



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ELABORACIÓN DE MATRICES DE POLÍMEROS RECICLADOS
REFORZADOS CON FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO Y
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS**

Milton Adolfo Pérez Escobar

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, julio de 2,008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE MATRICES DE POLÍMEROS RECICLADOS
REFORZADOS CON FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO Y
DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MILTON ADOLFO PÉREZ ESCOBAR
ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2,008.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Julio Benjamín Corado Franco
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ELABORACIÓN DE MATRICES DE POLÍMEROS RECICLADOS REFORZADOS CON FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO Y DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 23 de octubre de 2007.



Milton Adolfo Pérez Escobar



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 23 de mayo de 2,008

Ingeniero
Fernando Amílcar Boiton Velásquez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

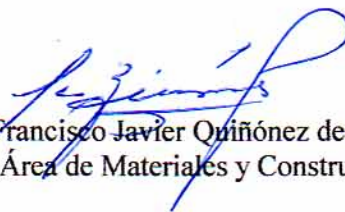
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Elaboración de Matrices de Polímeros Reciclados Reforzados con Fibras de la Estopa del Coco y Determinación de sus Propiedades Físicas y Mecánicas”**, realizado por el estudiante universitario **Milton Adolfo Pérez Escobar**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Pérez Escobar**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



Cc archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Milton Adolfo Pérez Escobar, titulado ELABORACIÓN DE MATRICES DE POLÍMEROS RECICLADOS REFORZADOS CON FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO Y DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuelson



Guatemala, julio 2008.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.232.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE MATRICES DE POLÍMEROS RECICLADOS REFORZADOS CON FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO Y DETERMINACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS**, presentado por el estudiante universitario **Milton Adolfo Pérez Escobar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2008

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por colmar de bendiciones mi vida, por darme la capacidad e inteligencia para alcanzar mis metas y la oportunidad de compartir este logro con mis seres queridos.

MIS PADRES

Alberto Pérez Ochoa, Sandra Lucrecia Escobar, por su amor y apoyo incondicional, es para mí un regalo de Dios poder compartir con ellos cada uno de mis triunfos y cada momento de mi vida.

MIS HERMANAS

Gisselle, Nidia y Marla, porque con ellas he compartido penas y multiplicado felicidades.

FAMILIARES Y AMIGOS

Por animarme y apoyarme incondicionalmente en momentos difíciles, sin ellos no hubiese sido posible este trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos De Guatemala	Por permitirme prepararme en sus aulas y ostentar el título de San Carlita.
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, Asesor.	Por guiarme adecuadamente en la realización de este trabajo de graduación.
Franz Apel, representante de Polimport y Edgar Xulú.	Por contribuir con parte del material necesario para la elaboración de esta tesis.
Ing. Omar Medrano y su personal, Área de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería	Por su paciencia y colaboración
Dr.Ing. Virgilio Ayala	Por su apoyo en el análisis de muestras, contribuyendo así a entender de mejor manera el trabajo experimental.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible culminar este trabajo de graduación,
mil gracias!!!!.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
HIPÓTESIS	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONTAMINACIÓN MEDIOAMBIENTAL	1
1.1. Reciclaje	1
1.2. Hechos	2
1.3. Reducir, reutilizar, reciclar	3
2. TECNOLOGÍAS Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECICLAJE	5
2.1. Reciclaje mecánico	5
2.2. Reciclaje químico	5
2.3. Recuperación energética	6
2.4. Otros tratamientos	6
2.4.1. Vertederos	6
2.4.2. Valorización energética	6
3. PLÁSTICOS	9
3.1. Desarrollo de los materiales plásticos a través del tiempo	10
3.2. Estructura	10
3.3. Síntesis	12
3.4. Tipos de plásticos	12
3.4.1. Por su reacción al calor	13

3.4.1.1. Termoplásticos	13
3.4.1.2. Termofraguantes	14
3.4.2. Por el proceso de polimerización	15
3.4.3. Posibilidades de procesado	15
3.4.4. Naturaleza química	16
3.5. Acrónimos	16
3.6. Aditivos	18
3.7. Uso de fibras	18
3.8. Formas y acabados	19
3.9. Principales métodos para obtener productos plásticos	19
3.9.1. Compresión	19
3.9.2. Estratificación	19
3.9.3. Extrusión	20
3.9.4. Extrusión-inflado	20
3.9.5. Inyección	20
3.9.6. Moldeo Rotacional	21
3.10. Propiedades	21
3.10.1. Mecánicas	21
3.10.2. Térmicas	22
3.10.3. Eléctricas	23
3.10.4. Químicas	24
3.10.5. Absorción de humedad	24
3.10.6. Permeabilidad	25
3.10.7. Fricción y desgaste	25
3.10.8. Propiedades generales de los polietilenos	26
3.10.8.1. Polietileno de baja densidad (LDPE)	26
3.10.8.2. Polietileno de alta densidad (HDPE)	27
3.11. Formas de presentación	27
3.12. Codificación	28

3.12.1. Formas de identificación	33
3.12.2. Dimensiones	34
3.12.3. Marcado y ubicación del símbolo	34
4. FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO	35
4.1. Origen	35
4.2. Fibras sintéticas	35
4.3. Fibras vegetales	36
4.4. Características	36
5. DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA	39
6. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	41
6.1. Plástico	41
6.2. Fibras	43
7. ELABORACIÓN DE MATRICES	45
8. ELABORACIÓN DE PROBETAS	49
8.1. Probetas para ensayos de absorción de agua	49
8.2. Probetas para ensayos de tracción	53
9. ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS	59
9.1. Ensayos de absorción de agua (Físicos)	59
9.2. Ensayos de tracción (Mecánicos)	62
10. RESULTADO DE ENSAYOS	65
10.1. Físicos	65
10.2. Mecánicos	77
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
11.1. Físicos	87
11.2. Mecánicos	88
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	97
APÉNDICES	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Símbolo de material reciclable	29
2. Polietileno tereftalato	29
3. Polietileno de alta densidad	30
4. Cloruro de polivinilo	30
5. Polietileno de baja densidad	30
6. Polipropileno	31
7. Poli estireno	31
8. Biopolímeros	32
9. Formas de identificación	33
10. Corte longitudinal de un coco	39
11. Componentes del coco	40
12. Botes de jugos	42
13. Trozos de botes recolectados, cortados manualmente	42
14. Polietileno virgen de inyección, presentación en perlas	43
15. Molino de martillos	44
16. Fibras de la estopa del coco secándose al sol	44
17. Material fundido y termómetro de altas temperaturas	47
18. Aplicación de presión y molde para formar matrices	47
19. Matrices para elaborar probetas a tensión	48
20. Probeta moldeada (izquierda) y cortada (derecha) para ensayos de absorción	50
21. Probeta modificada para ensayos de tracción	53
22. Probeta para ensayos de tracción, según ASTM D638-89	54

23. Probeta elaborada según ASTM D638-89	57
24. Probeta modificada basada en ASTM D638-89	57
25. Obtención del peso para una probeta cortada usando una balanza electrónica	60
26. Tableros para ensayos de absorción	61
27. Obtención de los espesores para una probeta de tensión usando un micrómetro	63
28. Obtención del ancho de una probeta de tensión usando un vernier	63
29. Ensayo de tracción para una probeta de HDPE reciclado al 0% de fibra usando una máquina universal	64
30. Vista microscópica de los haces fibrovasculares de una fibra	99
31. Vista microscópica del corte transversal de una fibra	100
32. Vista microscópica de haces de una fibra saturados con polímero	100
33. Falla transversal al centro de una probeta ensayada a tracción	101
34. Falla en el extremo de una probeta ensayada a tracción	102
35. Falla oblicua de una probeta ensayada a tracción	102

TABLAS

I. Acrónimos de los distintos tipos de plástico	17
II. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 0% de fibra (24 h.)	66
III. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 15% de fibra (24 h.)	66
IV. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 20% de fibra (24 h.)	67
V. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 0% de fibra (168 h.)	67

VI.	Promedios de absorción para probetas moldeadas con 15% de fibra (168 h.)	68
VII.	Promedios de absorción para probetas moldeadas con 20% de fibra (168 h.)	68
VIII.	Promedios de absorción para probetas cortadas con 0% de fibra (24 h.)	69
IX.	Promedios de absorción para probetas cortadas con 15% de fibra (24 h.)	69
X.	Promedios de absorción para probetas cortadas con 20% de fibra (24 h.)	70
XI.	Promedios de absorción para probetas cortadas con 0% de fibra (168 h.)	70
XII.	Promedios de absorción para probetas cortadas con 15% de fibra (168 h.)	71
XIII.	Promedios de absorción para probetas cortadas con 20% de fibra (168 h.)	71
XIV.	Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas moldeadas con 0% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión	74
XV.	Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas moldeadas con 15% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión	75
XVI.	Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas moldeadas con 20% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión	75
XVII.	Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas cortadas con 0% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión	76
XVIII.	Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas cortadas con 15% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión	76
XIX.	Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas cortadas con 20% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión	77

XX.	Esfuerzos de tracción, LDPEV inyectado con 0% de fibra	78
XXI.	Esfuerzos de tracción, LDPEV inyectado con 15% de fibra	78
XXII.	Esfuerzos de tracción, LDPEV inyectado con 20% de fibra	79
XXIII.	Esfuerzos de tracción, HDPEV inyectado con 0% de fibra	79
XXIV.	Esfuerzos de tracción, HDPEV inyectado con 15% de fibra	79
XXV.	Esfuerzos de tracción, HDPEV inyectado con 20% de fibra	79
XXVI.	Esfuerzos de tracción, LDPEV soplado con 0% de fibra	80
XXVII.	Esfuerzos de tracción, LDPEV soplado con 15% de fibra	80
XXVIII.	Esfuerzos de tracción, LDPEV soplado con 20% de fibra	80
XXIX.	Esfuerzos de tracción, HDPEV soplado con 0% de fibra	80
XXX.	Esfuerzos de tracción, HDPEV soplado con 15% de fibra	81
XXXI.	Esfuerzos de tracción, HDPEV soplado con 20% de fibra	81
XXXII.	Esfuerzos de tracción, LDPER soplado con 0% de fibra	81
XXXIII.	Esfuerzos de tracción, LDPER soplado con 15% de fibra	81
XXXIV.	Esfuerzos de tracción, LDPER soplado con 20% de fibra	82
XXXV.	Esfuerzos de tracción, HDPER soplado con 0% de fibra	82
XXXVI.	Esfuerzos de tracción, HDPER soplado con 15% de fibra	82
XXXVII.	Esfuerzos de tracción, HDPER soplado con 20% de fibra	82
XXXVIII.	Esfuerzos de tracción, HDPEB soplado con 0% de fibra	83
XXXIX.	Esfuerzos de tracción, HDPEB soplado con 15% de fibra	83
XL.	Esfuerzos de tracción, HDPEB soplado con 20% de fibra	83
XLI.	Resumen de esfuerzos medios de tracción	86

GLOSARIO

Agente	Persona o cosa que produce un efecto.
Biodegradable	Dicho de un compuesto químico: Que puede ser degradado por acción biológica.
Fibróreforzado	Material al cual se le han agregado fibras vegetales, animales o minerales para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.
Matriz	Elemento compuesto por 2 o más materiales donde uno sirve como aglutinante
Micrómetro	<ol style="list-style-type: none">1. Medida de longitud que equivale a la millonésima (10^{-6}) parte del metro. (Símb. μm).2. Instrumento de gran precisión destinado a medir cantidades lineales o angulares muy pequeñas.
Panel	Elemento prefabricado que se utiliza para construir divisiones verticales en el interior o exterior de las viviendas y otros edificios.
Probeta	Muestra de cualquier sustancia o material para ser sometido a ensayos y determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

RESUMEN

Este trabajo presenta un punto de partida para la investigación y desarrollo de materiales compuestos, un material compuesto puede presentar propiedades mecánicas y físicas especiales, ya que combina las mejores propiedades de sus componentes y suprime sus defectos. En este caso se manufacturaron y ensayaron probetas hechas de polímeros (polietilenos) y fibras orgánicas obtenidas de la estopa del coco.

Primero se determinó la compatibilidad de la mezcla, posteriormente se realizaron ensayos de absorción de agua y tracción; ya que los datos obtenidos de estos ensayos, son de especial importancia para determinar si el material resultante puede tener aplicaciones en el área de la construcción, básicamente en la vivienda popular u otras áreas de la industria.

Los datos experimentales dan una idea de la factibilidad de usar el material para sustituir materiales existentes pero a un menor costo, ya que se pretende elaborar con materiales reciclados en el caso de los plásticos y de desperdicio en el caso de las estopas del coco.

Las limitaciones existentes para el desarrollo de este trabajo experimental, se deben fundamentalmente a que debido a su carácter incipiente no se cuenta con la tecnología y el espacio apropiado para su correcto desarrollo, a pesar de ello se logró excelentes avances en el tema. Para que se continúen investigando temas de índole similar y alternativas para un desarrollo sustentable, se pretende que este trabajo contribuya a lograrlo.

HIPÓTESIS

La mezcla de plástico reciclado (Polietilenos) y las fibras de la estopa del coco pueden ser un excelente sustituto de materiales usados actualmente en el ámbito de la construcción, tanto por sus propiedades físicas y mecánicas, como por su costo, al mismo tiempo una alternativa para disminuir los niveles de contaminación por el uso indiscriminado de materiales poliméricos y un generador de fuentes de trabajo, para impulsar el desarrollo del país.

OBJETIVOS

General

Elaborar y caracterizar un material nuevo a partir de la combinación de materiales desechados, en este caso, plástico y fibras de la estopa del coco, para ser usado en el sector de la construcción y la vivienda.

Específicos

1. Determinar si el plástico reciclado y la fibra de la estopa del coco son compatibles.
2. Determinar los procedimientos adecuados para la obtención de las fibras de la estopa del coco y el plástico a usar, y también para la elaboración de las matrices de plástico reforzado.
3. Evaluar matrices con distintos tipos de plástico reciclado reforzado con las fibras de la estopa del coco y caracterizar su comportamiento físico y mecánico, mediante ensayos de absorción de agua y tracción normados por la ASTM.
4. Determinar si la matriz polimérica reforzada con las fibras de la estopa del coco, posee las propiedades adecuadas para ser utilizada en el sector de la construcción y la vivienda u otros sectores de la industria.

INTRODUCCIÓN

Debido a que el desarrollo de los países se debe en gran medida a los avances que estos han tenido en cuanto al aprovechamiento sustentable de sus recursos y en pleno conocimiento de la grave situación que actualmente afronta el planeta, sobre todo por los altos niveles de contaminación debidos a la mala disposición que se hace con todo tipo de desechos, se desarrolla el presente trabajo experimental.

El presente trabajo consiste en determinar la factibilidad de aprovechar el plástico desechado, uno de los materiales que debido al auge que ha tenido desde mediados del siglo XX, actualmente se encuentra en grandes cantidades en vertederos de basura, ríos, parques y casi en cualquier lugar, contaminando y provocando focos de infección al servir en algunos casos, como criadero de insectos dañinos para la salud de los humanos.

Se pretende aprovechar el polietileno de alta y baja densidad reciclado, mediante la mezcla de este con fibras de la estopa del coco, otro material de desperdicio totalmente biodegradable, creando así un material compuesto, el cual se espera posea propiedades físicas y mecánicas superiores a la de sus componentes individuales.

Las propiedades del material fibro-reforzado fueron evaluadas mediante ensayos de laboratorio para finalmente determinar si éste puede ser usado en el área de la construcción, específicamente para la vivienda popular, fomentando así el desarrollo del país al disponer de un material económico y creando además fuentes de trabajo, tanto para recolectores como para fabricantes.

1. CONTAMINACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Contaminación se define como la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico, biológico, una combinación de varios agentes, en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, seguridad, bienestar de la población, perjudiciales para la vida animal y vegetal, impidiendo el uso o goce de las propiedades y lugares de recreación.

Atendiendo a la definición anterior, queda claro que los desechos plásticos son actualmente, uno de los principales contaminantes del medio ambiente, ya que éste es un material ampliamente utilizado en todo el mundo, y en algunas aplicaciones su uso es indiscriminado, tal es el caso del uso de bolsas plásticas, platos desechables, botellas de bebidas, empaques de alimentos, etc.

