



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

**“Estudio Comparativo De Las Propiedades Mecánicas y  
Reológicas De Compuestos De Polietileno De Alta Densidad Con  
Cascarilla De Arroz y Bagazo De Caña”**

### **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

**JOSE MESIAS CEVALLOS GARCIA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2008**

## **AGRADECIMIENTO**

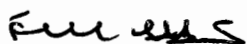
A Dios por darme las fuerzas necesarias para terminar con éxito esta etapa de mi vida. A la Dra Cecilia Paredes, Directora de Tesis, por toda la ayuda brindada y por sus buenos consejos. A mis vocales, MSC Andrés Rigail e Ing. Clotario Tapia por su invaluable apoyo y siempre estar prestos a ayudarme. Al Señor Carlos Correa por sus valiosos conocimientos que sirvieron como ayuda para la finalización del proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional, EPN, a las empresas Recynter y ASEPLAS por facilitarnos el uso de algunas de sus equipos.

## DEDICATORIA

A mis padres por ser un valioso ejemplo a seguir; mis lindas hermanas por ser mi fuente de inspiración; a mis abuelos y tías por apoyarme en los momentos difíciles y a mis amigos que de una u otra manera me sirvieron como ejemplo de superación.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Dra. Cecilia Paredes V.  
DIRECTORA DE TESIS



---

Ing. Andrés Rigail C.  
VOCAL



---

Ing. Clotario Tapia B.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

José Mesías Cevallos García

## **RESUMEN**

Las aplicaciones de materiales compuestos en el campo de la construcción cada año van en aumento, como también las exigencias en dichos materiales. Esto permite realizar estudios para mejorar sus propiedades y acoplarse a las exigencias del mundo actual.

El mezclado en fundido mediante extrusión de fibras naturales con polietileno y agentes acoplantes, da como resultado un material compuesto con mejores propiedades mecánicas tales como el esfuerzo de tensión, módulo de elasticidad y resistencia al impacto comparadas con las de un material plástico de alta demanda en el Ecuador, como es el polietileno de alta densidad (HDPE) puro; para posteriormente poder aplicarlo en el campo de la construcción o decoración de interiores.

El objetivo de esta tesis es producir un nuevo material compuesto que contenga fibras naturales nacionales consideradas actualmente como desperdicios, como son la cascarilla de arroz y el bagazo de caña, polietileno de alta densidad y un agente acoplante basado en anhídrido maleático y así poder mejorar las propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad.

La metodología a emplearse consta de:

Primero se describirán las propiedades que poseen las fibras como la elasticidad, rigidez, esfuerzos, densidad y sus diferentes aplicaciones en el campo de la construcción, automovilístico. Lo mismo se describirá con respecto a las resinas y agentes acoplantes.

Segundo se realizará un diseño factorial del tipo  $2^n$ , siendo nuestras variables independientes la velocidad del tornillo de extrusión, tipo de fibra utilizada y porcentaje de fibra añadida. Con esto, se determinarán el número de pruebas a realizarse.

Tercero se continuará con la parte experimental usando las muestras previamente elaboradas y la cantidad de experimentos dependerá del resultado obtenido del diseño experimental efectuado en el paso anterior.

Cuarto se efectuará los ensayos correspondientes para determinar los valores de las propiedades mecánicas anteriormente nombradas y por medio de análisis residual se realizará un análisis comparativo de cuales son las variables de proceso que inciden más significativamente en las propiedades mecánicas resultantes de los compuestos.

Con la elaboración de esta tesis se pretende cuantificar las propiedades mecánicas de compuestos de HDPE con cascarilla de arroz y bagazo de caña y proponer directrices para la producción industrial para de esta

manera incentivar al sector industrial a incursionar en negocios ambientalmente sustentables.



# INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.1. Justificación.....	6
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. Objetivo General.....	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	8
1.3. Metodología.....	9
1.4. Estructura de la tesis.....	10

## CAPITULO 2

2. MARCO TEORICO.....	12
2.1. Historia del plástico.....	12
2.2. Descripción General del Polietileno.....	25
2.3. Introducción General de las Fibras Naturales.....	29
2.3.1. Descripción del Bagazo de Caña.....	40
2.3.2. Descripción de la Cascarilla de Arroz.....	43
2.4. Descripción General de Compuestos de polímeros y fibras naturales.....	46
2.4.1. Compuestos de Polietileno y Fibras Naturales.....	47

## CAPITULO 3

3. PARTE EXPERIMENTAL.....	49
3.1. Descripción del diseño experimental.....	49
3.1.1. Materiales a utilizar.....	52
3.1.2. Equipos necesarios.....	54
3.2. Elaboración de experimentos.....	66
3.2.1. Preparación de las fibras.....	67
3.2.2. Preparación del compuesto.....	70
3.3. Propiedades a evaluar.....	76
3.3.1. Resistencia y Módulo a la tracción ASTM D-638.....	76
3.3.2. Resistencia al Impacto ASTM D-256.....	77.

3.3.3. Absorción de agua.....	81
3.3.4. Índice de Fluidéz (Melt Flow Index) ASTM D1238.....	83

#### CAPITULO 4

4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	88
4.1. Presentación de resultados.....	89
4.2. Interpretación de resultados.....	98

#### CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1. Conclusiones.....	103
5.2. Recomendaciones.....	105

#### APENDICES

#### BIBLIOGRAFIA

## ABREVIATURAS

ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Material.
Atm	Atmósfera de Presión
FRR	Radio de tasa de flujo
ft	Pie.
g	Gramo.
g/cm <sup>3</sup>	Unidad de densidad..
Ha	Hectárea.
HDPE	Polietileno de Alta Densidad..
HIPS	Poliestireno de alto impacto.
Kg	Kilogramo.
MFI	Índice de Fluidez
MPa	Mega Pascales.
mm	Milimetro.
n	Pulgada.
min	Minuto
PE	Polietileno.
PET	tereftalato de polietileno.
PMMA	Polimetil Metacrilato.
PP	Polipropileno.
PS	Poliestireno.
PTFE	Politetrafluoretileno.
PVC	Polivinil de cloruro.
RPM	Revoluciones por minuto.
SI	Sistema Internacional.
TM	Tonelada métrica.
VICAT	Temperatura de Ablandamiento

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje.
°C	Grados Centígrados.

