

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET
RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION**

DIANA STELLA RAMIREZ LUNA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET
RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION**

DIANA STELLA RAMIREZ LUNA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

RICARDO CRUZ HERNANDEZ

Ingeniero civil, PH.D

Codirector:

JULIO CESAR PINILLOS

Arquitecto

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

À Orley y Camilo

*Los dos hombres que alumbran cada día mi vida, por acompañarme,
brindarme su apoyo incondicional y energía para realizar mi mejor
esfuerzo en cada momento.*

À Dios que me dio la oportunidad de vivir y recorrer este camino.

À mis padres que siempre han estado ahí para apoyarme.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo su apoyo

A mi gran maestro Julio Cesar Pinillos, por su apoyo incondicional, por guiarme en este proceso y por creer siempre en mi

Al profesor Ricardo cruz, por su paciencia y colaboración.

A los técnicos de laboratorio Jairo, Jaime y Mauricio por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

A todos mis compañeros de siempre, gracias por su apoyo, por estar conmigo en los momentos de lucha, por todo lo que compartimos para lograr este sueño.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
JUSTIFICACIÓN.....	20
ALCANCE DEL PROYECTO	21
1. MARCO TEORICO	22
1.1 RESIDUOS SOLIDOS	22
1.1.1 Clasificación por estado	22
1.1.2 Clasificación por origen.....	22
1.2.3 Clasificación por tipo de manejo	24
1.2 RECICLAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	24
1.2.1 Ventajas del reciclaje	26
1.2.2 Materiales reciclable	26
1.3 RECICLAJE DE POLIMEROS	28
1.4 PET COMO MATERIAL POLIMÉRICO	29
1.4.1 Propiedades fisicoquímicas del PET.....	30
1.4.2 Propiedades físicomecánicas del PET.....	31
1.4.3 Tipos de PET	32
1.4.4 Generalidades del PET.....	33
1.4.5 Transformación del PET	35
1.4.6 Estudios y usos del PET reciclado.....	36
1.5 LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	40
1.5.1 Definición y clasificación de los materiales compuestos.....	40
1.6 RESINA POLIÉSTER	42

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN
CONSTRUCCION**

1.6.1 Agentes Reforzantes	43
1.6.2 Gelificación y endurecimiento.	44
1.6.3 Resinas Pre aceleradas	45
1.6.4 Reacción de curado.	46
1.7 EXTRUSION:	47
1.8 INYECCIÓN	48
2. ANALISIS DE PROPIEDADES DEL MATERIAL BASE	50
2.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	50
2.2 ANALISIS DE LOS COMPONENTES DEL POLIETILENO TEREFTALATO- PET A PARTIR DE INVESTIGACIONES ADELANTADAS EN EL TEMA	51
2.3 PROCESO DEL RECICLADO MECÁNICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS ESCAMAS DE PET	52
2.4 TRANSFORMACIÓN DEL PET	53
2.4.1 Fundición del PET aplicando solo temperatura.....	54
2.4.2 Elaboración de moldes en acero.....	55
2.4.3 Proceso de fundición del material para la elaboración de las probeta	59
2.4.4 Proceso de desmolde	61
2.5 FUNDICIÓN DEL PET APLICANDO PRESIÓN	61
2.5.1 Definición del proceso.....	61
2.5.2 Moldes	61
2.5.3 proceso de elaboración de las probetas	62
2.5.4 calentamiento de las probetas	62
2.5.6 Proceso de desmolde	64
2.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO	64
3. DETERMINACIÓN DE MATERIALES COMPATIBLES CON EL PET Y PROPUESTA DEL MATERIAL COMPUESTO.	65
3.1 ESTABLECER LOS MATERIALES COMPATIBLES CON EL PET POST CONSUMO	65
3.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS DE RESINA POLIÉSTER CON PET	67
3.2.1 Descripción de operaciones involucradas.....	67

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN
CONSTRUCCION**

4. CARACTERIZAR FISICO MECANICAMENTE EL MATERIAL PROPUESTO	69
4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO PET RECICLADO	69
4.1.1 Ensayo compresión	69
4.1.2 Ensayo De Tensión.....	71
4.1.3 Ensayo De Flexión.....	72
4.2 FICHA RESULTADOS OBTENIDOS.....	74
4.3 ENSAYOS DE LABORATORIO RESINA CON PET COMO CARGA.....	74
4.3 ENSAYO A FLEXION	75
4.4 ENSAYO A COMPRESION	76
5. ELEMENTOS PROPUESTOS.....	79
6. CONCLUSIONES	81
7. RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXOS.....	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: flujograma de la disposición de los residuos sólidos	25
Figura 2: estructura general del grupo éster en el PET	29
Figura 3: PET	30
Figura 4: monómero del Pet	51

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1: elaboración de muro con botellas de Pet recicladas.....	40
Fotografía 2: Hojuelas de PET.....	53
Fotografía 3: PET fundido en material cerámico.....	55
Fotografía 4: molde con PET cristalizado	55
Fotografía 5: primeros moldes y probetas	56
Fotografía 6: primera probetas elaboradas para ensayo a compresión.....	57
Fotografía 7: Moldes finales.....	57
Fotografía 8: probetas finales	58
Fotografía 9: molde para ensayo flexión.....	58
Fotografía 10: molde ensayo a tensión.....	59
Fotografía 11: Horno cerámica	60
Fotografía 12: termocupla para controlar la temperatura en el horno.....	60
Fotografía 13: molde en acero.....	62
Fotografía 14: temperatura + presión aplicada a la probeta	63
Fotografía 15: termocupla para controlar la temperatura en el molde	63
Fotografía 16: manómetro para controlar la presión aplicada.....	64
Fotografía 17: probeta lista para ser sometida al ensayo de compresión.....	70
Fotografía 18: Muestras fracturadas obtenidas en ensayo de compresión.....	70
Fotografía 19: probeta sometida al ensayo de tensión.	71
Fotografía 21: probetas falladas	73
Fotografía 22: probetas de resina poliéster con Pet	75
Fotografía 23: dimensiones desagüe para fachadas casas o edificios.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: ventajas del reciclaje.....	26
Tabla 2: materiales reciclables.....	27
Tabla 3: propiedades fisicoquímicas del PET	31
Tabla 4: propiedades físicomecánicas del PET	32
Tabla 5: propiedades típicas de la resina poliéster sin carga	43
Tabla 6: Estudios adelantados.....	50
Tabla 7: resultados obtenidos PET reciclado.....	64
Tabla 8: porcentaje de agregado de fibra de vidrio.....	66
Tabla 9: resultados obtenidos	74
Tabla 10: resultados obtenidos mezcla resina poliéster y PET.....	78

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfica 1: Esfuerzo vs deformación ensayo a flexión (ver anexo 3)	75
Grafico 2: Esfuerzo vs deformación ensayo a compresión (ver anexo 2)	77

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO	88
ANEXO B. ENSAYO A COMPRESION PET RECICLADO	91
ANEXO C. ENSAYOS A FLEXION.....	101
ANEXO D. ENSAYO A TENSION.....	108

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION*

AUTOR: DIANA STELLA RAMIREZ LUNA**

PALABRAS CLAVES PET, MATERIALES, COMPUESTO, RECICLAJE, RESIDUOS SOLIDOS

DESCRIPCIÓN

El presente proyecto, plantea una propuesta de uso del Polietileno Tereftalato –PET, reciclado como material de refuerzo para la fabricación de elementos de construcción y así contribuir a minimizar el impacto que generan los desechos plásticos industriales, domésticos y de consumo en el medio ambiente. La mayoría de los envases de plásticos usados en la industria están compuestos por materiales poliméricos no degradables, que generan un alto nivel de contaminación después de su consumo. Por este motivo, existe la necesidad de intentar reciclar con eficacia aquellos materiales de desecho contaminantes, y así detener o intentar limitar el proceso de contaminación que generan dichos materiales. Estos materiales de desecho o residuos plásticos normalmente tardan cientos de años en degradarse por sí mismos y el tratamiento final que reciben para acelerar su descomposición nos es el más adecuado ya que terminan en rellenos sanitarios, basureros o sufren procesos de incineración.

Para llevar a cabo lo anterior, se planteó la evaluación de las propiedades físico mecánicas de este material y la revisión de otros materiales compatibles con el PET teniendo en cuenta su proceso de transformación previamente; al nuevo material compuesto con PET se le realizaron pruebas físico mecánicas de flexión, tensión y compresión, encaminadas a conocer su comportamiento y resistencia. Seguidamente se plantean dos propuestas de transformación del PET reciclado a través de un proceso de fundición que consta de dos pruebas: la primera, se aplica solo temperatura; la segunda, se aplica temperatura más presión.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánica, Escuela de Ingeniería Civil. Director. Ricardo Cruz Hernández, Codirector. Julio César Pinillos.

ABSTRACT

TITLE: OFFER OF A MATERIAL COMPOSED WITH BASE TO THE PET RECYCLED WITH APPLICATIONS IN CONSTRUCCION*

AUTHOR: REVEILLE STELLA RAMIREZ MOON**

KEY WORDS PET, MATERIALS, COMPOUND, RECYCLING, SOLID RESIDUES

DESCRIPTION

The present project, there considers an offer of use of the Polyethylene Tereflalato - PET recycled as material of reinforcement for the manufacture of elements of construction and this way helping to minimize the impact that there generates the plastic industrial, domestic waste and of consumption in the environment. The majority of the packings of plastic used in the industry are composed by materials poliméricos not degradables, that generate a high level of pollution after his consumption. For this motive, there exists the need to try to recycle with efficiency those pollutant, and like that waste materials to stop or to try to limit the process of pollution that the above mentioned materials generate. These waste materials or plastic residues normally are late hundreds of years in degenerating for yes same and the final treatment that they receive to accelerate his decomposition us is the most suitable since they end in sanitary landfills, dust-bins or suffer processes of incineration.

To carry out the previous thing, the evaluation of the properties appeared physically mechanics of this material and the review of other materials compatible with the PET bearing his process of transformation in mind before; to the new material composed with PET him tests realized physically mechanics of flexion, tension and compression, directed to knowing his behavior and resistance. Immediately afterwards there are silvered two offers of transformation of the PET recycled across a process of smelting that consists of two tests: the first one, applies to herself only temperature; the second one, applies temperature to herself more pressure.

* Project of grade

** Faculty of Engineerings Fisicomecánica, School of Civil Engineering. Director. Ricardo Cruz Hernández, Codirector. Julio César Pinillos.

INTRODUCCION

Actualmente existe una tendencia mundial por desarrollar proyectos e iniciativas amigables con el medio ambiente que usan el reciclaje como una solución al problema de eliminación o tratamiento de los materiales de desecho, permitiendo así recuperar algunos elementos tales como el papel, cartón, vidrio, plásticos entre otros. Con estas iniciativas se busca evitar que los materiales de desecho altamente contaminantes, se mezclen con otros materiales de desecho orgánicos que pueden reciclarse directamente de forma natural, por su rápida descomposición normal.

La mayoría de los envases de plásticos usados en la industria están compuestos por materiales poliméricos no degradables, que generan un alto nivel de contaminación después de su consumo. Por este motivo, existe la necesidad de intentar reciclar con eficacia aquellos materiales de desecho contaminantes, y así detener o intentar limitar el proceso de contaminación que generan dichos materiales. Estos materiales de desecho o residuos plásticos normalmente tardan cientos de años en degradarse por sí mismos y el tratamiento final que reciben para acelerar su descomposición nos es el más adecuado ya que terminan en rellenos sanitarios, basureros o sufren procesos de incineración.

El punto de partida del presente proyecto de investigación es el uso del material Polietileno Tereftalato (PET) reciclado como elemento alternativo para la fabricación de elementos de construcción y con ello contribuir a minimizar el impacto que generan los desechos plásticos industriales, domésticos y de consumo en el medio ambiente.

La presente investigación propone determinar las posibilidades de uso del PET como material de refuerzo o base de otros materiales y con ello proponer

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

elementos de uso en la construcción. Para llevar a cabo el estudio, se propone en primer lugar hacer una evaluación y análisis de las propiedades del PET a partir de los diferentes estudios adelantados en el tema; seguidamente se plantean dos propuestas de transformación del PET reciclado a través de un proceso de fundición que consta de dos pruebas: la primera, se aplica solo temperatura; la segunda, se aplica temperatura más presión.

Finalmente se revisan las opciones de materiales que pueden ser compatibles con el PET, teniendo en cuenta su proceso de transformación realizado previamente. Al nuevo material compuesto con PET se le realizan pruebas físico mecánicas encaminadas a conocer su comportamiento y resistencia; dentro de dichos ensayos tenemos: prueba de compresión, prueba de flexión y prueba de tensión, con ello se permite sugerir elementos para la construcción elaborados con material reciclable o residuos sólidos como el PET.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Proponer un material de construcción a partir del uso del Polietileno Tereftalato-PET reciclado para la fabricación de elementos para la construcción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Evaluar las propiedades físico mecánicas del material (base PET)
- ❖ Determinar los materiales compatibles con el Polietileno Tereftalato- PET
- ❖ Proponer el material compuesto a partir de la base Polietileno Tereftalato-PET
- ❖ Caracterizar físico-mecánicamente el material propuesto.
- ❖ Proponer elementos para la construcción.

JUSTIFICACIÓN

Debido a los grandes costos que se generan al realizar construcciones con los materiales convencionales, además de la gran contaminación producida por ellos, nos vemos en la necesidad de dirigir la mirada a la utilización de materiales alternativos, entre estos los que nos permitan el aprovechamiento de residuos potencialmente reciclables tales como el polietileno Tereftalato (PET) y de esta manera promover la producción de elementos constructivos de bajo costo elaborados con este desecho, permitiendo así aliviar los problemas planteados por los residuos sólidos plásticos, además, brindar una solución económica de vivienda que admita ser más accesible a las poblaciones menos favorecidas.

El polietileno tereftalato (PET) es un material de bajo costo y que se encuentra en grandes cantidades debido a que es un residuo proveniente de envases descartables de gaseosas, sodas, jugos y agua mineral. Este material, que no es biodegradable, actualmente es enviado a predios de enterramiento sanitario municipal, o quemado en basurales clandestinos, generando graves problemas de contaminación ambiental. Sólo un pequeño porcentaje del mismo es reciclado.

El PET se puede obtener en las plantas de reciclaje de la ciudad, mediante el reciclado de las botellas falladas producidas por fábricas embotelladoras, o se compran a comerciantes mayoristas los cuales a su vez le compran el material a recolectores domiciliarios marginales particulares.

Por lo tanto, se considera que en esta propuesta se hace necesario investigar sobre el reciclado del PET como posible material no tradicional, de tal forma que nos permita encontrar un material compuesto que nos proporcione una alternativa económica acorde a los requerimientos de la construcción.

ALCANCE DEL PROYECTO

Proponer un material de construcción con base Polietileno Tereftalato (PET), reciclado para la fabricación de elementos para la construcción, que ayude a reducir el impacto ambiental que produce el crecimiento de residuos sólidos.

1. MARCO TEORICO

1.1 RESIDUOS SOLIDOS

Son desperdicios o sobrantes de material de las actividades humanas que no representan ninguna utilidad o valor económico para el dueño, en los últimos años se puede decir que se ha llegado a cuadruplicar la producción de desechos domésticos, incrementando esta cifra en un 3 o 4 % al año. El volumen de producción de los desechos es inversamente proporcional al nivel de desarrollo que se maneje en cada país. Diariamente contribuimos con el aumento de estos residuos o desperdicios tirando a la basura desde la bolsa del mercado hasta el periódico, entre otros. Se estima que los envases de los productos representan alrededor del 40 % de la basura doméstica, siendo nocivos para el medio ambiente.

Estos residuos sólidos los podemos clasificar de varias formas, ya sea por origen, estado u otra característica.

1.1.1 Clasificación por estado. Se define el residuo por el estado físico en el que se encuentre. Por lo tanto, existen tres tipos de residuos desde el punto de vista sólido, líquido y gaseoso. Un residuo también se puede identificar por características de composición y generación.

1.1.2 Clasificación por origen. Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine; esencialmente es una clasificación sectorial. Los tipos de residuos más importantes son:

Residuos municipales: Son todos aquellos que están formados por residuos generados en los domicilios particulares, los comercios, las oficinas, entre otros; así como los que no tienen consideración de especiales y que por su naturaleza o composición pueden asimilarse a los que se producen en dichos lugares o actividades.

Tienen también la consideración de residuos municipales los procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos, los muebles, los utensilios y vehículos abandonados, los residuos y los escombros procedentes de obras menores y reparación domiciliaria.

Residuos industriales: La industria genera una gran cantidad de residuos muchos de los cuales son recuperables. El problema está en que las técnicas para aprovecharlos y volverlos útiles son caras y en muchas ocasiones no compensa económicamente hacerlo. De todas formas, está aumentando la proporción de residuos que se valorizan para usos posteriores.

Residuos mineros: Durante los procesos mineros se originan importantes residuos de origen y composición muy variables. Estos van desde el polvo (particulado fino), que se origina durante las labores de explotación, pasando por los efluentes líquidos que se generan durante el proceso minero (lavaderos), hasta los residuos sólidos que se acumulan en las escombreras, y claro está, los gases liberados por los procesos metalúrgicos. Cada uno de estos residuos presenta problemas ambientales importantes.

Residuos hospitalarios: Los residuos sólidos hospitalarios son aquellas sustancias, materiales, subproductos sólidos, líquidos, gaseosos, que son el resultado de una actividad ejercida por el generador; que se define como la persona natural o jurídica que produce residuos hospitalarios relacionados con la prestación de servicios de salud; por lo cual se implementa la gestión integral que

abarca el manejo, la cobertura y planeación de todas las actividades relacionadas con los residuos hospitalarios desde su generación hasta su disposición final.