Por ello es importante buscar alternativas para evitar todas las formas de contaminación que el uso de los distintos tipos de plásticos trae consigo y una posible alternativa es el que se plantea en este trabajo de graduación y para lo cual es necesario tener una idea de lo que significa reciclaje de materiales.

1.1. Reciclaje

Una definición bastante acertada indica que reciclar es cualquier “proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas”.

Otra definición puede ser la siguiente: “Es un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos”.

Los objetivos del reciclaje son los siguientes:

- Conservación o ahorro de energía.
- Conservación o ahorro de recursos naturales.
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar.
- Protección del medio ambiente.

1.2. Hechos

El plástico representa un 7% del peso total de la basura doméstica y ocupa un 20-30% de las papeleras en las naciones industrializadas. Cada año se fabrican en el mundo cerca de 100 millones de toneladas.

La materia prima es petróleo, un recurso no renovable. El plástico usado apenas se recicla, existe cerca de 50 tipos diferentes de plástico, pero incluso los más utilizados registran unos índices de reciclaje bastante bajos.

La mayoría de los países están desarrollando planes para minimizar los residuos y se espera que esto anime a las autoridades locales a colaborar con la industria del sector para instalar sistemas de recogida especial. Si bien parece imposible una vida sin plásticos, algunas costumbres pueden contribuir a la reducción del volumen de basura. Identificar los distintos tipos de plástico resulta difícil a menos que las botellas y demás objetos los especifiquen en su etiqueta.

Con un diseño apropiado el plástico puede ahorrar energía y recursos en comparación con otros materiales, un estudio realizado en Alemania reveló que sin plástico el peso de los residuos de envases en la basura en un hogar se multiplicaría por cuatro; el gasto de energía se elevaría un 200% y el volumen de residuos se incrementaría en un 256%. El plástico es un material ligero, lo que produce un ahorro importante en el costo del transporte del producto final, sin embargo, todos los materiales producen algún impacto en el medio ambiente, en concreto, el plástico presenta dos inconvenientes: su origen petroquímico y la imposibilidad de biodegradarse en la gran mayoría de los casos.

1.3. Reducir, reutilizar, reciclar

Es imposible negar que actualmente las consecuencias de la contaminación se sienten en todo el mundo y es por ello que debemos contribuir para frenar este proceso de degradación del ambiente, en el caso de los plásticos debemos reducir la compra de envases plásticos, en especial cuando no se cuenta con un sistema de recogida selectiva.

En Guatemala se han planteado proyectos para recoger selectivamente la basura, pero la falta de seguimiento termina por dejar obsoletos dichos estudios, sin embargo hoy más que nunca se deben retomar dichos esfuerzos y alcanzar la meta, uno de los aspectos más importantes para lograrlo es concienciar a la población sobre la importancia de reaprovechar parte de nuestros desechos.

Pero no solo reaprovechar nuestros desechos es importante, también debemos en la medida de lo posible no generarlos. Evitar adquirir la fruta y los vegetales preenvasados, lavar y reutilizar los envases para almacenar alimentos, pero nunca reutilizar los envases que han contenido sustancias químicas o aceite mineral, rellenar los envases comprando productos a granel y cuando se pueda, devolver los envases a los fabricantes. Finalmente debemos recurrir al reciclaje y aquellos métodos adecuados de disposición de los materiales desechados.

2. TECNOLOGÍAS Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECICLAJE

Las técnicas más usadas para procesar plásticos, hasta hoy son tres:

2.1. Reciclado mecánico: Recuperación de plásticos sin variar su composición química original.

El plástico recuperado, convenientemente prensado y embalado, llega a la planta de reciclado donde comienza la etapa de regenerado del material:

- triturado
- lavado y purificación
- extrusión
- granceado (aditivación conveniente)

Solamente se pueden reciclar mecánicamente los termoplásticos (PEAD, PP, PET, PS)

2.2. Reciclado químico: En este método se agregan algunos polímeros modificados, materiales de refuerzo (fibras, rellenos) que modifican la composición original del plástico.

Los envases se descomponen por procesos químicos en componentes sencillos que pueden ser utilizados como materias primas para obtener otros productos: aceite, grasas, monómeros, etc.

El reciclado químico puede efectuarse por medio de diversas técnicas: pirolisis, hidrogenación, gasificación y tratamiento con disolventes.

2.3. Recuperación energética: Esta tecnología considerada como reciclaje avanzado, apenas incipiente, revierte el proceso usado para producir ciertos plásticos (polímeros), reprocesándolos hasta convertirlos en sus respectivos bloques de construcción (monómeros) de los cuales fueron hechos.

El material obtenido mediante este proceso puede usarse nuevamente para fabricar el plástico original o para la producción de otros como fibras sintéticas, lubricantes y hasta gasolina

2.4. Otros tratamientos

2.4.1. Vertederos

La solución más fácil dada a los plásticos, aunque es la menos racional es depositarlo en vertederos, esto implica la acumulación incontrolada y mezclada con otros tipos de residuos generando problemas medioambientales, tales como:

- ◆ Impacto visual porque se esparcen por la zona.
- ◆ Ocupan un volumen importante.
- ◆ Permanencia en el tiempo, ya que tardan cientos de años en degradarse.
- ◆ Lixiviados.

2.4.2. Valorización energética

Los plásticos que ya han tenido una vida útil pueden ser aprovechados como combustibles por su elevado poder calorífico similar al del fuel oil o el gas natural.

Éste tipo de valorización (incineración) implica la combustión de materias que podrían ser aprovechadas, además al quemar residuos plásticos que en su composición llevan cloro como el PVC emiten gases altamente perjudiciales para nuestra salud como son las dióxinas, hay estudios que demuestran que son tóxicos, cancerígenos y que afectan al sistema inmunológico, reproductor, endocrino o nervioso de prácticamente casi todos los seres vivos.

Algunos vertederos entran en combustión esporádicamente debido a la emanación de gases principalmente nitrógeno, dióxido de carbono y metano, producido principalmente por la descomposición de la materia orgánica. El proceso de descomposición es realizado por bacterias en ausencia de oxígeno (ambiente anaerobio).

Cuando los vertederos entran en combustión, muchos materiales nocivos para la salud terminan incinerados, provocando graves riesgos para las personas que habitan cerca o trabajan en dichos vertederos.

Debido a este fenómeno de combustión espontánea y en algunos casos provocado por la mano del hombre, es importante clasificar adecuadamente la basura y darle un tratamiento adecuado a cada tipo de desperdicio según su clasificación, de esta manera se logra obtener un adecuado reaprovechamiento de los desperdicios, mejorando en gran manera muchos aspectos de nuestra vida.

3. PLÁSTICOS

La palabra plástico se deriva de la palabra griega *plastikos*, que significa “adecuado para moldear”. Muchos de los materiales llamados plásticos, tales como acabados y adhesivos, no se moldean del todo; incluso muchos materiales se moldean y no se llaman plásticos como los metales y la mayoría de las cerámicas que a veces pueden moldearse.

Los plásticos podrían definirse mejor como un grupo de compuestos orgánicos de moléculas grandes, manufacturados principalmente como un producto químico y susceptible de conformarse bajo combinaciones de presión y calor. Para incluir todos los plásticos, el término orgánico debería ampliarse para incluir los materiales con base de silicio lo mismo que aquellos con base de carbono.

En un principio, la mayoría de los plásticos se fabricaban a partir de resinas de origen vegetal, como la celulosa (del algodón), el furfural (de la cáscara de la avena), aceites de semillas y derivados del almidón o del carbón, la caseína de la leche era uno de los materiales no vegetales utilizados.

A pesar de que la producción del nailon se basaba originalmente en el carbón, el aire y el agua, y de que el nailon 11 se fabrica todavía con semillas de ricino, la mayoría de los plásticos se elaboran hoy con derivados del petróleo.

Las materias primas derivadas del petróleo son tan baratas como abundantes, no obstante, dado que las existencias mundiales de petróleo tienen un límite, se están investigando otras fuentes de materias primas, como la gasificación del carbón.

3.1. Desarrollo de los materiales plásticos, a través del tiempo

Históricamente el desarrollo de los plásticos ocurrió en dos períodos. Los químicos en Francia, Alemania e Inglaterra, durante el período de 1830 a 1900, aislaron y denominaron muchos materiales que ahora se llaman plásticos. La producción comercial real de la mayoría de esos materiales se retrasó hasta que llegaron a estar disponibles métodos e instalaciones que les permitieron competir con los materiales más tradicionales.

El segundo período de desarrollo aún más rápido, tuvo lugar en Estados Unidos, sobre todo desde 1940, a la fecha han surgido muchos métodos nuevos de manufactura y tratamiento, lo mismo que nuevos materiales plásticos.

3.2. Estructura

Químicamente, todos los plásticos son polímeros. Polímero se define como una sustancia que consiste en grandes moléculas, formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros, las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nailon.

El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite, se distinguen los compuestos dímeros, trímeros, tetrámeros, etc., según si están compuestos por dos, tres, cuatro moléculas o más. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas.

Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico.

Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoestables (no se ablandan con el calor).

Los polímeros pueden subdividirse en tres o cuatro grupos estructurales, las moléculas de los polímeros lineales consisten en largas cadenas de monómeros unidos por enlaces como las cuentas de un collar. Ejemplos típicos son el polietileno, el alcohol polivinílico y el policloruro de vinilo (PVC).

Los polímeros ramificados tienen cadenas secundarias que están unidas a la cadena principal. La ramificación puede ser producida por impurezas o por la presencia de monómeros que tienen varios grupos reactivos. Los polímeros compuestos por monómeros con grupos secundarios que forman parte del monómero, como el poliestireno o el polipropileno, no se consideran polímeros ramificados.

En los polímeros entrecruzados dos o más cadenas están unidas por cadenas secundarias, con un grado pequeño de entrecruzamiento se obtiene una red poco compacta esencialmente bidimensional, los grados elevados de entrecruzamiento dan lugar a una estructura compacta tridimensional.

El entrecruzamiento es producido normalmente por reacciones químicas. Un ejemplo de estructura entrecruzada bidimensional es el caucho vulcanizado, en el cual los eslabones están formados por átomos de azufre. Los duroplásticos son polímeros entrecruzados con una estructura tan rígida que al calentarse se descomponen o arden en lugar de fundirse.

3.3. Síntesis

Existen dos métodos generales para formar moléculas grandes a partir de monómeros pequeños: la polimerización por adición y la polimerización por condensación.

En el proceso químico llamado polimerización por adición, los monómeros se unen sin que las moléculas pierdan átomos. Algunos ejemplos de polímeros de adición son el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, el etanoato de polivinilo y el politetrafluoroetileno (teflón).

En la polimerización por condensación, los monómeros se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de átomos. Algunos polímeros de condensación típicos son las poliamidas, los poliésteres y ciertos poliuretanos.

En 1983 se anunció un nuevo método de polimerización por adición llamado polimerización por transferencia de grupo. Un grupo activador dentro de la molécula que inicia el proceso se transfiere al final de la cadena polimérica creciente mientras que los monómeros individuales se insertan en el grupo. El método, que se ha utilizado para los plásticos acrílicos, también debería poder ser aplicable a otros plásticos.

3.4. Tipos de plásticos

Hay dos grandes grupos de plásticos, basados originalmente en su reacción al calor, pero más apropiadamente en el tipo de polimerización.

3.4.1. Por su reacción al calor

3.4.1.1. Termoplásticos

Tienen el grado de polimerización controlado en la manufactura inicial de la materia prima plástica o resina (Cadenas largas de polímeros). Estos materiales se suavizan con el aumento de temperatura y ganan rigidez conforme decrece la temperatura. El proceso es esencialmente reversible, pero en algunos casos, los cambios químicos que pueden deteriorar las propiedades se producen por el calor.

Para los materiales termoplásticos, que son todavía los más fundidos, existe una subdivisión que prevé cuatro grupos: los polímeros de masa (commodities); una franja intermedia entre estos y el grupo siguiente; los tecnopolímeros (engineering Plastics); los súper polímeros.

A continuación se presenta una lista de materiales termoplásticos, estos por la acción del calor se funden y pueden moldearse repetidas veces. En cada transformación se pierde parte de sus propiedades originales.

- Nylon: engranes, llantas de patines.
- Poli estireno: estuches, casetes, envases, vasos, platos, aislantes.
- Polipropileno: recipientes para alimentos, industria automotriz, películas.
- Polietileno: botellas para refresco, envases resistentes a los agentes químicos e impermeables.
- Polietileno de alta densidad: cubetas, juguetes, bolsas (sólido, incoloro, inodoro, no toxico).
- Cloruro de polivinilo: tuberías, juguetes (térmico, rígido, flexible, resistente a ácidos).
- Polietileno de baja densidad: bolsas (incoloro, inodoro, no toxico).
- Entre otros: acrílicos, celulosa, acetatos, policimides, nylon, poli carbonatos.

3.4.1.2. Termofraguantes

También llamados termo fijos ó termo estables (polímeros con enlace cruzado). Estos sufren una polimerización adicional del tipo de enlace cruzado, el cual para los primeros plásticos se inició por la aplicación de calor, pero que para muchos plásticos modernos termofraguantes puede iniciarse por otros medios.

En la fabricación por moldeo de los plásticos termofraguantes, la etapa inicial termoplástico se sigue por la reacción termofraguante a temperaturas más altas o con calentamiento prolongado.

Los termoplásticos pueden volverse a suavizar por recalentamiento, pero la reacción termofraguante es de naturaleza química y es irreversible de modo que una vez que ocurre el calentamiento adicional resulta solamente en un carbonizado gradual y deterioro.

Entre estos materiales se pueden mencionar:

- Resina poliéster: lámina acanalada.
- Poliuretano: espuma, rellenos para muebles, tableros de automóvil.
- Resina fenol ICA: apagadores de luz.
- Resina melaminica: vajillas, cubiertas de muebles.
- Entre otros: epoxicos, aminos, fenolicos, poliéster, uretanos, silicones.

Los plásticos también pueden clasificarse atendiendo los siguientes parámetros: por el proceso de polimerización, por la forma en que pueden procesarse y por su naturaleza química.

3.4.2. Por el proceso de polimerización

Como se menciono anteriormente los plásticos se pueden clasificar en polímeros de condensación y polímeros de adición. Las reacciones de condensación producen diferentes longitudes de polímeros, mientras que las reacciones de adición producen longitudes específicas.

Por otro lado, las polimerizaciones por condensación generan pequeñas cantidades de subproductos, como agua, amoníaco y etilenglicol, mientras las reacciones de adición no producen ningún subproducto.

Algunos polímeros típicos de condensación son el nailon, los poliuretanos y los poliésteres. Entre los polímeros de adición se encuentran el polietileno, el polipropileno, el policloruro de vinilo y el poliestireno.

Las masas moleculares medias de los polímeros de adición son generalmente mayores que las de los polímeros de condensación.

3.4.3. Posibilidades de procesado

El plástico se procesa de formas distintas, según sea termoplástico o termoestable. Los termoplásticos, formados por polímeros lineales o ramificados, pueden fundirse, se ablandan cuando se calientan y se endurecen al enfriarse. Lo mismo ocurre con los plásticos termoestables que están poco entrecruzados.

No obstante, la mayoría de los termoestables ganan en dureza cuando se calientan; el entrecruzado final que los vuelve rígidos se produce cuando se ha dado forma al plástico.

3.4.4. Naturaleza química

La naturaleza química de un plástico depende del monómero (la unidad repetitiva) que compone la cadena del polímero. Por ejemplo, las poliolefinas están compuestas de monómeros de olefinas, que son hidrocarburos de cadena abierta con al menos un doble enlace. El polietileno es una poliolefina, su monómero es el etileno.

Otros tipos de polímeros son los acrílicos (como el polimetacrilato), los poliestirenos, los halogenuros de vinilo (como el policloruro de vinilo), los poliésteres, los poliuretanos, las poliamidas (como el nailon), los poliéteres, los acetatos y las resinas fenólicas, celulósicas o de aminas.