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Metodología de la tesis.....	9
Tabla 2 Propiedades mecánicas de diferentes tipos de fibra.....	34
Tabla 3 Diseño de experimento.....	51
Tabla 4 Propiedades de la estufa ESPOL.....	56
Tabla 5 Propiedades de la balanza.....	66
Tabla 6 Cantidad de molido de la cascarilla de arroz.....	68
Tabla 7 Cantidad de molido del bagazo de Caña.....	70
Tabla 8 Relación de Porcentaje y pesos de los materiales en cada muestra.....	72
Tabla 9 Resistencia al impacto.....	89
Tabla 10 Absorción de agua.....	92
Tabla 11 Índice a la Fluidez (MFI).....	94
Tabla 12 Temperatura de Ablandamiento (VICAT).....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Estructura de molécula del etano (Etileno).....	27
Figura 2.2. Clasificación de las fibras de celulosa basado en la Matriz prima.....	31
Figura 2.3. Molécula de Celulosa.....	37
Figura 2.4. Molécula .de lignina.....	38
Figura 2.5. Aplicación de la caña de azúcar.....	41
Figura 2.6. Superficie cosechada de caña de azúcar y producción de de azúcar 1990-2006.....	43
Figura 3.1. Propiedades del HDPE Lutano – HFE0070 sin procesar...	53
Figura 3.2. Molino de Martillo.....	54
Figura 3.3. Molino de cuchilla.....	55
Figura 3.4. Estufa de la EPN.....	55
Figura 3.5. Estufa de la ESPOL.....	56
Figura 3.6. Extrusora.....	57
Figura 3.7. Tornillo extrusor.....	58
Figura 3.8. Tipo anillo.....	59
Figura 3.9. Tipo Maddox o Le Roy.....	59
Figura 3.10. Mezclador distributivo tipo romboide.....	60
Figura 3.11. Prensa para termoformar.....	61
Figura 3.12. Péndulo de Impacto Tinius Olsen.....	62
Figura 3.13. Equipo usado para el ensayo de temperatura de Ablandamiento.....	64
Figura 3.14. Equipo usado para el ensayo de índice de ablandamiento...	65
Figura 3.15. Proceso de molienda.....	68
Figura 3.16. Pesado del HDPE.....	73
Figura 3.17. Muestrs de la fibra y el acoplante.....	73
Figura 3.18. Muestras de la Fibra, HDPE y el Acoplante.....	74
Figura 3.19. Extrusora de tornillo simple.....	74
Figura 3.20. Prensa para termoformar.....	76
Figura 3.21. Relación del tornillo de sujeción, espécimen, y borde de impacto entre sí para Métodos de pruebas IZOD A y C.....	79
Figura 3.22. Dimensiones de un espécimen de prueba tipo IZOD.....	80
Figura 3.23. Condiciones de temperatura y carga estándar para la prueba ASTM D 1238.....	84
Figura 4.1 Resistencia al Impacto.....	90
Figura 4.2 Absorción de agua.....	93
Figura 4.3 Índice a la Fluidez (MFI).....	95
Figura 4.4 Temperatura de Ablandamiento (VICAT).....	97

## INTRODUCCIÓN

En los actuales momentos esta teniendo gran acogida el uso de materiales biodegradables con el fin de detener el calentamiento global que hoy en día esta afectando a nuestro planeta. Aplicaciones hay bastantes como son:

Uso de paneles solares tanto en hogares como en vehículos, bio combustibles como es el caso del biodiesel, centrales hidroeléctricas, materiales biocompuestos que es la unión de polímeros con fibras vegetales, etc. Todo esto se lo hace con el fin de ir disminuyendo el uso de Petróleo ya que primero para obtenerlo se tiene que desforestar grandes extensiones de terreno y segundo es uno de los principales contaminantes del medio ambiente.

El presente trabajo permite el análisis de mezclas de plásticos, específicamente polietileno de alta densidad, con fibras vegetales nacionales como es el caso del bagazo de caña y la cascarilla de arroz en diferentes proporciones, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y reológicas. Este análisis nos determinará conclusiones muy importantes, como por ejemplo:

Con que clase de fibra se obtienen las mayores ventajas con relación a las propiedades mecánicas y reológicas, con que velocidades es recomendable



trabajar, que porcentajes de fibras hace el compuesto superior que un material compuesto solo de HDPE. Para eso se evaluarán las siguientes propiedades:

- Ensayo de Tracción ASTM D638
- Ensayo de Impacto ASTM D-256
- Absorción de agua.
- Ensayo de Determinación del Índice de Fluidez, MFI, ASTM D1238

La FIMCP y el proyecto VLIR en los últimos años han desarrollado diversos temas sobre materiales compuestos como es el caso de “Evaluación de las propiedades de compuestos de Polietileno con Carbonato de Calcio”, “Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoestables”, “Evaluación de Pinturas Arquitectónicas de tipo Látex con Fibras Naturales de Tagua y Cabuya”, etc. Esto nos permitirá evaluar nuestros resultados para determinar que ventajas obtiene nuestra fibra en relación con alguno de los otros materiales usados en los proyectos anteriormente nombrados.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

A lo largo de la historia de la humanidad las fibras naturales han desarrollado un papel importante en el ámbito de la construcción, existen datos de la utilización de fibras de hojas y madera que se utilizaban como refuerzo de bloques compuestos con base arcillas para la construcción de viviendas e incluso para soportar cargas moderadas. [1].

Se están realizando diversos estudios alrededor del mundo sumando esfuerzos por conseguir materiales compuestos completamente bio-

degradables, para así poder de alguna manera mitigar el daño ecológico que se ha venido dando al medio ambiente por la producción en masa de productos sintéticos a lo largo de la segunda mitad del siglo pasado. Es debido a este factor que la mirada de la comunidad científica se ha enfocado en el desarrollo de nuevos materiales amigables con el deteriorado ecosistema que hemos creado.

El uso de las fibras naturales ya sean solas o combinadas con otros materiales poseen múltiples aplicaciones como: abono para plantas y alimento para animales [2]; combustible para vehículos y generación de energía eléctrica [3]; obtención de pulpa y papel [4]; fabricación de piezas automotrices [5]; fabricación de muebles, paneles y paredes de auditorio [6].

### **1.1 Planteamiento del problema**

En nuestro país existe una variedad de fibras naturales que por lo general son desperdicios y esto ayuda a que la contaminación ambiental vaya en aumento y afectando el ecosistema; cuando en otros países de parte del Gobierno se le da el apoyo necesario para que dichas fibras adquieran un valor agregado de tal manera que

sean una fuente de ingreso y de sustento para la economía de dicho país.

Cada año la contaminación ambiental va en aumento debido a la utilización descontrolada de productos derivados del petróleo, por tal motivo es que en la actualidad se están realizando estudios a nivel mundial para encontrar la mejor opción de cambiar dichos productos por otros que sean amigables al ambiente.

En diferentes zonas agrícolas y agroindustriales de nuestro país se generan desechos de tipo fibras que bien pueden ser aplicados a procesos industriales; de esta manera además de estar ayudando a la sostenibilidad del medio ambiente, también se estará ayudando a que los dueños de estas zonas ya sean agrícolas o agroindustriales tengan un mercado adicional para colocar sus productos generando nuevos puestos de trabajo, no solamente en la producción sino también en la comercialización y transporte de los productos generados.

### 1.1.1 Justificación

El país no cuenta con industrias petroquímicas y en muchos casos esto se ve reflejado en los altos costos de importación que poseen los termoplásticos vírgenes; pero los altos costos se pueden mitigar si en sus procesos de manufactura se usan rellenos aplicando las fibras naturales existentes en nuestro país; esto resultaría atractivo no solo desde el punto de vista económico sino además desde el punto de vista ambiental, ya que se contaminaría menos al consumir menos derivados del petróleo.

Aproximadamente el 20% en peso de arroz cosechado corresponde a cascarilla de arroz y cerca del 30% de la caña de azúcar procesada corresponde al bagazo de caña [7]; gran parte de estos materiales no se utilizan o son quemados contaminando el ambiente. Dichas fibras se pueden usar para producir de una manera sustentable, incentivando a la comunidad industrial a invertir en un mercado no explotado y sobre todo de relativa baja inversión. Se ha demostrado ya, que el mercado de compuestos fibroreforzados naturales puede ser una realidad comercial, desplazando por completo, en algunos casos a las fibras sintéticas

[8][9] .En nuestro país, no existe estudios comparativos usando estos dos tipos de fibras naturales.