1.2.3 Clasificación por tipo de manejo. Se puede clasificar un residuo por presentar algunas características asociadas al manejo que debe ser realizado. Desde este punto de vista se pueden definir tres grandes grupos:

Residuo peligroso: Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad, o que son peligrosos para la salud y el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

Residuo no peligroso: Ninguno de los anteriores

1.2 RECICLAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS

El mundo entero se enfrenta a un problema cada día más importante y grave: deshacerse del volumen creciente de los residuos que se generan. La mayoría de los residuos se terminan convirtiendo en basura, cuyo destino casi siempre son los rellenos sanitarios que a su vez son cada vez más escasos y plantean una serie de desventajas y problemas. Para esto se puede tomar como alternativa el reciclaje, ya que reduce parte de los residuos, ahorra energía y contribuye a la protección del medio ambiente. La meta de cualquier proceso de reciclaje es el uso o reutilización de materiales provenientes de residuos. En este método se tiene en cuenta que todo procedimiento inicial es el proceso de separación

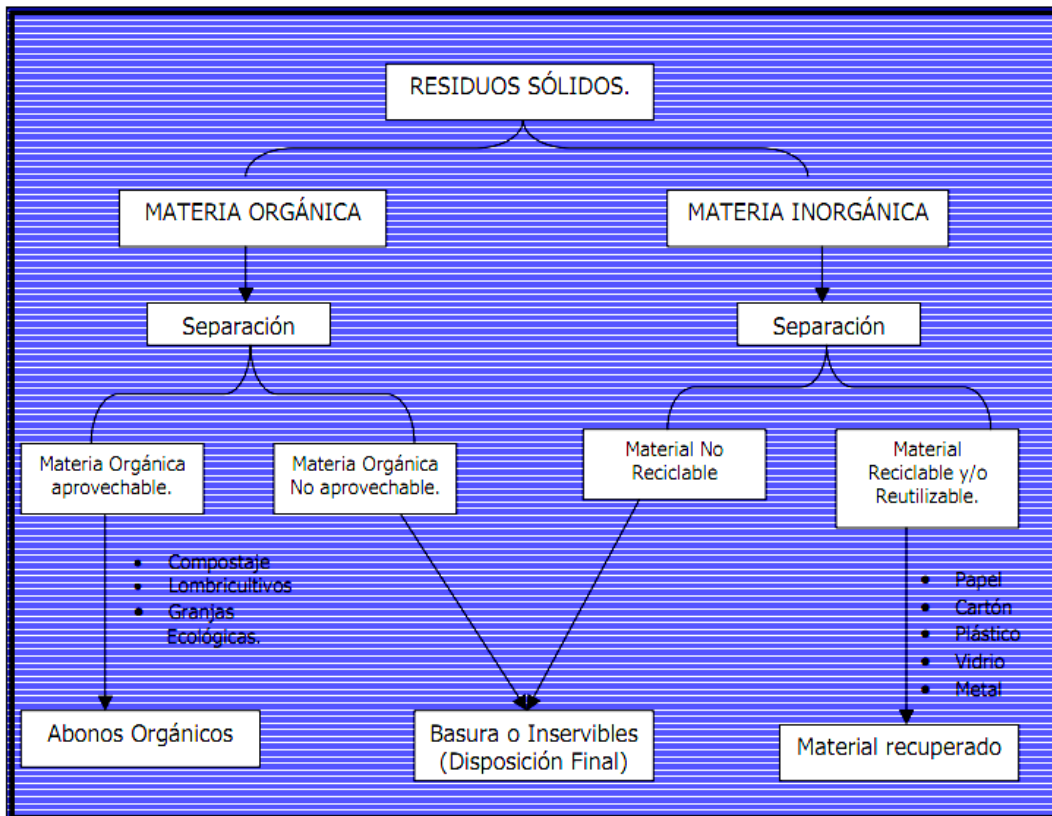
En el proceso de reciclaje se tienen en cuenta tres actividades:

Recolección: se deben juntar cantidades considerables de materiales reciclables, separar elementos contaminantes o no reciclables y clasificar los materiales de acuerdo a su tipo específico.

Manufactura: los materiales clasificados como nuevos productos o como materias primas para diferentes procesos.

Consumo: los materiales de desperdicio deben ser consumidos. Los compradores deben demandar productos con el mayor porcentaje de materiales reciclados en ellos. Sin demanda, el proceso de reciclaje se detiene.

Figura 1: flujograma de la disposición de los residuos sólidos



Fuente: www.enviaseo.gov.co/content/40/img/RECICLAJEYSUSBENEFICIOS.pdf

1.2.1 Ventajas del reciclaje

Las ventajas del reciclaje se resumen en la tabla 1.

Tabla 1: ventajas del reciclaje

AMBIENTALES	BENEFICIOS SOCIALES	BENEFICIOS ECONOMICOS
Disminución de la explotación de los recursos naturales	Alternativa de generación de empleo	El material reciclable se puede comercializar, con esto las empresas obtienen materia prima de excelente calidad a menor costo, además de un alto ahorro de energía
Disminución de la cantidad de residuos que generen un impacto ambiental negativo al no descomponerse fácilmente	Crea una cultura social	
Reduce la necesidad de los rellenos sanitarios y la incineración	Genera nuevos recursos para instituciones de beneficio social	
Disminuye las emisiones de gases de invernadero		
Ayuda a sostener el ambiente para generaciones futuras		

1.2.2 Materiales reciclable. Los diferentes tipos de materiales reciclables se muestran en la tabla 2.

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Tabla 2: materiales reciclables

Papel y cartón reciclables	<ul style="list-style-type: none"> • Papel blanco de todo tipo sin ser usado • Papel blanco de todo tipo sin arrugar • Cartón corrugado • Papel mixto: Revistas, suplementos de periódicos, papel de color, de regalo, papel reciclado de oficina. • Periódicos.
Papel y cartón no reciclable	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los papeles sucios • Papel diamante y papel mantequilla • Papel encerado • Papel plastificado • Papel carbón • Papel de fotografía • Papel con tintas no solubles en agua
Vidrio reciclable	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de bebida, medicamentos, perfumes colonias y de aceite clasificado por colores • Vidrio roto, se entrega separado por kilo y por color
Vidrio no reciclable	<ul style="list-style-type: none"> • Vidrios rotos de autos • Espejos • Neón y fluorescentes • Lozas y vajillas (que no son de vidrio) • Pantallas de televisor
Plásticos reciclables	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas retornables de PET • Botellas no retornables de PET • PVC • PEBD y PEAD • PP: polipropileno • PS: poliestireno
Metales reciclables	<ul style="list-style-type: none"> • Metales ferrosos: chatarra pesada: equipos, estructuras, planchas, rieles. Chatarra de acero: tubos, ventanas, puertas. • Metales no ferrosos: aluminio, cobre, bronce.
Otros materiales reciclables	<ul style="list-style-type: none"> • Los envases Tetra pack como materiales prefabricados • El icopor como aislante de ruido en muros disuelto con sustancias químicas actúa como impermeabilizante y pegante de superficies granulares. • Cajas de huevos en buen estado y limpias pueden ser reutilizadas.

1.3 RECICLAJE DE POLIMEROS

Tanto en los residuos totales como en los de procedencia urbana, las poliofelinas son el componente mayoritario, le siguen de cerca en importancia el policloruro de vinilo y el poliestireno y en orden diferente según su origen el Polietilentereftalato. Las posibles vías de reutilización de los plásticos son de diferente naturaleza, abarcando desde su reciclado directo, incineración con o sin recuperación energética, hasta su transformación en productos más nobles y de mayor valor agregado mediante el reciclaje químico. La selección del procedimiento más adecuado para el reciclado de un determinado material no es fácil generalizarlo, se debe tener en cuenta varios aspectos como su composición, legislación medioambiental, subvenciones o ayudas de las autoridades gubernamentales o locales, proximidad de refinerías, densidad de población, precio de las materias vírgenes, entre otros. Dentro de las estrategias para el reciclaje, se presentan a continuación las más significativas.

Reciclado Químico. Se define como la ruptura de los residuos plásticos en fracciones utilizables para su posterior transformación en monómeros u otros productos químicos. Entre los procesos químicos más utilizados tenemos: pirolisis catalítica, despolimerización, glicólisis, hidrogenación, disolución de polímeros, metanólisis, gasificación y otros tipos de tratamiento químico.

Reciclado Mecánico. Este proceso es menos costoso que el reciclado químico, está dirigido a la recolección y separación de envases, trituración, lavado y extrusión del material polimérico. A partir de este proceso, se obtienen pellets u hojuelas que, mediante la acción del calor, se utilizan para obtener nuevas piezas como carcasas, material de oficina, bolígrafos y mobiliario para jardín. Así mismo, estas hojuelas se emplean como agregado fino en concretos para disminuir costos en obra.

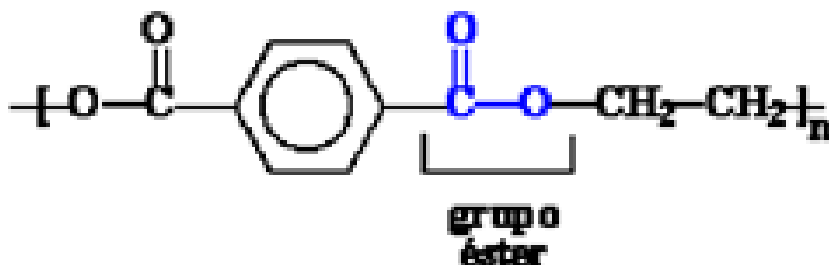
Recuperación energética. Aquellos productos y materiales que no pueden ser reciclados de una forma económica y medio ambientalmente viable son generalmente incinerados bajo condiciones controladas para la obtención de energía

1.4 PET COMO MATERIAL POLIMÉRICO¹

PET es su nombre comercial, es decir un acrónimo o abreviación de Polietilentereftalato, un polímero que pertenece al grupo de los poliésteres, que pueden ser fibras o plásticos en función de su estructura cristalina y consiguen ser utilizados como fibras en la industria textil y como plásticos en la fabricación de envases para diferentes usos, particularmente botellas para agua mineral o gaseosas.

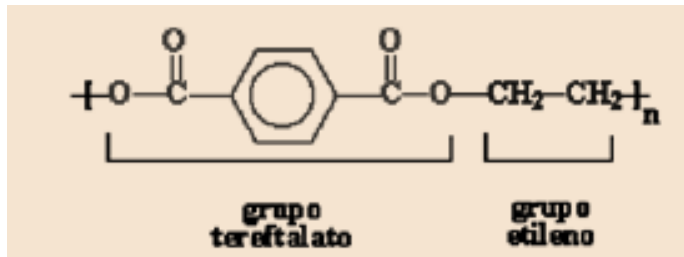
Los polímeros del tipo poliéster termoplástico (*figura 2*) necesitan para su síntesis generalmente ácido tereftálico y etilenglicol, aunque el PET también puede obtenerse del dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales al polimerizar en presencia de catalizadores y aditivos nos producen los distintos grados de PET (*figura 3*)

Figura 2: estructura general del grupo éster en el PET



¹ <http://www.cpts.org/proyinvesti/PROYECTO11.pdf>

Figura 3: PET



El PET tiene buenas propiedades de barrera al oxígeno y dióxido de carbono y es la fundamental razón por la que es utilizado en botellas para agua mineral y gaseosas.

El PET existe como polímero AMORFO (transparente – grado botella) y el SEMICRISTALINO (opaco y blanco) y está clasificado como material termoplástico (reciclable). Generalmente tiene buena resistencia a grasas minerales, solventes y ácidos pero no a las bases, no es un material biodegradable.

El PET semicristalino tiene buena resistencia, es dúctil, presenta buena rigidez y dureza; por otro lado, el PET grado amorfo tiene mejor ductilidad o capacidad de termo-deformación, con una menor rigidez y dureza.

Su disposición como desecho puede ser a través de incineración produciendo agua y dióxido de carbono y con energía equivalente a ½ kg de combustible.

1.4.1 Propiedades fisicoquímicas del PET. Las propiedades fisicoquímicas del PET son mostradas en la tabla 3.

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Tabla 3: propiedades fisicoquímicas del PET

PROPIEDAD		VALOR
Coeficiente de Volumen de expansión	De 30 a 60 °C	$1.6 \cdot 10^{-4}$ grados ⁻¹
	De 90 a 190°C	$3.7 \cdot 10^{-4}$ grados ⁻¹
Densidad específica a 25°C	Amorfo	1.335g/cc
	Cristal Orientado	1.390 g/cc
Temperatura de transición vítrea (Tg)	Amorfo	67°C
	Cristalino	81°C
	Cristalino y orientado	125°C
Punto de derretimiento	PET comercial	265°C
	Pet puro	271°C
Absorción de humedad (inmersión en agua a 25°C durante 1 semana)		0.80%
Resistividad	A 25°C	$1 \cdot 10^{18}$ ohmios*cm
	A 150°C	$1 \cdot 10^{13}$ ohmios*cm
Conductividad térmica		$3.36 \cdot 10^{-4}$ cal/(cm*s*°C)

Fuente: BARON W Y PALACIOS J (2001)

1.4.2 Propiedades físicomecánicas del PET. En la tabla 4 se resumen las propiedades físicomecánicas del PET.

Tabla 4: propiedades físico-mecánicas del PET

Propiedades mecánicas	Valor
Resistencia a la Tracción hasta la deformación (Mpa)	59
Resistencia a la tracción hasta la rotura	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

Fuente: www.goodfellow.com/csp/active/gfHome.csp

1.4.3 Tipos de PET. Se puede distinguir tres tipos fundamentales de PET: grado textil, grado botella y grado film.

El grado textil fue la primera aplicación industrial del PET. Durante la segunda guerra mundial, se usó para reemplazar las fibras naturales como el algodón o el lino. Al poliéster, nombre común del PET grado textil, se le reconocieron excelentes cualidades desde para el proceso textil, entre las que se encuentran su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además del fácil cuidado de la prenda tejida (lavado y secado rápidos sin necesidad de planchado). Entre algunas limitaciones que presenta este material son: difícil tintura, la formación de pilling (bolitas) y la acumulación de electricidad estática; problemas para los que se han desarrollado soluciones eficaces.

El grado botella se comenzó a producir en Europa a partir de 1974 y su primera comercialización se llevó a cabo en los EUA. Desde entonces, ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos,

gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo. La más reciente y exitosa aplicación del PET es el envasado de aguas minerales, también se ha comenzado a utilizar en el envasado de productos farmacéuticos de droguería o alimenticios como salsa, mermeladas, miel, entre otros.

El PET grado film se utiliza en gran cantidad para la fabricación de películas fotográficas, de rayos y de audio.

1.4.4 Generalidades del PET². El PET se emplea hoy en día para fabricar botellas de gaseosas, aguas, salsas, jugos, cervezas, etc. También se utiliza para hacer películas, fibras, láminas, termoformados, etc. Este material es una resina relativamente reciente, cuya comercialización se inició en la década de los 70. Por ser una resina de condensación, su costo es mayor que el de las resinas de consumo masivo, razón por la cual, el material reciclado tiene un mayor precio en el mercado.

A continuación se referencian los desperdicios de botellas de PET generados en Estados Unidos en 1999:

- 1.480.000 toneladas descartadas (0,54% en peso del total de basuras)
- 738.000 toneladas son botellas de gaseosas
- 742.000 toneladas son otros tipos de botellas
- 250.000 toneladas son otros tipos de empaques o productos de PET

La botellas recicladas por Estados Unidos en 1999 se muestran a continuación:

- 350.500 toneladas o 23,7% del total de botellas

² **Reciclaje de PET**, Por Carlos Serrano, Consultor Editorial de Tecnología del Plástico. Texto de la conferencia dictada por Carlos Serrano, durante Plásticos de las Américas 2001, evento realizado en el Centro de Convenciones de Miami Beach, Florida, entre el 24 y el 26 de julio de 2001. www.plastico.com

Reducción en la fuente:

- Las botellas de gaseosas de PET hoy pesan un 30% menos que hace 20 años.
- Las botellas de PET pueden contener la mayor cantidad de producto con el menor peso de empaque.

Entre 1991 y 1998, la mayor tasa de reciclaje de botellas se observó en 1994. Desde entonces, la recuperación global relativa de PET decayó de 41,7% a 23,7% en 1999. La cantidad de botellas de gaseosas recicladas ha aumentado en un 10,5% anual desde 1994. El consumo de botellas de PET en el mercado de gaseosas se incrementó en 11,3% anual hasta 1999. Para efectos de comparación, el uso de botellas de PET en el mercado de aguas creció más de un 30% entre 1998 y 1999.

Gran parte del PET reciclado se usa para hacer fibras para alfombras. Los industriales requieren que el material reciclado cumpla por lo menos cuatro condiciones de calidad:

1. Transparencia. La composición actual contiene un 70% de material transparente, 25% de verde y 5% de otros colores. “Los nuevos envases de colores disminuirán el porcentaje de transparentes e incrementará el costo de reciclaje”.
2. Sin PVC. El peor contaminante de las fibras de PET reciclado es el PVC, aún en cantidades pequeñas.
3. Sin tapas de aluminio.
4. Sin residuos de capas de barrera. Son difíciles de detectar a simple vista y aún con equipos electrónicos de separación de plásticos.

En Bucaramanga, un pequeño porcentaje de PET de desecho es reciclado y enviado a Medellín y Bogotá para su proceso de reutilización, pero el porcentaje mayor termina en rellenos sanitarios, basureros ilegales o en las calles de la ciudad produciendo problemas de contaminación.

1.4.5 Transformación del PET

1.4.5.1 Sistema de dos etapas. La primera etapa consiste en inyectar la resina de PET en un equipo de inyección para producir preformas. Los moldes deben ser de colada caliente cuando se trata de elevados niveles de producción, incluyendo un sistema de refrigeración muy eficiente. Estos moldes suelen tener desde 16 hasta 144 cavidades. Una vez que las preformas están lo suficientemente frías para que no se deformen o se peguen entre sí, son expulsadas y posteriormente enviadas al lugar en el que se localice el equipo de soplado, que puede estar en la misma planta o en cualquier otra ubicación. La segunda etapa del proceso consiste en calentar las preformas hasta una temperatura que permita que puedan ser estiradas y sopladas.

1.4.5.2. Sistema integrado o de una etapa. En este sistema se realiza en una sola etapa el moldeo y soplado de la preforma. Para obtener el envase, los procesos de inyección-soplado están integrados en una misma unidad por lo que no es necesario sacar las preformas de la máquina para que puedan ser sopladas y obtener sus formas y tamaños definitivos. Este sistema, dado que la capacidad de producción es inferior, permite un aumento escalonado de la producción e inversión y es adecuado para varios tipos de productos y para capacidades de producción bajas con diseños de envases más complejos, bocas anchas y multicapas.

