguetes, botellas, pavimentos... [3]

VII.19.4 PEBD (LDPE)



Figura 11. (Polietileno de baja densidad)

Sus propiedades más características son:

- Se obtiene a altas presiones.
- Se obtiene en temperaturas altas y en presencia de oxígeno.
- Es un producto termoplástico.
- Tiene densidad 0,92
- Es blando y elástico
- El film es totalmente transparente dependiendo del grosor y del grado.

Los materiales más fabricados con este plástico son: poliestireno, envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes, aislante de cables eléctricos, rellenos... ^[3]

VII.19.5 PP

Figura 12. (Polipropileno)

Sus propiedades más características son:

- Excelente comportamiento bajo tensiones y estiramientos.
- Resistencia mecánica.
- Elevada flexibilidad.
- Resistencia a la intemperie.
- Reducida cristalización.
- Fácil reparación de averías.
- Buenas propiedades químicas y de impermeabilidad.
- Aprobado para aplicaciones con agua potable.
- No afecta al medio ambiente.

Los materiales fabricados más destacados de este plástico son: envases de alimentos, artículos de bazar y menaje, bolsas de uso agrícola y cereales, tuberías de agua caliente, films para protección de alimentos... [3]

VII.19.6 PS



Figura 13. (Poliestireno)

Sus propiedades más características son:

- Termoplástico ideal para la elaboración de cualquier tipo de pieza o envase
- Higiénico y económico.
- Cumple la reglamentación técnico - sanitaria española.
- Fácil de serigrafiar.
- Fácil de manipular,
- se puede cortar
- se puede taladrar

- se puede perforar.

Los materiales que se fabrican con este plástico son: envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes, rellenos... [3]

VII.19.7 Otros



Figura 14. (Resinas epoxídicas)

(Resinas Fenólicas)

(Resinas Amídicas)

(Poliuretano)

Estos plásticos sirven para fabricar:

- resinas epoxídicas -adhesivos e industria plástica.
- Resinas fenólicas-Industria de la madera y la carpintería.
- Resinas amídicas-Elementos moldeados como enchufes, asas de recipientes...
- Poliuretano-Espuma de colchones, rellenos de tapicería... [3]

VII.20 ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS

- Retornabilidad
- Reuso de molienda
- Fibras
- Polioles para poliuretanos
- Poliésteres no saturados
- Envases no alimenticios
- Alcohólisis/ Metanólisis
- Incineración.

VII.21 DATOS TÉCNICOS

Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C	1.07 kg/m.s
Punto de fusión °C	aprox. 252/260
Acetaldehído	ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos	mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm ³] aprox.	0.85

VII.22 VALORES DE PERMEABILIDAD

Oxígeno 23°C, 100% RF	2
Nitrógeno 23°C , 100% RF	9
Permeabilidad al vapor de agua	0.9
Dióxido de carbono	5.1

[2]

VII.23 RESISTENCIA QUÍMICA DEL PET

Buena resistencia general en especial a:

- ♦ Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes.

Poca resistencia a:

- ♦ Solventes halogenados, aromáticos y cetonas de bajo peso molecular. [2]

VII.24 CARACTERÍSTICAS DEL PET

Biorientación: Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.

Cristalización: Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción.

Esterilización: El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma. [2]

VII.25 VENTAJAS DEL RECICLAMIENTO DEL PET

Propiedades únicas: Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas.

Costo/Performance: El precio del PET ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC-PP-LDPE-GPPS en los últimos 5 años.

Disponibilidad: Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica.

Reciclado: El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET, lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son lo suficientemente altas como para asegura la esterilización del producto. [2]

VII.26 DESVENTAJAS DEL RECICLAMIENTO DEL PET

Secado: Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005%

Costo de equipamiento: Los equipos de inyección soplado con biorientación suponen una buena amortización en función de gran producción. En extrusión soplado se pueden utilizar equipos convencionales de PVC, teniendo más versatilidad en la producción de diferentes tamaños y formas.

Temperatura: Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente. **Excepción:** el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 ° C.

Intemperie: No se aconseja el uso permanente en intemperie. [2]

VII.27 LAS PRINCIPALES EMPRESAS FABRICADORAS DE PET EN EL PAIS

Envases Primo Cuevas, S.A. de C.V. Av. Industria química 3 santa clara coatitla, Ecatepec, estado de México, 55540, México

Fábrica de Envases Valdo, S.A. de C.V. . Norte 16 numero 4911, Delegación Gustavo A. Madero, 07380, Distrito Federal

Industrias Tecnoplast, S.A. de C.V. 1 293, delegación iztacalco 08100, Ciudad de México, Distrito Federal.