3.5. Acrónimos

La denominación de los plásticos se basa en los monómeros que se utilizaron en su fabricación, es decir, en sus materias primas. En los homopolímeros termoplásticos se antepone el prefijo "poli" por ejemplo:

Monómero Inicial	Metil Metacrilato
Nombre de Polímero	Polimetil Metacrilato

Como se puede observar, los nombres químicos de los polímeros con frecuencia son muy largos y difíciles de utilizar. Para aligerar este problema se introdujeron las "siglas" o acrónimos. Para el ejemplo citado, su acrónimo es:

Nombre del Polímero	Polimetil Metacrilato
Acrónimo	PMMA

La mayor parte de estos acrónimos han sido normalizados. Sin embargo, algunos han sido inventados por los fabricantes o surgieron de la misma actividad práctica.

Tabla I. Acrónimos de los distintos tipos de plástico

Acrónimo	Plástico
ABS	ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO
CA	ACETATO DE CELULOSA
EP	EPOXICA
EPS	POLIESTIRENO EXPANSIBLE
EVA	ETIL VINIL ACETATO
HDPE	POLIETILENO ALTA DENSIDAD
LDPE	POLIETILENO BAJA DENSIDAD
MF	MELAMINA FORMALDEHIDO
PA	POLIAMIDA
PB	POLIBUTADIENO
PBT	POLIBUTILEN TEREFTALATO
PC	POLICARBONATO
PEI	POLIESTERIMIDA
PES	POLIESTERSULFONA
PET	POLIETILEN-TEREFTALATO
PF	FENOL-FORMALDEHIDO
PMMA	POLIMETIL METACRILATO
POM	POLIOXIDO DE METILENO
PP	POLIPROPILENO
PPS	POLIFENILEN SULFONA
PS	POLIESTIRENO
PTFE	POLITETRAFLUOROETILENO

continúa

PUR	POLIURETANO
PVC	CLORURO DE POLIVINILO
SAN	ESTIRENO-ACRILONITRILO
SB	ESTIRENO BUTADIENO
TPE	ELASTOMERO TERMOPLASTICO
TPU	POLIURETANO TERMOPLASTICO
	POLIETILENO ULTRA ALTO PESO
UHMWPE	MOLECULAR
UF	UREA-FORMALDEHIDO
UP	POLIESTER INSATURADO

Fuente: <http://www.lesplastiques.com>

3.6. Aditivos

Con frecuencia se utilizan aditivos químicos para conseguir una propiedad determinada. Por ejemplo, los antioxidantes protegen el polímero de degradaciones químicas causadas por el oxígeno o el ozono, de una forma parecida, los estabilizadores lo protegen de la intemperie.

Los plastificantes producen un polímero más flexible, los lubricantes reducen la fricción y los pigmentos colorean los plásticos. Algunas sustancias ignífugas y antiestáticas se utilizan también como aditivos.

3.7. Uso de fibras

Muchos plásticos se fabrican en forma de material compuesto, lo que implica la adición de algún material de refuerzo (normalmente fibras de vidrio o de carbono) a la

matriz de la resina plástica. Los materiales compuestos tienen la resistencia y la estabilidad de los metales, pero por lo general son más ligeros. Las espumas plásticas, compuestas de plástico y gas, proporcionan una masa de gran tamaño pero muy ligera, y por supuesto también se debe mencionar el uso de fibras orgánicas como las obtenidas de la estopa (cáscara) del coco y otros tipos obtenidos de plantas como el plátano, caña, etc. El uso de fibras orgánicas aun se encuentra en fase de investigación.

3.8. Forma y acabados

Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. La naturaleza de muchos de estos procesos es cíclica, si bien algunos pueden clasificarse como continuos o semicontinuos.

3.9. Principales métodos para obtener productos plásticos

3.9.1. Compresión

Este procedimiento utiliza la materia en estado de prepolímero que se coloca dentro de un molde antes de ser calentada y luego comprimida. La polimerización se efectúa entonces dentro del molde. La compresión permite fabricar objetos de tamaños pequeños y medianos en termoendurecibles.

3.9.2. Estratificación

Esta técnica consiste en impregnar con resina termoendurecible capas superpuestas de soportes como madera, papel o textiles. Estas son luego prensadas y calentadas a alta presión con el fin de provocar la polimerización. Al estar reservado a los productos

termoendurecibles, este procedimiento no permite fabricar más que productos planos.

3.9.3. Extrusión

Al ser un procedimiento de transformación en modo continuo, la extrusión consiste en utilizar plástico con forma de polvo o granulados, introducido dentro de un cilindro calentador antes de ser empujado por un tornillo sin fin. Una vez reblandecida y comprimida, la materia pasa a través de una boquilla que va a darle la forma deseada.

La extrusión es utilizada en particular en la fabricación de productos de gran longitud como canalizaciones, cables, enrejados y perfiles para puertas y ventanas.

3.9.4. Extrusión-Inflado

Esta técnica consiste en dilatar por medio de aire comprimido una funda anteriormente formada por extrusión. De ese modo se obtienen películas utilizadas en particular en la fabricación de bolsas para la basura o para congelación y revestimientos para invernaderos.

3.9.5. Inyección

Esta técnica consiste en amasar materia ablandada mediante un tornillo que gira dentro de un cilindro calentado y luego introducir ésta bajo presión en el interior de un molde cerrado.

Al ser utilizada en la fabricación de piezas industriales en particular para los sectores del automóvil, de la electrónica, de la aeronáutica y del sector médico, la inyección es una técnica que permite obtener en una sola operación productos acabados y formas complejas cuyo peso puede variar de algunos gramos a varios kilos.

3.9.6. Moldeo Rotacional

Este procedimiento consiste en centrifugar un polvo fino termoplástico dentro de un molde cerrado. Así, se obtienen cuerpos huecos en pequeñas series. El moldeo rotacional es utilizado en la fabricación de recipientes, balones, cubas, contenedores, pero también planchas a velas y kayacs.

3.10. Propiedades

La estructura interna de los plásticos determina sus propiedades fundamentales. Por ejemplo, los plásticos son malos conductores del calor y de la electricidad, es decir, son aislantes y esto se debe a que sus enlaces son por pares de electrones ya que no disponen de ningún electrón libre.

Tienen densidades más bajas debido a que su estructura es "más suelta", y una serie de características que se analizarán a continuación.

3.10.1. Mecánicas

Al comparar la estructura de un metal y de un plástico, podemos observar que el metal presenta una estructura más compacta y que las fuerzas de unión son distintas a las existentes en los plásticos. La diferencia es que los plásticos tienen una estructura molecular y los metales una estructura atómica.

Por la razones ya descritas, los plásticos presentan una resistencia mecánica relativamente menor, un módulo de elasticidad menor, dependencia de las propiedades mecánicas con respecto al tiempo, dependencia de la temperatura principalmente los termoplásticos, gran sensibilidad al impacto aunque en este punto existen grandes

diferencias desde los quebradizos como un Poliestireno hasta un resistente Policarbonato.

Los termofijos, debido a sus reticulaciones, carecen de deslizamiento interior y a eso deben ser básicamente más quebradizos que los termoplásticos.

Por su parte algunos termoplásticos como el Polipropileno, el Nylon, el Polietileno y los Poliésteres lineales, pueden someterse a estirado, con lo cual las moléculas se orientan en la dirección del estirado.

La fuerza del enlace de valencias se deja notar en este fenómeno, lo cual se manifiesta en una extraordinaria resistencia. El comportamiento de deformación y recuperación interna de los plásticos le confiere una gran propiedad llamada memoria.

Por otra parte, el comportamiento mecánico de los plásticos reforzados, varía en función de la cantidad de refuerzo, tipo de cargas y materiales que contienen.

3.10.2. Térmicas

Como otras propiedades, el comportamiento térmico de los plásticos también es función de su estructura; los plásticos termofijos son quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no reblandecen y no funden; un poco por debajo de su temperatura de descomposición T_z se observa una pérdida de rigidez.

Los termoplásticos se vuelven quebradizos a bajas temperaturas que son específicas para cada uno de ellos. Si las temperaturas aumentan, se produce un descenso constante del módulo de elasticidad, es decir, disminuye la rigidez.

Al aplicar calor continuo a los termoplásticos amorfos, sufren un reblandecimiento, es decir, la transición a un estado termoelástico. En esta zona, con pequeñas fuerzas se provocan grandes deformaciones; si se sigue calentando se incrementa la movilidad térmica de las moléculas provocando que las cadenas puedan deslizarse unas frente a otras. Esta zona limita con la temperatura de descomposición.

Los termoplásticos semicristalinos poseen fragmentos amorfos (flexibles) en el intervalo de temperaturas de uso así como cristalinos (rígidos).

Al aumentar la temperatura es posible moldearlos, cuando los fragmentos cristalinos alcanzan el intervalo de la temperatura de fusión. Inmediatamente sigue el estado termoplástico y al seguir aumentando la temperatura, este estado se caracteriza por la transparencia que adopta el plástico antes opaco. Esta zona limita la temperatura de descomposición del plástico.

Por su misma estructura, sufren una dilatación volumétrica relativamente grande con el aumento de temperatura.

En los plásticos reforzados esta dilatación es menor y está en función del tipo y cantidad de material de refuerzo, como ya se mencionó. Los electrones de los plásticos carecen de movilidad, por ello, son materiales con conductividad térmica baja, siendo aislantes térmicos.

3.10.3. Eléctricas

Ya que los plásticos no disponen de electrones libres móviles, tienen un buen comportamiento como aislantes, es frecuente utilizarlos en la industria eléctrica y electrónica, por ejemplo, para carcazas, aislantes; enchufes, recubrimiento de cable y alambre, entre otros. Por todo esto, son importantes las siguientes propiedades eléctricas:

- Resistencia Superficial
- Resistencia Transversal
- Propiedades Dieléctricas
- Resistencia Volumétrica
- Resistencia al Arco

3.10.4. Químicas

En términos generales, por ser los plásticos materiales inertes (no reactivos) frente a la mayoría de las sustancias líquidas, sólidas y gaseosas comunes, muestran mejores propiedades químicas que los materiales tradicionales como papel, madera, cartón y metales, siendo superados únicamente por el vidrio.

Sin embargo, los plásticos continúan mostrando crecimientos en aplicaciones que requieren contacto con diversos tipos de solventes y materiales corrosivos, aún en los que anteriormente se utilizaba el vidrio, donde lo más importante es seleccionar el tipo de plástico ideal, tomando en cuenta las condiciones de presión, temperatura, humedad, intemperismo y otras que puedan acelerar algún proceso de disolución o degradación.

3.10.5. Absorción de humedad

Esta propiedad es distinta para los diferentes tipos de plásticos, consiste en la absorción de humedad presente en el aire o por la inmersión en agua, siendo dependiente del grado de polaridad de cada plástico. Por ejemplo, los plásticos no polares como el PE, PP, PS, PTFE, absorben muy poca agua; en cambio, los plásticos polares como los Poliamidas o los Poliésteres termoplásticos, absorben gran cantidad de ella; en el caso de los dos últimos se requiere de secado antes de procesarlos y de un "acondicionamiento" en las piezas recién inyectadas para que alcancen un grado de humedad determinado.

En estos materiales el porcentaje de humedad afecta las propiedades finales de las piezas fabricadas.

3.10.6. Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad que tiene gran importancia en la utilización de los plásticos del sector envase, por ejemplo, en láminas, películas y botellas. Permeable significa que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.

La permeabilidad frente a gases y vapor de agua es un criterio esencial para la selección del tipo de material, según el producto a envasar: alimentos, frutas frescas, bebidas carbonatadas, embutidos y otros. Además del tipo de plástico, la permeabilidad también depende del grosor y de la temperatura.

En la mayoría de los casos, se requiere que los materiales plásticos eviten el paso de determinados gases como el CO₂, el NO_x, el vapor de agua y otros, pero también se encuentran casos en que es importante que se permita el paso de sustancias como el O₂ en el caso de legumbres y carnes frías, que requieren "respirar" para conservar una buena apariencia.

3.10.7. Fricción y desgaste

El comportamiento de los plásticos ante la fricción es muy complejo, se caracteriza por la interacción de los materiales involucrados, en el fenómeno, la estructura superficial, el lubricante, la carga específica y la velocidad de desplazamiento. Una aplicación típica son los rodamientos, los más importantes están formados por el par plástico-acero.

Un fenómeno a considerar en este caso es el desprendimiento de calor a través del elemento metálico. Por esa razón solo tienen sentido los datos de coeficientes de fricción referidos a pares de materiales específicos.

3.10.8. Propiedades generales de los polietilenos

3.10.8.1. Polietileno de baja densidad (PEBD O LDPE)

El polietileno de baja densidad tiene una densidad en el rango de 0.910 – 0.925 g/cm³, en función de la estructura molecular del polímero. El PEBD tiene una estructura en su mayor parte amorfa.

Es un material translúcido, inodoro, su punto de fusión varía dependiendo del grado de la resina, como promedio en 110 °C tiene una conductividad térmica baja como la mayoría de los materiales termoplásticos.

Las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad, dependen del grado de polimerización y la configuración molecular, es decir, cuanto más elevado sea el peso molecular, mejores serán las propiedades.

Debido a la baja conductividad eléctrica, el PE se ha convertido en un aislante de primera, tanto en alta como en baja tensión.

La naturaleza no polar del polietileno, le confiere gran resistencia a los ataques de sustancias químicas. A temperaturas menores de 60 °C resiste a la mayoría de los solventes, ácidos, bases y sales en cualquier concentración. Por otro lado a temperaturas mayores es soluble en solventes orgánicos alifáticos y especialmente en los aromáticos y clorados.

Es totalmente atóxico, impermeable al agua y relativamente poco permeable al vapor de agua y gases, puede estar en contacto directo con alimentos sin presentar riesgo para los consumidores.

3.10.8.2. Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE)

El polietileno de alta densidad tiene una densidad en el rango de 0.941 – 0.965 g/cm³, presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así un material opaco y de aspecto ceroso, las propiedades de cristalinidad y mayor densidad se relacionan con las moléculas más empacadas, ya que casi no existen ramificaciones.

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión de los polietilenos, se incrementa con la densidad, el PEAD presenta mejores propiedades mecánicas que el PEBD y el PELBD, también presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión.

El calor necesario para llegar al punto de fusión, está relacionado con la cristalinidad. El polietileno de alta densidad, muestra un punto de fusión entre 120 °C y 136°C, mayor al del PEBD.

El PEAD tiene excepcional resistencia a sustancias químicas y otros medios. No es atacado por soluciones acuosas, salinas, ácidos y álcalis. La solubilidad del polietileno en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, depende de la cristalinidad, pero a temperaturas elevadas el PEAD es soluble en estos.

3.11. Forma de presentación

Existe una gran variedad de procedimientos de transformación de plásticos, cada uno de los cuales es resultado de la adaptación a las necesidades concretas de cada material y de las piezas que se desean obtener, los polímeros termoplásticos se presentan en diversas formas:

- Polvos (1 - 100 μm)
- Pastas
- Pellets (3 mm aproximadamente)
- Cubos
- Lentejas
- Cilindros
- Aglomerados
- Granulados

Ciertos procesos requieren formas específicas de la materia prima y en algunos casos, el manejo, almacenamiento y sistemas de alimentación y dosificación son las que determinan la elección.

3.12. Codificación

La codificación nos sirve para diferenciar el material plástico, ya que en algunas aplicaciones es muy semejante por lo que es difícil identificar a que tipo pertenece y por consiguiente se cuenta con un sistema de clasificación.

Esta simbología permite en el proceso de recolección y reciclaje identificar y separar los diferentes productos plásticos. El código es grabado en el fondo del recipiente y consiste en un triángulo que lleva un número en su centro, el cual corresponde al tipo de plástico. Este sistema fue desarrollado por “The society of the Plastics industry” (SPI) y se reconoce en todo el mundo.

El símbolo utilizado para indicar que un material es reciclable es el siguiente:

Figura 1. Símbolo de material reciclable.



Abreviatura del material (opcional)

1. Son tres flechas formando un triángulo, este tiene como significado el reciclaje.
2. En el centro lleva un número que distingue el tipo de plástico.
3. En la mayoría de productos plásticos, el símbolo va acompañado de las iniciales que identifican el material y se describen a continuación.