1.4.5.3. Extrusión film-lámina. En este sistema se funde el material para extruirlo en forma de film o lámina. El film o lámina puede ser posteriormente termo conformado para producir diferentes tipos de envases tales como, bandejas para productos alimenticios, vasos y envases para productos farmacéuticos y cosméticos. Además, en el caso en que sea preciso mejorar las propiedades del producto final, según la aplicación a la que se destina, es posible realizar la coextrusión de capas de diferentes materiales en una única lámina que combina las diferentes propiedades de cada uno de los componentes, donde cada material ofrece una ventaja específica. Esto permite que una lámina multicapa compuesta por PET como material base mejore las propiedades del producto final.

1.4.6 Estudios y usos del PET reciclado

“Elementos constructivos con PET reciclado”. *Revista Tecnología y Construcción*. Caracas, Venezuela. Gaggino Rosana.

En varios artículos presentados por Gaggino Rosana, se presenta la alternativa de fabricación de elementos constructivos donde se utiliza un procedimiento similar al de un hormigón común, pero reemplazando áridos por plásticos reciclados, El material que se utiliza como árido es de dos clases: Polietilen Tereftalato (PET) procedente de envases de bebidas descartables, residuo post-consumo, plásticos varios procedentes de embalajes de alimentos o de perfumería, residuo de fábrica por fallas de espesor o entintado compuestos por polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno biorientado (BOPP), cloruro de polivinilo (PVC), con tintas aplicadas y polvo de aluminio (en el caso de láminas con aspecto brillante). Presentando como elemento final para la construcción ladrillos de 5,5 x 26,2 x 12,5 cm y bloques de 20 x 20,5 x 40 cm.

Se hacen comparaciones de los bloques realizados con PET y con cemento, surgen las siguientes observaciones:

- El de PET tiene un peso específico que es 51 % menor que el ladrillo común.
- El de PET tiene un coeficiente de conductividad térmica que es 90 % menor que el que tiene el común.
- El de PET tiene una resistencia a la compresión (tensión de rotura, sección bruta) que es 49 % menor que la que tiene el ladrillo común.

Asociación para Promover el Reciclado del PET A.C. (APREPET)

Es una empresa mexicana dedicada a fabricar cuerdas, cordeles, cordones y cables tanto torcidos como trenzados a base de algodón y fibras sintéticas. En 1994 incursionaron en el mercado del PET de hojuela. Actualmente han desarrollado tecnología para fabricar monofilamento de poliéster hecho a partir de botellas de PET post-consumo o desperdicio industrial de PET que la misma empresa acopia. El monofilamento se usa principalmente en la manufactura de cuerdas para amarres, tendedores y fibras para escobas.

Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un mortero modificado con Pet reciclado. Omar Humberto Zabala, Oscar Javier Sánchez

En este estudio se hace una comparación del mortero normal con un mortero modificado en diferentes porcentajes de Pet, estos resultados revelaron que el uso del Pet como agregado fino en el diseño de morteros de cemento puede resultar ventajoso para el medio ambiente, siempre y cuando se manejen dosificaciones adecuadas, la mejor dosificación fue del 5% con tamaños de partícula Pet retenidas en el tamiz N° 30. Las aplicaciones de este mortero modificado se pueden presentar en bloques o ladrillos, pega de unidades de mampostería, pisos y frisos.

Estudio de las rutas de síntesis de Poliuretanos a través del tratamiento químico de Polietilen Tereftalato, (Pet) post consumo. Mónica Patricia Hernández, Miguel Andrés Orjuela.

En esta investigación se hace un análisis entre el Pet postconsumo y el poliuretano TDI, analizando espumas blandas, rígidas, adhesivos, baldosas y recubrimientos, arrojando como resultado buenas características en el recubrimiento, ya que los estudios realizados demuestran que sirve en la industria de la construcción para dar mejores propiedades de resistencia, impermeabilización y tiempo de vida útil a materiales como la guadua, madera de roble y el pino entre otros.

Desarrollo de laminados impermeables a nivel piloto sobre materiales mdf a partir del PET post- consumo. Doris Del Socorro Obando, Argemiro Rincón

Se determinaron las condiciones requeridas para escalar a nivel piloto el proceso de obtención de recubrimientos impermeables sobre materiales MDF, empleando PET post-consumo, fenol residual, TDI comercial y aceite de higuera, obteniendo el mejor recubrimiento para el formulado con 1 ml de aceite de higuera ya que presentó en general las mejores características físico-químicas, físico-mecánicas y térmicas, entre las que se destacan su buena resistencia al ataque químico, porcentaje de absorción de agua de 0.0% y un esfuerzo máximo para la prueba de adhesión mayor a 1104 psi.

Barchena, Juan Carlos. “Procedimiento para la fabricación de un producto sólido a partir de materiales plásticos reciclables”

Se trataron 500 kg de material de desecho clasificado y seleccionado procedente de desechos urbanos previamente lavados, escurridos y usados y finalmente homogeneizados, que comprendían: un 40% de material plástico de tipo PET, un 5% de cartón, un 20% de policarbonatos, un 15% de polipropileno y un 20% de

poliestireno. Esta mezcla se trató y se extruyó obteniendo varillas de 5; 1,0 y 2.0 cm de diámetro. En una operación similar, se obtuvieron varillas homogéneamente coloreadas, incluyendo en la masa óxido férrico como un polvo incorporado en la masa fundida durante el proceso de extrusión.

En la parte comercial

El uso del reciclaje químico del PET en la manufactura de materiales de recubrimiento es cada vez más frecuente. La producción de estos es basada primordialmente en la trans-esterificación del PET por medio de esteres de alto contenido de glicoles y ácidos carboxílicos, también como esteres de pentaeritrol con ácidos grasos a temperaturas entre 200 y 300 °C.

El PET post- consumo también es usado en la manufactura de pinturas de agua y lacas esto se logra mediante la reacción del PET con una mezcla de ácidos y fenoles, respectivamente.

A nivel nacional, en Cali se han unido a la propuesta realizada del alemán Andreas Froese - Inventor de las Casas de Botellas. Quien propone la elaboración de casas a partir de botellas de Pet recicladas, el proceso es simple, se rellena cada botella de tierra y aserrín, apisonándola para mejor compactación, luego se tapa con la misma tapita que trae el envase. Las botellas se van colocando de forma horizontal y se amarran unas con otras con una cuerda de plástico. Entre hiladas se coloca la mezcla para asentarlas y nivelarlas. De esta forma se elaboran muros y tanques de agua.

Fotografía 1: elaboración de muro con botellas de Pet recicladas



Fuente: www.eco-tecnologia.com

1.5 LOS MATERIALES COMPUESTOS³

1.5.1 Definición y clasificación de los materiales compuestos. Un material compuesto es un sistema de materiales constituido por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

La importancia de un material compuesto para la ingeniería radica en que dos o más materiales distintos se combinan para formar un material compuesto cuyas propiedades sean superiores, o en algún modo más importantes que las de sus componentes, y en todos se pueden distinguir las siguientes partes:

- **Agente reforzante:** es una fase de carácter discreto, y su geometría es fundamental la hora de definir las propiedades mecánicas del material.

³ **PALACIOS** Jhon Freddy. Desarrollo de materiales compuestos a partir de bentonitas colombianas modificadas embebidas en una matriz polimérica de polietilen-tereftalato (PET). Tesis maestría.

- **Fase matriz** o simplemente matriz: Tiene carácter continuo y es la responsable de las propiedades físicas y químicas, transmite los esfuerzos al agente reforzante, lo protege y da cohesión al material. Estos materiales de acuerdo al material de refuerzo se clasifican en tres categorías:
- **Particulado:** Son compuestos formados por partículas de materiales duros y frágiles (sílice), dispersas discreta y uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil. Se pueden distinguir dos tipos: Los dispersoides, que son materiales endurecidos por dispersión y contienen partículas de 10 a 250 nm de diámetro, que aunque no sean coherentes con la matriz, bloquean el movimiento en las dislocaciones y producen un marcado endurecimiento del material matriz; y los "verdaderos", que contienen grandes cantidades de partículas gruesas, que no bloquean el deslizamiento con eficacia, son diseñados para obtener propiedades poco usuales, despreciando la resistencia en el material.
- **Reforzados con fibras:** Por lo general, este tipo de compuestos consigue mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas, aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material matriz transmite la fuerza a las fibras (nanofibras, nanotubos), las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.
- **Laminares:** Son materiales con estructuras laminares (grafito, silicatos entre otros) son utilizados en recubrimientos delgados, superficies protectoras, revestimientos metálicos, bimetálicos, laminados y todo un conjunto de materiales con aplicaciones específicas. Algunos compuestos reforzados con fibras, producidos a partir de cintas o tejidos pueden considerarse parcialmente laminares. Gran cantidad de compuestos laminares están diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión conservando un bajo costo, alta resistencia y bajo peso. Otras características de importancia incluyen resistencia superior al

desgaste o a la abrasión, mejor apariencia estética y algunas características de expansión térmica poco usuales.

También los materiales compuestos se pueden clasificar con respecto al tipo de matriz que posean, pueden ser metálicas, cerámicas y la polimérica. Los compuestos de matriz polimérica se pueden definir como materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, ya que dadas sus particulares características pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. Se clasifican en resinas termoestables y termoplásticas.

1.6 RESINA POLIÉSTER

Las resinas son sustancias líquidas que pueden pasar al estado sólido mediante una reacción química provocada por un agente externo; por si solas no tienen la resistencia suficiente, es por eso que necesitan refuerzos de otros materiales como la fibra de vidrio, que les aporte flexibilidad y dureza necesaria para la fabricación de materiales con mejores propiedades físico-mecánicas.

Existen diferentes clases de resinas, entre las que se encuentran las llamadas poliéster, vinilister y epoxi. Estas últimas presentan mejores características de adhesión y resistencia al agua, aunque tienen un elevado precio. La resina poliéster es la más usada en construcciones de barcos entre otros por su economía, de esta existen dos tipos.

Resinas isoftálicas, que tiene mejores propiedades que las ortoftálicas, sobre todo porque son más resistentes al agua, ya que tienen una absorción de humedad casi nula.

Resinas ortoftálicas, que son utilizadas comúnmente en embarcaciones siempre y cuando se utilicen en capas exteriores de la embarcación (sobre todo en la zona del casco, las resinas de tipo isoftálicas).

En la tabla 5 se muestran las propiedades de la resina poliéster sin carga.

Tabla 5: propiedades típicas de la resina poliéster sin carga

Peso específico	1.28 g/cm ³
Dureza, Rockwell escala M	110
Dureza Barcol (GYZJ 934-1)	50
Resistencia a la tracción	55 Mpa
Resistencia a la compresión	140 Mpa
Resistencia al impacto	2 KJ/m ²
Resistencia a la flexión	100 Mpa

Fuente: Tomado del manual de aplicaciones de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Andercol S.A.

1.6.1 Agentes Reforzantes. Los agentes reforzantes son los encargados de crear nuevas fuerzas de atracción intermoleculares (en forma artificial), con el fin de que una resina cristalina, pueda ser utilizada en aplicaciones superiores. Se emplean por razones preferentemente técnicas, para modificar la resistencia mecánica, la resistencia a la rotura, al desgarro y a la abrasión.

Un agente reforzante es un material formado por partículas finas, pequeñas y de superficie tan irregular (o rugosa) que pueden atraer las moléculas de las resinas y vincularlas posteriormente a su estado sólido.

Los agentes reforzantes pueden impartir protección frente al calor y la luz, contra los ácidos, las grasas, los aceites, el agua, los compuestos cáusticos y en general

contra numerosas acciones adversas que el producto puede encontrar en servicio, si se eligen bien y se utilizan en las proporciones adecuadas.

El plástico reforzado es un material compuesto por una resina resiliente y duradera combinada con un material fuerte de relleno. La resina constituye el componente principal y normalmente es una resina de poliéster.

El plástico reforzado es un material de construcción ligero, duradero y extraordinariamente duro, con el que puede construirse toda clase de productos. Puede ser translúcido, opaco o de color, plano o de determinadas formas, y espesor delgado o grueso. Prácticamente no existen límites de tamaño en los objetos que puedan hacerse con este material.

1.6.2 Gelificación y endurecimiento.

1.6.2.1 Uso de catalizadores y aceleradores. Para producir un objeto moldeado o laminado, una resina de poliéster tiene que fraguar, que es el proceso general de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue esto o bien mediante el uso de un catalizador y calor o a la temperatura normal del cuarto de trabajo empleando un catalizador y un agente acelerante. Los catalizadores para las resinas de poliéster son generalmente peróxidos orgánicos, los catalizadores puros son inestables químicamente y susceptibles de descomponerse con violencia explosiva. Se suministran por eso en forma de dispersión en pasta o líquida en un plastificante, o en forma de polvo en una carga inerte.

Los catalizadores más utilizados son el metil-etil cetona, peróxido o MEK peróxido y el benzoil peróxido o BPO. El peróxido de benzoilo, puede ser adquirido 100% puro o en solución al 50% en dibutil ftalato. El peróxido de metil-etil cetona (MEK

peróxido) se vende en una solución al 50% en dimetil ftalato. Se utilizan diferentes sistemas de acelerador y catalizador de la siguiente manera:

Sistemas a base de MEK peróxido: para los sistemas catalizados con MEK Peróxido, es más común utilizar sales organometálicas de cobalto como el SECAN 726 (naftenato de cobalto) o el SECAN 706 (octoato de cobalto).

Cuando se usa un acelerador basado en una amina terciaria por sí misma conduce a tiempos de gelificación y de curado excesivamente largos a temperatura ambiente. Por eso cuando se desee utilizar una amina terciaria es práctico que el sistema iniciador sea una mezcla de una sal de cobalto y una amina. Los catalizadores y aceleradores nunca deben mezclarse directamente el uno con el otro. La reacción puede ser explosiva.

1.6.3 Resinas Pre aceleradas. Muchas resinas comerciales se suministran con un sistema acelerador previamente incorporado, controlado de modo que produzca las características de gelificación y endurecimiento más adecuadas para el fabricante. Estas resinas solo precisan la adición de un catalizador para que comience la reacción de fraguado a la temperatura ambiente.

1.6.4 Reacción de curado. El curado de una resina de poliéster comienza en cuanto se le agrega un catalizador adecuado. La velocidad de la reacción depende de la resina y de la actividad del catalizador. Sin la adición de un acelerador, calor o radiación ultravioleta, la resina tiene una duración en el envase de horas o a veces días. Esta velocidad de curación es demasiado lenta para los fines prácticos, así que en condiciones de temperatura ambiente es corriente añadir un acelerador para que la reacción se desenvuelva de forma más rápida. La cantidad de acelerador que se añade determina el tiempo que tarda en gelificarse la resina y la velocidad de endurecimiento.

Para muchos procesos puede resultar indeseable la duración limitada de la resina catalizada en el recipiente y en esas condiciones es conveniente añadir la cantidad requerida de acelerador a la resina antes que nada. La resina con el acelerador incorporado se conserva utilizable durante muchos días o hasta semanas. Puede catalizarse entonces pequeñas cantidades de esta mezcla a medida que se necesite. Los catalizadores líquidos son generalmente más adecuados para esta técnica. La reacción es exotérmica, y la temperatura de la resina puede aumentar hasta más de 150°C en un vaciado sin carga, Pero en un laminado el aumento de temperatura es bastante menor. Incluso cuando se cura la resina con calor empleando sólo catalizador, se produce aun así un aumento de temperatura. Existen tres fases bien diferenciadas en la reacción de curado:

- **Tiempo de gelificación.** Es el tiempo que transcurre desde la adición del acelerador hasta que la resina cuaja formando un gel blando.
- **Tiempo de endurecimiento.** Es el tiempo que transcurre desde que fragua la resina hasta el punto en que este lo bastante dura para que el objeto moldeado o el laminado pueda retirarse del molde.

- **Tiempo de maduración.** Este tiempo puede ser de horas, viarios días o hasta semanas, dependiendo de la resina y del sistema de curado, y es el tiempo que tarda el objeto moldeado o laminado en adquirir su plena dureza, resistencia química y estabilidad. La maduración puede tener lugar a la temperatura del cuarto de trabajo o puede acelerarse mediante postcurado. Siempre que sea posible es ventajoso, en el caso de aplicaciones críticas, el dejar que el objeto moldeado o laminado “madure” a la temperatura del cuarto de trabajo durante por lo menos 24 horas antes del postcurado, especialmente si la temperatura de este último proceso es superior a 50 °C. Las propiedades de la resina se mejoran mediante el postcurado. La disminución de la absorción de agua se consigue gracias a la mejora del curado del laminado, a diversos intervalos después de la gelificación. En las aplicaciones que precisen la máxima resistencia del calor son esenciales las fases de postcurado, preferiblemente en etapas de temperaturas crecientes hasta alcanzar la temperatura a que vaya a estar sometido el objeto. Una cantidad de acelerador demasiado baja origina resinas subcuradas y a la vez una baja cantidad de catalizador no permite la obtención de una cura completa de la resina.

El tiempo de gel, pico exotérmico, tiempo de desmolde de una resina puede ser ajustado a través de una dosis adecuada de catalizadores y aceleradores. Una dosis excesiva de catalizador puede bloquear o neutralizar la reacción de curado, produciendo así una resina subcurada.

1.7 EXTRUSION⁴:

Es la acción de forzar, por medio de la presión, a pasar a través de un “dado” o “boquilla” un plástico o material fundido. El procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales como el aluminio, que fluyen plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En el procedimiento original para someter

⁴ MORTON- JONES. “Procesamiento De Plásticos”. Pág. 177

los polímeros a extrusión se utilizaron maquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se usan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido o gomoso a lo largo de la camisa de la máquina. El tipo de máquina que se utiliza más que se utiliza más es el de tornillo simple. El aparato está constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero solido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la maquina el polímero se funde y homogeneiza.

1.8 INYECCIÓN⁵

El fundamento del moldeo por inyección es inyectar un polímero fundido en un molde cerrado y frio, donde solidifica para dar el producto. La pieza moldeada se recupera al abrir el molde para sacarla. Una máquina de moldeo por inyección tiene dos secciones principales:

- Unidad de inyección
- Unidad de cierre, o prensa que aloja el molde.