Neopack México, S.A. de C.V. Av. Platón numero 138, col. Parque, Indl. Kalos de Pte. 66600, Apodaca, Nuevo León, México.

Maxipet S.A. de C.V. Central 206 Tolteca, Álvaro Obregón, 01 180, Distrito Federal.

ABC Plásticos y Envases, S.A. de C.V. Vicente Suarez numero 139-3, Condesa, Cuauhtémoc 06140, Ciudad de México, Distrito Federal.

Comercial Metalplast, S.A. de C.V. Cacama numero 23, Santa Isabel Tola, Delegación Gustavo A. Madero, 07010, Ciudad de México, Distrito Federal. ^[10]

VII.28 LAS PRINCIPALES EMPRESAS RECICLADORAS DE PET EN EL PAIS

RECICLAR S. A. Heredia 3220, Sarandí, Buenos Aires, Argentina.

RECIPET Camino Santa Margarita 01501, San Bernardo, Santiago, Chile.

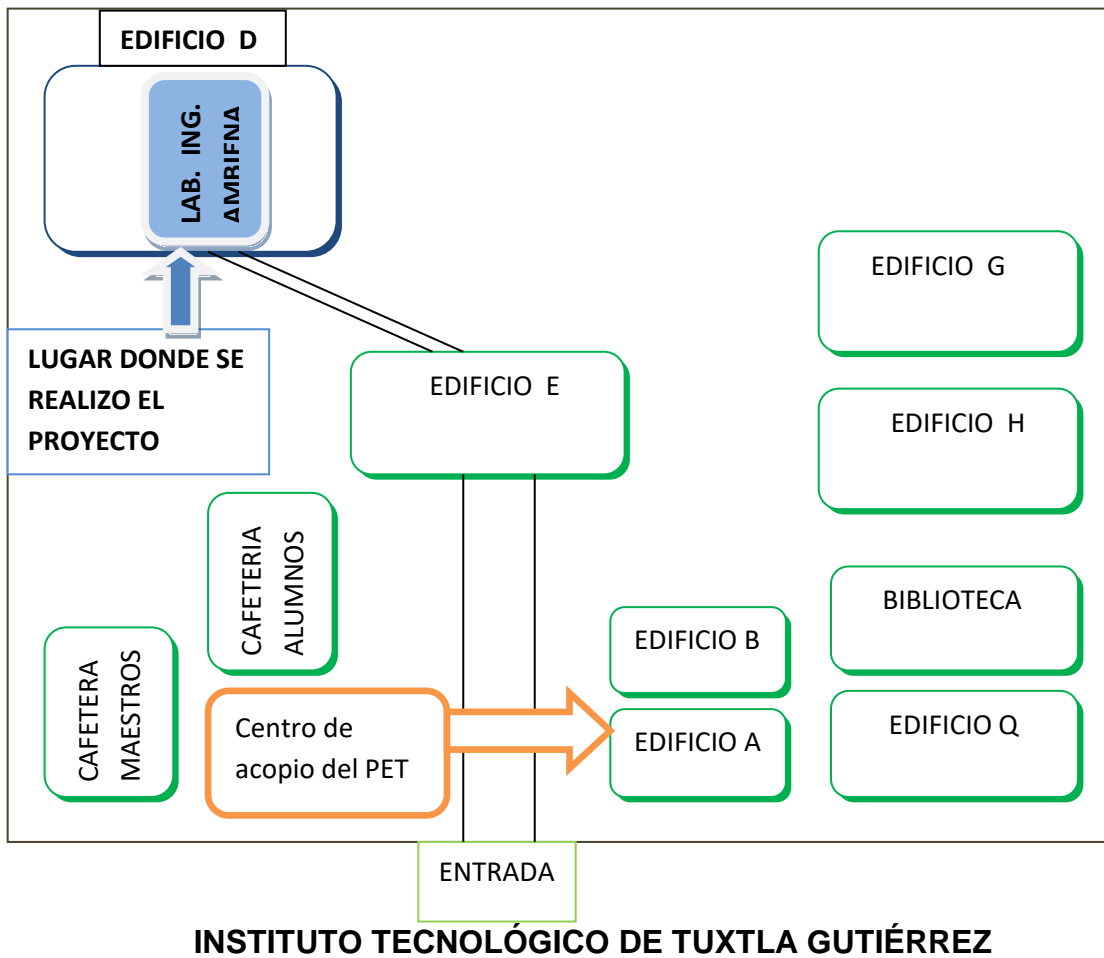
LOMPLAST S. A. San Martin 1657, Villa Loma Hermosa, Buenos Aires,
Argentina.