Los termoplásticos presentan baja rigidez en su estado natural. El endurecimiento del plástico mediante el mezclado de fundido con reforzantes incrementa las propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción, el esfuerzo a la ruptura y el comportamiento al impacto [10]. En la actualidad se ha comenzado a aplicar el término “rellenos funcionales” también a algunos reforzantes verdes [11]. En numerosos estudios internacionales se ha reportado con éxito la fabricación de compuestos con fibras de kenaf, palma, bagazo de caña, entre otros, encontrándose en todos los casos aumento significativo de las propiedades mecánicas y numerosas aplicaciones. [12] [13] [14]

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Generar un nuevo material compuesto con polietileno de alta densidad (HDPE), agente reforzante basado en anhídrido maleático, y fibras naturales nacionales como la cascarilla de arroz

y el bagazo de caña; tal que el nuevo material compuesto contenga mejores propiedades mecánicas y reológicas que el material base que es el polietileno de alta densidad.

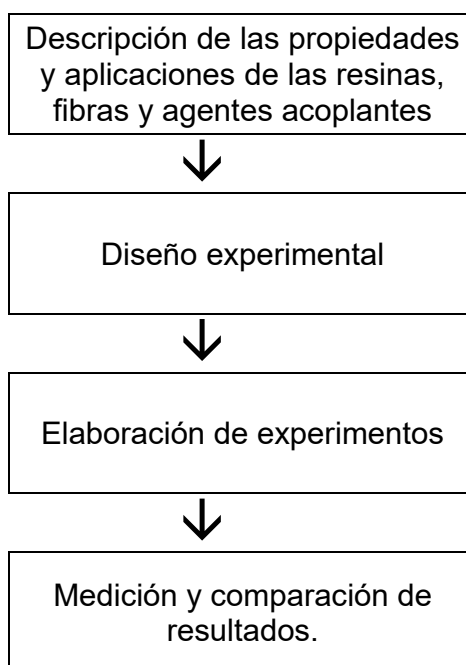
### **1.2.2 Objetivo Específico**

- 1) Comparar las propiedades mecánicas y reológicas entre el polietileno de alta densidad y el material compuesto obtenido mediante experimentación.
- 2) Promover los beneficios a nivel ambiental que se obtendrían aplicando a los procesos este nuevo material compuesto.
- 3) Determinar los efectos principales que afectan a la obtención de los compuestos con fibras naturales mediante diseño experimental.
- 4) Analizar la posibilidad de producción del compuesto a nivel industrial tomando como base la combinación que ofrezca mayores beneficios.

### 1.3 Metodología

La metodología de la tesis esta representada en la tabla 1 y se detalla a continuación:

**TABLA 1**  
**METODOLOGIA DE LA TESIS**



De acuerdo al primer paso del cuadro se describirá las propiedades que poseen las fibras como la elasticidad, su relativo alto esfuerzo, rigidez y baja densidad y sus diferentes aplicaciones en el campo de la



construcción, automovilístico, etc. Lo mismo se describirá con respecto a resinas y agentes acoplantes.

El segundo paso será realizar un diseño experimental donde se tendrá que tomar muy en cuenta el número de variables dependientes e independientes.

En el tercer paso se realizara los experimentos que nos haya resultado del diseño experimental efectuado en el paso anterior.

En el cuarto y último párrafo se efectuara las pruebas correspondientes para determinar los valores de las propiedades mecánicas anteriormente propuestas y así poder comparar con la muestra 100% polietileno y sacar valiosas conclusiones.

#### **1.4 Estructura de la tesis**

La presente tesis esta formada por los siguientes capítulos:

El capítulo 1 se lo denomina Generalidades y describe el tema a tratar en forma global, esto nos ayudara a tener una idea general del trabajo.

El capítulo 2 se lo denomina Marco Teórico y describe las propiedades que poseen tanto las fibras como las resinas y agentes acoplantes,

también se hará una breve descripción de los diferentes bio-compuestos elaborados con fibras naturales.

El capítulo 3 se lo denomina Parte Experimental y describe el diseño a aplicarse, elaboración de experimentos y pruebas a realizarse para tomar los datos correspondientes a las propiedades.

El capítulo 4 se denomina Análisis de Resultados y describe los datos de los experimentos realizados con sus respectivos análisis.

El capítulo 5 se denomina Conclusiones y Recomendaciones y describe el mejor resultado de acuerdo al objetivo general propuesto y proponer nuevas investigaciones.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. Historia del plástico

Los materiales plásticos ya alcanzaron un siglo de existencia, aunque las investigaciones que permitieron su desarrollo y producción datan de mucho tiempo atrás. Actualmente casi todos los productos y objetos que tenemos en casa contienen plásticos debido a su gran versatilidad a nivel mundial.

Algunos importantes desarrollos del plástico y caucho ocurrieron en Massachusetts comenzando con Charles Goodyear que en 1839

descubrió el proceso de vulcanización del caucho natural cerca de Weburn. La UMASS LOWELL (Lowel Technological Institute) fue la primera universidad en Estados Unidos en ofrecer la carrera de Ingeniería en plásticos. [15].

Charles Goodyear empleó bastante tiempo de su vida en mejorar las propiedades del caucho natural y descubrió que aumentando azufre al caucho natural este aumentaba su elasticidad y su resistencia. A este caucho “sulfurado” se lo conoció mas tarde como caucho “vulcanizado” y es el material con el que actualmente se producen las llantas. Mientras el nombre de Goodyear se hizo famoso, Charles Goodyear nunca obtuvo fortuna con su invento.

Luego de unos pocos años Alfred Critchlow aplicó el moldeo por compresión y en 1847 fundó la Pro Molding Corporation y fue la primera compañía de moldeo de plásticos en los Estados Unidos.

Las aplicaciones que tenía el caucho o goma cada día iban creciendo a pasos agigantados, esto creó el interés en Alexander Parkes para crear otro material que pudiera ser aplicado en vez de la goma. Estudiando el nitrato de celulosa obtenido en 1845 por Shoenbein, Parkes obtiene un nuevo material que “podía ser usado en su estado sólido, plástico o

fluido, que se presentaba de vez en cuando rígido como el marfil, opaco, flexible, resistente al agua, coloreable y era posible trabajarlo con un utensilio como los metales, estampar por compresión, laminar” [16] ;y en 1862 en la Gran Exhibición Internacional en Londres, Inglaterra Alexander Parkes mostró el nuevo plástico semi.-sintético que era un material orgánico que contenía Nitrato de Celulosa y un solvente, a este plástico se lo conoció como Parkesine, en honor a su apellido [15]

Parkesine podía ser moldeado o tallado para obtener productos como botones, peinillas, marcos de cuadros de pintura y mangos de cuchillo. Sin embargo este no tuvo gran acogida a nivel comercial debido a su relativo alto costo en comparación con el caucho vulcanizado.

Solicitaciones similares para la investigación de nuevos materiales incitaron en los Estados Unidos a un joven tipógrafo a seguir las huellas de Parkes. Es así que John Wesley Hyatt había leído en Albany en el estado de New York una convocatoria de la Phelax y Collander, productores de bolas de billar en la cual se prometía un premio de \$10000 quien hubiese desarrollado un material capaz de sustituir el marfil en la fabricación de bolas de billar debido a que la

materia prima natural estaba escaseando. A partir de 1863 Hyatt se dedicó completamente a la investigación del “marfil artificial” o de un material capaz de satisfacer las necesidades de las industrias [16]. En 1869 obtuvo un compuesto a base de nitrocelulosa con camphor (savia que proviene del árbol de laurel).