Unidad de inyección⁶ : realiza las funciones de cargar y plastificar el material sólido mediante el giro del tornillo, mover el tornillo axialmente para inyectar el material plastificado hacia las cavidades del molde y mantenerlo bajo presión hasta que sea eyectado.

Esta sección es muy similar al proceso de extrusión, resaltando como principal diferencia que en inyección el tornillo tiene una acción reciprocante o alternativa,

⁵ MORTON- JONES. "Procesamiento De Plásticos". Pág. 177

⁶ SANCHEZ VALDES SAUL, YAÑEZ ISAURA, RODRIGUEZ FERNANDEZ OLIVERIO. "Moldeo por inyección de termoplásticos". Pág. 78

además de girar para fundir el plástico se mueve de manera axial al actuar como pistón durante la etapa de inyección

Unidad de cierre⁷ : su función principal es sujetar el molde de inyección, suministrar el movimiento y la fuerza necesaria para mantener cerradas y abiertas las dos mitades del molde. Sus principales partes son las columnas guías, platinas porta-moles fijas y móviles y el mecanismo para apertura y cierre del molde. Básicamente es una prensa que se cierra con un sistema de presión hidráulico o mecánico.

⁷ SANCHEZ VALDES SAUL, YAÑEZ ISAURA, RODRIGUEZ FERNANDEZ OLIVERIO. "Moldeo por inyección de termoplásticos". Pág. 84

2. ANALISIS DE PROPIEDADES DEL MATERIAL BASE

2.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Investigar los estudios adelantados sobre el PET reciclado, dentro de la investigación desarrollada se encontraron varios estudios locales adelantados en la Universidad Industrial de Santander por la escuela de Ingeniería Química. Dichas investigaciones se resumen en la tabla 6.

Tabla 6: Estudios adelantados

ESTUDIO ADELANTADO	AUTOR
Elementos constructivos con PET reciclado (Ladrillos, bloques y placas con plásticos reciclados para viviendas de interés social)	Gaggino Rosana. CEVE (Centro experimental de la vivienda económica) Argentina
Elaboración de monofilamento de poliéster, se usa principalmente en la manufactura de cuerdas para amarres, tendedores y fibras para escobas.	Asociación para Promover el Reciclado del PET A.C. (APREPET) México
Estudio de las rutas de síntesis de Poliuretanos a través del tratamiento químico de Polietilen Tereftalato, (Pet) postconsumo	Mónica Patricia Hernández Morales, Miguel Andrés Orjuela Gómez. Tesis. Escuela De Ingeniería Química. Bucaramanga 2004. Universidad Industrial de Santander.
Análisis de las propiedades fisicomecánicas de un mortero modificado con Pet reciclado	Omar Humberto Zabala Pérez, Oscar Javier Sánchez Neira. Tesis. Escuela De Ingeniería Química Bucaramanga 2006, Universidad Industrial de Santander
Obtención de productos a partir del PET reciclado obtenido de los residuos sólidos urbanos domésticos de Bucaramanga	William Fernando Barón Franco, Jhon Freddy Palacios. Tesis Ingeniería Metalúrgica Y Ciencia De Materiales, Bucaramanga 2001. Universidad Industrial De Santander.
Desarrollo de laminados impermeables a nivel	OBANDO CORAL, Doris del Socorro y RINCON

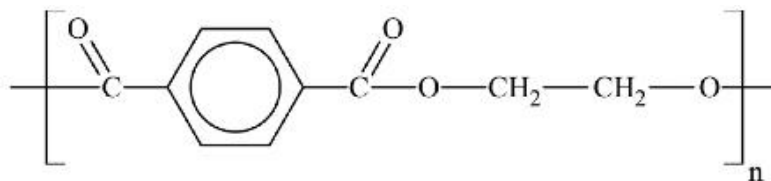
piloto sobre materiales mdf a partir del PET post- consumo.	ORTIZ, Argemiro. Tesis. INGENIERIA QUIMICA. BUCARAMANGA 2006. Universidad Industrial de Santander.
Desarrollo de materiales compuestos a partir de bentonitas colombianas modificadas embebidas en una matriz polimérica de polietilentereftalato (PET)	PALACIOS, Jhon Freddy. Tesis Maestría. Escuela De Ingeniería Metalúrgica Y Ciencia De Materiales.2008. Universidad Industrial de Santander.
"deformational properties of irradiated composite materials based on pet and pet"	r. merits meri, i. jablonskis,j. zicans, m. kalnins, and a. k. bledzki

2.2 ANALISIS DE LOS COMPONENTES DEL POLIETILENO TEREFTALATO-PET A PARTIR DE INVESTIGACIONES ADELANTADAS EN EL TEMA

El Polietilen Tereftalato (PET), es un tipo de plástico termoplástico, que pertenece a la familia de los Poliésteres saturados o termoplásticos que tienen poco o nada que ver con los Poliésteres insaturados o termoestables. Son producidos por la Poli condensación de un ácido y un alcohol.

El poliéster se define técnicamente como un polímero de macromoléculas lineales cuya cadena contiene un 85% en peso de un éster de un diol y del ácido tereftálico, en el caso del PET el diol es el Monoetilenglicol. Tanto este último como el mencionado ácido tereftálico provienen del petróleo, lo que permite asegurar que el PET es casi en un 100% un producto petrolífero. A continuación se presenta el esquema del monómero del PET

Figura 4: monómero del Pet



En función del nivel de organización de las cadenas de moléculas se obtienen diferentes grados de cristalinidad. Así, el PET totalmente cristalino presenta cadenas perfectamente ordenadas, lo que le confiere una elevada resistencia mecánica y térmica, mostrando un color blanco-marfil opaco. Por el contrario, el PET que presenta cadenas totalmente desordenadas se conoce como amorfo, cuya característica principal es su gran transparencia en detrimento de sus propiedades térmicas y mecánicas. Existe un número muy amplio de aditivos y de procesos posteriores a la poli condensación que se introducen en el proceso de fabricación, según el uso al que esté destinado el material, con el fin de mejorar sus propiedades y ampliar el número de aplicaciones.

El PET posee baja viscosidad, presenta una excelente resistencia química, frente a ácidos, bases, sales jabones alcoholes y aceites, no transmite ningún tipo de olor a los alimentos (en material reciclado no se recomienda como empaque de alimentos por factores higiénicos), su incineración no da ningún residuo toxico ni corrosivo, posee resistencia al impacto a cualquier temperatura, sobresale por su transparencia y alto brillo.

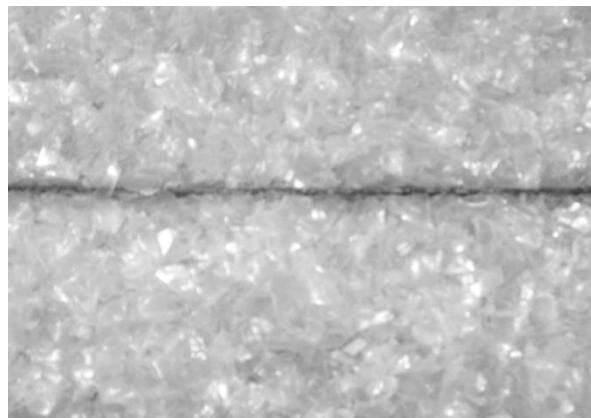
2.3 PROCESO DEL RECICLADO MECÁNICO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS ESCAMAS DE PET

Para la obtención de las escamas o lentejas de PET reciclado es necesario cumplir con los siguientes parámetros: recolección de botellas, identificación y clasificación, lavado y separación de etiquetas, triturado, lavado final, secado y almacenaje de la escama. En el desarrollo de la investigación se define utilizar botellas de agua, debido al alto consumo por la comunidad de estas y a la facilidad de recolección.

En la ciudad de Bucaramanga existen varias empresas de reciclaje dedicadas a la compra de residuos plásticos; estas empresas poseen maquinas trituradoras con capacidades de trituración del plástico desde 200 kg/hora hasta 5 ton /hora.

En el laboratorio de Química de la Universidad se encuentra un molino de cuchillas en el cual se puede hacer la disminución de tamaño del material (botellas de agua), pero debido al alto consumo energético ya que no poseen la capacidad de trituración como las maquinas que se encuentran en la planta de reciclaje; se decidió comprar el material en la planta de reciclaje Replasander Ltda, ubicada en el municipio de girón, el material ya reciclado y triturado (hojuelas) con granulometría entre 2mm y 7mm, por un precio de \$1500 el kilo. La compra del material se hizo con previa confirmación del proceso del reciclado para cumplir con el objetivo propuesto en el plan. En la fotografía 2 se muestran las hojuelas de PET.

Fotografía 2: Hojuelas de PET



Fuente: Autor

2.4 TRANSFORMACIÓN DEL PET

Como primera opción se analizan las posibilidades de trabajar el material por extrusión o inyección, lamentablemente en la universidad no se cuenta con la

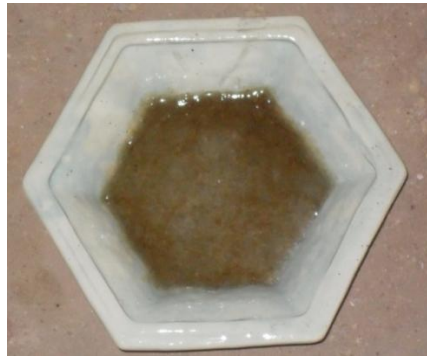
opción de trabajar por estos métodos y en la ciudad las empresas que trabajan extrusión e inyección de polímeros realizan producciones en serie y no permiten cambiar el ritmo de producción para hacer pruebas; por este motivo se hace imposible trabajar el material por el medio de extrusión o inyección.

Se define hacer la transformación del material trabajándolo solo con temperatura y como una segunda opción trabajando con temperatura más presión, para la elaboración de las probetas las realizamos con el material base PET sin ningún refuerzo para conocer sus propiedades y definir cual material puede aportar características que me mejoren la condición del PET.

2.4.1 Fundición del PET aplicando solo temperatura. Para la elaboración de los moldes se procedió primero a fundir el material en un recipiente cerámico resistente al calor en el cual se pueda después de fundido el material, verter en el molde de la probeta.

Análisis: El PET funde entre los 290 y 330 °C en forma viscosa, la manipulación del recipiente es complejo debido a las altas temperaturas, lo cual hace difícil el traslado a los moldes elaborados; el material se cristaliza rápidamente al contacto con la temperatura ambiente y da poco tiempo para lograr verterlo en otro molde creando vacíos, debido a estos vacíos el proceso de fundición en otro recipiente no funciona, por este inconveniente se ve la necesidad de mirar otras alternativas para obtener la probeta para los análisis respectivos del material. El PET fundido se muestra en la fotografía 3.

Fotografía 3: PET fundido en material cerámico



Fuente: Autor

El molde con el PET cristalizado se presenta en la fotografía 4.

Fotografía 4: molde con PET cristalizado



Fuente: autor

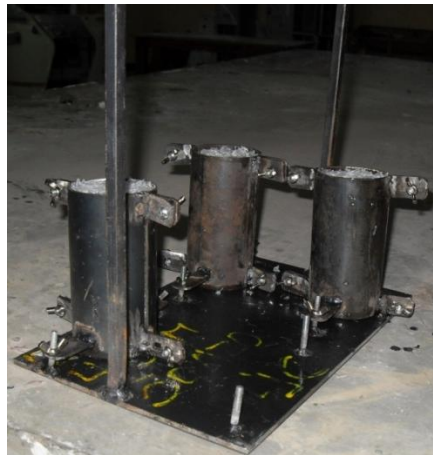
2.4.2 Elaboración de moldes en acero

2.4.2.1 moldes para ensayo a compresión. A partir del análisis anterior, se decide elaborar las probetas directamente en moldes resistentes al calor, se hace una relación de costos- beneficios, y se opta por realizar los moldes en acero que es un material económico y resiste la temperatura necesaria para obtener la probeta. Se elaboran unos moldes iniciales de 2" de diámetro y 5" de alto en tubo aguas negras; para realizar la prueba de compresión, pensando en la

diminución de volumen se deja una pulgada más de la longitud requerida para cumplir con los requerimientos de la norma de mantener la relación 1:2.

Análisis: Para realizar el llenado de los moldes se hizo por compactación de cuatro capas para evitar que el material presentara vacíos. Debido a la disminución del volumen del material se requiere aumentar la altura del molde para cumplir con el requerimiento de la norma, ya que la probeta disminuye su altura a $2\frac{1}{2}$ ". Los nuevos moldes se elaboran en tubo de aguas negras de $1\frac{1}{2}$ " de diámetro y 10" de alto; obteniendo probetas de 3.81cm de diámetro por 8.5 cm de alto, eliminando el valor sobrante de la altura con una maquina de sierra sin fin, el cual debido al punto de ebullición del material queda con imperfecciones. Los primeros moldes y probetas obtenidos se exponen en la fotografía 5.

Fotografía 5: primeros moldes y probetas



Fuente: autor

A continuación se muestran las probetas elaboradas para el ensayo a compresión.

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Fotografía 6: primera probetas elaboradas para ensayo a compresión



Fuente: autor

Los moldes y las probetas finales se exhiben en las fotografías 7 y 8 respectivamente.

Fotografía 7: Moldes finales



Fuente: autor

Fotografía 8: probetas finales



Fuente: autor

2.4.2.2. Molde para ensayo a flexión. De acuerdo a observaciones realizadas con el anterior ensayo, se determino elaborar el molde en lámina coll rolled calibre 18. Dimensiones 16 cm de ancho, 20 cm de largo y 12,5 de alto, para obtener probetas de 19cm de largo, 5cm de ancho y 3cm de alto, las cuales mediante la sierra ubicada en el laboratorio de maderas se corta de acuerdo a las dimensiones requeridas para cumplir con la norma. El molde utilizado para el ensayo de flexión se muestra en la fotografía 9.

Fotografía 9: molde para ensayo flexión



Fuente: Autor

2.4.2.3 molde para ensayo a tensión. Se hace una malla en pletina metálica de 19 cm de largo por 2 cm ancho y 2 cm de espesor, para obtener probetas que se puedan moldear de acuerdo a la norma. El molde utilizado para el ensayo de tensión se presenta en la fotografía 10.

Fotografía 10: molde ensayo a tensión



Fuente: autor

Análisis: debido a las pequeñas dimensiones, el PET ya fundido posee alta fragilidad y las probetas se quiebran en el desmolde, por lo cual, se opta por hacer probetas más grandes para luego cortar y obtener las medidas necesarias. La fragilidad se sigue presentando y no se puede dar forma a las probetas según las condiciones de la norma.

2.4.3 Proceso de fundición del material para la elaboración de las probetas. Se utilizó silicona un material aislante para evitar que se adhiriera al molde, debido a que la temperatura para llegar al punto de derretimiento es muy alta.

Las probetas se fundieron en un horno de cerámicas, ya que el grado de fusión del Pet teórico es de 260°C, era necesario obtener temperaturas más altas para lograr una fundición homogénea del material.

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Análisis: Para determinar la temperatura de fusión constante se hicieron varias pruebas a ensayo y error, arrojando como resultado que la temperatura ideal o mas optima oscila entre los 290°C y los 340°C , debido a que a temperaturas menores no se alcanza un grado total de fusión, y a mayores temperaturas, el material presenta combustión. El horno utilizado en dicho proceso se muestra en la fotografía 11.

Fotografía 11: Horno cerámica



Fuente: Autor

La termocupla para el control de temperatura se expone en la fotografía 12.

Fotografía 12: termocupla para controlar la temperatura en el horno



Fuente: autor

2.4.4 Proceso de desmolde. Para facilitar el desmolde de las probetas se analizaron varios aceites y grasas que soportaran la temperatura necesaria para la fusión del PET, pero todos estos mostraron combustión o se mezclaron con el PET. Se utilizó silicona en espray ya que es un material no grasoso y soporta altas temperaturas de calor.

Realizadas las probetas, se esperó que estas se encontraran a temperatura ambiente para poder manipularlas; por el efecto de la silicona como aislante entre el material y el molde, el proceso de desmolde no es complicado, pero se debe tener precaución para no realizar daños a la probeta.

2.5 FUNDICIÓN DEL PET APLICANDO PRESIÓN

2.5.1 Definición del proceso. En esta segunda etapa de fundición se busca disminuir la temperatura utilizada en el horno, ya que el consumo energético y el tiempo de fundición son altos. De esta manera se propone realizar las probetas mediante compactación del material aplicando una presión y temperatura simultáneamente.

2.5.2 Moldes. Se utilizaron moldes elaborados en lámina de hierro de ¼" (fotografía 13) para evitar la deformación por presión al utilizar la prensa en la compactación del material.

Fotografía 13: molde en acero



Fuente: autor

2.5.3 proceso de elaboración de las probetas. En la elaboración de las probetas, primero se tamizó el material para de obtener partículas más pequeñas con el fin de lograr una fundición homogénea. Se utilizó el retenido en el tamiz N16. para el llenado de los moldes en capas compactas de 1 cm de espesor.

2.5.4 calentamiento de las probetas. Mediante un soplete de gas natural se hace un precalentamiento de la probeta, proporcionando el calor necesario al molde para fundir el PET; luego se aplica una presión constante que ayuda a una mejor compactación del material. El fotografía 14 se registra el procedimiento de calentamiento y compresión de la probeta.

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Fotografía 14: temperatura + presión aplicada a la probeta



Fuente: autor

En la fotografía 15 se muestra la termocupla digital utilizada en el control de temperatura en el molde.

Fotografía 15: termocupla para controlar la temperatura en el molde



Fuente: autor

Para el control de la presión aplicada a la probeta en el ensayo, se empleó un manómetro como el mostrado en la fotografía 16.

Fotografía 16: manómetro para controlar la presión aplicada



Fuente. Autor

Análisis: Para determinar la temperatura ideal a la que esta fusión ocurre se realizaron pruebas de ensayo y error, arrojando una temperatura optima en un rango de 245 °C a 260 °C; al someterlo a una temperatura menor, el material no logra una fusión homogénea: se presenta la fundición solo en las paredes del molde. Al aumentar la temperatura, el material combustiona.