Figura 2. Polietileno tereftalato



1. Polietileno tereftalato (PET): Se utilizan para identificar los productos que contienen polietileno. Este es transparente y resistente, sus usos son muy variados, desde envases hasta textiles. Ejemplos: envases de bebidas carbonatadas; goma de almohadas y cojines; *sleeping bags*; fibras textiles.

Figura 3. Polietileno de alta densidad



2. Polietileno de alta densidad (PEAD): Indica la presencia de polímeros de alta densidad. Este material se utiliza en diferentes envases, detergentes y otros productos de uso personal. Ejemplos: bolsas de basura, bolsas de supermercado, envases de jugo y de leche, blanqueadores y detergentes.

Figura 4. Cloruro de polivinilo



3. Cloruro de polivinilo (PVC): Identifica la presencia de polivinilo. Este material puede procesarse de modo que sea claro, rígido y duro; o claro, flexible y resistente. Ejemplos: suela de zapatos, conductores electrónicos y tubos, envases de limpiadores, aceite de cocinar, y condimentos.

Figura 5. Polietileno de baja densidad



- 4. Polietileno de baja densidad (PEBD):** Indica la presencia de polímeros de baja densidad. Este material es liviano, flexible, transluciente y de superficie cerosa. Ejemplos: agitadores y sorberos, bolsas de basura de patio, bolsas para cubiertos plásticos.

Figura 6. Polipropileno



- 5. Polipropileno (PP):** Identifica materiales a base de polipropileno. Este material es duro, a la vez que es flexible y transluciente. Se presta para una variedad de usos, tales como bolsas para diferentes propósitos, pañales desechables y productos de belleza. Ejemplos: bolsas de papas, bolsas de microondas, pañales desechables, bolsitas para conservar meriendas, bolsas de basura (que emiten un sonido peculiar).

Figura 7. Poli estireno



- 6. Poli estireno (PS):** Corresponde a los materiales hechos de poli estireno. Este plástico es transparente u opaco, según sea procesado es muy versátil e imita el cristal. Se emplea en la fabricación de diferentes envases utilizados para servir alimentos y en materiales

para proteger equipos delicados. Ejemplos: vasos y platos plásticos, envases y tapas plásticas, envases de foam, cubiertos plásticos, materiales de empaque.

Figura 8. Biopolímeros



7. “Otros”: Dentro de "otros" se pueden encontrar plásticos como el poliuretano (PU), acrilonitrilo-butadienestireno (ABS), policarbonato (PC) y los **biopolímeros**.

Biopolímeros

La gran mayoría de los plásticos están hechos a base de petróleo y combustibles fósiles y son por definición productos no sustentables.

Los plásticos biodegradables son una alternativa prometedora para el futuro, especialmente para utensilios que tienen una vida útil reducida o no son prácticos de reciclar, como son las envolturas de alimentos. Los productos de su degradación (metano, metanol) pueden ser reaprovechados y el material restante transformado en carbono orgánico para el suelo, lo que cierra el ciclo de la producción limpia.

No deben confundirse los plásticos biodegradables (que pueden ser producidos a partir del petróleo, y ser degradados posteriormente por microorganismos) con los biopolímeros (Polímero que interviene en los procesos biológicos; por ejemplo las proteínas y los ácidos nucleicos), producidos a base de almidón, celulosa o bacterias, es

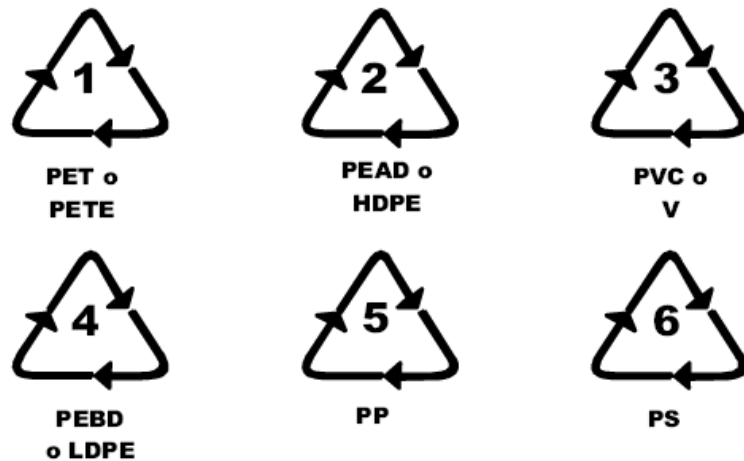
esencial, sin embargo, que la producción de biopolímeros no involucre el uso de organismos genéticamente modificados o patentes sobre estos seres vivos.

Lo que necesitamos es adoptar un enfoque de producción limpia, en el proceso y la selección de las materias primas a utilizar. Los sistemas de producción limpia son circulares, es decir, cierran el ciclo de extracción de materias primas naturales devolviéndolas en forma limpia y sustentable al ambiente.

El reciclaje de residuos es un paso fundamental para conservar un adecuado flujo de materiales, para lo cual debe también involucrar el uso de sustancias no tóxicas durante su producción.

3.12.1. Formas de identificación

Figura 9. Formas de identificación



3.12.2. Dimensiones

Las dimensiones del símbolo deben ser de acuerdo al diseño del producto que se requiera fabricar, siempre y cuando sea lo más visible posible. El tamaño mínimo recomendado del símbolo es de 12.7 mm.

3.12.3. Marcado y ubicación del símbolo

El símbolo debe incluirse de forma legible e indeleble, en zonas del producto donde no afecte su funcionalidad y sea de fácil observación.

4. FIBRAS DE LA ESTOPA DEL COCO

El coco está constituido por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo, también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta.

4.1. Origen de las fibras

Según su origen, las fibras pueden ser clasificadas en sintéticas y naturales (vegetal, animal o mineral).

4.2. Fibras sintéticas

Entre las sintéticas o hechas por el hombre se encuentran los polímeros naturales (fibras de celulosa, de éster, de proteínas y misceláneas) y los polímeros sintéticos, provienen básicamente del petróleo y gas natural, como el polipropileno, polietileno, dracon, rayón, nylon, entre otras, las naturales son de origen vegetal (fibras de madera, hojas, semillas, hierba), de origen animal (lana y pelo, seda y otros filamentos) y de origen mineral (fibras de asbesto); todas ellas tienen diversas formas: redondas, rectangulares, dentadas, rizadas, con extremos en gancho, en malla o agrupadas por encolamiento .

4.3. Fibras vegetales

Las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de microfibrillas dispuestas en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa. Las diversas células que componen una fibra se encuentran aglomeradas por la mela intercelular, compuesta por hemicelulosa, peptina y principalmente lignina.

La región central de la fibra también puede presentar una cavidad denominada lacuna. Las lacunas y los lúmenes son responsables de la gran incidencia de poros permeables en las fibras, ya que absorben una elevada cantidad de agua.

Las fibras naturales de origen vegetal se dividen en dos grandes grupos: las blandas, que son básicamente de la corteza o fruto de plantas, como el lino, algodón, coco, damagua, entre otras; las duras, que tienen su origen en las hojas, como la cabuya, abacá, piña, palmas, entre otras.

Los usos de las fibras naturales son legendarios y de altísima aplicabilidad dentro de la agricultura, ambiente, farmacéutica, cordelería, empaques, aglomerados, construcción, decoración, artesanías, industria automotriz, textiles, confecciones, papel, aseo y otros usos como combustible, aislante térmico, entre otros.

Los parámetros que describen una fibra son su longitud, su diámetro y su aspecto o esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro.

4.4. Características

La fibra de estopa de coco, también llamada fibra bonote, se puede clasificar en 3 tipos principales: una más larga y fina que se conoce con el nombre de fibra de esteras o

hilo; una más tosca, que se conoce con el nombre de fibra de cerda, y una fibra más corta, conocida con el nombre de fibra para colchones .

En comparación con otras fibras duras, la del bonote es relativamente corta, sus células fibrosas miden alrededor de 1 μm de longitud, las células de bonote tienen un diámetro medio de 15 micras, y un haz de fibras puede tener de 30 a 300 o más células en su sección transversal total.

La fibra cortada de bonote varía entre 15 y 35 cm, en vez de promedios de 110 cm como en el caso del henequén, 140 cm el sisal. La fibra de bonote tiene una capacidad de estiramiento de 29.04%, con un módulo de rigidez de 1.8924 dinas/cm².

Es importante la facultad que tiene el bonote de estirarse más allá de su límite elástico sin romperse, así como su capacidad de absorber un estiramiento permanente cuando soporta esta carga; aunque la resistencia a la tracción de la fibra de bonote seca es baja en comparación con la de sisal, disminuye mucho menos por inmersión en agua. Después de 4 meses de inmersión, el bonote pierde solamente 35 – 45% de su resistencia.

Se afirma que su flotabilidad extrema y su resistencia a la acción de bacterias y agua salada son únicas. Es, además, una fibra económica, el rendimiento de obtenido de esta varía según el tamaño de los cocos, la madurez, la variedad y el método de preparación, pero para cálculos generales puede considerarse un promedio de 130 kg de fibra por 1,000 cáscaras. En una cáscara típica hay casi unas tres veces más de fibra corta que de fibra larga.

Su composición química está formada por cuatro principales elementos y están representados en porcentajes: Lignina 42.5%, Celulosa 32.3%, pentosanos 14.7% y Cenizas 3.5%.

5. DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA

No existen datos sobre la verdadera cantidad de desechos tanto plásticos como de estopas de cocos que se generan diariamente en el país, sin embargo un pequeño recorrido por algunos mercados locales, en los cuales se generan desperdicios por la venta de cocos, muestra suficiente cantidad de material disponible.

Además tomando en cuenta que en toda la costa sur este fruto es altamente consumido, se puede estar seguro de tener una cantidad suficiente para echar a andar un proyecto como el expuesto en este trabajo de graduación. Las cáscaras de coco pueden obtenerse de Escuintla y Chiquimula, donde se consume esta fruta o donde la carnaza se utiliza para fabricar dulces

Por otro lado esta claro que la cantidad de plásticos desechados diariamente en todos los sectores de la sociedad es bastante alta y se puede comprobar viendo que en cualquier lugar se encuentra este tipo de desperdicio, siendo actualmente uno de los materiales más comunes en los desechos.

Figura 10. Corte longitudinal de un coco



Figura 11. Componentes del coco



En las figuras anteriores se pueden apreciar claramente los elementos que componen el coco, este fruto ha sido ampliamente utilizado en muchas áreas de la industria ya que se le han encontrado múltiples usos, algunos de ellos se describen a continuación:

Cosméticos: El coco tiene muchas propiedades suavizantes y se le utiliza para elaborar numerosos productos cosméticos como lociones bronceadoras, acondicionadores para el cabello, ungüentos para labios, jabones y cremas hidratantes.

Medicinales: Investigadores comprobaron con pruebas de laboratorio que la fibra tiene propiedades analgésicas y antioxidantes, las cuales combaten microbios, virus y tumores. La fibra de coco podrá ser utilizada en el futuro como fuente para la producción de medicinas de bajo costo, sin embargo esto aún está en fase de investigación y debe ser probado en animales y humanos.

Alimenticios: Es un fruto aromático de sabor agradable e intenso que posee numerosas propiedades nutritivas y energéticas. Al ser rico en calcio y fósforo, fortifica la piel, las uñas, los dientes y los tejidos nerviosos. Por su alto contenido de sustancias vitales también contribuye a prevenir enfermedades de la piel, así como trastornos intestinales.

6. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

6.1. Plástico

Para las pruebas realizadas se utilizaron polietilenos de alta y baja densidad (HDPE y LDPE) en estado virgen como reciclado (de inyección y soplado), distinguiéndose 7 tipos, esto para determinar que tantas discrepancias hay entre uno y otro material para su posterior uso en las matrices.

Se optó por utilizar polietilenos ya que estos materiales son ampliamente utilizados en varias áreas de la industria y se encuentran en grandes cantidades en los desechos tanto domésticos como industriales. Además cabe mencionar que sus propiedades los hacen excelentes candidatos para formar matrices reforzadas.

El hecho de haber usado polietilenos de inyección y polietilenos de soplado se debe a que, los materiales de soplado poseen propiedades más elásticas que los materiales de inyección y necesita más temperatura para poder mezclarse con la fibra, la cual es difícil de distribuir en todo el volumen del polímero, la ventaja en la manufactura, es que es fácil sacar la mezcla del recipiente para pasarla al molde.

Los polietilenos inyectados funden a menor temperatura que los de soplado y se mezclan con mayor facilidad con las fibras, la desventaja en la manufactura es que es difícil sacar la mezcla del recipiente para pasarla a los moldes.

Entre el material reciclado se distinguen 2 tipos. Uno elaborado a partir de distintos tipos de recipientes y productos de HDPE, el cual se encuentra disponible en el mercado en forma de lantejas translúcidas las cuales son vendidas en sacos.

Sus propiedades son variables ya que existen pequeñas variaciones entre distintos recipientes del mismo material, por lo que la mezcla de ellos tiende a ser igualmente variable.

El otro tipo de material reciclado fue obtenido de botes vacíos de jugos recolectados (HDPE), estos contenían el mismo tipo de jugo, es decir de la misma marca, y de la misma empresa. Estos se limpiaron, la tapadera que es de un material distinto al del envase fue removida al igual que las etiquetas, y luego los botes se cortaron en trozos pequeños para su posterior uso.

El material virgen se obtuvo en forma de perlas, las cuales se venden en sacos a las distintas fabricas que lo usan para la elaboración de distintos productos plásticos.

Figura 12. Botes de jugos



Figura 13. Trozos de botes recolectados, cortados manualmente.



Figura 14. Polietileno virgen de inyección, presentación en perlas.



Los materiales usados fueron:

- 1) HDPE Inyectado virgen
- 2) HDPE Soplado reciclado
- 3) HDPE Soplado virgen
- 4) LDPE Inyectado virgen
- 5) LDPE Soplado reciclado
- 6) LDPE Soplado virgen
- 7) HDPE de botes de jugos (Soplado-Reciclado)

6.2. Fibras

Para la obtención de las fibras se consiguieron las estopas del coco de un mercado local, se secaron al sol hasta que adquirieron un color café claro, luego mediante la utilización de un molino de martillos; se separaron las fibras de la estopa de otro material adherido a ellas, el cual tiene la apariencia de aserrín y también forma parte de un programa de investigación para ser aprovechado.

Figura 15. Molino de Martillos



En el proceso de obtener las fibras, las cáscaras de coco se sumergen en agua antes de entrar al molino para evitar que las partículas secas (polvo) vuelen por el lugar. Luego de sacar la fibra del molino, esta tiene longitudes variables y cierto grado de humedad, por lo que debe secarse al sol y posteriormente ser cortada en longitudes adecuadas para ser mezclada con los polímeros.

Figura 16. Fibras de la estopa del coco secándose al sol.



7. ELABORACIÓN DE MATRICES

Después de una serie de pruebas en las cuales se usó distintos tamaños de fibras, distintas temperaturas de mezcla para el polímero y la fibra, y distintos tipos de mezclado entre ambos materiales, se optó por utilizar fibras con longitudes entre 2 y 6 mm, la mezcla se realizó mientras el material polimérico se encontraba en un estado líquido viscoso sobrepasando la temperatura de fusión promedio de los materiales y tratando de que estos no llegaran a la temperatura de degradación.

Los porcentajes de fibra a usar se establecieron en 0%, 15%, y 20% del peso total de la matriz, ya que porcentajes mayores de fibra en la mezcla, impedían una manufactura adecuada para el proceso utilizado.

Los pasos para la elaboración de matrices se resumen a continuación:

1. Se coloca el polímero ya sea en perlas ó en trozos cortados a mano en un recipiente metálico, la cantidad debe ser suficiente para crear los tableros con las dimensiones dadas, esta varía según el porcentaje de fibra a utilizar, el tipo de polímero y las dimensiones del molde, luego se eleva la temperatura del material hasta alcanzar un estado líquido viscoso.