Este nuevo material era moldeable, duradero y colorido; y se lo conoció como Celuloide (también conocido como Pyroxylin). El celuloide fue el primer plástico semi-sintético comercializado a gran escala para ser usados en la fabricación de bolas de billar, collares, marcos de lentes y películas cinematográficas, es así que a fines del siglo XIX se inició la industria cinematográfica. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

Otra aplicación que tuvo este material fue en el campo odontológico ya que los odontólogos podían sustituir la goma vulcanizada, que en ese entonces tenía un elevado costo, para obtener las huellas dentales.

En 1907 el Dr Leo H. Baekeland obtuvo el primer plástico sintético que resultó mediante la reacción del fenol y formaleído bajo presión usando hexamethylenetetramine como catalizador para la reacción. Al

resultado de esta reacción se lo llamó Bakelite y era más estable que el celuloide. Entre sus propiedades esta de ser resistente a la electricidad, químicamente estable, resistente a altas temperaturas, rígido y resistente a la humedad.

Baekeland vendió los derechos de su invento a Eastman Kodak Company que fue el primero en usar los cuerpos de cámara. Tanto fue la buena aceptación que tuvo este nuevo material que el mismo Hyatt que había fundado Hyatt Burroughs Billard Ball Company ordenó a su personal a detener el uso de celuloide y cambiarlo por la Bakelite (baquelita) debido a las grandes ventajas que este poseía.

Luego durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) intensificó el uso del celuloide y sus derivados, como el acetato de celulosa, que permitió aplicaciones a los vehículos aéreos militares del momento (dirigibles y la incipiente aviación). El fin de la guerra permitió volcar tales investigaciones en la llamada seda artificial, o rayón. En 1929 aparecen nuevos plásticos rígidos o termoestables, todavía basados en materia prima de origen natural como la urea que constituyen una revolución estética, porque este material permite una diversidad de colores que la

baquelita no permitía. Será el momento de los amarillos, los rojos, en la elaboración e artefactos y utensilios de la vida cotidiana [17].

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivó a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros, es así que en la década de los 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE) [18].

Después vino la comercialización de polivinilcloruro PVC que fue el resultado directo de un trabajo de investigación que dirigió Waldo Semon, un químico que trabajaba en B.F. la Goodrich Rubber Company. Mientras el PVC estaba siendo conocido, no tenía el valor comercial debido a que no podía procesarse sin degradarse. Semon descubrió que el PVC podría ser fundido en el proceso sin degradarse. Las formulaciones de PVC pueden ser fijas o variables dependiendo de su concentración. Una de las primeras aplicaciones del PVC fue en la elaboración de instrumentos para la medición de tiempo y para aislantes eléctricos. [15]



Aunque el poliestireno (PS) se descubrió accidentalmente por un boticario alemán en 1839, no era hasta las 1930 que un científico de la Corporación de BASF desarrolló un proceso comercial para la fabricación de PS. El propósito general del PS es un termoplástico muy transparente pero bastante quebradizo. Poco después de su introducción comercial, otro caucho modificó sus cualidades, que luego recibió el nombre de poliestireno de alto impacto (HIPS) y se lo introdujo a nivel comercial. El PS y HIPS todavía son usados en la actualidad ya sea para los mangos de las navajas o para los armarios de la televisión.

Luego en 1937 se introdujo el polimetil metacrilato o bien conocido como el acrílico; el nombre comercial para este nuevo termoplástico era Plexiglas, que es un material muy duro y más transparente que el vaso. Este termoplástico transparente se usó primero para aplicaciones que fueron de lentes de contacto hasta aplicaciones en aviones. Este nuevo termoplástico comenzó a ser la mejor opción en el área automotriz debido a sus propiedades ópticas superiores que los otros plásticos y que en la actualidad sigue vigente. El PMMA también tiene otras aplicaciones como fibras acrílicas, pinturas, y en diferentes partes de la cocina.

Obteniendo de un tubo de prueba una fibra sintética larga, fuerte y flexible se desarrolló una nueva fibra sintética que podía reemplazar a la seda. Ellos comprendieron inmediatamente que esta fibra artificial tenía las propiedades similares y algunas veces superiores a las fibras naturales. Este material es más conocido como " nilón 66 ". y que fue comercializado en 1938. Uno de los primeros usos del nilón fue en la elaboración de cerdas de los cepillos dentales, que anteriormente eran hechos de pelo de animal (el jabalí chino). Durante el Segunda Guerra Mundial, el nilón se usó en muchas aplicaciones incluyendo los paracaídas, neumáticos para los bombarderos, sogas de remolque, toldos para evitar los mosquitos, y ropa usada en la selva.

Ya en esta época la elaboración de todos los plásticos era uniforme, es decir contaban con un momento de calentamiento de la materia prima (generalmente a cientos de grados centígrados) a partir del cuál los cuerpos presionados, toman su forma y consistencia. Una vez pasado ese momento y comenzado el enfriamiento, los plásticos se dividen en dos grandes grupos: el de los termoestables y el de los termoplásticos. Los primeros, también llamados termorígidos, son los que fraguan y todo otro proceso de calentamiento solamente los arruina o destruye;

los segundos se caracterizan porque todo nuevo calentamiento los retorna a un estado de plasticidad tal que se los puede reconstruir, reelaborar.

En estos últimos es decisiva la presencia de plastificante, como los ftalatos (derivados de un ácido del petróleo), sustancia que se ablandan con suma facilidad [19].

La clave para la elaboración de materiales plásticos es la polimerización, un proceso mediante el cual se unen moléculas – monómeros- estableciendo larguísimas cadenas intermoleculares que son las que resultan especialmente sensibles al calor para su configuración como objetos diversos.

En 1941 apareció el tereftalato de polietileno (PET) un termo-plástico sumamente versátil hecho por la reacción de la condensación de etileno glicol y el ácido terephthalic. El PET se usó inicialmente para la producción de fibra textil sintética, conocido hoy como Dacron. Sin embargo, el solo uso más frecuente en que es usado el PET es para la fabricación de las botellas. Las botellas del PET son transparentes, el peso ligero y resistente al golpe. Como la mayoría de los termoplásticos, el PET es reciclable. En la mayoría de los casos, las

botellas recicladas se reelaboran para formar la fibra del textil para ropa [15].

El Dr. Roy Plunkett, un científico joven que trabaja a DuPont, descubre en 1938 accidentalmente el politetrafluoretileno (PTFE), un plástico químicamente resistente y resbaladizo, pero la introducción comercial del Teflon de DuPont no ocurrió hasta 1946. Se dice que es la substancia más resbaladiza en la tierra. Este material es conocido ampliamente por su amplio uso en ollas recubiertas con material que no se pega e aislamiento de cables Otra de las aplicaciones más novedosas es la utilización de este material como aislador y lubricante entre la piel de cobre y el esqueleto de acero inoxidable de la Estatua de Libertad; otro uso es para la elaboración de textiles especiales.