2.5.6 Proceso de desmolde. Para el desmolde del material, el procedimiento es similar que en la etapa de fundición. Se utiliza silicona en espray como aislante y se espera a que la probeta este a temperatura ambiente para poder manipularla.

2.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7: resultados obtenidos PET reciclado

Ensayo realizado	Máxima de carga (Kgf)	Máximo desplazamiento (mm)	Esfuerzo máximo (Kgf/cm ²)
COMPRESION	7561.4115	1.50	722.21
FLEXION	1009.1286	1.10	101.81
TENSION	23.53	0.33	29

3. DETERMINACIÓN DE MATERIALES COMPATIBLES CON EL PET Y PROPUESTA DEL MATERIAL COMPUESTO.

3.1 ESTABLECER LOS MATERIALES COMPATIBLES CON EL PET POST CONSUMO

La fabricación de un nuevo producto es el objetivo de este proyecto, dado que la materia prima se obtiene de un material reciclado de desechos domiciliarios a base de plástico y de manera gratuita (de hecho es basura); además, se pretende buscar materiales de desecho que no sean contaminantes, de bajo costo (en lo posible sin costo alguno) y amigable con el medio el ambiente.

Para dar una posible respuesta al tema de recuperación de materiales y desechos existentes y de acuerdo a las características del PET, se da una mirada a los desechos sintéticos de plástico, como el polietileno, polipropileno, el PVC y ABS, quienes tienen propiedades, usos y proceso de transformación similar al del material base. Estos plásticos se pueden mezclar y fluidizar en una prensa extrusora mejorando las características del PET. Debido al no poder realizar la transformación por extrusión o inyección se descartan los materiales de residuos sólidos plásticos ya que la mayoría tienen un punto de fusión menor al PET. Se propone trabajar con diferentes fibras naturales como las de la guadua y el fique u otras fibras como el nylon y la fibra de vidrio que sirvan como refuerzo para mejorar las condiciones del material a Flexión y Tensión.

En los dos procesos utilizados para la transformación del PET se determina que no se puede trabajar con fibras naturales debido a la presencia de celulosa, ya que a las temperaturas de fusión y la unión de las partículas de PET son altas y las fibras naturales presentan rápida combustión. Teniendo en cuenta lo anterior,

se procedió a revisar otro tipo de fibras, buscando que no presenten problemas similares a las fibras naturales.

De las fibras analizadas, la que presenta mejor resistencia a la temperatura es la fibra de vidrio y fibra de origen mineral. Con la fibra de vidrio se elaboraron tres tipos de probetas adicionándolas al PET en porcentajes del 30, 15 y 5 % en volumen de esta fibra. A continuación, en la tabla 8, se presentan las observaciones de los resultados obtenidos para las pruebas realizadas:

Tabla 8: porcentaje de agregado de fibra de vidrio

Porcentaje de fibra vidrio (%)	Observaciones
30	El material queda con vacíos, es liviano, no se logra una mezcla homogénea, se puede deshacer en las manos.
15	Se presentan vacíos, mejora un poco la condición de la mezcla, se puede deshacer en las manos.
5	Se logra una mejor mezcla, el material asciende en el punto de ebullición del Pet a la superficie, pero no presenta mejoramiento del material.

De acuerdo a los resultados, se descarta el uso de la fibra de vidrio, debido a que no se logra una mezcla homogénea entre el PET y la fibra en el proceso de fundición.

Se utilizó el método de fundición mediante la aplicación de temperatura y presión simultáneamente, debido, al alto consumo energético presente en la técnica de fundición utilizando solo temperatura. Sin embargo, esta práctica no aseguró una temperatura uniforme en todo el molde, por lo tanto, el mezclado del PET con otro material no muestra una composición homogénea, lo cual, genera probetas demasiado frágiles.

Por lo expresado en el párrafo anterior, se decidió trabajar el PET no como un material base sino como un material de refuerzo en resina de poliéster. Esto también fue influenciado por la facilidad para polimerizar de la resina, lo que ayuda a que el PET se aglomere perfectamente.

3.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS DE RESINA POLIÉSTER CON PET

3.2.1 Descripción de operaciones involucradas. En la fabricación de las probetas se verifican una serie de operaciones que incluyen la disminución de la granulometría del material reforzante PET, mezclado de reactivos, moldeo, curado y desmolde. A continuación se describirán estas operaciones y se mencionarán los equipos en los que se lleva a cabo cada una.

3.2.1.1 Disminución de Granulometría. Es el proceso mediante el cual se reduce el tamaño del material PET a un diámetro de 1 mm para facilitar su incorporación en la mezcla con la resina.

Esta operación se lleva a cabo en un molino de cuchillas Willey ubicado en la planta de aceros de la escuela de Metalurgia de la universidad Industrial de Santander, donde la reducción del material se hace por rozamiento con las cuchillas.

3.2.1.2 Mezclado. Se toma un volumen determinado de resina, el cual debe conocerse su peso, y se agrega el PET de acuerdo al porcentaje seleccionado como carga. En el procedimiento se trabajo con dos porcentajes diferentes, 5 y 10%

Se utilizaron dos tipos de resinas, resina rígida y flexible. Para la primera se mezcló la resina con el PET manualmente incorporando una parte de catalizador

(mek peróxido) por cada cien partes de resina; cuando se presentó una mezcla homogénea se sigue combinando manualmente para que el catalizador quede distribuido homogéneamente. La adicción de cobalto⁸ no se hizo debido a que la resina rígida ya lo trae incorporado.

Para la mezcla de la resina flexible se utilizó una parte de catalizador (mek peróxido) por cada cien partes de resina, cinco partes de cobalto por cada cien de resina y cinco partes de líquido de anti ductilidad por cada cien de resina. Se mezcló primero la resina con el PET, luego se agregó el cobalto y el líquido de anti ductilidad mezclando manualmente y se adiciono el catalizador al final para evitar polimerización antes de terminar la mezcla

3.2.1.3 Moldeado. Se elaboraron moldes en tubo de PVC que se recubrió de una cera especial para resinas para facilitar el proceso de desmolde. Los moldes se elaboraron de acuerdo a las dimensiones requeridas por las normas para cada ensayo.

3.2.1.4. Vaciado y curado. Se vertió el gel en el molde debidamente preparado y se deja fraguar tranquilamente a temperatura ambiente sin ningún tipo de calor asistido y minimizando las alteraciones externas. Se dejó que la resina lleve su proceso de curado bajo las condiciones de poca humedad, poco flujo de aire y poca luz durante 12 horas.

3.2.1.5 Desmolde. El proceso de desmolde se hace con sumo cuidado para no causar daños a la probeta. Es un paso relativamente fácil debido a la cera que se utilizó para este proceso.

⁸ La empresa proveedora del producto es ingeoquimicas. La resina rígida adquirida trae cobalto incorporado.

4. CARACTERIZAR FISICO MECANICAMENTE EL MATERIAL PROPUESTO

4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO PET RECICLADO

4.1.1 Ensayo compresión. En este ensayo podemos comprobar la resistencia a la compresión del material base por medio de cilindros prefabricados de 1 ½” de diámetro por 3” de alto, cumpliendo la relación 1:2 de la norma, sometiéndolo a la acción de cargas que van teniendo un incremento gradual; a su vez, vamos midiendo las deformaciones producidas hasta obtener la fluencia del material.

Los resultados de este ensayo se expresarán en unidades de esfuerzo (Kg/cm²), de donde:

Esfuerzo= Resistencia ultima/ área efectiva

Área efectiva: $\pi * r^2$

Resistencia Ultima lectura tomada

4.1.1.1 Aparatos. Para efectuar este ensayo se utilizo la maquina Hydraulic wedge Grip ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales del edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander.

4.1.1.2 Muestreo. En la fotografía 17 se observa la muestra para ser sometida al ensayo de compresión.

Fotografía 17: probeta lista para ser sometida al ensayo de compresión



Fuente: autor

4.1.1.3 Análisis. Mediante las gráficas elaboradas con los datos de Esfuerzo vs. Deformación, que arrojaron los ensayos realizados de compresión (se muestra en el numeral 4.5 ENSAYO A COMPRESION), se pudo obtener el modulo de elasticidad experimental del material. El ensayo de compresión se exhibe en la fotografía 18. La falla que se evidencia en el ensayo no fue súbita, mostrando elasticidad en la conformación de la probeta.

Fotografía 18: Muestras fracturadas obtenidas en ensayo de compresión.



Fuente: Autor

4.1.2 Ensayo De Tensión. Mediante este ensayo se quiere establecer la resistencia a la tensión de las briquetas elaboradas en PET por el método de fundición.

Debido a que el material es demasiado frágil, no se pudo realizar esta prueba. Las probetas se quebraban al ajustar la máquina.

4.1.2.1 Aparatos. Para efectuar este ensayo se utilizó la máquina Hydraulic wedge Grip ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales del edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander

4.1.2.2 Muestreo. En la fotografía 19 se muestra se presenta el montaje a utilizar en la prueba de tensión.

Fotografía 19: probeta sometida al ensayo de tensión.



Fuente: Autor

4.1.2.3 Análisis. En el ensayo se pudo observar que el material no presenta fluencia por lo que es muy frágil. No se llegó a ningún límite plástico.

4.1.3 Ensayo De Flexión. En este se busca obtener en la muestra la resistencia a la flexión del material fabricado sometándolo a la acción gradual de cargas, las cuales lo deforman hasta llegar a la falla pasando por la fluencia y de esta forma se muestra el momento necesario para llegar a la rotura del elemento (Según INV E415). Los resultados de este ensayo se expresan en unidades de esfuerzo (Kg.-f/cm²); el valor de resistencia responde al comportamiento de una viga apoyada con una carga central y su cálculo se debe a la siguiente ecuación:

$$R = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura, Mpa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf),

l = longitud de la luz, mm (pulg),

b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (pulg), y

d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm (pulg).

4.1.3.1 Aparatos. Para efectuar este ensayo se utilizó la maquina universal Hydraulic wedge Grip ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales del edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander, siendo necesario realizar la idealización de una viga simplemente apoyada

4.1.3.2 Muestreo. En la fotografía 20 se observa el montaje del ensayo de flexión.

Fotografía 20: probeta lista para ensayo a flexión



Fuente: autor

4.1.3.3 Análisis. En el ensayo de flexión se observó que el material tiene alta fragilidad, al inicio de la prueba el material sufre un aplastamiento hasta acomodar sus partículas para soportar la carga aplicada. Las probetas no soportan una carga convincente, debido a esto el módulo de rotura es relativamente pequeño. Las probetas resultantes de este ensayo se muestran en la fotografía 21.

Fotografía 21: probetas falladas



Fuente: autor

4.2 FICHA RESULTADOS OBTENIDOS

La tabla 29 expone la ficha de los resultados obtenidos.

Tabla 9: resultados obtenidos

Ensayo realizado	Máxima de carga (Kgf)	Máximo desplazamiento (mm)	Esfuerzo máximo (Kgf/cm ²)
COMPRESION	7561.4115	1.50	722.21
FLEXION	1009.1286	1.10	101.81
TENSION	23.53	0.33	29

4.3 ENSAYOS DE LABORATORIO RESINA CON PET COMO CARGA

Al igual que el material base PET, se hicieron ensayos de compresión y flexión a la resina poliéster sin carga para tener datos de comparación respecto a las pruebas realizadas a la resina poliéster con PET como carga. Las probetas para cada ensayo se elaboraron de acuerdo a la norma correspondiente, se utilizaron las mismas maquinas que en los ensayos anteriores. Las probetas utilizadas en la prueba se muestran en la fotografía 22.

Fotografía 22: probetas de resina poliéster con Pet

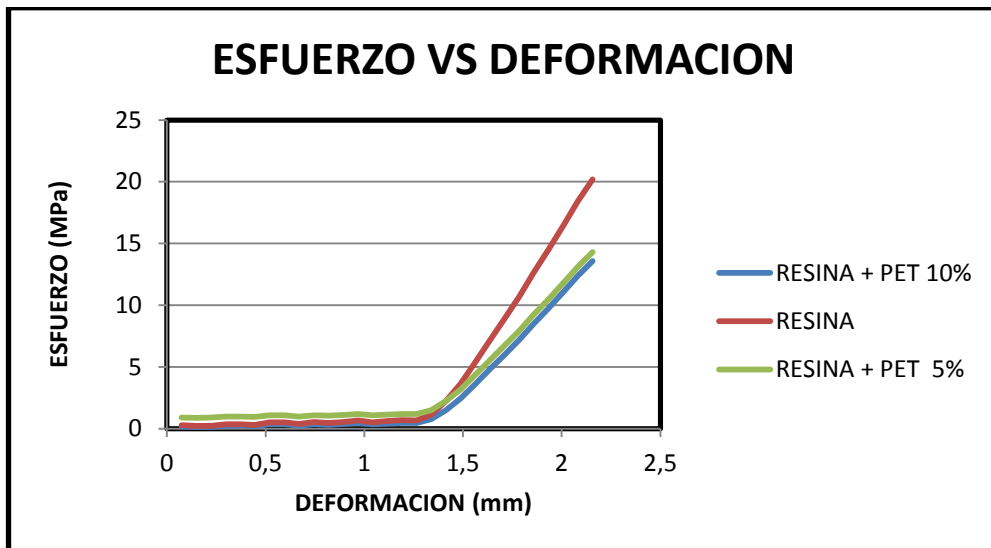


Fuente: Autor

4.3 ENSAYO A FLEXION

A continuación, en la gráfica 1, se muestra la curva Esfuerzo Vs. Deformación.

Gráfica 1: Esfuerzo vs deformación ensayo a flexión (ver anexo 3)



**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN
CONSTRUCCION**

DIMENSIONES

PROBETA

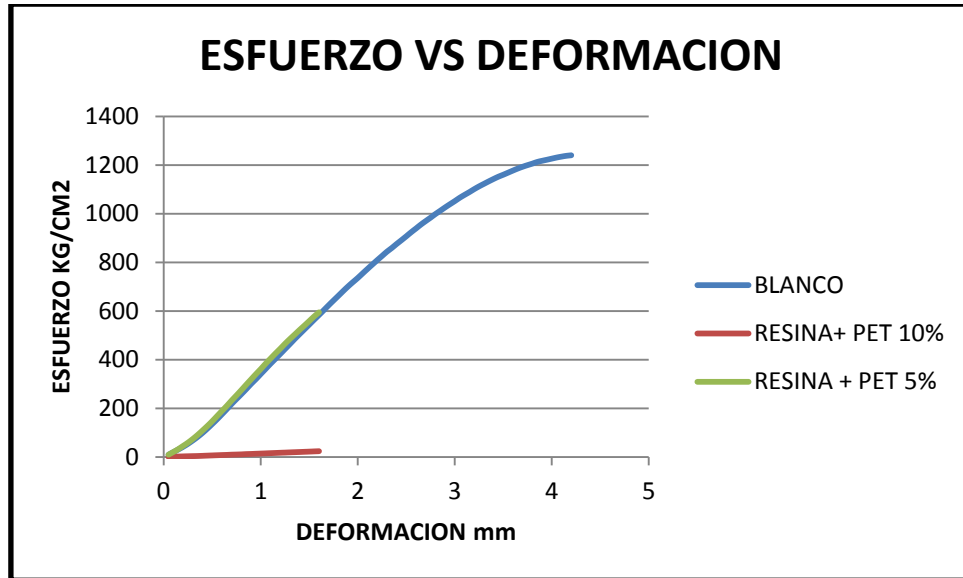
ANCHO (cm)	2
ALTO (cm)	2
LARGO cm	14
longitud de la luz cm	13

PROBETA	P (N)	R (Mpa)	R (Kgf/cm ²)
Resina	828.5021	20.1947	205.925742
RESINA + PET 5%	586.9593	14.3071	145.889842
RESINA + PET 10%	556.9593	13.5759	138.433286

4.4 ENSAYO A COMPRESION

La grafica 2 muestra la curva Esfuerzo Vs. Deformación, generada mediante la prueba de compresión.

Grafico 2: Esfuerzo vs deformación ensayo a compresión (ver anexo 2)



PROBETA	RESISTENCIA ULTIMA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
RESINA	14019.89643	1236.19162
RESINA + PET 10%	4314.093315	564.273068
RESINA + PET 5%	6961.355262	613.811172

En la tabla 10 se resumen los resultados del ensayo de compresión.

Tabla 10: resultados obtenidos mezcla resina poliéster y PET

Ensayo realizado	Máxima de carga			Máximo desplazamiento			Esfuerzo máximo		
	(Kgf)			(mm)			(Kgf/cm2)		
	Resina poliéster	Resina con Pet 5%	Resina con Pet 10%	Resina poliéster	Resina con Pet 5%	Resina con Pet 10%	Resina poliéster	Resina con Pet 5%	Resina con Pet 10%
COMPRESION	14019.89	6961.35	4314.09	4.80	1.7	5.09	1236.19	613.8	564.2
FLEXION	84.54	59.89	56.83	2.15	1.457	1.45	205.92	145.8	138.43

5. ELEMENTOS PROPUESTOS

A partir de la mezcla resina poliéster más PET, se presenta un material liviano que permite un ahorro en peso en elementos no estructurales, contribuye a optimizar la relación resistencia- peso, nos permite emplearlo en marcos de refuerzo para paneles, divisiones interiores, como recubrimiento de maderas para ayudar a impermeabilizar; además, se puede utilizar en elementos decorativos, brindando rapidez en secado y facilidad en el moldeo de piezas.

Marcos de refuerzo para paneles con la mezcla PET al 30% y resina se pueden elaborar elementos en sección U que sean flexibles, de manera que las alas de la sección se encuentren apretadas contra las caras del panel.

En recubrimientos de madera, se aplica la mezcla PET y resina en la madera con un bajo porcentaje de catalizador para disminuir el tiempo de polimerización y así poder aplicarlo sin ningún contratiempo.