Debido al proceso de manufactura, las temperaturas de mezcla para polietilenos de baja densidad, fueron de aproximadamente 240 °C para inyectado y 260 °C para soplado, mientras que para polietilenos de alta densidad, las temperaturas de mezcla fueron de aproximadamente 250 °C para inyectado y 270 °C para soplado.

Las fibras alcanzaron una temperatura máxima de 170 °C, a temperaturas superiores, el color de la fibra se torna mas oscuro debido a la degradación que sufre hasta llegar a carbonizarse.

2. Una vez que el polímero alcanza la temperatura de mezcla necesaria, se retira la fuente de calor y se agrega la fibra previamente cortada con tijeras y tamizada, al polímero fundido. Dado que los polietilenos pierden calor rápidamente a temperatura ambiente, al mezclarse con la fibra se lograba un equilibrio, al absorber la fibra agregada la temperatura del polímero.
3. Los materiales son mezclados manualmente hasta que la fibra se encuentre repartida en todo el volumen del polímero, es decir hasta lograr una mezcla homogénea.
4. El material resultante (polímero reforzado) es vertido en moldes metálicos de forma rectangular.
5. El tablero se forma al aplicarle 2000 libras por pulgada cuadrada de presión al polímero reforzado dentro del molde, esta presión se logró mediante el uso de un gato hidráulico adecuadamente colocado.
6. El tablero se retira de los moldes, aproximadamente 4 minutos después de aplicar la presión para permitir que el material enfrié y solidifique completando el procedimiento.

Figura 17. Material fundido y termómetro de altas temperaturas



Figura 18. Aplicación de presión y molde para formar matrices

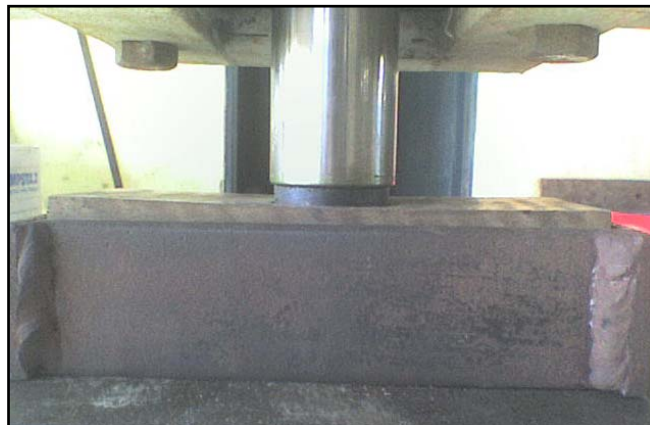


Figura 19. Matrices para elaborar probetas a tensión



8. ELABORACIÓN DE PROBETAS

Se utilizaron 3 tipos de probetas, las dimensiones, forma y obtención de las probetas están basadas en las normas ASTM para plásticos, las normas usadas dependen del tipo de ensayos que se deseen realizar, en este caso se realizaron ensayos de absorción (físicos), norma (ASTM D570-81 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics) y ensayos de tracción (mecánicos), norma (ASTM D638-89 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics).

Para el cálculo de materiales se asumió una densidad de 0.92 g/cm^3 para los Polietilenos de baja densidad y 0.95 g/cm^3 para los polietilenos de alta densidad, estos valores se usaron tanto para los materiales vírgenes como para los reciclados, no importando si eran de soplado o de inyección.

Los valores asumidos para las densidades de los polietilenos se deben a pruebas hechas con anterioridad, en dichas pruebas se utilizaron estos valores, obteniendo resultados satisfactorios dentro de un mínimo margen de error.

8.1. Probetas para ensayos de absorción de agua

Las probetas para este ensayo se obtuvieron de 2 formas:

1. Mediante moldeo: Las matrices se obtuvieron mediante los pasos descritos anteriormente para la elaboración de matrices, se uso un molde metálico de 3 pulgadas por 3.16 pulgadas, el espesor de las matrices se obtuvo mediante el cálculo adecuado de material, necesario para proveer a la matriz de aproximadamente $5 \pm 0.5 \text{ mm}$.

Las matrices obtenidas no sufrieron ninguna alteración posterior para ser ensayadas, la característica principal de estas probetas radica en que gracias a la presión y el confinamiento del molde, todas las fibras quedan totalmente protegidas por el polímero, por lo que no tienen contacto directo con el agua.

2. Mediante corte: Las matrices se obtuvieron mediante los pasos descritos anteriormente para la elaboración de matrices, se uso un molde metálico de 3 pulgadas por 3.16 pulgadas, el espesor de las matrices se obtuvo mediante el cálculo adecuado de material, necesario para proveer a la matriz de aproximadamente 5 ± 0.5 mm.

Las matrices obtenidas fueron cortadas posteriormente, obteniendo probetas de 1 pulgada por 3 pulgadas por 5 ± 0.5 mm, la diferencia de estos especímenes con los anteriores, es que estos últimos presentan un corte en toda la longitud de sus bordes laterales, permitiendo una mayor exposición de las fibras a la absorción de agua.

El hecho de considerar 3.16 pulgadas para uno de los lados del tablero, se debe a que se considera el corte que hará la sierra y su consecuente pérdida sobre esta longitud.

Figura 20. Probeta moldeada (izquierda) y cortada (derecha) para ensayos de absorción



Cálculo de materiales

Se manufacturaron 9 especímenes por cada tipo de material utilizado, 3 con 0% de fibra, 3 con 15% de fibra y 3 con 20% de fibra. Teniendo un total de 63 probetas por moldeo y 63 probetas por corte.

Cálculo de material necesario para una matriz con 0% de fibra (LDPE):

Dimensiones del molde: 3 pulgadas por 3.16 pulgadas.

Los datos necesarios son los siguientes:

Volumen de la matriz para un espesor de 5 mm:

$$V = \frac{3 * 3.16 * 5 * 2.54^2}{10} = 30.59 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso Específico } (\gamma) = \frac{\text{Peso}(W)}{\text{Volumen}(V)} \quad \text{de donde } W \text{ (g)} = V \text{ (cm}^3\text{)} * \gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Peso de la matriz:

$$W = 0.92 * 30.59 = 28.14 \text{ g}$$

Para elaborar una matriz de las dimensiones dadas se necesitan 28.14 g de polímero de baja densidad.

Cálculo de material necesario para una matriz con 20% de fibra (HDPE):

Dimensiones del molde: 3 pulgadas por 3.16 pulgadas.

Los datos necesarios son los siguientes:

Volumen de la matriz para un espesor de 5 mm:

$$V = \frac{3 * 3.16 * 5 * 2.54^2}{10} = 30.59.cm^3$$

$$\text{Peso Especifico } (\gamma) = \frac{\text{Peso}(W)}{\text{Volumen}(V)} \quad \text{de donde } W \text{ (g)} = V \text{ (cm}^3\text{)} * \gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Peso de la matriz:

$$W = 0.95 * 30.59 = 29.06 \text{ g}$$

Peso del polímero:

$$W_p = 0.8 * 29.06 = 23.25 \text{ g}$$

Peso de la fibra:

$$W_f = 0.2 * 29.06 = 5.81 \text{ g}$$

Para elaborar una matriz de las dimensiones dadas se necesitan 23.25 g de polímero de alta densidad y 5.81 g de fibra cortada.

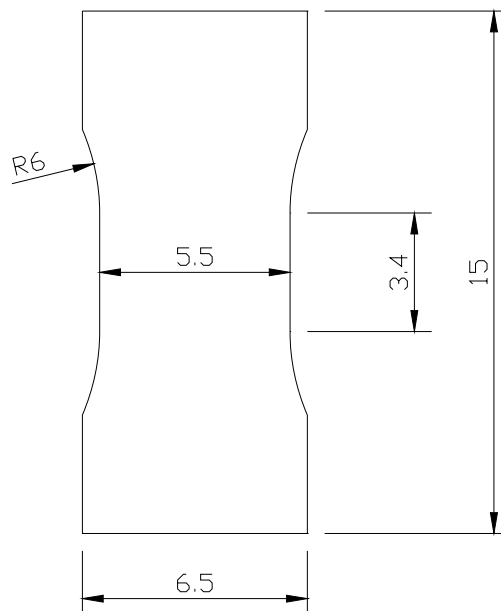
El cálculo descrito anteriormente se uso para cada tipo de material y para cada porcentaje de fibra utilizado.

8.2. Probetas para ensayos de tracción

Las matrices se obtuvieron mediante los pasos descritos anteriormente para la elaboración de matrices, se uso un molde metálico de 15 cm de longitud y 6.5 cm de ancho, el espesor de las matrices se obtuvo mediante el cálculo adecuado de material para estar en el rango de 5 ± 1 mm.

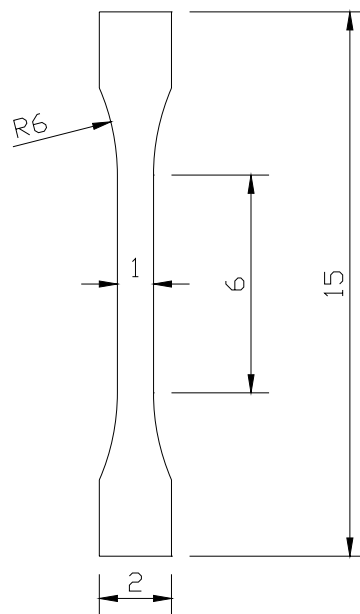
Las matrices obtenidas fueron cortadas posteriormente y para lograr un espesor uniforme lo mas cercano al valor establecido, en algunas probetas fue necesario aplicar un cepillado mediante el cual se eliminaron capas de la probeta hasta darle el espesor deseado, las dimensiones en centímetros y forma se presentan en la siguiente figura.

Figura 21. Probeta modificada para ensayos de tracción



Las dimensiones que aparecen en la figura anterior, no son las que recomienda la norma ASTM D638-89 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, Las dimensiones en centímetros que recomienda la norma aparecen en la siguiente figura:

Figura 22. Probeta para ensayos de tracción, según ASTM D638-89



El hecho de no usar las dimensiones recomendadas por la ASTM, obedece a que en ensayos anteriores se encontró dificultad para manipular y ensayar dichas probetas, además estas presentaban cargas muy pequeñas en la falla.

Cálculo de materiales para ensayos de tracción

Se manufacturaron 15 especímenes por cada uno de los siguientes materiales:

- HDPE virgen de soplado (presentación en perlas)
- HDPE reciclado de soplado (presentación en lentejas)
- LDPE virgen de soplado (presentación en perlas)
- LDPE reciclado de soplado (presentación en lentejas)
- HDPE obtenido de botes de jugos recolectados (trozos cortados a mano)

5 con 0% de fibra, 5 con 15% de fibra y 5 con 20% de fibra.

Se manufacturaron 9 especímenes por cada uno de los siguientes materiales:

- HDPE virgen para inyectado (presentación en perlas)
- LDPE virgen para inyectado (presentación en perlas)

3 con 0% de fibra, 3 con 15% de fibra y 3 con 20% de fibra.

Teniendo un total de 93 probetas.

Como se mencionó anteriormente el espesor de los especímenes debe estar lo mas cercano posible al valor de 5 mm por lo que se asumió un valor 6 mm para el cálculo de los materiales, ya que existen perdidas de material inherentes al proceso de manufactura. En el caso de las probetas para absorción de agua no se hizo lo mismo debido a que por las dimensiones de estas, las perdidas no eran tan significativas.

Cálculo de material necesario para una matriz con 0% de fibra (LDPE):

Dimensiones del molde: 15 cm por 6.5 cm.

Los datos necesarios son los siguientes:

Volumen de la matriz para un espesor de 6 mm:

$$V = 6.5 * 15 * 0.6 = 58.50.cm^3$$

$$\text{Peso Especifico } (\gamma) = \frac{\text{Peso}(W)}{\text{Volumen}(V)} \quad \text{de donde } W \text{ (g)} = V \text{ (cm}^3\text{)} * \gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Peso de la matriz:

$$W = 0.92 * 58.50 = 53.82 \text{ g}$$

Para elaborar una matriz de las dimensiones dadas se necesitan 53.82 g de polímero de baja densidad.

Cálculo de material necesario para una matriz con 20% de fibra (HDPE):

Dimensiones del molde: 15 cm por 6.5 cm.

Los datos necesarios son los siguientes:

Volumen de la matriz para un espesor de 6 mm:

$$V = 6.5 * 15 * 0.6 = 58.50.cm^3$$

$$\text{Peso Especifico } (\gamma) = \frac{\text{Peso}(W)}{\text{Volumen}(V)} \quad \text{de donde } W \text{ (g)} = V \text{ (cm}^3\text{)} * \gamma \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Peso de la matriz:

$$W = 0.95 * 58.50 = 55.58 \text{ g}$$

Peso del polímero:

$$W_p = 0.8 * 55.58 = 44.46 \text{ g}$$

Peso de la fibra:

$$W_f = 0.2 * 55.58 = 11.12 \text{ g}$$

Para elaborar una matriz de las dimensiones dadas se necesitan 44.46 g de polímero de alta densidad y 11.12 g de fibra cortada.

Los cálculos descritos anteriormente se usaron para cada tipo de material y para cada porcentaje de fibra utilizado.

Figura 23. Probeta elaborada, según ASTM D638-89



Figura 24. Probeta modifica, basada en ASTM D638-89



9. ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

9.1. Ensayos de absorción de agua (físicos)

(ASTM D570-81 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics)

Este método de prueba cubre la determinación de la tasa relativa de absorción de agua en plásticos cuando son sumergidos.

El contenido de humedad de los plásticos esta íntimamente relacionado a sus propiedades como la resistencia al aislamiento eléctrico, perdidas dieléctricas, fuerzas mecánicas, apariencia y dimensiones. Los efectos sobre estas propiedades por el cambio en el contenido de humedad debido a la absorción de agua, depende principalmente al tipo de exposición (por inmersión en agua o por exposición a humedad alta), forma de la parte y propiedades inherentes de el plástico.

Con materiales no homogéneos, la tasa de absorción de agua podría ser ampliamente diferente a través de cada uno de los bordes y caras. Por otro lado aun en materiales homogéneos, los valores de absorción de agua podrían ser un poco mayores a través de bordes cortados que a través de caras moldeadas.

Consecuentemente para intentar correlacionar la absorción de agua con el área de la cara expuesta, debe generalmente limitarse a relacionar materiales y formas de especimenes similares.

Procedimiento

Los especímenes de 1 pulgada de ancho, 3 pulgadas de largo y 5 ± 0.5 mm de espesor en forma de barras (especímenes cortados) y los tableros de 3 pulgadas de ancho, 3.16 pulgadas de largo y 5 ± 0.5 mm de espesor (especímenes moldeados), fueron limpiados con un paño seco y pesados uno a la vez en una balanza electrónica con precisión de centésimas de gramo, obteniendo así su peso seco.

Seguidamente, los especímenes fueron sumergidos y pesados al final de 24 horas y al final de 168 horas (1 semana) obteniendo así el peso húmedo a 24 y 168 horas.

Figura 25. Obtención del peso para una probeta cortada, usando una balanza electrónica



Inmersión a 24 y a 168 horas

Usando un contenedor, los especímenes fueron sumergidos completamente en agua destilada, se apoyaron en sus bordes y se mantuvieron a temperatura ambiente.

Al final de 24 horas fueron removidos uno a la vez, las superficies de cada uno de ellos, fueron totalmente secadas con un paño limpio y seco e inmediatamente después de ser secados fueron pesados.

Posteriormente los especímenes se sumergieron nuevamente en el agua y se pesaron por segunda vez al final de la primera semana, para tomar el peso de las probetas, estas se acondicionaron de la misma manera que al final de 24 horas.

Figura 26. Tableros para ensayos de absorción



9.2. Ensayos de tracción (mecánicos)

(ASTM D638-89 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics)

Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tensión en plásticos reforzados y no reforzados.

Las propiedades de tensión proveen datos útiles para el control, especificación de materiales plásticos, caracterización de la calidad, la investigación, desarrollo y propósitos de diseño de plásticos de ingeniería.

Las propiedades de tensión quizás varíen con la preparación del espécimen, la velocidad y ambiente de prueba, por lo que estos factores deben ser cuidadosamente controlados cuando se precisa comparar resultados.