EL VENDAVAL RECICLADOS S. R. L. Calle 9 numero 210, las Parejas, Santa
Fe, Argentina.

QUANTA Parque Industrial “Gral. Manuel Belgrano”, Paraná, Entre Ríos,
3100, Argentina. ^[11]

VIII.PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

1.- Se hizo la recolección del PET de los centros de acopio localizados en diferentes puntos del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en el cual se recolectaron botellas PET de refresco de capacidad de 3 L.



Carretera Panamericana Km 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

MATERIALES QUE SE UTILIZARON DURANTE LA PRÁCTICA:

>1 mufla de hasta un rango de temperatura de 1200 °C.

>1 molde circular de acero al carbón.

>1 tijera.

>1 cinta masking.

>1 franela.

<Agua y jabón.

2.- Se realizó el lavado de las botellas PET con agua potable y detergente para eliminar toda suciedad y etiqueta que contenga, y obtener una mejor limpieza para su manejo.

3.- Posteriormente se llevo a cabo el secado del material durante un día a la temperatura ambiente en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental para su proceso de trituración.

4.- Se realizó la trituración manual del PET con una tijera, obteniéndose en tamaño de hojuelas.

5.- Se diseñó el molde con material acero al carbón para la fundición del PET.

6.- Se realizó el pesado del molde y el pesado del material a fundir en una balanza analítica.

7.- Una vez obtenido el peso del material PET, se introdujo el molde a una mufla la cual cuenta con un rango de temperatura de hasta 1,200 °C.

8.- Conociendo su punto de fundición del material PET, se realizaron varias pruebas de fundición con temperaturas de 240 °C, 260 °C, 280 °C y 300 °C a diferentes tiempos de 10, 20 y 30 minutos.

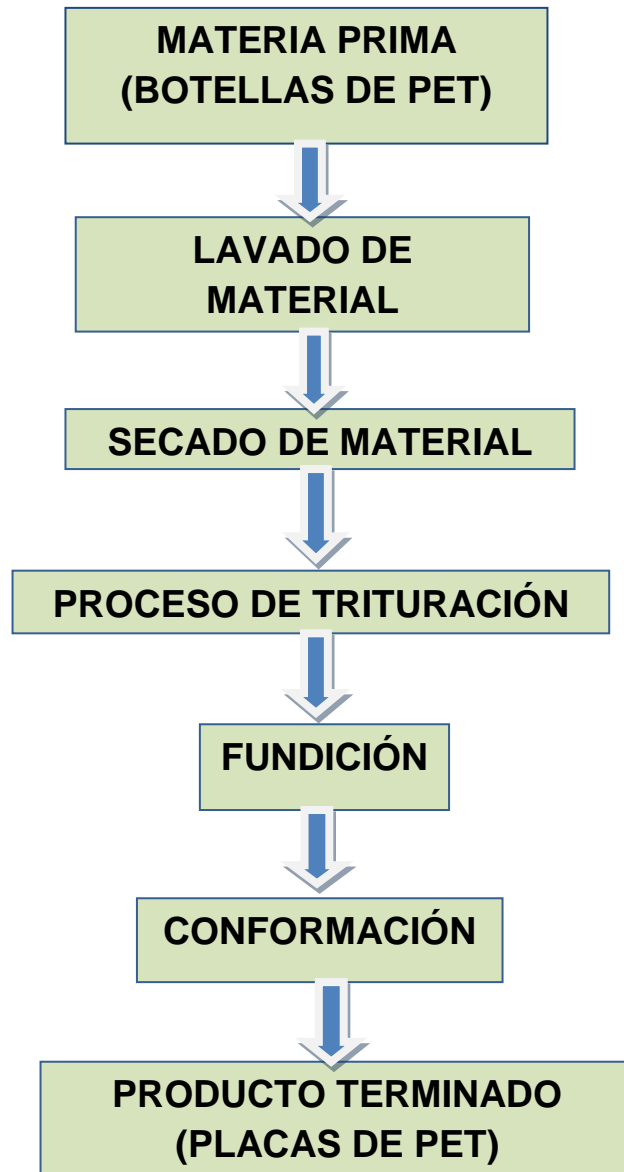
9.- Se tomaron todas las notas que se observaron en el proceso, desde la entrada de materia prima hasta el producto terminado.

10.- Por último, se obtuvo la placa de PET de forma circular en base al molde que se utilizó de un grosor de 2 y 3 cm de color blanco oscuro y se realizó el pesado de la misma, obteniendo el balance de materia.