En 1953 vino la aplicación en autos, es así como General Motors introdujo el corvette que usaba el plástico reforzado con fibra de vidrio en todo su cuerpo. En los siguientes años, el corvette fue evolucionando drásticamente pero lo que no ha cambiado es el uso del plástico reforzado con fibras de vidrio en todo su cuerpo.

En el mismo año Hermann Schnell de Bayer A.G. en Alemania y Daniel Fox de la Compañía Eléctrica General en Estados Unidos

descubrieron en forma separada el Policarbonato. Este termoplástico transparente con buenas propiedades ópticas ofrece un equilibrio entre tenacidad y dureza, resistencia al calor y por ser aislantes eléctrico. Entre las aplicaciones se encuentran la elaboración de faros de autos, cascos, portaherramientas, y carcasa de computadoras. En los últimos años se han desarrollado diferentes tipos de policarbonato para la aplicación en audio, video y multimedia. En la manufactura de CD, CD-ROM y DVD es usado el policarbonato.

Durante la II Guerra Mundial, se produjo una reducción de sus suministros de materias primas. La industria del plástico demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable.

La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la

fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de cauchos sintéticos.

Durante los años de postguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. El químico alemán Kari Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad [20].

De esta manera es que el plástico se ha desarrollado con el pasar de los tiempos al punto de convertirse en un material importante para las industrias, esto es debido a las propiedades que este material posee como [21]:

- Plasticidad
- Conducen muy mal la electricidad y el calor, por este motivo es que se los usa como aislantes.
- Resistencia química y atmosférica.

- Resistencia mecánica.
- Son pocos densos
- Son muy elásticos.
- Resistencia al desgaste por rozamiento
- Baja temperatura de fusión
- Variedad, forma, color, textura, apariencia.
- Son reciclables.

En la actualidad existen varias clasificaciones de plásticos, el que se detalla a continuación es de acuerdo a su importancia comercial por sus aplicaciones en el mercado y estos son:

- Polietilentereftalato (PET o PETE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Policloruro de vinilo o Vinilo (PVC o V)
- Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)

Así como en la actualidad existen diferentes tipos de plásticos, también existen diferentes procesos de fabricación que pueden llegar a ser muy complejo. El más importante de ellos es el moldeo, que consiste en dar forma y la medida deseadas a un plástico por medio de un molde. El

molde es una pieza hueca en la que se vierte el plástico fundido para que adquiera su forma.

Los procesos más importantes de transformación de los plásticos son:

- Moldeo a alta presión
  - Compresión
  - Extrusión
  - Inyección
- Moldeo a baja presión
  - Al vacío
  - Por soplado
- Colada
- Espumado
- Calandrado

## **2.2. Descripción General del Polietileno.**

Antiguamente llamado “Polimetileno”, el Polietileno pertenece al grupo de los polímeros de las Poliolefinas, que provienen de alquenos (hidrocarburos con doble enlaces). Son polímeros de altos pesos moleculares y poco reactivos debido a que están formados por



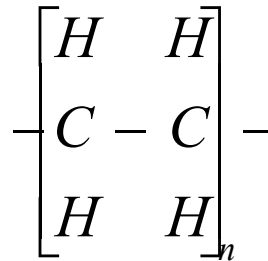
hidrocarburos saturados. Sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente, excepto en los productos reticulados [21].

Los Polietilenos se clasifican principalmente en base a su densidad (de acuerdo al código ASTM) como:

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza, resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperatura. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación.

El polietileno es el resultado de la repetición de millares de unidades de la molécula etileno o eteno [22], como se puede apreciar en la figura 2.1.



**FIGURA 2.1 ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ETENO (ETILENO)**

El sufijo n indica cuántas veces está repetida la molécula, en este caso eteno, para formar el polietileno. Generalmente está sobre 10000 unidades.

Este tipo de plástico pertenece al grupo de los termoplásticos ya que en su proceso de fabricación se lo puede calentar, moldear y enfriar indefinidamente [21].

De la clasificación existentes de los polietileno, este es el que presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) debido a que posee una mayor densidad. Presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos. Sus principales aplicaciones son el sector de envase y empaque (bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurt, cajas para transporte de botellas, etc), en la industria

eléctrica (aislante para cable), en el sector automotriz (recipientes para aceite y gasolina, tubos y mangueras), artículos de cordelería, bandejas, botes para basura, cubetas, platos, redes para pesca, regaderas, tapicerías, juguetes, etc.

Uno de los primeros procesos usados para la comercialización del polietileno fue el proceso de radical libre, que consistía en que el etileno era polimerizado a altas presiones (142 MPa o 1400 atm) y a una temperatura de 150°C. El polietileno producido mediante este proceso tenía una densidad de 0.91 – 0.92 g/cm<sup>3</sup> y un punto de fundición de 115°C. Luego de varios estudios se modificaron los valores de densidad y punto de fundición llegando a obtener los valores de 0.95 - 0.97 g/cm<sup>3</sup> y 127°C respectivamente. [23]

Luego se usó el proceso de Transition-Metal Catalysts. El primero en usar este método fue Standard Oil of Indiana que descubrió que se podía afectar la polimerización del etileno usando óxido de molibdeno como catalizador y un solvente aromático, Después Phillips Petroleum descubrió que el óxido de cromo también se podía usar como catalizador para polimerizar el etileno a baja presión y producir un polímero con un peso molecular elevado. El rango de temperaturas que usaron para la

reacción era entre 60 – 190 °C. Las características de este polímero especialmente el peso molecular y la distribución de peso molecular podía ser variado variando la temperatura, presión y la temperatura de activación de la “Phillips catalyst”.

En la actualidad el proceso de fabricación del polietileno de alta densidad es realizado ya sea a través del cromo o mediante el proceso de Ziegler. Los dos sistemas producen diferentes tipos de polímeros, y cada quien es usado para diferentes aplicaciones pero el catalizador de Phillips generalmente produce una distribución de peso molecular mas ancha que el catalizador de Ziegler.

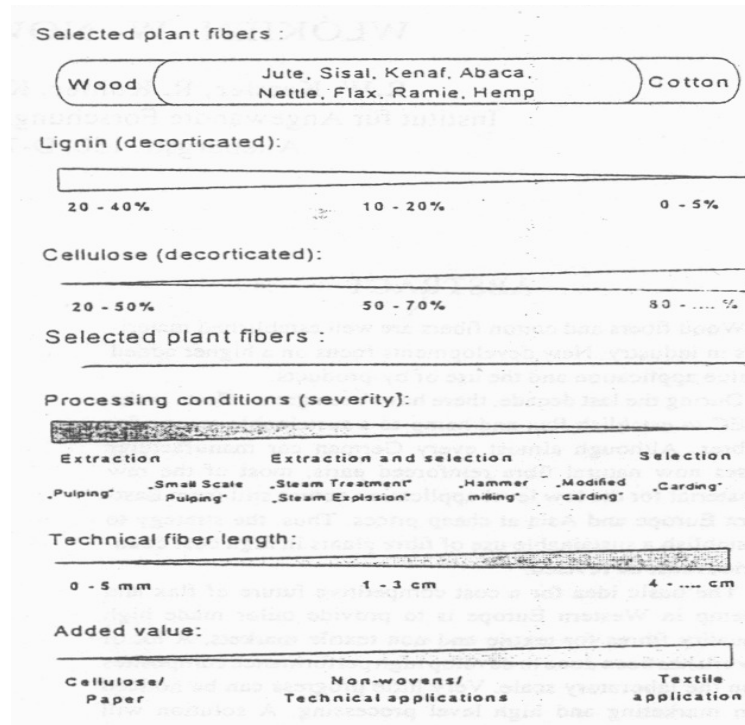
### **2.3. Introducción General de las Fibras Naturales**

Existen numerosas clasificaciones de las fibras naturales en las que se incluyen a las fibras minerales; pero para el desarrollo de este trabajo nos centraremos en las llamadas fibras verdes o agro-fibras. La clasificación más general de estas se distribuye de la siguiente manera [1]:

- Hierbas y cañas.- fibras provenientes de tallos de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: hierbas y paja de trigo, arroz, cebada, etc.