Se debe cuidar que todos los ejemplares sean preparados en la misma forma, a menos que la prueba incluya los efectos de la preparación de estos, para efectos de comparación entre probetas, se debe tomar los cuidados necesarios para asegurar el máximo grado de uniformidad en los detalles de preparación, tratamiento y formas de manipulación.

Procedimiento

El objetivo de este ensayo es determinar el esfuerzo en la falla, para cada una de las 93 probetas manufacturadas, por lo que empezamos por medir el área de la sección en la que se supone debe ocurrir la falla, es decir al centro de la probeta.

Figura 27. Obtención de los espesores para una probeta de tensión, usando un micrómetro

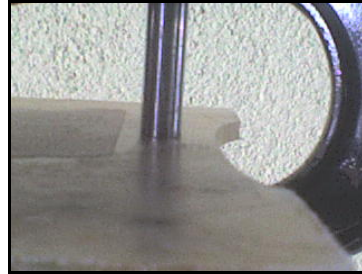


Figura 28. Obtención del ancho de una probeta de tensión, usando un vernier



Todos los ensayos se realizaron en una máquina universal, en la cual se sujetaron las probetas por sus extremos usando mordazas y luego se les aplicó carga constante hasta que sucedió la falla. Se cuidó que las probetas no presentaran aceites o materiales que pudiesen provocar deslizamiento entre las mordazas y los extremos de estas.

Figura 29. Ensayo de tracción para una probeta de HDPE reciclado con 0% de fibra, usando una máquina universal



10. RESULTADO DE LOS ENSAYOS

10.1. Físicos (ensayos de absorción de agua)

En las siguientes tablas se muestran los pesos secos, húmedos y los respectivos porcentajes de absorción de agua para cada probeta.

Los porcentajes de absorción de agua se calcularon mediante la siguiente formula:

$$\% = \frac{\text{peso.humedo} - \text{peso.sec o}}{\text{peso.sec o}} * 100$$

$$\% \text{ Promedio} = \frac{\%1 + \%2 + \%3}{3}$$

Donde %1, %2, %3 corresponden a los porcentajes de absorción de agua para las probetas 1, 2 y 3 respectivamente.

Ps = Peso Seco

Ph = Peso húmedo

Probetas moldeadas

24 horas de inmersión

Tabla II. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 0% de fibra

Material 0%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	27	26.9	26.7	27	27	26.8	0.00	0.37	0.37	0.25
LDPER SOPL.	26.9	27.3	26.7	27	27.3	26.7	0.37	0.00	0.00	0.12
HDPEV SOPL.	28.2	28.3	27.9	28.2	28.4	28	0.00	0.35	0.36	0.24
HDPER SOPL.	28.7	28.6	28.5	28.7	28.6	28.5	0.00	0.00	0.00	0.00
HDPEB SOPL.	27.8	25.2	27.8	27.8	25.2	27.8	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPEV INY.	24.7	25	25.1	24.7	25.1	25.1	0.00	0.40	0.00	0.13
HDPEV INY.	27	27.2	27.4	27	27.2	27.4	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla III. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 15% de fibra

Material 15%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	23.8	23.4	21.6	23.8	23.4	21.6	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPER SOPL.	24.3	23.7	23	24.3	23.8	23	0.00	0.42	0.00	0.14
HDPEV SOPL.	22.8	23.1	25.4	22.9	23.4	25.6	0.44	1.30	0.79	0.84
HDPER SOPL.	25.5	24.3	23.8	25.7	24.5	23.9	0.78	0.82	0.42	0.68
HDPEB SOPL.	24.1	25.2	24.9	24.2	25.2	25.1	0.41	0.00	0.80	0.41
LDPEV INY.	25.3	25.2	25	25.3	25.2	25	0.00	0.00	0.00	0.00
HDPEV INY.	26.7	26.6	26.3	26.7	26.6	26.3	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla IV. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 20% de fibra

Material 20%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	22.8	23.9	20.8	22.9	24	20.9	0.44	0.42	0.48	0.45
LDPER SOPL.	24.2	22.3	23.3	24.4	22.4	23.5	0.83	0.45	0.86	0.71
HDPEV SOPL.	24.2	24.7	25.5	24.3	25	25.8	0.41	1.21	1.18	0.93
HDPER SOPL.	22	23.1	24.5	22.1	23.3	24.7	0.45	0.87	0.82	0.71
HDPEB SOPL.	23.2	23.5	23.5	23.3	23.6	23.7	0.43	0.43	0.85	0.57
LDPEV INY.	24.2	24	24.3	24.2	24	24.3	0.00	0.00	0.00	0.00
HDPEV INY.	25.8	25.6	25.8	25.8	25.6	25.8	0.00	0.00	0.00	0.00

Probetas moldeadas

1 Semana de inmersión (168 horas)

Tabla V. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 0% de fibra

Material 0%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	27	26.9	26.7	27	27	26.8	0.00	0.37	0.37	0.25
LDPER SOPL.	26.9	27.3	26.7	27	27.3	26.7	0.37	0.00	0.00	0.12
HDPEV SOPL.	28.2	28.3	27.9	28.2	28.4	28	0.00	0.35	0.36	0.24
HDPER SOPL.	28.7	28.6	28.5	28.7	28.6	28.5	0.00	0.00	0.00	0.00
HDPEB SOPL.	27.8	25.2	27.8	27.8	25.2	27.8	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPEV INY.	24.7	25	25.1	24.8	25.1	25.2	0.40	0.40	0.40	0.40
HDPEV INY.	27	27.2	27.4	27	27.3	27.4	0.00	0.37	0.00	0.12

Tabla VI. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 15% de fibra

Material 15%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	23.8	23.4	21.6	23.8	23.4	21.6	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPER SOPL.	24.3	23.7	23	24.3	23.8	23	0.00	0.42	0.00	0.14
HDPEV SOPL.	22.8	23.1	25.4	22.9	23.4	25.6	0.44	1.30	0.79	0.84
HDPER SOPL.	25.5	24.3	23.8	25.7	24.6	24	0.78	1.23	0.84	0.95
HDPEB SOPL.	24.1	25.2	24.9	24.2	25.2	25.1	0.41	0.00	0.80	0.41
LDPEV INY.	25.3	25.2	25	25.4	25.3	25	0.40	0.40	0.00	0.26
HDPEV INY.	26.7	26.6	26.3	26.8	26.7	26.3	0.37	0.38	0.00	0.25

Tabla VII. Promedios de absorción para probetas moldeadas con 20% de fibra

Material 20%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	22.8	23.9	20.8	22.9	24	21	0.44	0.42	0.96	0.61
LDPER SOPL.	24.2	22.3	23.3	24.7	22.6	23.6	2.07	1.35	1.29	1.57
HDPEV SOPL.	24.2	24.7	25.5	24.4	25	25.8	0.83	1.21	1.18	1.07
HDPER SOPL.	22	23.1	24.5	22.2	23.3	24.7	0.91	0.87	0.82	0.86
HDPEB SOPL.	23.2	23.5	23.5	23.5	23.8	23.8	1.29	1.28	1.28	1.28
LDPEV INY.	24.2	24	24.3	24.2	24.1	24.3	0.00	0.42	0.00	0.14
HDPEV INY.	25.8	25.6	25.8	25.8	25.6	25.9	0.00	0.00	0.39	0.13

Probetas cortadas

24 horas de inmersión

Tabla VIII. Promedios de absorción para probetas cortadas con 0% de fibra

Material 0%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	8	8.1	8.7	8	8.1	8.7	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPER SOPL.	7.9	8.3	7.9	7.9	8.3	8	0.00	0.00	1.27	0.42
HDPEV SOPL.	9	8.1	8.3	9.1	8.1	8.3	1.11	0.00	0.00	0.37
HDPER SOPL.	8.1	9.2	8.5	8.2	9.2	8.5	1.23	0.00	0.00	0.41
HDPEB SOPL.	8.3	8	8.4	8.3	8	8.4	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPEV INY.	6.1	7	8	6.1	7	8.1	0.00	0.00	1.25	0.42
HDPEV INY.	7.9	8.1	9	7.9	8.1	9	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla IX. Promedios de absorción para probetas cortadas con 15% de fibra

Material 15%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	7.7	7.6	8.1	7.8	7.7	8.2	1.30	1.32	1.23	1.28
LDPER SOPL.	7.8	8.1	8	7.9	8.1	8.2	1.28	0.00	2.50	1.26
HDPEV SOPL.	7.9	7.1	7.3	7.9	7.1	7.3	0.00	0.00	0.00	0.00
HDPER SOPL.	7.4	8.2	7.4	7.4	8.2	7.5	0.00	0.00	1.35	0.45
HDPEB SOPL.	7.6	7.6	8	7.7	7.6	8	1.32	0.00	0.00	0.44
LDPEV INY.	7.3	9	7.4	7.3	9.1	7.4	0.00	1.11	0.00	0.37
HDPEV INY.	8.4	7.4	8.8	8.4	7.4	8.8	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla X. Promedios de absorción para probetas cortadas con 20% de fibra

Material 20%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	7	6.6	7.9	7.1	6.7	8	1.43	1.52	1.27	1.40
LDPER SOPL.	7.9	7.4	7.4	8	7.4	7.4	1.27	0.00	0.00	0.42
HDPEV SOPL.	7.3	6.7	6.7	7.3	6.8	7	0.00	1.49	4.48	1.99
HDPER SOPL.	8.5	7.4	7	8.5	7.5	7.1	0.00	1.35	1.43	0.93
HDPEB SOPL.	7.2	7.1	7.9	7.3	7.1	7.9	1.39	0.00	0.00	0.46
LDPEV INY.	7.3	7.4	7.8	7.3	7.4	7.8	0.00	0.00	0.00	0.00
HDPEV INY.	8.6	7.9	7.2	8.6	8	7.3	0.00	1.27	1.39	0.88

Probetas cortadas

1 Semana de inmersión (168 horas)

Tabla XI. Promedios de absorción para probetas cortadas con 0% de fibra

Material 0%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	8	8.1	8.7	8	8.1	8.7	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPER SOPL.	7.9	8.3	7.9	7.9	8.3	8	0.00	0.00	1.27	0.42
HDPEV SOPL.	9	8.1	8.3	9.1	8.1	8.3	1.11	0.00	0.00	0.37
HDPER SOPL.	8.1	9.2	8.5	8.2	9.2	8.5	1.23	0.00	0.00	0.41
HDPEB SOPL.	8.3	8	8.4	8.3	8	8.4	0.00	0.00	0.00	0.00
LDPEV INY.	6.1	7	8	6.1	7	8.1	0.00	0.00	1.25	0.42
HDPEV INY.	7.9	8.1	9	7.9	8.1	9	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla XII. Promedios de absorción para probetas cortadas con 15% de fibra

Material 15%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	7.7	7.6	8.1	7.8	7.7	8.2	1.30	1.32	1.23	1.28
LDPER SOPL.	7.8	8.1	8	7.9	8.1	8.2	1.28	0.00	2.50	1.26
HDPEV SOPL.	7.9	7.1	7.3	7.9	7.2	7.4	0.00	1.41	1.37	0.93
HDPER SOPL.	7.4	8.2	7.4	7.5	8.3	7.5	1.35	1.22	1.35	1.31
HDPEB SOPL.	7.6	7.6	8	7.8	7.7	8.1	2.63	1.32	1.25	1.73
LDPEV INY.	7.3	9	7.4	7.4	9.1	7.5	1.37	1.11	1.35	1.28
HDPEV INY.	8.4	7.4	8.8	8.5	7.4	8.9	1.19	0.00	1.14	0.78

Tabla XIII. Promedios de absorción para probetas cortadas con 20% de fibra

Material 20%	Ps1	Ps2	Ps3	Ph1	Ph2	Ph3	% No.1	% No.2	% No.3	% promedio
LDPEV SOPL.	7	6.6	7.9	7.2	6.7	8	2.86	1.52	1.27	1.88
LDPER SOPL.	7.9	7.4	7.4	8.1	7.5	7.5	2.53	1.35	1.35	1.74
HDPEV SOPL.	7.3	6.7	6.7	7.4	6.8	7	1.37	1.49	4.48	2.45
HDPER SOPL.	8.5	7.4	7	8.6	7.6	7.1	1.18	2.70	1.43	1.77
HDPEB SOPL.	7.2	7.1	7.9	7.4	7.3	8	2.78	2.82	1.27	2.29
LDPEV INY.	7.3	7.4	7.8	7.4	7.5	7.8	1.37	1.35	0.00	0.91
HDPEV INY.	8.6	7.9	7.2	8.7	8	7.4	1.16	1.27	2.78	1.74

Se puede observar que algunas probetas del mismo material y al mismo porcentaje de fibra, presentan porcentajes de absorción un poco alejados del porcentaje promedio, por lo que para poder analizar los resultados obtenidos, es necesario calcular un porcentaje medio de absorción.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo se calculo el porcentaje medio de absorción para las probetas de LDPEV INY. con 0% de fibra a 24 horas de inmersión.

Donde

% = porcentaje de absorción

%1, %2, %3 corresponden a los porcentajes de absorción para las probetas 1, 2, 3 respectivamente.

Los porcentajes de absorción obtenidos para cada una de las probetas son los siguientes:

$$\%1 = 0.00$$

$$\%2 = 0.40$$

$$\%3 = 0.00$$

Porcentaje promedio = 0.13

A partir del porcentaje promedio de absorción, se calcula a que desviación, arriba y abajo del valor promedio se encuentran más del 50% de los valores, empezando con una desviación del 0%. Si menos del 50% de los valores se encuentran dentro del rango para la desviación usada, se prueba con una desviación mayor hasta lograrlo.

Mientras menor es la desviación calculada, mayor es la confiabilidad de los resultados, pues desviaciones pequeñas corresponden a datos cercanos entre sí, por el contrario desviaciones mayores representan datos menos confiables.

Para este ejemplo el % medio es 0% ya que 2 de 3 especímenes (más del 50% de los datos) presentan 0% de absorción por lo tanto la desviación se tomara como cero.

$$\text{Porcentaje de absorción medio} = \frac{0 + 0}{2} = 0$$

Cálculo del porcentaje medio de absorción para las probetas de HDPER SOPL. con 15% de fibra a 24 horas de inmersión.

Los porcentajes de absorción obtenidos para cada una de las probetas son los siguientes:

$$\%1 = 0.78$$

$$\%2 = 0.82$$

$$\%3 = 0.42$$

Porcentaje promedio = 0.68

Para una desviación de 10%

$$\text{Límite superior} = 0.68 * 1.10 = 0.75$$

$$\text{Límite inferior} = 0.68 * 0.90 = 0.61$$

$$\text{Rango} = [0.61-0.75]$$

En este rango, no entra ninguno de los porcentajes de absorción, por lo que se prueba con una desviación de 22%.

Para una desviación de 22%

$$\text{Límite superior} = 0.68 * 1.22 = 0.83$$

$$\text{Límite inferior} = 0.68 * 0.78 = 0.53$$

$$\text{Rango} = [0.53-0.83]$$

En este rango se encuentran 2 de 3 valores de absorción, por lo que no se prueba con otra desviación mayor. El esfuerzo medio se calcula como el promedio de los datos que caen dentro del rango, para este caso el resultado es el siguiente:

$$\text{Porcentaje de absorción medio} = \frac{0.78 + 0.82}{2} = 0.80$$

El procedimiento de cálculo descrito anteriormente, se utilizó para todos los materiales y sus distintos porcentajes de fibra, tanto para 24 como 168 horas de inmersión.

El resumen de los resultados aparece en las siguientes tablas.