11.- Posteriormente la placa de PET se puso a prueba en el centro de maquinado del laboratorio de sistemas de manufactura donde se utilizaron equipos como el barrenado pequeño de 3/16, en el cual se le determinó el barrenado para observar el comportamiento de la viruta, su cristalizado y cohesión para observar si la placa se mantiene en forma o se rompe al aplicarle el barrenado; con la sierra cinta se le realizó el corte en el fondo de la placa para observar si existe un buen corte o se rompe o se pulveriza, con el maquinado torno se le realizó un corte mediante una compresión para observar su resistencia y durabilidad de la placa, que tanto soporta al aplicarle una fuerza, se le determinó su densidad aparente sumergiendo un pedazo de la placa en una probeta con agua, se realizaron pruebas de combustión, aplicándole llama a la placa para observar su

comportamiento y características de ésta, pruebas con rayos solares, entre otros. Los datos de los resultados finales que se realizaron en el laboratorio se encuentran en el capítulo IX de resultados y las imágenes ver Anexo 1.

VIII.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO



VER ANEXO 1

IX.RESULTADOS

DEL PROCESO DEL RECICLAMIENTO DEL PET, SE OBTUVIERON LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE FUNDICION (min)	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO (hrs)	TIEMPO TOTAL DEL CICLO (hrs)
300	20	5:30	5:50
300	10	5:25	5:35
280	30	5:05	5:35
280	20	4:55	5:15
280	10	4:50	5:00
260	30	4:35	5:05
260	20	4:30	4:50
240	30	4:20	4:50
240	20	4:15	4:35
220	95	4:10	5:45

VER ANEXO 2

***300 °C, 30 minutos se quema**

***260 °C, 10 minutos no funde**

***240 °C, 10 minutos no funde**

***220 °C, se funde a un tiempo de 1:35 hrs**

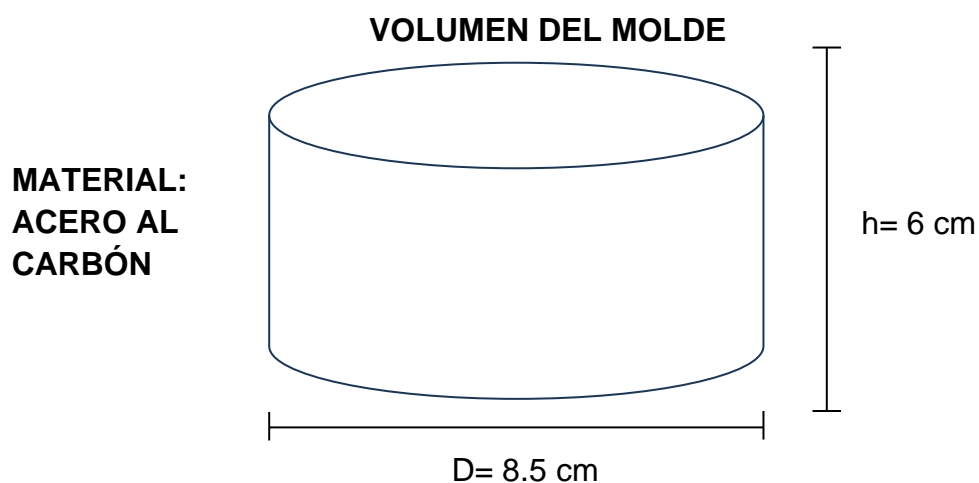
Las botellas mencionadas anteriormente, tienen un peso promedio de 51.35 g, lo cual indica que para llenar el molde de PET ya triturado, se necesita una botella entera de 3 L y aproximadamente 10 g de otra botella, para llenar el molde al tope

para su fundición, ya que éste tiene una capacidad promedio de 61 g de PET triturado.

BALANCE DE MATERIA

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE FUNDICIÓN (min)	MATERIA PRIMA (g)	PRODUCTO TERMINADO (g)	PÉRDIDA DE M.P. (g)
300	20	60.69	59.66	1.03
300	10	60.89	60.07	0.82
280	30	60.73	58.86	1.87
280	20	60.17	59.59	0.58
280	10	61.35	60.55	0.8
260	30	61.38	60.81	0.57
260	20	61.05	60.48	0.57
240	30	60.44	59.77	0.67
240	20	61.15	60.37	0.78
220	95	60.60	59.97	0.63

*M.P.= Materia Prima



$$V = \pi * r^2 * h$$

$$r = D/2 = (8.5 \text{ cm})/2 = 4.25 \text{ cm}$$

$$V = \pi * (4.25 \text{ cm})^2 * (6 \text{ cm}) = \text{Volumen del molde} = 340.47 \text{ cm}^3$$

Este molde está construido a base de acero al carbón en forma circular, en el cual le calculamos su volumen para saber su capacidad que contiene, el cual se utilizó para la fundición del PET.