- Hojas.- fibras que se encuentran a lo largo de hojas de planta monocotiledóneas, por ejemplo: abacá, sisal, henequén, etc.
- Tallos.- provenientes de la corteza interna de plantas dicotiledóneas, por ejemplo: lino, yute, cáñamo, kenaf, etc.
- Semillas e hiladuras de frutos.- incluye las sedas, por ejemplo: algodón, kapok, etc.
- Fibras maderables.- fibras de madera dura (angiospermas) y maderas suaves, por ejemplo: maple, eucalipto, etc.

La industria ha determinado procesos industriales para obtener fibras técnicamente aplicables de la materia prima. Existe una relación estrecha entre las condiciones de proceso, composición química y longitud de fibra técnica que se resumen en la figura 1:



**FIGURA 2.2. CLASIFICACION DE LAS FIBRAS DE CELULOSA BASADO EN LA MATERIA PRIMA**

Es así que la disponibilidad de grandes calidades de las fibras con propiedades mecánicas bien definidas es un general pre – requisito para que sea beneficioso su aplicación. Además, en las partes técnicas, las fibras tienen que ser especialmente preparadas o modificadas con respecto a [24]:

- Grados de polimerización y cristalización;
- Repelencia a la humedad;
- Homogenización de sus propiedades:

- Buena adherencia entre la fibra y la matriz:
- Propiedades retardantes a las llamas.

Existen procesos de deterioración microbiana, que pueden ser remplazados por lo menos en parte por procesos químicos – físicos.

El precio de las fibras depende mucho de la preparación y pre tratamiento que se le dan a estas, por ejemplo tamaño y acabado incluyen un agente de acoplamiento y otros surfactantes que se establezcan bien para fibras de vidrio. Para tales aplicaciones, las fibras naturales tienen que ser pre-tratados de una manera similar. En la mayoría de los casos, la sustitución de las fibras de vidrio por fibras naturales es evitada en primer lugar por razones económicas. Pero, las fibras naturales ofrecen varias ventajas sobre las fibras de vidrio.

Las fibras vegetales son un material renovable y su disponibilidad se podría decir que es ilimitada. La naturaleza abrasiva de las fibras naturales es muy baja comparada a la fibra de vidrio, las que llevan ventajas en lo técnico, material reciclado o proceso de materiales compuestos.

Plásticos reforzados con fibra natural usan polímeros biodegradables como matriz y son los materiales mas amigables al medio ambiente que pueden se abonos al final de su ciclo de vida.

### **Propiedades mecánicas de las fibras naturales.**

Por lo general las fibras naturales son utilizadas para reforzar plásticos y obtener materiales compuestos. En los materiales compuestos la fibra es la que aporta principalmente con la resistencia debido a su relativo alto esfuerzo, rigidez. En cambio, el polímero que sirve de matriz contribuye a la dureza y ductilidad del compuesto y previene la degradación de la fibra y de daños externos [24] [25].

En la tabla 2 se muestran los valores de algunas propiedades mecánicas que poseen diferentes tipos de fibras [24].



**TABLA 2**  
**PROPIEDADES MECANICAS DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS**

Propiedades mecánicas de las fibras naturales comparadas con fibras reforzadas convencionales					
Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Diámetro (μ m)	Elongación (%)	Esfuerzo de tensión (MPa)	Modulo de Young (GPa)
Algodón	1.5-1.6	-	7.0-8.0	287-800	5.5-12.6
Jute	1.3-1.45	25-200	1.16-1.8	393-773	13-26.5
Lino	1.5	-	2.7-3.2	345-1100	27.6
Hemp	-	-	1.6	690	-
Ramie	1.5	50-200	1.2-3.8	400-938	61.4-128
Sisal (Cabuya)	1.45-1.5	20-80	3.0-7.0	468-635	9.4-22
PALF	-	100-450	1.6	413-1627	34.5-82.51
Coco	1.15-1.2	-	15-40	131-175	4.0-6.0
Viscose	-	-	11.4	593	11
Madera suave de Kraft	1.5	-	-	1000	40
Fibra de vidrio – E	2.5	-	2.5	2000-3500	70
Fibra de vidrio – S	2.5	-	2.8	4570	86
Aramidos (normal)	1.4	-	3.3-3.7	3000-3150	63-67
Carbon (Estándar)	1.4-1.7	-	1.4-1.8	1000	230-240

El uso de estas fibras como refuerzo en los plásticos es con el objetivo de reducir los costos, así como también para mejorar las propiedades mecánicas y térmicas del plástico. Las principales ventajas de este tipo de fibra son: baja densidad y costo, elevado módulo de elasticidad y

esfuerzo, poseen una gran disponibilidad y son bio-degradables, renovables y reciclables, se usan pocos equipos y fácil de procesar [26].

Pero la fuerza de enlace entre los polímeros y las fibras naturales es débil y este factor es clave en el desarrollo de materiales compuestos. Si no se consigue mejorar esta fuerza de enlace la resistencia intrínseca de la fibra no puede ser transmitida a la matriz resultando esto en la falla prematura del compuesto desarrollado [1].

En la actualidad ya hay estudios de diversos métodos de modificación superficial de las fibras naturales para incrementar la adhesión de estas fibras con la matriz polimérica, entre ellos la incorporación de agentes compatibilizadores, plasma frío, corona, tratamiento con ozono entre otros. En compuestos usando fibras de kenaf y polipropileno como matriz, se ha usado el anhídrido maleático como agente compatibilizador y se ha comprobado que la dispersión de las fibras ha mejorado así como también el porcentaje de absorción de agua; conjuntamente este incremento también se vio reflejado en sus propiedades mecánicas como esfuerzo tensil y de flexión, la elongación a ruptura y la resistencia al impacto

Otro tipo de compuesto elaborados con HDPE y fibras de árboles han usado el mismo tipo de compatibilizador expuesto anteriormente es decir el anhídrido maleático y este crea una estructura entre cruzada en la superficie de la madera y esto ayuda a mejorar la adhesión interfacial y sus propiedades mecánicas [28].

Hay muchas razones para usar materiales compuestos en lugar de los polímeros más simples. Algunas de estas razones son [24]:

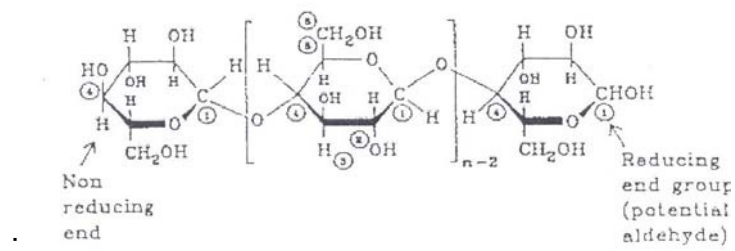
- Aumento de rigidez, esfuerzo y la estabilidad dimensional.
- Aumento de dureza y fuerza de impacto.
- Aumento de temperatura de distorsión de calor.
- Aumento de humedecimiento mecánico.
- Reducción de permeabilidad para los gases y líquidos.
- Reducción de costos.