Tabla XIV. Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas moldeadas con 0% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión

RESUMEN	MOLDEADOS 24H.		MOLDEADOS 168H.	
	Desviación	% absorción	Desviación	% absorción
LDPEV SOPL.	51	0.37	51	0.37
LDPER SOPL.	0	0.00	0	0.00
HDPEV SOPL.	52	0.36	52	0.36
HDPER SOPL.	0	0.00	0	0.00
HDPEB SOPL.	0	0.00	0	0.00
LDPEV INY.	0	0.00	0.7	0.40
HDPEV INY.	0	0.00	0	0.00

Tabla XV. Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas moldeadas con 15% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión

RESUMEN	MOLDEADOS 24H.		MOLDEADOS 168H.	
	Desviación	% absorción	Desviación	% absorción
LDPEV SOPL.	0	0.00	0	0.00
LDPER SOPL.	0	0.00	0	0.00
HDPEV SOPL.	48	0.61	48	0.61
HDPER SOPL.	22	0.80	18	0.81
HDPEB SOPL.	98	0.61	98	0.61
LDPEV INY.	0	0.00	51	0.40
HDPEV INY.	0	0.00	0	0.00

Tabla XVI. Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas moldeadas con 20% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión

RESUMEN	MOLDEADOS 24H.		MOLDEADOS 168H.	
	Desviación	% absorción	Desviación	% absorción
LDPEV SOPL.	7	0.43	31	0.43
LDPER SOPL.	21	0.84	18	1.32
HDPEV SOPL.	30	1.20	14	1.20
HDPER SOPL.	22	0.84	6	0.86
HDPEB SOPL.	26	0.43	1	1.28
LDPEV INY.	0	0.00	0	0.00
HDPEV INY.	0	0.00	0	0.00

Tabla XVII. Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas cortadas con 0% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión

RESUMEN	CORTADOS 24H.		CORTADOS 168H.	
	Desviación	% absorción	Desviación	% absorción
LDPEV SOPL.	0	0.00	0	0.00
LDPER SOPL.	0	0.00	0	0.00
HDPEV SOPL.	0	0.00	0	0.00
HDPER SOPL.	0	0.00	0	0.00
HDPEB SOPL.	0	0.00	0	0.00
LDPEV INY.	0	0.00	0	0.00
HDPEV INY.	0	0.00	0	0.00

Tabla XVIII. Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas cortadas con 15% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión

RESUMEN	CORTADOS 24H.		CORTADOS 168H.	
	Desviación	% absorción	Desviación	% absorción
LDPEV SOPL.	3	1.31	3	1.31
LDPER SOPL.	99	1.89	99	1.89
HDPEV SOPL.	0	0.00	53	1.39
HDPER SOPL.	0	0.00	4	1.35
HDPEB SOPL.	0	0.00	28	1.28
LDPEV INY.	0	0.00	8	1.36
HDPEV INY.	0	0.00	54	1.16

Tabla XIX. Resumen de porcentajes medios de absorción, probetas cortadas con 20% de fibra a 24 y 168 horas de inmersión

RESUMEN	CORTADOS 24H.		CORTADOS 168H.	
	Desviación	% absorción	Desviación	% absorción
LDPEV SOPL.	8	1.47	33	1.39
LDPER SOPL.	0	0.00	23	1.35
HDPEV SOPL.	125 *	2.99 *	45	1.43
HDPER SOPL.	55 *	1.39 *	34	1.30
HDPEB SOPL.	0	0.00	24	2.80
LDPEV INY.	0	0.00	52	1.36
HDPEV INY.	57 *	1.33 *	33	1.21

* Los datos marcados con un asterisco en la tabla anterior, son mayores para una absorción de 24 horas que los respectivos valores 168 horas después, sin embargo, sus desviaciones son grandes comparadas con las desviaciones para un tiempo mayor.

Este hecho se debe a que uno o dos de los 3 especímenes ensayados presentó un valor relativamente mayor al resto, provocando que el %medio de absorción no presente un valor razonable y dadas las magnitudes usadas un pequeño incremento entre uno y otro espécimen provoca grandes desviaciones. Por lo que para estos casos se tomaran en cuenta solo los valores medios de absorción para 168 horas de inmersión.

10.2. Mecánicos (tracción)

Las siguientes tablas muestran los valores de carga, áreas transversales calculadas al centro de cada espécimen, esfuerzos y esfuerzo promedio para cada material y porcentaje de fibra utilizado.

Donde

LDPEV INY: Polietileno virgen de baja densidad, para inyectado.

HDPEV INY: Polietileno virgen de alta densidad, para inyectado.

LDPEV SOPL: Polietileno virgen de baja densidad, para soplado.

HDPEV SOPL: Polietileno virgen de alta densidad, para soplado.

LDPER SOPL: Polietileno reciclado de baja densidad, para soplado.

HDPER SOPL: Polietileno reciclado de alta densidad, para soplado.

HDPEB SOPL: Polietileno reciclado de botes recolectados, material soplado.

Tabla XX. Esfuerzos de tracción, LDPEV inyectado con 0% de fibra

#1 LDPEV INY		PROBETA1	PROBETA2	PROBETA3
0%	AREA (cm ²)	2.61	2.53	2.69
	CARGA (kg)	250.00	240.00	175.00
	ESFUERZO (kg/cm ²)	95.79	94.86	65.06
	PROMEDIO (kg/cm ²)	85.23		

Tabla XXI. Esfuerzos de tracción, LDPEV inyectado con 15% de fibra

#1 LDPEV INY		PROBETA1	PROBETA2	PROBETA3
15%	AREA (cm ²)	2.73	2.74	2.52
	CARGA (kg)	260.00	235.00	245.00
	ESFUERZO (kg/cm ²)	95.24	85.77	97.22
	PROMEDIO (kg/cm ²)	92.74		

Tabla XXII. Esfuerzos de tracción, LDPEV inyectado con 20% de fibra

#1 LDPEV INY		PROBETA1	PROBETA2	PROBETA3
20%	AREA (cm ²)	2.60	2.71	2.69
	CARGA (kg)	235.00	280.00	310.00
	ESFUERZO (kg/cm ²)	90.38	103.32	115.24
	PROMEDIO (kg/cm ²)	102.98		

Tabla XXIII. Esfuerzos de tracción, HDPEV inyectado con 0% de fibra

#2 HDPEV INY		PROBETA1	PROBETA2	PROBETA3
0%	AREA (cm ²)	2.63	2.58	2.72
	CARGA (kg)	310	380	275
	ESFUERZO (kg/cm ²)	117.87	147.29	101.10
	PROMEDIO (kg/cm ²)	122.09		

Tabla XXIV. Esfuerzos de tracción, HDPEV inyectado con 15% de fibra

#2 HDPEV INY		PROBETA1	PROBETA2	PROBETA3
15%	AREA (cm ²)	2.56	2.47	2.68
	CARGA (kg)	255	250	245
	ESFUERZO (kg/cm ²)	99.61	101.21	91.42
	PROMEDIO (kg/cm ²)	97.41		

Tabla XXV. Esfuerzos de tracción, HDPEV inyectado con 20% de fibra

#2 HDPEV INY		PROBETA1	PROBETA2	PROBETA3
20%	AREA (cm ²)	2.73	2.71	2.68
	CARGA (kg)	430	450	380
	ESFUERZO (kg/cm ²)	157.51	166.05	141.79
	PROMEDIO (kg/cm ²)	155.12		

Tabla XXVI. Esfuerzos de tracción, LDPEV soplado con 0% de fibra

#6 LDPEV SOPLADO		1	2	3	4	5
0%	AREA (cm ²)	2.64	2.58	2.6	2.67	2.95
	CARGA (kg)	210	220	225	200	225
	ESFUERZO (kg/cm ²)	79.55	85.27	86.54	74.91	76.27
	PROMEDIO (kg/cm ²)	80.51				

Tabla XXVII. Esfuerzos de tracción, LDPEV soplado con 15% de fibra

#6 LDPEV SOPLADO		1	2	3	4	5
15%	AREA (cm ²)	2.63	2.51	2.67	2.49	2.66
	CARGA (kg)	225	205	180	240	250
	ESFUERZO (kg/cm ²)	85.55	81.67	67.42	96.39	93.98
	PROMEDIO (kg/cm ²)	85.00				

Tabla XXVIII. Esfuerzos de tracción, LDPEV soplado con 20% de fibra

#6 LDPEV SOPLADO		1	2	3	4	5
20%	AREA (cm ²)	2.99	3.14	3.06	3.02	3.07
	CARGA (kg)	280	310	275	280	275
	ESFUERZO (kg/cm ²)	93.65	98.73	89.87	92.72	89.58
	PROMEDIO (kg/cm ²)	92.91				

Tabla XXIX. Esfuerzos de tracción, HDPEV soplado con 0% de fibra

#7 HDPEV SOPLADO		1	2	3	4	5
0%	AREA (cm ²)	2.41	2.56	2.78	2.73	2.69
	CARGA (kg)	345	325	640	430	430
	ESFUERZO (kg/cm ²)	143.15	126.95	230.22	157.51	159.85
	PROMEDIO (kg/cm ²)	163.54				

Tabla XXX. Esfuerzos de tracción, HDPEV soplado con 15% de fibra

#7 HDPEV SOPLADO		1	2	3	4	5
15%	AREA (cm ²)	2.67	2.95	2.69	2.65	2.78
	CARGA (kg)	215	290	340	115	290
	ESFUERZO (kg/cm ²)	80.52	98.31	126.39	43.40	104.32
	PROMEDIO (kg/cm ²)	90.59				

Tabla XXXI. Esfuerzos de tracción, HDPEV soplado con 20% de fibra

#7 HDPEV SOPLADO		1	2	3	4	5
20%	AREA (cm ²)	2.53	2.62	2.59	2.62	2.7
	CARGA (kg)	150	225	125	200	225
	ESFUERZO (kg/cm ²)	59.29	85.88	48.26	76.34	83.33
	PROMEDIO (kg/cm ²)	70.62				

Tabla XXXII. Esfuerzos de tracción, LDPER soplado con 0% de fibra

#3 LDPER SOPLADO		1	2	3	4	5
0%	AREA (cm ²)	2.54	2.68	3.02	2.91	2.69
	CARGA (kg)	235.00	250.00	310.00	260.00	240.00
	ESFUERZO (kg/cm ²)	92.52	93.28	102.65	89.35	89.22
	PROMEDIO (kg/cm ²)	93.40				

Tabla XXXIII. Esfuerzos de tracción, LDPER soplado con 15% de fibra

#3 LDPER SOPLADO		1	2	3	4	5
15%	AREA (cm ²)	2.77	3.01	2.88	2.93	2.74
	CARGA (kg)	275.00	250.00	270.00	280.00	275.00
	ESFUERZO (kg/cm ²)	99.28	83.06	93.75	95.56	100.36
	PROMEDIO (kg/cm ²)	94.40				

Tabla XXXIV. Esfuerzos de tracción, LDPER soplado con 20% de fibra

#3 LDPER SOPLADO		1	2	3	4	5
20%	AREA (cm ²)	2.91	3.03	2.62	2.84	2.77
	CARGA (kg)	295.00	225.00	270.00	275.00	260.00
	ESFUERZO (kg/cm ²)	101.37	74.26	103.05	96.83	93.86
	PROMEDIO (kg/cm ²)	93.88				

Tabla XXXV. Esfuerzos de tracción, HDPER soplado con 0% de fibra

#5 HDPER SOPLADO		1	2	3	4	5
0%	AREA (cm ²)	2.98	2.53	2.77	2.66	2.5
	CARGA (kg)	420	380	560	550	375
	ESFUERZO (kg/cm ²)	140.94	150.20	202.17	206.77	150.00
	PROMEDIO (kg/cm ²)	170.01				

Tabla XXXVI. Esfuerzos de tracción, HDPER soplado con 15% de fibra

#5 HDPER SOPLADO		1	2	3	4	5
15%	AREA (cm ²)	2.71	2.64	2.69	2.85	2.71
	CARGA (kg)	310	325	280	320	325
	ESFUERZO (kg/cm ²)	114.39	123.11	104.09	112.28	119.93
	PROMEDIO (kg/cm ²)	114.76				

Tabla XXXVII. Esfuerzos de tracción, HDPER soplado con 20% de fibra

#5 HDPER SOPLADO		1	2	3	4	5
20%	AREA (cm ²)	2.68	2.76	2.82	2.66	2.62
	CARGA (kg)	325	250	380	330	260
	ESFUERZO (kg/cm ²)	121.27	90.58	134.75	124.06	99.24
	PROMEDIO (kg/cm ²)	113.98				

Tabla XXXVIII. Esfuerzos de tracción, HDPEB soplado con 0% de fibra

#4 HDPEB SOPLADO		1	2	3	4	5
0%	AREA (cm ²)	2.81	2.66	2.69	2.79	2.86
	CARGA (kg)	350	415	300	220	290
	ESFUERZO (kg/cm ²)	124.56	156.02	111.52	78.85	101.40
	PROMEDIO (kg/cm ²)	114.47				

Tabla XXXIX. Esfuerzos de tracción, HDPEB soplado con 15% de fibra

#4 HDPEB SOPLADO		1	2	3	4	5
15%	AREA (cm ²)	2.69	2.72	2.74	2.74	2.73
	CARGA (kg)	135	225	125	105	90
	ESFUERZO (kg/cm ²)	50.19	82.72	45.62	38.32	32.97
	PROMEDIO (kg/cm ²)	49.96				

Tabla XL. Esfuerzos de tracción, HDPEB soplado con 20% de fibra

#4 HDPEB SOPLADO		1	2	3	4	5
20%	AREA (cm ²)	2.74	2.72	2.82	2.79	2.73
	CARGA (kg)	95	45	175	75	215
	ESFUERZO (kg/cm ²)	34.67	16.54	62.06	26.88	78.75
	PROMEDIO (kg/cm ²)	43.78				

Se puede observar que algunas probetas del mismo material y al mismo porcentaje de fibra, presentan esfuerzos de falla un poco alejados del esfuerzo promedio, por lo que para poder analizar los resultados obtenidos, es necesario calcular un esfuerzo medio de falla.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo se calculó el esfuerzo medio para las probetas de LDPEV INY. con 0% de fibra.

Donde

σ = Esfuerzo

σ_1 , σ_2 , σ_3 corresponden a los esfuerzos para las probetas **1, 2, 3** respectivamente.

Los esfuerzos obtenidos para cada una de las probetas son los siguientes:

$$\sigma_1 = 95.79$$

$$\sigma_2 = 94.86$$

$$\sigma_3 = 65.06$$

Esfuerzo Promedio = 85.23

A partir del esfuerzo promedio, se calcula a que desviación, arriba y abajo del valor promedio se encuentran más del 50% de los valores, empezando con una desviación del 0%, si menos del 50% de los valores se encuentran dentro del rango para esta desviación, se prueba con valores mayores hasta lograrlo.

Mientras menor es la desviación calculada, mayor es la confiabilidad de los resultados, pues desviaciones pequeñas corresponden a datos cercanos entre sí, por el contrario desviaciones mayores representan datos menos confiables.

Para una desviación de 10%

$$\text{Límite superior} = 85.23 * 1.10 = 93.75$$

$$\text{Límite inferior} = 85.23 * 0.90 = 76.71$$

$$\text{Rango} = [76.71-93.75]$$

En este rango, no entra ninguno de los valores de esfuerzo, por lo que se prueba con una desviación de 13%.

Para una desviación de 13%

$$\text{Límite superior} = 85.23 * 1.13 = 96.31$$

$$\text{Límite inferior} = 85.23 * 0.87 = 74.15$$

$$\text{Rango} = [74.15-96.31]$$

En este rango se encuentran 2 de 3 valores de esfuerzo, por lo que no se prueba con otra desviación mayor. El esfuerzo medio se calcula como el promedio de los datos que caen dentro del rango, para este caso el resultado es el siguiente:

$$\text{Esfuerzo medio} = \frac{95.79 + 94.86}{2} = 95.32 \text{ kg/cm}^2$$

El procedimiento de cálculo descrito anteriormente, se utilizó para todos los materiales y sus distintos porcentajes de fibra.

La mayoría de desviaciones se encuentra en el rango de 4% a 24%, presentándose las mayores variantes en el HDPE de botes recolectados, el cual presentó una desviación de 42% reforzado con 20% de fibra, 12% para 0% de fibra y 24% para el 15% de fibra.

El resumen de los resultados aparece en la siguiente tabla.