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE FUNDICIÓN (min)	MASA DE LA PLACA (g)	VOLUMEN OCUPADO* (ml)	DENSIDAD APARENTE (g/cm³)
300	20	12.932	9.7	1.333
300	10	4.91	3.5	1.403
280	30	7.106	5.1	1.393
280	20	13.972	11.2	1.246
280	10	3.715	2.9	1.281
260	30	4.316	3.1	1.392
260	20	6.659	5.8	1.148
240	30	5.571	4	1.393
240	20	8.873	7.2	1.233
220	95	4.948	3.9	1.269

*Volumen ocupado en la probeta

VER ANEXO 4

RESULTADOS DE PRUEBAS QUE SE LE REALIZARON A LAS PLACAS DE PET EN EL LABORATORIO:

Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Ing. Ambiental, en el cual la placa de PET obtenida se le realizó pruebas con llama y rayos solares, densidad aparente, para comparar si sus características son similares tanto en el PET normal como en el PET fundido y estos fueron los resultados:

PROPIEDADES QUÍMICAS	OBSERVACIONES
EFFECTO DE LOS RAYOS SOLARES	SE PONE OSCURO
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	NO
COMPORTAMIENTO C/LA COMBUSTIÓN	ARDE CON FACILIDAD
PROPAGACIÓN DE LLAMA	NO LA MANTIENE
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	GOTEA
COLOR DE LA LLAMA	AMARILLO ANARANJADO
OLOR AL QUEMARLO	A DULCE (COMO AZÚCAR QUEMADA)

VER ANEXO 5

PRUEBAS DE MAQUINADO EN APARATOS ELECTRÓNICOS

Equipo de barrenado pequeño 3/16: se le determinó la característica de viruta, consiste si el barrenado es continuo o no, y a que profundidad de la placa PET llega el barrenado, si el entornillado resulta recto o a un costado. La cohesión consiste en que tanto pueden soportar las moléculas de la placa al hacerle el barrenado, si se mantiene en forma o se rompe. Si se mantiene en forma tiene una alta cohesión, si se rompe tiene baja cohesión. El cristalizado consiste en que si la placa PET presenta una cristalinidad en la superficie, si es alta el taladrado tiene un bajo rendimiento, no hay un buen barrenado y viceversa.

Sierra cinta: se le realizó el corte en el área no expuesta al calor, es decir, el fondo con la sierra cinta, para observar si tiene un buen corte o no.

Maquinado torno: se le realizó un corte con una compresión a la placa para ver que tanto resiste este proceso.

RESULTADO EXPERIMENTAL

Barrenado pequeño 3/16	20 min 260 °C	20 min 280 °C	10 min 280 °C	20 min 260 °C	20 min 260 °C	10 min 280 °C
Característica de viruta	Corta	Corta	Media	Larga	Larga	Corta
Cohesión	Alta	baja	Baja	Alta	Baja	Alta
Cristalizado	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja
Sierra cinta: Corte en área no expuesta a calor (fondo)	Buena	Mala	Regular	Buena	Regular	Mala
Maquinado torno	Bueno	Regular	Mal	Regular	Bueno	Regular

Barrenado pequeño 3/16	30 min 280 °C	30 min 260 °C	20 min 260 °C	30 min 260 °C	10 min 280 °C	20 min 280 °C
Característica de viruta	Larga	Larga	Larga	Corta	Corta	Corta
Cohesión	Alta	Media	Alta	Baja	Baja	Baja
Cristalizado	Baja	Baja	Baja	Baja	Media	Alta
Sierra cinta: Corte en área no expuesta a calor (fondo)	Regular	Mal	Regular	Mal	Regular	Mal
Maquinado torno	mal	bueno	bueno	mal	bueno	mal

VER ANEXO 6

VER ANEXO 7

VER ANEXO 8

X.CONCLUSIONES

Durante las pruebas de laboratorio se observó que a la temperatura de 260 °C a un tiempo de fundición de 20 minutos, se obtuvo la placa de PET con la propiedad del color blanco opaco y más consistente como se requería, sabiendo que su punto de fusión del PET es de aproximadamente de 260 °C. A una temperatura mayor a 300 °C el PET se carboniza y una temperatura de 220 °C hacia abajo, se funde pero a un largo periodo de tiempo, es decir, se lleva horas para que el PET se funda.