### **Estructura de las fibras naturales**

Las fibras naturales contienen celulosa y lignina, aunque también contiene en un porcentaje menor de grasas, pectina, sales inorgánicas, proteínas y pigmentos. Por lo general los tres componentes principales en una fibra son: celulosa, hemi-celulosa y lignina; y por lo tanto son fibras lignocelulosa con una composición química no uniforme. [27]

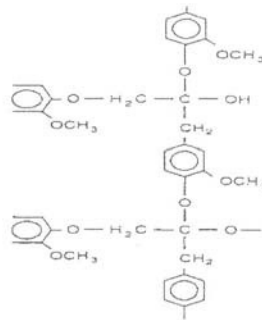
Anselme Payen fue quien en 1838 sugirió que las paredes de la célula de numerosas plantas consisten en la misma sustancia y estas a su vez la denominó celulosa; siendo este el componente esencial de todas las fibras de planta.[24]

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales dependen de su tipo de celulosa, debido a que cada tipo de celulosa tiene su propia geometría de la célula. Por lo general se acepta que la celulosa es un polímero de condensación lineal y la fórmula de proyección de Haworth de celulosa está dada por la figura 2.3



**FIGURA 2.3 MOLECULA DE CELULOSA**

Las ligninas tienen propiedades mecánicas menores a las de la celulosa debido a que son polímeros de hidrocarburos complejos con alifáticos y los constituyentes aromáticos como se puede apreciar en la figura 2.4:



**FIGURA 2.4 MOLECULA DE LIGNINA**

La pectina es un nombre colectivo para el heteropolisacáridos que consiste esencialmente en ácido polygalacturon. La pectina es soluble en agua después de una parcial neutralización con álcali o hidróxido de amonio.

En su composición también están presentes algunos polisacáridos de bajo peso molecular como glucosa, galactosa, xylan, [27].

Las fibras naturales poseen una considerable variación de diámetro y longitud, y de estas cualidades es que va a depender otros factores como el tamaño, madurez y los diferentes procesos a emplearse. Otras propiedades como el tamaño, densidad, el esfuerzo tensil, rigidez, etc., van relacionados con la estructura interna y composición química de las fibras. Estas propiedades determinarían la eficacia de las fibras en

su respectiva aplicación. En el caso del uso de las fibras vegetales como refuerzo en los plásticos, la rigidez es un criterio importante que hay que tener presente.

Las fibras naturales son bastantes hidrofílicas y sus superficies son a menudo incompatibles con resinas poliméricas, y esto trae como consecuencia la presencia de porosidades y una interface débil lo que se vería reflejado en una bajas propiedades mecánicas. Pero ya se han realizado estudios para minimizar estas deficiencias y cada vez se están haciendo mas efectivos estos procesos y a bajos costos para generar productos baratos y con buenas propiedades.

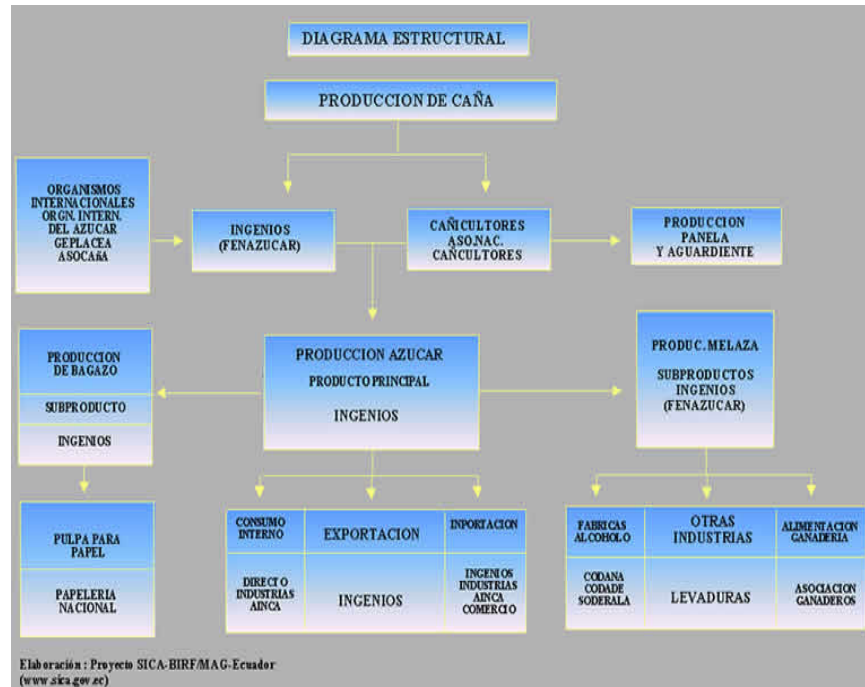
Entre los métodos empleados para modificar la superficie de las fibras naturales, los mas populares son la copolimerización, surfactantes entre otros.

Uno de los objetivos de este método es obtener un producto moldeable con altas concentraciones de celulosa y que sean relativamente económicas. Para que esto sea factible, es necesario que la reacción deba ser rápida, simple y abajo costo. Por este motivo es que el método mas usado de copolimerización es el de radical libre en agua y con un slurry a base de celulosa.

### **2.3.1. Descripción del Bagazo de Caña de Azúcar**

La caña de azúcar ha sido sin lugar a dudas uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial en el continente americano y europeo. Con la caña de azúcar se puede elaborar diversos productos como el azúcar crudo, rojo, rubio, sulfitado, blanco, blanco especial y refinado, licores, panelas, etc ; y el desecho producido en el proceso de extracción del jugo de la caña llamado bagazo de caña se utiliza por lo general en la generación de energía en las calderas de los ingenios, que por lo general solo se necesita el 50% del bagazo producido para mantener operativo el Ingenio quedando en el excedente una fuente de inversión [29].

En la figura 2.5 se mostrará de una manera general la producción de caña y sus diferentes aplicaciones:



**FIGURA 2.5 APLICACIONES DE LA CAÑA DE AZUCAR**

El bagazo, además de la aplicación energética, podría utilizarse como alimento animal, abono, cama para aves de corral, como cubierta protectora de la tierra recién sembrada y mezclado con el estiércol, como abono; carbonizado y comprimido en ladrillos, mezclado con lodo, para lubricante de perforadoras en pozos petroleros; unido a otros materiales, en la elaboración de ladrillos refractarios; la fibra del mismo se usa para obtener celulosa, papel, cartón, explosivos, tablas o moldes; por fermentación anaeróbica para obtener metano; por hidrólisis ácida de la xilana, para obtener