Tabla XLI. Resumen de esfuerzos medios de tracción

Material	% de fibra	Desviación	Esfuerzo medio kg/cm²
LDPEV INY	0	13	95.32
	15	5	96.23
	20	12	109.28
HDPEV INY	0	18	109.49
	15	4	100.41
	20	8	161.78
LDPEV SOPL	0	6	80.36
	15	11	87.07
	20	4	91.45
HDPEV SOPL	0	13	153.50
	15	16	94.38
	20	19	72.99
LDPER SOPL	0	5	91.09
	15	6	96.20
	20	8	97.36
HDPER SOPL	0	18	147.05
	15	5	115.53
	20	13	114.86
HDPEB SOPL	0	12	112.49
	15	24	44.71
	20	42	41.20

11. ANALISIS DE RESULTADOS

11.1. Físicos (absorción de agua)

Después de analizar cuantitativa y cualitativamente las probetas, tanto moldeadas como cortadas se listan los siguientes resultados:

1. Los materiales tanto cortados como moldeados, presentan una leve tendencia a incrementar su porcentaje de absorción conforme aumento su tiempo de inmersión y el porcentaje de fibra presente en las matrices.
2. La mayoría de probetas cortadas presentan porcentajes de absorción levemente superiores a las probetas moldeadas para el mismo tiempo de inmersión, tanto a 24 como a 168 horas.
3. El mayor porcentaje de absorción obtenido para probetas moldeadas a 24 horas de inmersión, corresponde a el HDPE virgen de soplado con 20% de fibra, siendo de 1.20% y para 168 horas de inmersión el LDPE reciclado de soplado con 20% de fibra, siendo de 1.32%.
4. El mayor porcentaje de absorción obtenido para probetas cortadas a 24 horas de inmersión, corresponde a el LDPE reciclado de soplado con 15% de fibra, siendo de 1.89 % y para 168 horas de inmersión el HDPE de botes (polietileno de soplado) con 20% de fibra, siendo de 2.80%.
5. Las probetas cortadas al igual que las moldeadas presentan porcentajes de absorción inferiores al 2% para 168 horas de inmersión.

6. Las probetas no presentaron ningún tipo de variación física, es decir ninguna alteración en su color, textura o conformación del material.
7. Ninguna de las probetas presentó pérdida de peso, es decir no hay pérdidas por solubilidad.
8. Aun en probetas, en las cuales algunas fibras quedaron ligeramente expuestas en la superficie, no se registraron incrementos significativos en la absorción de agua.

11.2. Mecánicos (tracción)

Después de analizar cuantitativa y cualitativamente cada una de las probetas, se listan los siguientes resultados:

1. En algunas probetas cuyo esfuerzo en la falla fue bajo, se puede apreciar que la mayor cantidad de fibra presente posee un color oscuro, muestra de que las fibras sobrepasaron su temperatura máxima de conservación, pasado este límite de temperatura las propiedades de dichas fibras decrece considerablemente.
2. Las probetas de polietileno de baja densidad con 0% de fibra, presentan mayor flexibilidad que las probetas de polietileno de alta densidad con 0% de fibra.
3. Se observó un incremento de rigidez en los materiales de baja densidad conforme se aumentó el porcentaje de fibra en la matriz.

4. Los materiales de alta densidad también aumentaron su rigidez conforme se aumento el porcentaje de fibra en la matriz, sin embargo, era menos perceptible, debido a que este ya es un material rígido.
5. La mayoría de las probetas exhiben una tendencia a incrementar su resistencia a tracción a medida que se incrementa la fibra de 15% a 20%, esto dentro de las desviaciones calculadas, las cuales variaron de 4% a 24%, presentándose una sola máxima de 42% en el HDPE de botes al 20%.
6. Los polietilenos de baja densidad, presentan una tendencia más definida de incrementar su resistencia a la tracción conforme se aumenta el porcentaje de fibra en la matriz, a diferencia de los polietilenos de alta densidad, los que parecen disminuir su resistencia. Únicamente el HDPE virgen de inyección presenta una tendencia a incrementar dicha resistencia.
7. El HDPE virgen de inyección presenta mayor resistencia a la tracción que el LDPE virgen de inyección, ambos con 0% de fibra, lo mismo sucede con el HDPE virgen de soplado respecto al LDPE virgen de soplado y el HDPE reciclado de soplado respecto al LDPE reciclado de soplado, todos con 0%. Es decir que se observa mayor resistencia en polietilenos de alta densidad que en polietilenos de baja densidad.
8. Aunque la resistencia a tracción del HDPE de botes recolectados es menor al resto de polietilenos de alta densidad con 0% de fibra, este es mayor al valor registrado por todos los polietilenos de baja densidad con 0% de fibra, tanto de inyección como de soplado.

9. Los materiales de alta densidad inyectados soportaron menores esfuerzos en la falla que los materiales de alta densidad de soplado, mientras que los materiales de baja densidad inyectados soportaron mayores esfuerzos en la falla que los materiales de baja densidad de soplado, todos con 0% de fibra.

CONCLUSIONES

1. El mayor porcentaje de absorción registrado fue de 2.80% en el HDPE de botes (polietileno de soplado) con 20% de fibra, para probetas cortadas a 168 horas de inmersión, con lo que se evidencia que caras cortadas de una probeta influyen en el incremento del porcentaje de absorción, a diferencia de caras moldeadas.
2. En las probetas que registraron los mayores valores de absorción, se evidencia la existencia de micro fisuras en su conformación debido a factores inherentes al proceso de manufactura, por lo que puede decirse que parte del porcentaje de agua absorbida, se debe únicamente a una acumulación de agua en estas micro fisuras, incrementando de esta manera los valores de absorción.
3. Aunque algunas probetas exponían parte de las fibras en su superficie, no registraron incrementos significativos en la absorción de agua. Este fenómeno se debió probablemente a que dichas fibras estaban totalmente impermeabilizadas con el polímero.
4. De las evidencias observadas y debido a los bajos porcentajes de absorción registrados, puede considerarse a las matrices de polietileno reforzado con fibras de la estopa del coco, como materiales impermeables e inertes.
5. La mezcla de polietilenos y fibras presenta buena compatibilidad, esta depende en gran medida del cuidado que se tenga al momento de manufacturar las matrices, por lo que se debe poner especial atención a esta fase.

6. El comportamiento final de las probetas se debe principalmente a parámetros como temperatura de la mezcla, longitud, orientación, distribución y conservación de las fibras en el volumen del polímero.
7. En los polietilenos de alta densidad se observa un decremento en la resistencia a la tracción conforme se aumentó el porcentaje de fibra en la matriz, esto se debe posiblemente a que las temperaturas adecuadas para la mezcla polímero-fibras, excede la temperatura que es capaz de soportar la fibra antes de comenzar a degradarse.
8. Además del decremento en las propiedades de las fibras, sufrido principalmente por diferencias térmicas en el mezclado, también influyeron los pequeños defectos morfológicos, variación de diámetros y la mala distribución de las fibras dentro de la matriz, concentrándose en algunos puntos y dejando otros sin refuerzo, generando esto la baja resistencia de las probetas.
9. La influencia de la conservación y distribución de las fibras en las matrices, se comprueba al observar que el HDPE virgen de inyección, presenta una tendencia a incrementar su resistencia a la tracción al incrementar el porcentaje de fibra en la matriz, ya que se utilizó menor temperatura de mezclado debido a sus propiedades, contrario al comportamiento del resto de polietilenos de alta densidad.
10. Los materiales de baja densidad se mezclan con la fibra más fácilmente que los de alta densidad, en los cuales se dificulta más la mezcla al usar mayores porcentajes de fibra.
11. La variación en los datos para probetas de un mismo material al mismo porcentaje de fibra, se deben también al tipo de falla, que en todos los materiales con fibra se presentó en forma de una falla frágil, mientras que en los polietilenos de baja densidad al 0% de fibra se presentó un leve comportamiento plástico.

12. Debido a que no todas las fallas ocurrieron al centro de las probetas, los valores discreparon entre sí, siendo cercanos los datos para aquellas fallas similares y cercanas o al centro de las probetas.
13. Las fallas más significativas y cuyos valores son más confiables, se presentaron transversalmente al centro de las probetas, algunas fallas se presentaron en uno o ambos extremos de las probetas, otras se presentaron en forma oblicua.
14. De los ensayos realizados se puede decir que; los polietilenos reciclados reforzados pueden llegar a ser usados exitosamente en la construcción, en aplicaciones tales como: paneles para cielo falso, decoración de interiores, en elaboración de puertas y ventanas, recubrimiento para paredes en duchas, tabiques de separación no estructurales, entre otras. No limitándose únicamente al área de la construcción, sino como un material de uso mas generalizado.
15. Entre las aplicaciones del plástico reciclado fibroreforzado, también podría mencionarse su uso como piso, sin embargo, para esto es necesario realizar otros ensayos para demostrar su factibilidad.
16. Quizá el uso de polietilenos para ciertas aplicaciones no sea el más adecuado, sin embargo, existen otros tipos de termoplásticos, con los cuales seguramente se lograrán excelentes resultados.
17. El auge que los materiales plásticos está teniendo es realmente sorprendente, el problema radica en la mala disposición que se hace con ellos al final de su vida útil, creando así problemas medioambientales. Es por ello que debe tomarse cartas en el asunto y seguir investigando alternativas para poder reaprovechar toda esta materia disponible.

RECOMENDACIONES

1. Los plásticos son materiales inertes, no dañinos al contacto con los seres humanos, sin embargo, al ser fundidos se corre el riesgo de intoxicación. El uso de las normas ASTM puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos, a pesar de ello, el objetivo de estas, no es el de tratar los problemas de seguridad asociados a su uso. Es responsabilidad del usuario de las normas, establecer los procedimientos adecuados para mantener la seguridad, la salud y determinar la aplicabilidad y las limitantes a su uso.
2. Los procedimientos de manufactura, descritos para obtener las probetas de polímeros fibróreforzados, no representan la única forma de elaborarlos. Estos pueden cambiarse siempre y cuando los nuevos procedimientos sean más seguros para la salud, la seguridad y provean de mejores resultados con los objetivos establecidos.
3. Es muy importante que se sigan investigando alternativas de reaprovechamiento de materiales desechados, con el fin de frenar los problemas medioambientales que actualmente se viven en todo el planeta, por lo que se debe dar seguimiento a este trabajo de graduación. Se deben caracterizar nuevas matrices con distintos tipos de polímeros y distintos tipos de fibras orgánicas o de otro tipo, siempre y cuando, su uso implique un alto beneficio para el entorno natural y el desarrollo de la sociedad, no solo como un producto para satisfacer a los consumidores.
4. Una alternativa para elaborar matrices puede ser el uso de planchas de compresión, las cuales se calientan y una vez alcanzada la temperatura de fusión, el polímero mezclado con la fibra es comprimido, obteniéndose así los tableros.

De esta forma se logra incorporar mayor cantidad de fibra a la matriz polimérica, a la vez permite una mayor conservación de las fibras, por lo que este método debe ser probado y comparado con el descrito en este trabajo de graduación, para determinar la aplicabilidad y las bondades de cada uno.

5. Para la elaboración de las probetas, fueron empleados instrumentos de carpintería, demostrando que el polímero reforzado puede ser trabajado en forma similar a la madera. Este hecho es muy importante y abre aún más el umbral de posibilidades para este material compuesto, por ello también debe incluirse en futuras investigaciones, las diferentes formas de trabajar el material para desarrollar nuevos procedimientos de manufactura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 8.01.
2. Biblioteca de Consulta Encarta 2,007.
3. Delmonte, John. Moldeo de plásticos (por compresión, por inyección y por extrusión). Barcelona: s.e, 1967.
4. http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/coco.htm
5. <http://www.lesplastiques.com>
6. <http://www.apme.org/>
7. <http://www.construir.com/Econsult/Construr/Nro49/document/plastico.htm>
8. Lund, Herbert F. Manual McGraw-Hill de reciclaje. México: McGraw-Hill, 1996.
9. Morton Jones, D.H. Procesamiento de plásticos. México: Limusa, 2002.
10. Navarro Orellano José Fidel. Elaboración y Evaluación de tableros aglomerados a base de plástico de alta densidad y fibra de estopa de coco. Tesis Arq. Coquimatlan, Colima; Facultad de Arquitectura, 2005.
11. Ordóñez Gabriel y Virgilio Ayala. **Materiales de construcción**. Guatemala: s.e.2005.

12. Rubin, Irvin I., ed. Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. México: Limusa.2002.

APÉNDICE A

En el caso de las probetas para ensayos de absorción de agua, la hipótesis de que las fibras expuestas en la superficie de algunas de ellas quedaban totalmente impermeabilizadas por el polímero, pudo comprobarse al observar algunos especímenes con la ayuda de un microscopio electrónico, mediante el cual se observaron fibras de distintos diámetros, longitudes y orientaciones dentro del polímero.

Se observa que dichas fibras están compuestas por haces fibrovasculares de forma helicoidal las cuales cortadas transversalmente presentan una estructura similar a la de un panal y en algunas de ellas puede verse la presencia de polímero saturando sus conductos, corroborando así que las fibras expuestas quedan impermeabilizadas.

En las siguientes gráficas se muestran los detalles microscópicos de las fibras.

Figura 30. Vista microscópica de los haces fibrovasculares de una fibra

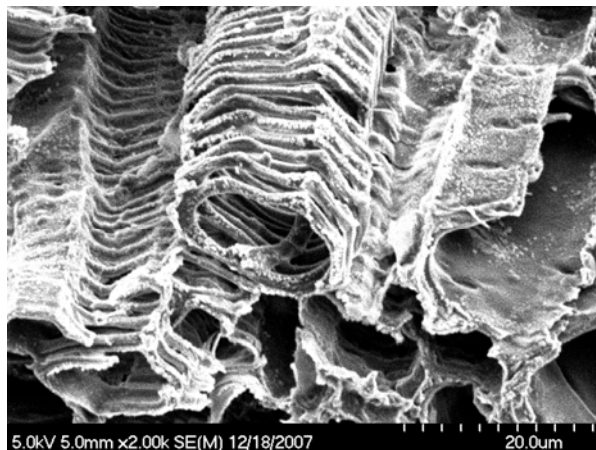


Figura 31. Vista microscópica del corte transversal de una fibra

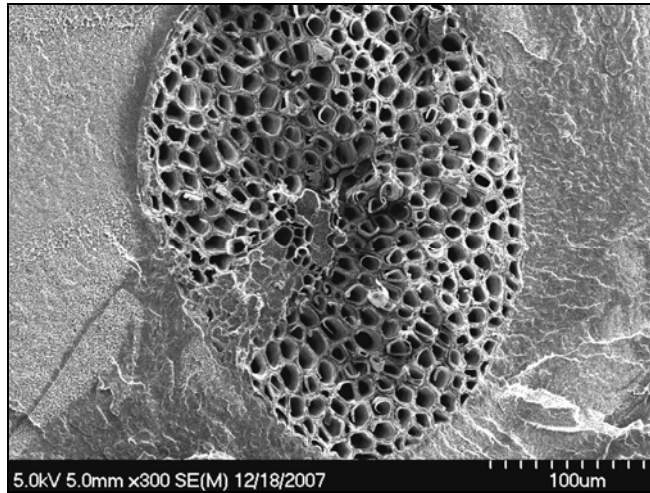


Figura 32. Vista microscópica de haces de una fibra saturados con polímero



APÉNDICE B

La forma de falla de las probetas del mismo material al mismo porcentaje de fibra, influyo en los esfuerzo de tracción soportados por cada una de ellas. Algunas probetas cuya falla fue oblicua, presentan un mayor esfuerzo a la tracción que otras probetas cuya falla fue transversal, esto se debe a que el área de la falla oblicua no es la que se supuso para el calculo de esfuerzos, sino que es un área mayor, pues el área supuesta esta ubicada al centro de los especimenes y transversalmente a ellos.

Considerando las áreas en el punto de falla, puede entenderse claramente que los esfuerzos aparentemente mayores disminuyen al considerar el área verdadera ya sea en una falla oblicua o en el extremo de las probetas.

A continuación se muestran los distintos tipos de falla ocurridos en las probetas.

Figura 33. Falla transversal al centro de una probeta ensayada a tracción



||Figura 34. Falla en el extremo de una probeta ensayada a tracción



Figura 35. Falla oblicua de una probeta ensayada a tracción