Sin lugar a dudas el proceso de reciclaje de PET o cualquier otro material es de suma importancia, es por esto que el desarrollo de este trabajo permitirá mejorar la calidad de vida de un sin número de personas.

Es perceptible que en México aún existe un gran estrecho entre la cultura del reciclaje, y es más común con las botellas de plástico PET, es por ello que si no comenzamos con el desarrollo de técnicas para aprovechar nuestros recursos y no le damos el peso necesario, tendremos en un futuro no muy lejano un problema irreversible.

De forma directa se recomienda darle continuidad al desarrollo de este proyecto y a trabajos de impacto ambiental similares, debido a que si no utilizamos los recursos que nos son proporcionados, no solo físicos sino también intelectuales, no estaremos contribuyendo con la sociedad para mejorar nuestra calidad de vida.

Es tarea de todos el fomentar una cultura del reciclaje en México. En donde Gobierno, Industria y Sociedad deben unir esfuerzos para disminuir los daños al medio ambiente y trabajar por contrarrestar los problemas que se viven

actualmente como lo es la disminución de la capa de ozono y el calentamiento global.

El reciclaje es además, una actividad de vital importancia ya que más de 5,000 familias a nivel nacional viven directamente de esta actividad. Esta tarea la cual requiere de un trabajo arduo y de mucha constancia, se ha convertido en una importante alternativa de fuente de ingresos para las personas que por distintas razones, no han tenido aceptación formal en el mercado laboral.

RECOMENDACIONES

>Se debe trabajar intensamente en la creación de una conciencia de reciclaje.

En su parte operativa se necesario informar, concienciar y luego normar la separación de la basura en origen de modo de obtener envases de PET los más limpios posibles.

>La implementación del proyecto a nivel industrial en el menor tiempo posible para lograr impactos favorables tanto en la economía de la región, como en la parte de cuidado del medio ambiente.

>La educación de los niños con campañas educativas adecuadas que logren formar ciudadanos responsables de su entorno.

Este proyecto es muy viable porque si se cumplieron con los objetivos especificados, tiene un futuro prometedor y se puede ampliar mucho más en el cual pueden realizarse otras actividades beneficiantes tanto al medio ambiente como a la sociedad, este proyecto es positivamente bueno y aceptable para que el PET sea reciclado y con la finalidad de obtener otros subproductos de gran garantía y con una economía muy accesible.

SUGERENCIAS:

- > Se requiere de una mufla más grande y de mayor capacidad para que las pruebas se realicen de una manera más rápida y eficiente y que el molde sea cuadrado y de acero inoxidable para evitar deteriorarse más rápidamente y para que el estudio del PET sea más preciso.

- > Tener una tecnología de punta para estos procesos y que este proyecto llegue a nivel industrial, contando con los equipos necesarios y que no solamente se fabriquen placas de PET para centros de maquinado en aparatos electrónicos, sino también que se fabriquen nuevas botellas para refrescos, maceteros, fantasmas de carreteras, entre otros.

- > Se requieren de más equipos con tecnología de punta para realizar un trabajo más eficiente y eficaz y esto es debido a la falta de recursos por parte del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

XI.FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] Wikipedia; Tereftalato de polietileno. Agosto del 2011.
http://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno.
- [2] Textos científicos; Polímeros, Pet. Agosto del 2011.
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>.
- [3] Ecologismo; Codificación de plásticos. Noviembre del 2011.
<http://www.ecologismo.com/2009/03/24/codificacion-de-plasticos/>.
- [4] Rincón del vago; Tipos de plásticos. Diciembre del 2011.
http://html.rincondelvago.com/tipos-de-plasticos_1.html.
- [5] Serie de Legislación Ambiental N. 4, Normas Oficiales Mexicanas Vol.1. Raúl Brañes. Editorial PNUMA, Mayo de 1995. México, D.F. Diciembre del 2011.
- [6] Ingeniería Ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Gerard Kiely. Mc Graw Hill. 1^{ra} edición, 1999. Interamericana de España S.A.U. Madrid, España. Octubre del 2011.
- [7] Manual de Auditoría Medioambiental. Lee Harrison. Mc Graw Hill. 2^{da} edición, 1996. Interamericana de España S.A.U. Madrid, España. Septiembre del 2011.
- [8] Mikell P. Groover, 1997, Fundamentos de manufactura moderna, Edit. Prentice Hall. Slideshare; Ventajas del reciclaje. Enero del 2012.
<http://www.slideshare.net/lupmichow/ventajas-del-reciclaje>.
- [9] El Cambio Global en el Medio Ambiente. Manuel Ludevid Anglado. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. 1^{ra} edición, 1998. Barcelona, España. Octubre del 2011.
- [10] William F. Smith en su libro Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Quiminet; Fabricantes de Pet. Febrero del 2012.
<http://pr81.quiminet.com/fabricantes%2Bde%2Bresina%2Bvirgen%2BPET.htm>.
- [11] Ecoce; Ecoce, operación, presentación Pet. Marzo del 2012.
<http://www.ecoce.mx/Ecoce.Presentacion.Operacion/Pet/index.html>.
- [12] J. Glynn Henry y Gary W. Heinke. Ingeniería ambiental 2^{da} edición. Editorial Prentice Hell. México 1999. Septiembre del 2011.