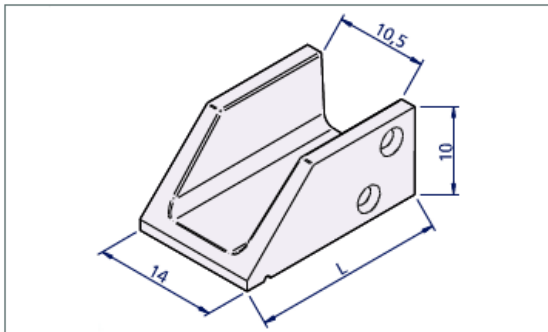
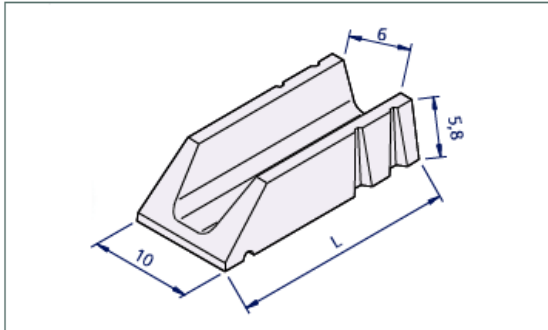
Si agregamos 30 partes de PET por cada 100 de resina rígida, podemos obtener un material fuerte que se puede taladrar, pulir, aserrar. A partir de esta mezcla podemos elaborar mesones, pocetas para lavamanos y lavaplatos, brindando variedad de colores y estilos para cocinas y baños.

Se pueden fabricar pequeños zócalos decorativos y pequeños elementos de desagüe de aguas en edificios con una dosificación de 50% de Pet y 50% de resina flexible, en este caso la resina ayuda a unir las partículas de PET.

En las fotografías 23 y 24 se muestran las dimensiones para desagües en fachadas para casa y los acabados en los zócalos respectivamente.

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Fotografía 23: dimensiones desagüe para fachadas casas o edificios



Fuente: <http://www.ulmapolimero.com/es/prefabricados-edificacion/gargolas/>

6. CONCLUSIONES

- ✓ Al realizar la transformación del PET aplicando solo temperatura, se observa una mezcla homogénea del material; las probetas presentan buenas condiciones como elementos sometidos a compresión, pero baja resistencia a flexión y tensión.
- ✓ Las características de la probeta obtenida a partir de la transformación del PET por temperatura es similar a las probetas realizadas por temperatura y presión.
- ✓ El porcentaje de peso perdido del material, en el proceso de fundición oscila entre el 19 y 20 %, siendo un porcentaje pequeño ya que el material presenta una fundición homogénea sin presentar vacíos.
- ✓ El PET transformado con temperatura presenta buena resistencia a la compresión, pero a su vez, muestra fragilidad a simple vista y se comprueba con los ensayos realizados.
- ✓ Para obtener buenos resultados se debe fundir el material sobre los 270 °C, sin sobrepasar los 340°C.
- ✓ En el aspecto ambiental, el proceso de transformación del PET no presenta ningún subproducto ni desecho, por tal motivo, se contribuye a la disminución de la carga de residuos sólidos, puesto que la materia prima utilizada es un polímero post consumo de vida útil muy corta y largo tiempo de degradación.
- ✓ La adición de PET a la resina sirve como carga y agente reforzante siempre y cuando la granulometría del PET sea baja.

- ✓ A medida que aumenta el contenido de PET en las mezclas de resina, el esfuerzo a compresión disminuye. Presenta mayor resistencia las mezclas con PET de granulometría baja.

- ✓ Al aumentar el contenido de PET en la mezcla con resina, disminuye el esfuerzo a flexión y tensión, debido a que la geometría del material produce esfuerzos internos, que causan falla en la resina más rápidamente.

- ✓ Una gran ventaja del PET reciclado como material alternativo es que por ser un residuo, es económico, liviano y la corrosión no lo puede afectar.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ Los moldes se deben elaborar de un material que resista las presiones de compactación. Siempre debe estar cubierto por un aislante para el proceso de desmolde.

- ✓ En la transformación del material por temperatura y presión, se debe garantizar que estas sean constantes para obtener un material homogéneo y sin vacíos.

- ✓ Se recomienda utilizar la resina + PET para acabados decorativos ya que tiene fácil moldeo y se puede hacer de diversos colores.

- ✓ Se recomienda en estudios posteriores la utilización del método de extrusión e inyección, con el fin de comparar resultados con la técnica de transformación utilizada en el presente trabajo, para así verificar lo reportado en la bibliografía: obtención de mejores propiedades mecánicas si el proceso se realiza siguiendo el procedimiento de extrusión.

- ✓ Desde la Universidad Industrial de Santander, gestionar los recursos necesarios para la adquisición o alquiler de una máquina extrusora, con el fin de analizar el material PET en elementos pequeños que sigan correctamente la norma y así verificar la resistencia a tensión con un mayor número de probetas.

BIBLIOGRAFIA

BUENO CARREÑO Sergio Antonio y **RODRIGUEZ GALAN**, Luis Eduardo. Propuesta de elemento constructivo base laminado de Guadua. Tesis. Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.

BARÓN FRANCO William Fernando y **PALACIOS Jhon Freddy**. Obtención de productos a partir del PET reciclado obtenido de los residuos sólidos urbanos domésticos de Bucaramanga. Tesis Ingeniería Metalúrgica Y Ciencia De Materiales, Bucaramanga 2001. Universidad Industrial De Santander.

GABRIELLE PRADILLA, José Luis y **HERRERA ORTIZ**, Hernán Darío. Parámetros de Diseño de elementos de Guadua Cultivada en el municipio de Aratoca, Santander. Tesis. Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.

GIL GONZALEZ, Ivonne Johanna y **PRADA GARZON**, Ronny German. Análisis y caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de la palma de lata. Tesis. Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander.

GONZALEZ CARREÑO José Antonio. Propuesta De Utilización De Material De Desecho Base Cartón – Polietileno Para Elementos Constructivos. Tesis. Escuela de Ingeniería Civil. Bucaramanga 2008, Universidad Industrial de Santander.

HERNANDEZ MORALES Mónica Patricia y **ORJUELA GOMEZ** Miguel Andrés. Estudio de las rutas de síntesis de Poliuretanos a través del tratamiento químico de Polietilen Tereftalato, (Pet) postconsumo. Tesis. Escuela De Ingeniería Química. Bucaramanga 2004. Universidad Industrial de Santander.

OBANDO CORAL, Doris del Socorro y **RINCON ORTIZ**, Argemiro. Desarrollo de laminados impermeables a nivel piloto sobre materiales mdf a partir del PET post-consumo. Tesis. INGENIERIA QUIMICA. BUCARAMANGA 2006. Universidad Industrial de Santander.

PALACIOS Jhon Freddy. Desarrollo de materiales compuestos a partir de bentonitas colombianas modificadas embebidas en una matriz polimérica de polietilen-tereftalato (PET). Tesis maestría. Escuela De Ingeniería metalúrgica y ciencia de Materiales. Bucaramanga 2008, Universidad Industrial de Santander.

ZABALA PEREZ Omar Humberto y **SANCHEZ NEIRA** Oscar Javier. Análisis de las propiedades físicomecánicas de un mortero modificado con Pet reciclado. Tesis. Escuela De Ingeniería Química Bucaramanga 2006, Universidad Industrial de Santander

D.H. MORTON – JONES, “Procesamiento de plásticos”. LIMUSA NORIEGA EDITORES, México. 1993. página 95

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E415. Norma para determinar la resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central.

I.N.V. E – 415 – 07

NORMA TECNICA COLOMBIANA PARA LA CONSTRUCCION Método para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico

NTC 120

NORMA TECNICA COLOMBIANA PARA LA CONSTRUCCION Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado

NTC 220

ARTICULOS EN LINEA

A. Elamri, A. Lallam, Harzallah, L. Bencheikh “Mechanical characterization of melt spun fibers from recycled and virgin PET blends” Received: 5 October 2006 / Accepted: 1 February 2007 / Published online: 28 June 2007, Springer Science+Business Media, LLC 2007.

Barchena, Juan Carlos. “Procedimiento para la fabricación de un producto sólido a partir de materiales plásticos reciclables, y dicho producto” Fecha de la publicación del folleto de la patente: 16 de junio 2005. OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

Mihai Brebu, Thallada Bhaskar, Kazuya Murai, Akinori Muto, Yusaku Sakata, Md. Azhar Uddin. “The effect of PVC and/or PET on thermal degradation of polymer mixtures containing brominated ABS” Received 29 September 2003; revised 19 April 2004; accepted 21 April 2004; available online 2 June 2004. Elsevier.

Propiedades Térmicas De Los Polímeros En La Enseñanza De La Ciencia De materiales E Ingeniería – Estudios Dsc Sobre Poli (Tereftalato De Etileno). *Journal Of Materials Education*, Año/Vol. 25, Número 4-6. Universidad Autónoma Del Estado De México: University Of North Texas. Toluca, México. Pp. 155-170
www.redalyc.org

Ron Perkins and Barbara Halpin. “Communities can increase PET and HDPE recovery rates by expanding their collection to include all plastic bottles”
www.plastics.org

Gaggino Rosana. CEVE (Centro experimental de la vivienda económica) Argentina
www.ceve.org.ar.

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN
CONSTRUCCION**

Asociación para Promover el Reciclado del PET A.C. (APREPET) México

www.eco-tecnologia.com

www.aprepet.org.mx

www.plastico.com

www.anep-pet.com/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=10

www.petdelcaribe.com/

www.petcore.org/content/processing




www.enviaseo.gov.co/

ANEXOS

ANEXO A. RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO

TIPO/NOMBRE	CARACTERISTICAS	USOS/APLICACIONES
PET Polietilentereftalato 	Se produce a partir del Acido Tereftalico y Etilenglicol, por poli condensación; existiendo tres tipos: grado textil, grado botella y grado film. Para el grado de botella se lo debe post condensar, existiendo diferentes colores para post condensar.	Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosméticos, frascos varios. Películas transparentes fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacio.
Polietileno de alta densidad 	El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se le puede transformar de diversas formas; inyección, soplado, extrusión, o rotomoldeo.	Envases para detergentes, lavandina, aceites automotor, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, menaje, cajones para pescados, gaseosas y cervezas, baldes para pintura, aceites, tambores, caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.
PVC	Se produce a partir de	Envases para agua mineral,

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

<p>Cloruro de Polivinilo</p> 	<p>dos materias primas naturales: gas 43% y sal común 57%. Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles (inyección, soplado o extrusión)</p>	<p>aceites, jugos, mayonesa. Perfiles para marcos de ventanas, puertas, caños para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, blíster para medicamentos, pilas juguetes, envolturas para golosina, películas flexibles para envasado (carnes, fiambres, verduras), film cobertura, cables, cuerina, papel, vinilico (decoración), bolsas para sangre entre otros.</p>
<p>PEBD Polietileno de Baja Densidad</p> 	<p>Cloruro de sodio (2 NaCl) Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: inyección, extrusión, soplado y rotomoldeo.</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. embasamiento automático de alimentos y productos industriales (leche, agua, plásticos, etc.)</p>
<p>PP Polipropileno</p> 	<p>El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolimeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP</p>	<p>Película/film (para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envase industriales (Big Bag). Hilos, cabos, cordelería. Caños para agua caliente.</p>

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

	<p>es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería.</p>	<p>Jeringas descartables. Tapas en general, envases. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Potes para margarina. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc.</p>
--	---	--

ANEXO B. ENSAYO A COMPRESION PET RECICLADO

DATOS ENSAYO A COMPRESION PET RECICLADO

Diámetro =3.8 cm

$$\text{Área efectiva: } \pi * r^2 = \pi * 1.9^2 = 11.3412 \text{ cm}^2$$

Alto = 7.6 cm

Tabla 11: Resultados ensayos a la compresión probetas PET reciclado

probeta 1			probeta 2			probeta 3			probeta 4		
CARGA	ESFUERZO	DEFORMACION	CARGA	ESFUERZO	DEFORMACION	CARGA	ESFUERZO	DEFORMACION	CARGA	ESFUERZO	DEFORMACION
1.0417	0.0919	0.0014	0.47	0.0414	0.0002	1.8352	0.1618	0.0016	3.056	0.2695	0.0012
4.312	0.3802	0.0026	2.0142	0.1776	0.0008	5.329	0.4699	0.0028	3.2738	0.2887	0.0009
8.6679	0.7643	0.0042	5.4902	0.4841	0.0037	11.1581	0.9839	0.0047	7.5379	0.6647	0.0023
14.1807	1.2504	0.008	8.4109	0.7416	0.0047	15.8109	1.3941	0.0074	12.6855	1.1185	0.0055
21.9618	1.9365	0.0097	11.3916	1.0044	0.0082	22.8598	2.0156	0.0119	17.358	1.5305	0.008
29.6675	2.6159	0.0147	16.4054	1.4465	0.0105	31.8527	2.8086	0.015	23.6062	2.0815	0.0105
39.3204	3.4671	0.0198	21.8261	1.9245	0.0152	41.3987	3.6503	0.0199	33.6699	2.9688	0.0149
49.4874	4.3635	0.0256	26.7566	2.3592	0.0197	56.0558	4.9427	0.0246	43.7358	3.8564	0.0202
61.9519	5.4626	0.0318	33.3348	2.9393	0.0262	67.5244	5.9539	0.0303	55.8357	4.9233	0.0245
77.5548	6.8383	0.0377	39.5629	3.4884	0.0311	81.502	7.1864	0.0369	66.4777	5.8616	0.031
95.2986	8.4029	0.0439	47.0363	4.1474	0.0371	99.5271	8.7757	0.0444	83.1455	7.3313	0.0373
114.9999	10.14	0.0522	56.2276	4.9578	0.0442	118.5192	10.4503	0.0517	101.9996	8.9937	0.0441
135.7361	11.9684	0.0601	67.2435	5.9291	0.0517	139.0881	12.264	0.06	123.9101	10.9257	0.0529

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

156.913	13.8357	0.0691	79.0268	6.9681	0.0607	156.5555	13.8042	0.0697	145.7144	12.8483	0.0603
183.7361	16.2008	0.0797	91.8683	8.1004	0.0694	180.2365	15.8922	0.0791	169.739	14.9666	0.07
219.1689	19.3251	0.0891	108.3023	9.5495	0.0796	209.154	18.442	0.0894	200.8903	17.7134	0.0795
252.4286	22.2577	0.101	124.207	10.9519	0.0892	236.4984	20.8531	0.1001	232.9456	20.5398	0.0883
287.2827	25.3309	0.111	142.4652	12.5618	0.1001	265.969	23.4516	0.1116	267.8302	23.6157	0.099
329.3927	29.044	0.1243	164.0276	14.463	0.1117	298.3962	26.3109	0.1237	307.0772	27.0763	0.1121
376.2394	33.1746	0.1356	189.1903	16.6817	0.1234	338.0036	29.8032	0.1354	348.96	30.7693	0.1231
423.7397	37.3629	0.1492	213.4788	18.8233	0.1362	377.9862	33.3287	0.149	395.4585	34.8693	0.1359
484.0678	42.6823	0.1646	238.7167	21.0487	0.1488	424.2513	37.408	0.163	446.4465	39.3651	0.149
546.8387	48.2171	0.1786	266.233	23.4749	0.1632	473.3783	41.7398	0.1776	504.1382	44.452	0.1625
611.6357	53.9305	0.193	298.1534	26.2895	0.1782	529.6227	46.6991	0.1927	567.5813	50.0461	0.1782
691.303	60.9551	0.2091	333.3799	29.3955	0.192	590.9634	52.1078	0.2087	641.541	56.5674	0.1924
768.5468	67.7661	0.2256	370.1277	32.6357	0.2085	657.9611	58.0152	0.2243	717.7469	63.2868	0.2083
857.5794	75.6164	0.242	412.4951	36.3715	0.2244	731.4903	64.4986	0.2422	796.9846	70.2735	0.2242
947.5147	83.5464	0.2601	457.7207	40.3592	0.2419	808.7229	71.3086	0.2598	986.0369	86.9431	0.2596
1048.2281	92.4268	0.2773	503.9818	44.4382	0.2592	886.2894	78.1479	0.278	1091.6379	96.2544	0.277
1159.4488	102.2336	0.2969	554.3928	48.8832	0.2775	974.3434	85.912	0.296	1198.1426	105.6454	0.2957
1276.6657	112.5691	0.3159	611.7216	53.9381	0.2954	1067.5319	94.1289	0.3146	1316.319	116.0655	0.3161
1394.6771	122.9746	0.336	673.0046	59.3417	0.3152	1166.7653	102.8787	0.3353	1441.0076	127.0598	0.3355

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

1520.4945	134.0685	0.3566	734.3243	64.7485	0.3362	1266.2196	111.648	0.3553	1571.8695	138.5985	0.3562
1658.6387	146.2493	0.3784	797.9208	70.3561	0.3561	1376.2688	121.3515	0.378	1709.3473	150.7205	0.3776
1787.7291	157.6317	0.3989	871.0861	76.8074	0.3775	1487.0509	131.1196	0.3986	1842.3649	162.4492	0.3993
1935.2508	170.6393	0.4219	940.7981	82.9542	0.3984	1617.0146	142.5791	0.4215	1999.6084	176.314	0.4219
2082.6404	183.6353	0.4453	1023.6287	90.2577	0.4217	1742.3935	153.6343	0.4452	2151.3547	189.6941	0.4446
2239.2308	197.4426	0.4682	1111.9608	98.0463	0.4448	1879.4116	165.7158	0.468	2310.3033	203.7093	0.4689
2396.2101	211.2841	0.4934	1201.9583	105.9818	0.4678	2021.7861	178.2695	0.4927	2473.0066	218.0556	0.4929
2566.7709	226.3232	0.5176	1298.0567	114.4552	0.492	2173.7592	191.6696	0.5181	2646.0935	233.3174	0.5171
2732.6637	240.9507	0.5433	1403.7666	123.7761	0.5181	2324.1399	204.9294	0.5425	2819.0189	248.565	0.5432
2914.865	257.0161	0.5699	1515.9229	133.6654	0.5433	2492.2301	219.7506	0.5689	3002.699	264.7608	0.569
3093.9227	272.8044	0.597	1640.1394	144.6181	0.5686	2663.1948	234.8253	0.5952	3187.6214	281.0662	0.5957
3281.3791	289.3332	0.6236	1769.6866	156.0408	0.596	2837.2777	250.1749	0.6229	3379.8216	298.0133	0.6233
3469.3684	305.9091	0.6517	1909.2205	168.3441	0.6227	3015.5958	265.898	0.6508	3570.0498	314.7866	0.651
3663.3854	323.0164	0.6804	2059.2464	181.5726	0.6508	3201.1276	282.2571	0.6789	3773.8797	332.7591	0.68
3865.4368	340.8321	0.709	2223.198	196.0289	0.6794	3396.8525	299.515	0.7086	3977.5541	350.718	0.7083
4058.8715	357.8881	0.7388	2400.4128	211.6547	0.7083	3586.6733	316.2523	0.7387	4181.7273	368.7208	0.7385
4264.5088	376.02	0.7693	2577.5502	227.2736	0.7395	3790.9091	334.2607	0.7692	4390.3556	387.1164	0.7691
4458.2822	393.1058	0.7999	2766.5838	243.9415	0.7694	3987.8715	351.6277	0.7993	4601.3745	405.7229	0.8001
4667.7012	411.5712	0.8319	2955.9924	260.6425	0.7987	4201.0382	370.4235	0.8309	4816.3794	424.6808	0.8314