XII.ANEXOS

XII.1 ANEXO 1



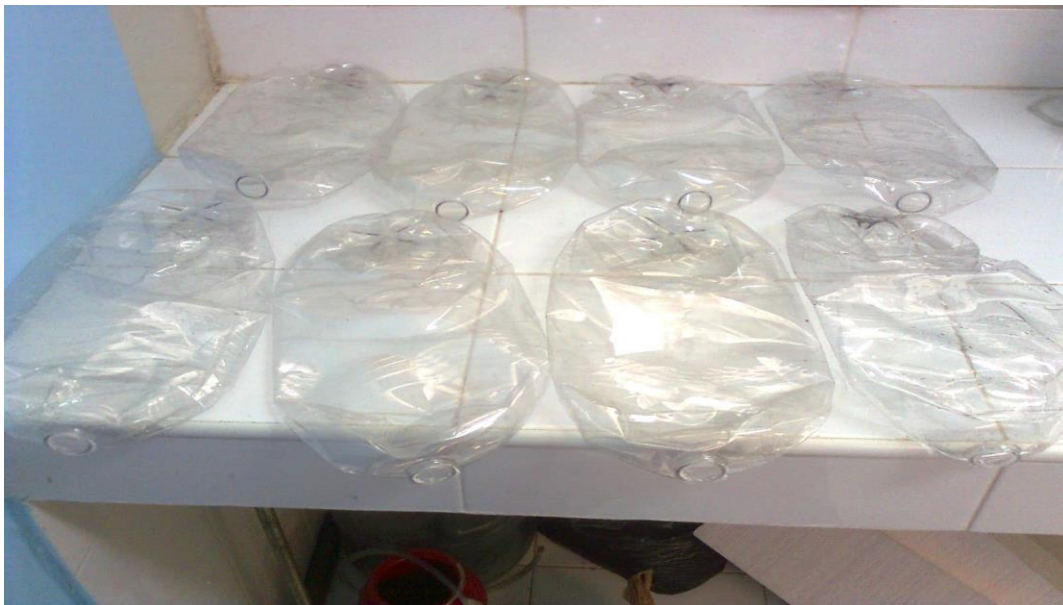
RECOLECCION DEL PET



LAVADO CON DETERGENTE



ENJUAGADO CON AGUA POTABLE



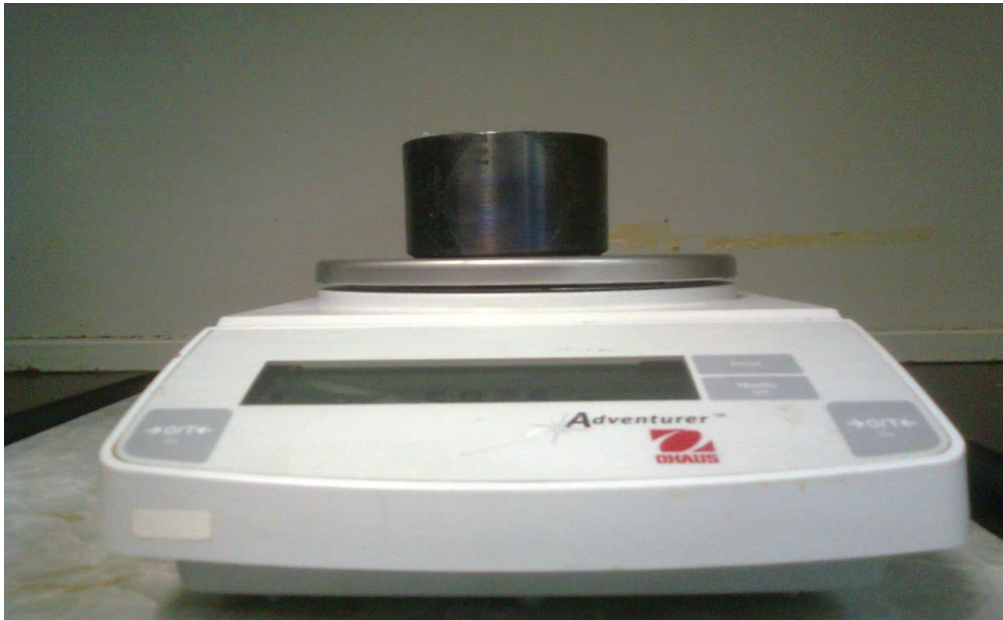
SECADO DEL PET



PESADO DE LA BOTELLA



TRITURACIÓN DEL PET



PESADO DEL MOLDE



PESADO DEL MOLDE CON EL PET TRITURADO



MUFLA CON UN RANGO DE TEMPERATURA DE HASTA 1200 °C

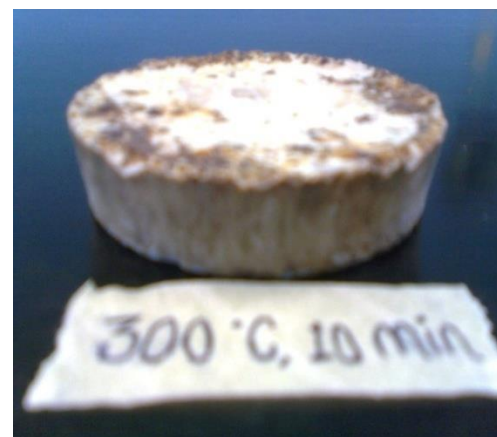
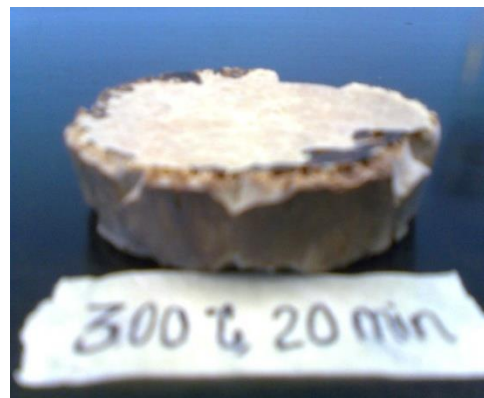


FUNDICIÓN DEL PET



PRODUCTO FINAL (PLACA DE PET)

XII.2 ANEXO 2





XII.3 ANEXO 3



**PESADO DE MATERIA
PRIMA**



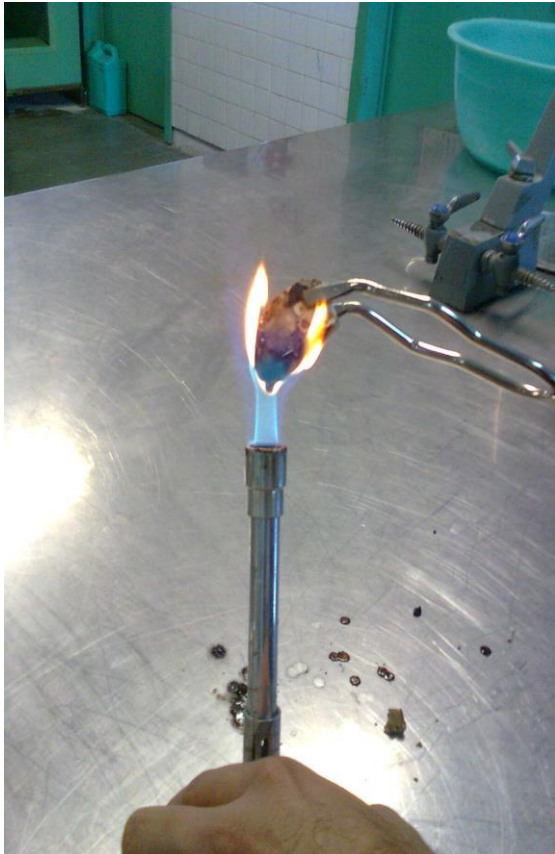
**PESADO DE PLACA
DE PET FUNDIDO**

XII.4 ANEXO 4



**DETERMINACIÓN DE LA
DENSIDAD APARENTE**

XII.5 ANEXO 5



PRUEBAS DE COMBUSTIÓN



PRUEBAS CON RAYOS SOLARES

XII.6 ANEXO 6



EQUIPO DE BARRENADO PEQUEÑO 3/16

XII. ANEXO 7



MAQUINA TORNO

XII. ANEXO 8



SIERRA CINTA