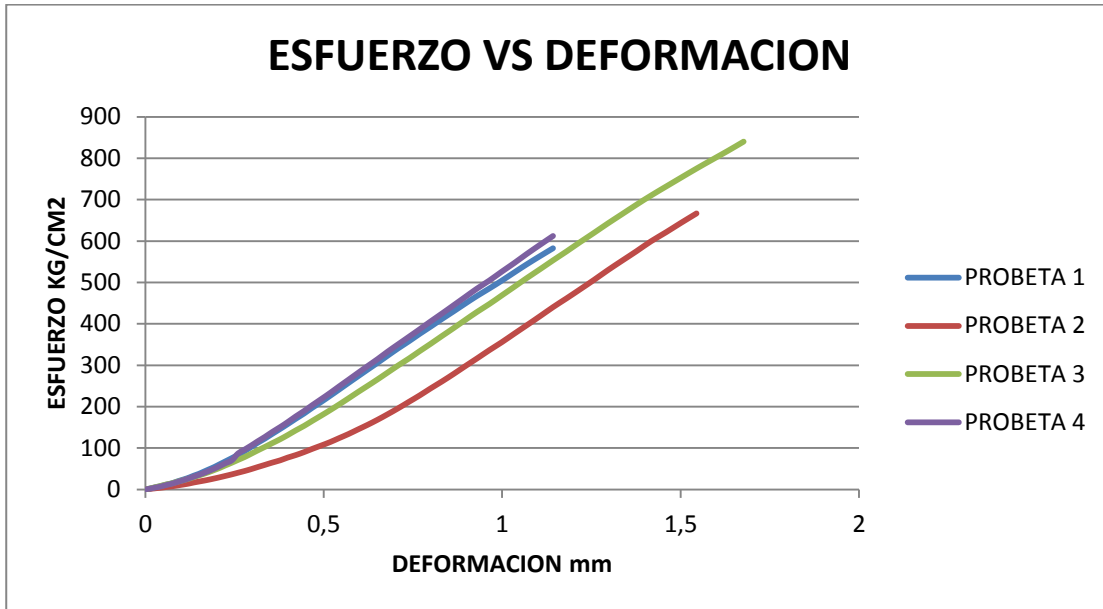
PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

4877.0879	430.0337	0.864	3161.7425	278.7844	0.8319	4418.1182	389.5644	0.8636	5043.413	444.6993	0.8637
5088.3332	448.6601	0.8966	3374.0423	297.5037	0.8629	4638.8047	409.0232	0.896	5269.6631	464.6487	0.8961
5298.762	467.2145	0.9311	3586.5578	316.2421	0.8962	4861.2328	428.6357	0.9291	5500.3683	484.991	0.9292
5506.0113	485.4886	0.9641	3815.8441	336.4593	0.9297	5080.0163	447.9268	0.9641	5724.0088	504.7103	0.9626
5717.5583	504.1416	0.9981	4031.0062	355.4311	0.9631	5313.0104	468.4709	0.9986	5964.3592	525.9031	0.9985
5940.9537	523.8393	1.0344	4262.419	375.8357	0.9983	5546.7718	489.0826	1.0333	6198.0914	546.5122	1.0334
6166.2518	543.7048	1.0704	4496.6006	396.4845	1.0331	5788.1012	510.3616	1.0688	6449.5113	568.681	1.069
6391.0422	563.5255	1.1065	4744.5708	418.3491	1.0695	6031.5309	531.8259	1.1059	6701.0635	590.8614	1.105
6607.0774	582.5743	1.1429	4993.541	440.3019	1.1054	6275.4034	553.3292	1.1425	6943.3058	612.221	1.1424
			5233.1559	461.4297	1.1423	6519.4103	574.8443	1.1802			
			5482.9319	483.4536	1.1801	6776.7247	597.5328	1.2185			
			5742.8217	506.3692	1.2184	7032.0056	620.042	1.2577			
			6002.7527	529.2884	1.2565	7283.9558	642.2575	1.2955			
			6265.4815	552.4543	1.2958	7541.2943	664.9482	1.3359			
			6527.1233	575.5244	1.3355	7802.0506	687.9402	1.3765			
			6796.1819	599.2484	1.3766	8050.5636	709.8526	1.4168			
			7044.4279	621.1373	1.4172	8297.0531	731.5867	1.4591			
			7306.6473	644.2583	1.4594	8544.8642	753.4372	1.5018			
			7561.4115	666.722	1.5018	8790.8409	775.126	1.5446			

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

9031.954	796.386	1.5881
9274.4756	817.7702	1.6323
9529.0258	840.215	1.6767

Grafica 3: esfuerzo vs deformación ensayo a la compresión



Área efectiva de las probetas	11.3412 cm ²
-------------------------------	-------------------------

PROBETA	RESISTENCIA ULTIMA Kg	ESFUERZO Kg/cm ²	ESFUERZO EN PSI
1	6607.0774	582.5743	8286.0705
2	7561.4115	666.7220	9482.9203
3	9529.0258	840.2150	11950.5456
4	6943.3058	612.2210	8707.7413

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

Tabla12: datos obtenidos prueba compresión resina + PET

PROBETA 1 RESINA + PET 5%			PROBETA 2 RESINA + PET 5%			PROBETA 1 RESINA + PET 10%			PROBETA 2 RESINA + PET 10%			PROBETA 1 RESINA			PROBETA 2 RESINA		
carga	esfuerzo	deformación	carga	esfuerzo	deformación	carga	esfuerzo	deformación	carga	esfuerzo	deformación	carga	esfuerzo	deformación	carga	esfuerzo	deformación
127.2517	11.2203	0.0485	78.8162	6.9495	0.0494	3.6891	0.4825	0.0043	2.8052	0.3669	0.0025	103.5194	9.1277	0.0489	97.4366	8.5914	0.0498
285.4177	25.1664	0.1010	179.2227	15.8028	0.1008	5.8638	0.7670	0.0087	10.8621	1.4207	0.0085	228.2699	20.1275	0.0997	219.9751	19.3961	0.1000
445.9683	39.3229	0.1499	279.5548	24.6495	0.1489	7.7555	1.0144	0.0131	16.8294	2.2012	0.0139	350.8219	30.9334	0.1493	339.3871	29.9252	0.1503
639.3408	56.3733	0.2006	392.1525	34.5777	0.2006	8.7680	1.1468	0.0189	23.4794	3.0710	0.0196	487.5615	42.9903	0.1996	453.7176	40.0061	0.2007
837.2612	73.8247	0.2500	494.3077	43.5851	0.2505	11.5597	1.5120	0.0244	29.6875	3.8830	0.0237	649.3083	57.2522	0.2504	575.0728	50.7065	0.2497
1062.4105	93.6771	0.3002	618.3977	54.5267	0.2994	14.4935	1.8957	0.0300	34.4350	4.5040	0.0302	822.7161	72.5422	0.2998	711.4881	62.7348	0.3008
1295.5520	114.2341	0.3504	763.0879	67.2846	0.3507	17.2899	2.2615	0.0343	38.1863	4.9947	0.0351	1003.2061	88.4568	0.3493	861.4758	75.9598	0.3503
1527.2477	134.6637	0.3992	931.4178	82.1269	0.4007	23.0736	3.0180	0.0388	45.2092	5.9133	0.0397	1203.4857	106.1163	0.4000	1036.8453	91.4229	0.3999
1776.2988	156.6235	0.4512	1118.6116	98.6326	0.4496	30.6068	4.0033	0.0448	51.0785	6.6810	0.0445	1413.7851	124.6592	0.4505	1232.6816	108.6906	0.4506
2013.4558	177.5346	0.5004	1322.9666	116.6514	0.4998	36.8670	4.8221	0.0494	56.7194	7.4188	0.0495	1638.4329	144.4673	0.5004	1438.1541	126.8079	0.5008
2252.2676	198.5916	0.5491	1548.6398	136.5499	0.5496	43.6702	5.7120	0.0539	60.4963	7.9128	0.0548	1860.8265	164.0767	0.5508	1659.9096	146.3610	0.5502
2498.1780	220.2746	0.5995	1785.0450	157.3947	0.6011	49.0063	6.4099	0.0593	67.4717	8.8251	0.0603	2098.8643	185.0655	0.6010	1889.5087	166.6057	0.5999
2731.1832	240.8196	0.6505	2030.9972	179.0813	0.6502	54.6781	7.1518	0.0639	72.1079	9.4315	0.0640	2327.7224	205.2448	0.6501	2124.7936	187.3517	0.6510
2969.5458	261.8370	0.6997	2289.5941	201.8829	0.6993	156.8726	20.5186	0.1438	163.5697	21.3945	0.1446	2567.4219	226.3801	0.6995	2369.0357	208.8876	0.6995
3197.8055	281.9636	0.7507	2548.7660	224.7351	0.7491	163.5592	21.3932	0.1502	168.4004	22.0264	0.1490	2797.3065	246.6500	0.7496	2600.9844	229.3394	0.7510
3423.5517	301.8686	0.8006	2812.0236	247.9476	0.8002	169.3868	22.1554	0.1544	175.8910	23.0061	0.1554	3021.8813	266.4516	0.8003	2833.0879	249.8050	0.8002
3649.5058	321.7919	0.8496	3081.2018	271.6822	0.8507	175.9159	23.0094	0.1590	181.7324	23.7702	0.1600	3260.5376	287.4949	0.8514	3074.1855	271.0635	0.8496

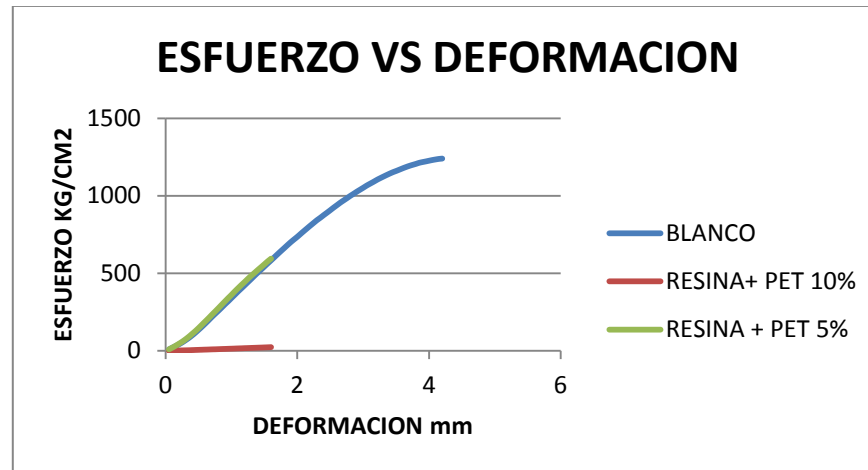
PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

3874.79	341.65		3352.24	295.58		182.550	23.877		186.465	24.389		3490.771	307.795		3317.086	292.481	
42	65	0.9000	61	13	0.9000	9	2	0.1640	4	2	0.1653	6	6	0.9002	7	1	0.8998
4101.27	361.62		3615.17	318.76		189.897	24.838		192.456	25.172		3717.495	327.786		3547.424	312.791	
05	58	0.9499	44	47	0.9514	3	1	0.1696	6	9	0.1692	4	8	0.9513	9	0	0.9502
4316.53	380.60		3881.42	342.24		195.130	25.522		200.234	26.190		3943.743	347.736		3786.092	333.835	
02	61	1.0005	68	13	1.0017	2	6	0.1748	1	1	0.1750	7	0	0.9996	4	3	1.0009
4538.85	400.20		4152.70	366.16		203.679	26.640		209.156	27.357		4180.747	368.633		4026.765	355.056	
49	94	1.0500	08	06	1.0502	8	8	0.1800	9	2	0.1798	4	6	1.0501	4	4	1.0503
4747.00	418.56		4418.83	389.62		213.375	27.909		214.611	28.070		4411.546	388.984		4273.050	376.772	
12	25	1.1003	02	63	1.1002	2	0	0.1848	5	7	0.1844	3	1	1.1001	7	4	1.0998
4949.55	436.42		4683.62	412.97		223.365	29.215		220.670	28.863		4634.773	408.666		4506.730	397.376	
52	25	1.1501	77	46	1.1514	5	7	0.1893	0	1	0.1898	2	9	1.1507	9	9	1.1503
5151.01	454.18		4944.94	436.01		229.891	30.069		227.562	29.764		4856.165	428.188		4741.372	418.066	
01	56	1.2017	59	61	1.2005	6	3	0.1945	8	7	0.1945	2	0	1.2003	8	2	1.1994
5338.64	470.72		5210.06	459.39		237.108	31.013		232.946	30.468		5083.812	448.260		4980.743	439.172	
11	98	1.2499	57	28	1.2504	8	3	0.1992	8	9	0.1993	7	6	1.2505	0	5	1.2504
5524.32	487.10		5466.86	482.03		244.780	32.016		237.923	31.119		5312.743	468.446		5217.698	460.065	
39	22	1.3000	60	59	1.3008	3	7	0.2039	2	8	0.2048	8	4	1.3009	6	8	1.2993
5690.97	501.79		5726.88	504.96		251.974	32.957		244.100	31.927		5540.386	488.518		5461.293	481.544	
19	63	1.3508	85	32	1.3497	1	6	0.2099	9	8	0.2086	3	5	1.3506	7	6	1.3503
5865.67	517.20		5977.78	527.08		259.471	33.938		250.057	32.706		5761.677	508.030		5690.170	501.725	
24	03	1.4007	31	56	1.4007	1	2	0.2145	2	9	0.2131	1	6	1.4005	4	6	1.4000
6031.44	531.81		6223.44	548.74		265.921	34.781		255.254	33.386		5981.294	527.395		5922.870	522.243	
15	69	1.4507	59	67	1.4496	8	9	0.2207	4	7	0.2191	4	2	1.4509	7	7	1.4505
6199.16	546.60		6470.02	570.48		271.637	35.529		260.977	34.135		6193.395	546.097		6147.296	542.032	
07	54	1.5002	93	90	1.5002	6	5	0.2241	1	2	0.2238	0	0	1.5000	4	3	1.5005
6373.14	561.94		6718.29	592.37		278.924	36.482		267.194	34.948		6417.609	565.866		6381.839	562.712	
75	65	1.5495	91	99	1.5501	0	6	0.2292	1	3	0.2277	5	9	1.5506	6	9	1.5511
6537.31	576.42		6944.35	612.31		286.531	37.477		273.878	35.822		6627.509	584.374		6605.382	582.423	
50	18	1.6005	00	18	1.6004	6	6	0.2338	4	6	0.2341	0	6	1.6003	5	6	1.6004
			7173.15	632.48		293.741	38.420		279.375	36.541		6848.430	603.854		6838.776	603.002	
			91	68	1.6501	7	7	0.2399	0	6	0.2388	1	1	1.6502	6	9	1.6495
			7385.39	651.20		302.098	39.513		286.530	37.477		7068.532	623.261		7070.832	623.464	
			55	05	1.7001	7	8	0.2441	1	4	0.2431	6	4	1.6997	2	2	1.7005
						1830.72	239.45		1706.33	223.18		13844.86	1220.75		14299.84	1260.87	
						90	50	1.1760	99	52	1.1770	39	83	4.5502	41	58	4.5498
						1837.74	240.37		1714.43	224.24		13840.80	1220.40				
						22	23	1.1804	96	46	1.1800	53	04	4.6011			
						1846.13	241.46		1720.94	225.09		13826.99	1219.18				
						12	95	1.1858	10	50	1.1862	56	28	4.6501			
						1854.00	242.49		1730.64	226.36		13794.49	1216.31				
						23	91	1.1914	55	43	1.1897	12	67	4.7008			
						1861.68	243.50		1738.49	227.39		13765.83	1213.78				
						29	37	1.1954	27	07	1.1955	23	97	4.7506			

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

1869.56 00	244.53 40	1.2008	1745.96 81	228.36 84	1.2002	13739.94 88	1211.50 75	4.8011			
4196.99 43	548.95 68	3.0084	4100.09 20	536.28 22	3.0083						
			4504.05 54	589.11 97	4.5572						
			4504.37 49	589.16 14	4.5617						

Grafico 4: Esfuerzo vs deformación ensayo a la compresión



PROBETA	RESISTENCIA ULTIMA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
RESINA	14019.89643	1236.19162
RESINA + PET 10%	4314.093315	564.273068
RESINA + PET 5%	6961.355262	613.811172

ANEXO C. ENSAYOS A FLEXION

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

LONGITUD 17 CM
 ANCHO 4 CM
 ESPESOR 2 CM

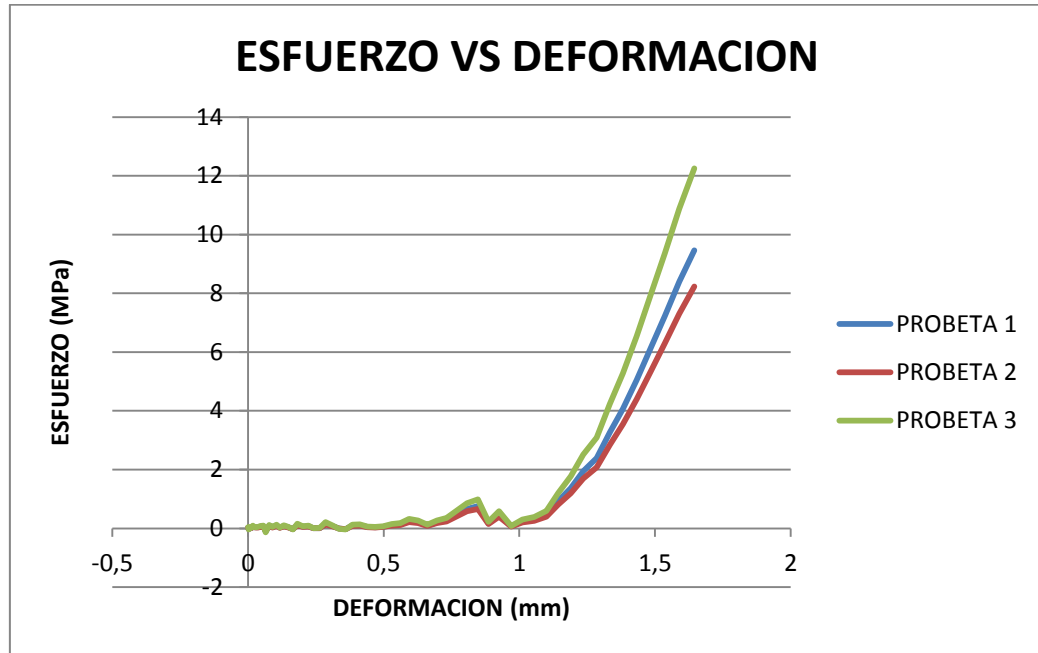
Tabla 13: datos obtenidos ensayo a flexión probetas Pet reciclado

PROBETA 1			PROBETA 2			PROBETA 3		
CARGA (N)	ESFUERZO	DEFORMACION (mm)	CARGA (N)	ESFUERZO MPA	DEFORMACION (mm)	CARGA (N)	ESFUERZO	DEFORMACION (mm)
3.1365	0.0294	-0.0003	3.4138	0.0256	-0.0003	5.0782	0.0381	-0.0004
-3.0474	-0.0286	0.0014	-3.3168	-0.0249	0.0015	-4.9339	-0.037	0.0023
3.6335	0.0341	0.0023	3.9548	0.0297	0.0025	5.8829	0.0441	0.0038
0.7898	0.0074	0.005	0.8596	0.0064	0.0055	1.2787	0.0096	0.0082
0.9922	0.0093	0.0073	1.0799	0.0081	0.0079	1.6064	0.012	0.0118
7.701	0.0722	0.011	8.3819	0.0629	0.012	12.4685	0.0935	0.0178
4.4307	0.0415	0.0141	3.9128	0.0293	0.02	7.1736	0.0538	0.0229
3.5949	0.0337	0.0184	4.0234	0.0302	0.0249	5.985	0.0449	0.037
3.6966	0.0347	0.0229	7.3511	0.0551	0.0311	10.9351	0.082	0.0463
7.2615	0.0681	0.0347	7.9035	0.0593	0.0378	11.7568	0.0882	0.0562
-10.834	-0.1016	0.04	-11.7919	-0.0884	0.0436	-17.541	-0.1316	0.0648
9.804	0.0919	0.0485	10.6708	0.08	0.0528	15.8733	0.1191	0.0785
3.7944	0.0356	0.0555	4.1299	0.031	0.0604	6.1435	0.0461	0.0899
10.4666	0.0981	0.0647	11.392	0.0854	0.0704	16.9462	0.1271	0.1047
2.5706	0.0241	0.0722	2.7979	0.021	0.0786	4.162	0.0312	0.1169
8.6827	0.0814	0.0817	9.4504	0.0709	0.0889	14.058	0.1054	0.1323
4.041	0.0379	0.0919	4.3983	0.033	0.1	6.5427	0.0491	0.1488
-3.3175	-0.0311	0.1018	-3.6108	-0.0271	0.1108	-5.3713	-0.0403	0.1648
12.6646	0.1187	0.1126	13.7844	0.1034	0.1225	20.5049	0.1538	0.1823
6.0188	0.0564	0.1248	6.551	0.0491	0.1358	9.7449	0.0731	0.202
7.942	0.0745	0.1375	8.6442	0.0648	0.1497	12.8586	0.0964	0.2227
0.1759	0.0016	0.1491	0.1914	0.0014	0.1623	0.2847	0.0021	0.2414
0.962	0.009	0.1636	18.7425	0.1406	0.1917	1.5576	0.0117	0.2649
17.22	0.1614	0.1761	9.1062	0.0683	0.2086	27.8803	0.2091	0.2851
8.3665	0.0784	0.1917	-1.041	-0.0078	0.225	13.5459	0.1016	0.3104
-0.9564	-0.009	0.2067	11.6738	0.0876	0.2586	-1.5485	-0.0116	0.3347
10.7254	0.1006	0.2376	12.2065	0.0915	0.2769	-5.2814	-0.0396	0.36

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN
CONSTRUCCION**

11.2149	0.1051	0.2544	5.2988	0.0397	0.2962	17.3653	0.1302	0.3846
4.8684	0.0456	0.2721	4.1842	0.0314	0.3153	18.1577	0.1362	0.4119
3.8443	0.036	0.2897	6.3266	0.0474	0.3351	7.8823	0.0591	0.4406
5.8127	0.0545	0.3078	12.9126	0.0968	0.3562	9.4111	0.0706	0.4984
11.8636	0.1112	0.3272	15.7875	0.1184	0.3774	19.2081	0.1441	0.5298
14.505	0.136	0.3467	28.6951	0.2152	0.3988	23.4846	0.1761	0.5614
26.364	0.2472	0.3664	24.1542	0.1812	0.4214	42.6852	0.3201	0.5932
22.192	0.2081	0.3872	10.929	0.082	0.4443	35.9304	0.2695	0.6269
10.0412	0.0941	0.4082	24.0456	0.1803	0.4681	16.2574	0.1219	0.661
22.0923	0.2071	0.4301	31.6212	0.2372	0.4919	35.7689	0.2683	0.6964
29.0524	0.2724	0.452	54.6148	0.4096	0.5175	47.0379	0.3528	0.7318
50.1782	0.4704	0.4754	77.1523	0.5786	0.5428	81.242	0.6093	0.7698
70.8848	0.6645	0.4987	88.3294	0.6625	0.5694	114.7675	0.8608	0.8075
81.1539	0.7608	0.5231	19.9893	0.1499	0.5955	131.3939	0.9855	0.847
18.3654	0.1722	0.5471	52.7224	0.3954	0.6221	29.7349	0.223	0.8859
48.4395	0.4541	0.5716	27.3323	0.205	0.6801	78.4269	0.5882	0.9254
7.2179	0.0677	0.5988	34.5014	0.2588	0.7089	11.6864	0.0876	0.9695
25.112	0.2354	0.6248	53.7755	0.4033	0.7395	40.658	0.3049	1.0117
31.6987	0.2972	0.6513	107.6045	0.807	0.7683	51.3224	0.3849	1.0546
49.4071	0.4632	0.6795	158.8321	1.1912	0.7997	79.9935	0.6	1.1001
98.8632	0.9268	0.7058	225.4949	1.6912	0.8308	160.0665	1.2005	1.1428
145.9294	1.3681	0.7347	277.195	2.079	0.864	236.2699	1.772	1.1896
207.1768	1.9423	0.7633	379.064	2.843	0.896	335.4338	2.5158	1.2359
254.6771	2.3876	0.7938	473.0974	3.5482	0.9291	412.3401	3.0926	1.2852
348.2708	3.265	0.8232	586.155	4.3962	0.963	563.8748	4.2291	1.3329
434.6654	4.075	0.8536	710.2552	5.3269	0.9972	703.7537	5.2782	1.382
538.5387	5.0488	0.8848	839.8576	6.2989	1.033	871.9319	6.5395	1.4326
652.5576	6.1177	0.9162	974.7722	7.3108	1.0688	1056.5365	7.924	1.4835
771.6318	7.234	0.9491	1098.3533	8.2376	1.106	1249.326	9.3699	1.5366
895.5866	8.3961	0.982				1450.0175	10.8751	1.5899
1009.1286	9.4606	1.0161				1633.85	12.2539	1.6452

Grafico 5: Esfuerzo vs deformación ensayo flexión Pet reciclado



Modulo de rotura:

$$R = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura, Mpa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf),

l = longitud de la luz, mm (pulg),

b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (pulg), y

d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm (pulg).

DIMENSIONES PROBETA

ANCHO (cm)	4
ALTO (cm)	2

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

LARGO cm	17
longitud de la luz	10

PROBETA	P (N)	R (MPA)
1	1009.1286	9.4606
2	1098.3533	8.2376
3	1633.8500	12.2539

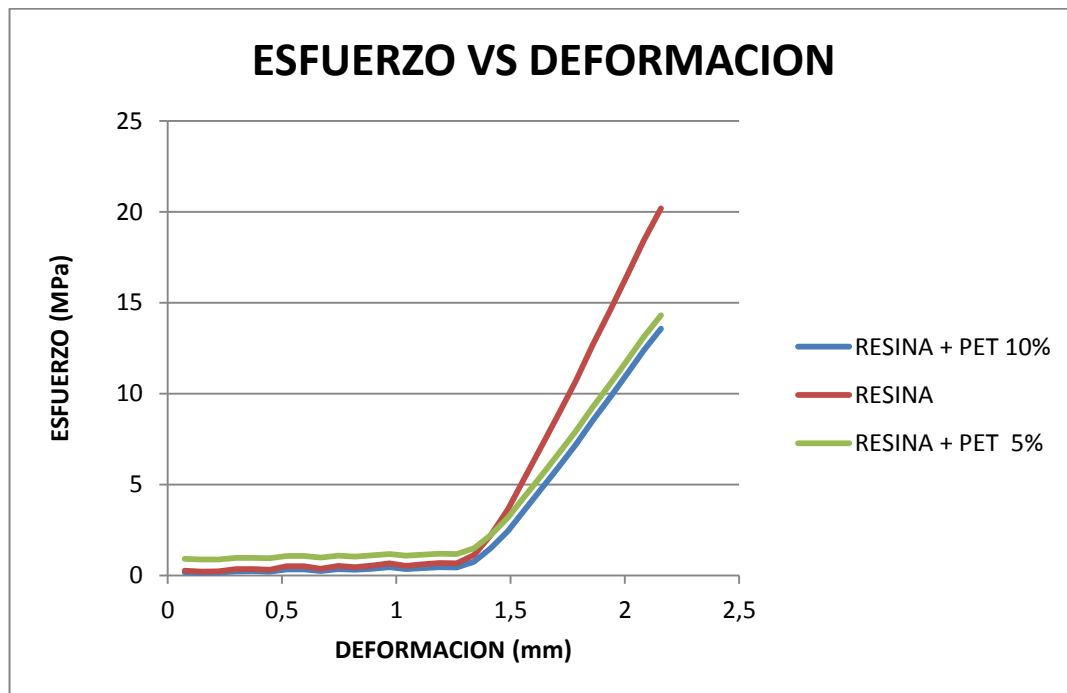
Tabla 14: datos obtenidos ensayos realizados prueba flexión resina + PET

RESINA + PET 5%			RESINA + PET 10%			RESINA		
CARGA	ESFUERZ O	DEFORMACIO N	CARGA	ESFUERZ O	DEFORMACIO N	CARGA (N)	ESFUERZ O	DEFORMACIO N
37.2289	0.9075	0.0486	7.2289	0.1762	0.0493	10.7533	0.2621	0.0733
35.9120	0.8754	0.0990	5.9120	0.1441	0.1007	8.7943	0.2144	0.1497
36.2225	0.8829	0.1490	6.2225	0.1517	0.1487	9.2563	0.2256	0.2212
39.4692	0.9621	0.1993	9.4692	0.2308	0.2007	14.0859	0.3433	0.2985
39.8239	0.9707	0.2518	9.8239	0.2395	0.2499	14.6134	0.3562	0.3718
38.5297	0.9392	0.2995	8.5297	0.2079	0.2998	12.6883	0.3093	0.4459
43.8699	1.0693	0.3514	13.8699	0.3381	0.3498	20.6321	0.5029	0.5204
43.8836	1.0697	0.4006	13.8836	0.3384	0.4010	20.6524	0.5034	0.5965
40.2617	0.9814	0.4487	10.2617	0.2501	0.4496	15.2647	0.3721	0.6688
44.5545	1.0860	0.5005	14.5545	0.3548	0.5011	21.6504	0.5277	0.7454
42.6733	1.0402	0.5509	12.6733	0.3089	0.5500	18.8521	0.4595	0.8181
45.0293	1.0976	0.6010	15.0293	0.3663	0.6009	22.3568	0.5449	0.8939
48.4481	1.1809	0.6511	18.4481	0.4497	0.6518	27.4424	0.6689	0.9696
44.3262	1.0805	0.7013	14.3262	0.3492	0.7001	21.3109	0.5195	1.0414
46.6844	1.1379	0.7515	16.6844	0.4067	0.7490	24.8189	0.6050	1.1141
48.8354	1.1904	0.8016	18.8354	0.4591	0.8002	28.0185	0.6830	1.1903
48.1731	1.1742	0.8518	18.1731	0.4430	0.8502	27.0333	0.6589	1.2647
61.0332	1.4877	0.9020	31.0332	0.7564	0.9007	46.1633	1.1252	1.3398
91.7320	2.2360	0.9522	61.7320	1.5047	0.9506	91.8291	2.2383	1.4141
130.547 2	3.1821	1.0023	100.547 2	2.4508	1.0004	149.568 5	3.6457	1.4882
177.889 1	4.3360	1.0525	147.889 1	3.6048	1.0493	219.991 6	5.3623	1.5608
226.971 5	5.5324	1.1027	196.971 5	4.8012	1.1002	293.003 9	7.1420	1.6366
275.670 8	6.7195	1.1528	245.670 8	5.9882	1.1503	365.446 3	8.9078	1.7111
325.282	7.9288	1.2030	295.282	7.1975	1.2004	439.245	10.7066	1.7856

PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN CONSTRUCCION

2			2			6		
378.927 6	9.2364	1.2532	348.927 6	8.5051	1.2491	519.045 4	12.6517	1.8581
430.790 3	10.5005	1.3034	400.790 3	9.7693	1.3000	596.193 6	14.5322	1.9338
485.624 5	11.8371	1.3535	455.624 5	11.1058	1.3512	677.761 9	16.5204	2.0100
537.904 4	13.1114	1.4037	507.904 4	12.3802	1.3998	755.530 6	18.4161	2.0822
586.959 3	14.3071	1.4539	556.959 3	13.5759	1.4500	828.502 1	20.1947	2.1569

Gráfico 6 : Esfuerzo vs deformación ensayo flexión



DIMENSIONES PROBETA

ANCHO (cm)	2
ALTO (cm)	2
LARGO cm	14
longitud de la luz cm	13

**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE AL PET RECICLADO CON APLICACIONES EN
CONSTRUCCION**

PROBETA	P (N)	R (Mpa)	R (Kgf/cm ²)
Resina	828.5021	20.1947	205.925742
RESINA + PET 5%	586.9593	14.3071	145.889842
RESINA + PET 10%	556.9593	13.5759	138.433286

ANEXO D. ENSAYO A TENSION

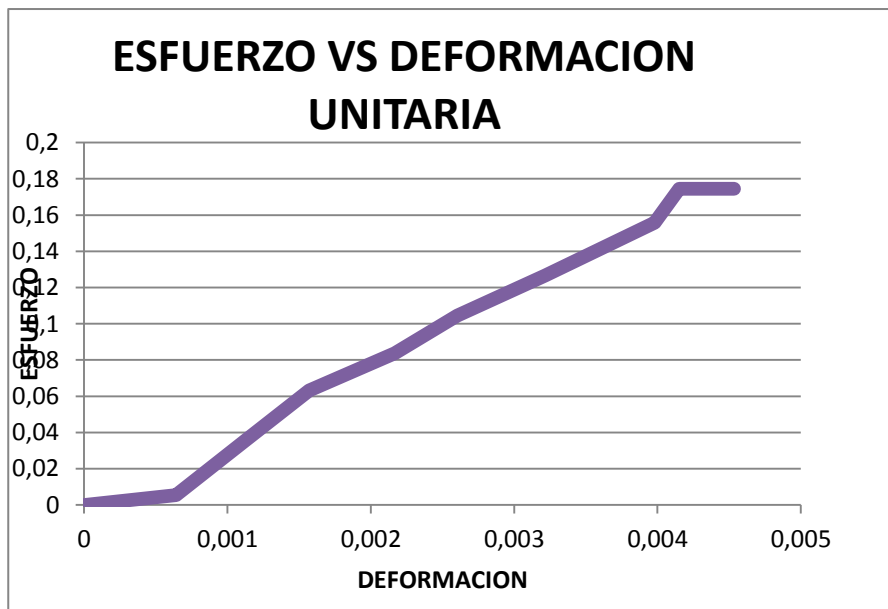
Tabla 15: datos obtenidos ensayo a tensión Pet reciclado

Probeta 1					probeta 2				
TIEMPO seg	FUERZA Kg	DEFORMACION mm	ESFUERZO Kg/cm ²	DEF UNITARIA mm	TIEMPO seg	FUERZA Kg	DEFORMACION mm	ESFUERZO Kg/cm ²	DEF UNITARIA mm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0005	0,50	1,35	0,05	0,01	0,0005
0,50	0,73	0,05	0,01	0,001	1,00	5,46	0,10	0,03	0,001
1,00	4,80	0,08	0,04	0,0015	1,55	9,82	0,15	0,05	0,0015
1,50	8,53	0,11	0,06	0,002	2,13	13,25	0,20	0,07	0,002
2,00	11,27	0,16	0,08	0,0025	2,53	13,25	0,22	0,07	0,0025
2,50	14,09	0,19	0,10	0,003	2,53	13,25	0,22	0,07	0,003
3,00	17,07	0,23	0,13	0,0035	2,53	13,25	0,22	0,07	0,0035
3,50	21,00	0,29	0,16	0,004					
4,00	23,53	0,30	0,17	0,0045					
4,50	23,53	0,33	0,17	0,005					

PROBETA 1

Área: 135 mm²

Grafico 7: Esfuerzo vs deformación Probeta 1



PROBETA 2

Área: 196 mm²

Grafico 8: Esfuerzo vs deformación probeta 2