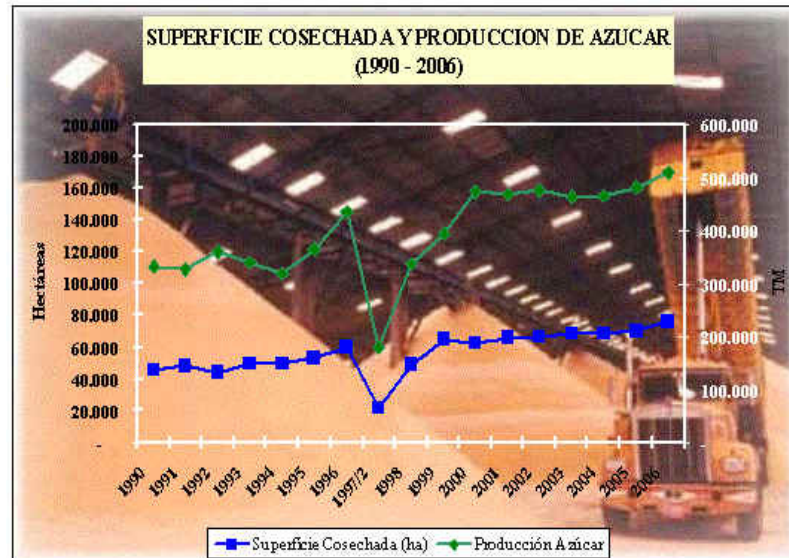


furfuraldehído, que sirve para refinar aceites lubricantes y para manufacturar plásticos; como relleno para asfalto o plásticos; como extensor de plásticos termoestables; para hacer viscoso el rayón y otros plásticos, así como otros usos en menor escala [22].

La industria azucarera en el país se encuentra asentada en las provincias de Guayas, Cañar, Los Ríos, Imbabura y Loja, siendo la Cuenca baja del Río Guayas el lugar donde se concentra el 92 % de la producción de caña.

Durante el periodo comprendido entre los años 1990 a 2006 la superficie sembrada pasó de 48.201 ha. a 78.000 ha., lo que representó un incremento de alrededor del 62 %; en lo que respecta a la producción de azúcar esta tuvo un crecimiento del 53 % al pasar de 331925 TM a 510.000 TM [29].

En la figura 2.6 se muestra la diferencia entre la superficie cosechada de caña de azúcar y la producción de azúcar.



**FIGURA 2.6 SUPERFICIE COSECHADA DE CAÑA DE AZÚCAR Y PRODUCCIÓN DE AZÚCAR 1990-2006.**

En Ecuador el bagazo, en los ingenios azucareros, se lo subdivide en meollo y fibra. El primero se puede hidrolizar y obtener alimento animal (40% del bagazo) y la segunda serviría entonces como combustible (60% del bagazo), o se utiliza el 100 % como combustible [22].

### 2.3.2. Descripción General de la Cascarilla de arroz.

El cultivo de arroz en términos de explotación es una actividad agrícola muy importante y conocida a nivel mundial; siendo los países asiáticos los primeros en producción de arroz y China la que lidera dicha producción a nivel mundial [29].

Del 100 % de las superficies sembradas del Ecuador, el 3.6 % se cultiva en los valles cálidos de la sierra y en provincia de la Amazonía y el 96,4 % en el litoral con la distribución del 53,6 % en la provincia del Guayas, el 38 % en la provincia de Los Ríos y el 8,4 % en otras provincias de la costa.

Del proceso de cosecha y trilla del arroz queda la cascarilla de arroz que es el principal residuo de la producción. Este residuo representa un problema para los agricultores y para las piladoras debido a que en peso corresponde al 20 % de la producción total de arroz [22].

A diferencia de la cascarilla de trigo, cuya fibra es saludable para el aparato digestivo, la del arroz no es comestible debido a su composición química ya que se encuentra constituido por fibras, celulosa, y principalmente minerales; en efecto, está constituida en un 96% por sílice, óxidos de potasio, magnesio y calcio.

Debido a estas características su utilización no es aconsejable para la alimentación animal, pues su valor nutritivo es muy bajo, además el alto contenido de sílice irrita la mucosa del estómago de los

animales. Tampoco es recomendable utilizarlo como abono ya que casi no posee elementos fertilizantes.

La producción de arroz desde 1991 hasta el año 2006 ha aumentado en un 77% al pasar de 692320 TM en 1991 a 1`222639 TM en el año 2006, por lo que se espera que esta tendencia de aumento siga para las futuras cosechas [30].

Existen estudios sobre la utilización de la cascarilla de arroz para el secado de este grano. La Fundación Ecológica de Colombia (FUNDEC) ha desarrollado hornos para el aprovechamiento térmico de este residuo, generando calor para el calentamiento del aire de secado de la gramínea, teniendo buenos resultados ambientales y económicos [22].

La compañía PRONACA en Ecuador está proponiendo un proyecto similar, aprovechando alrededor de 830 toneladas de cascarilla de arroz provenientes del pilado del mismo para la generación de vapor que será utilizado en su mismo complejo industrial en la elaboración de balanceado.

#### **2.4. Descripción General de Compuestos de Polímeros y Fibras naturales.**

La multinacional Daimler Benz en conjunto con la UNICEF promovieron en Brasil la aplicación de bio-compuestos en la elaboración de sus vehículos clase E y camiones clase A y después de realizar investigaciones para sustituir las fibras sintéticas con fibras naturales comenzaron un plan piloto con la fabricación de apoyacabezas a base de coco obteniendo excelentes resultados a tal punto que recibieron incentivos para aumentar la producción. También han usado yute y algodón en la parte interior de sus vehículos, y han desarrollado compuestos con características técnicas, utilizándolos en los paneles de las puertas en los pilares de las cabinas, como parte de asientos, parachoques, entre otros [1].

La aplicación de las fibras en estos compuestos también han servido para usarlos como aislante acústico y además poseen la virtud de no astillarse en caso de impacto directo en el interior de sus vehículos. La tecnología usada para estos fines es el moldeo por compresión con fibras como lino, sisal, algodón y una mezcla de lino / algodón; utilizando diversas matrices como polipropileno (termoplástico), epoxy, poliuretano y resinas fenólicas (termofijas), dependiendo de la aplicación.

En el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), se han desarrollado varias técnicas para la utilización del excedente de bagazo de caña en ese país, siendo la industria azucarera una de las más grandes de ese país. Una de estas aplicaciones es en la elaboración de tableros y la técnica consiste en elaborar un tablero constituido por tres capas con la diferencia de que las partículas de las capas exteriores son más pequeñas que la interior, además esta última tiene un espesor más grande. El agente inorgánico que usa como agente aglutinante depende de la utilización del tablero.

En México, se experimentó la aplicación de lechuguilla como refuerzo de compuestos en base de cemento, obteniendo buenos resultados en lo concerniente a las pruebas de flexión. Para reducir el efecto de la matriz alcalina y además contrarrestar la cualidad hidrofílica de las fibras, propuso aislar las fibras con diversos compuestos químicos, obteniendo los mejores resultados con parafina. Como parte de esta investigación concluyó que es preferible tener una matriz densa en cemento a una relación agua – cemento alrededor de 0.35 incrementando la resistencia a la tensión.

#### **2.4.1. Compuestos de Polietileno y Fibras Naturales.**

Investigadores del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México (FATA – UNAM) desarrollaron un material aglomerado a base de cascarilla de arroz que puede utilizarse para la fabricación de muebles, paneles y otros artículos, aprovechando su bajo coeficiente de dilatación, por lo que no se deforma con los cambios de temperatura. [6].

Otra de sus virtudes es que presenta una fuerte resistencia a la mayoría de las sustancias químicas y se ha comprobado que retarda la flama, a diferencia de aglomerados de viruta de madera que suelen propagarla. La cascarilla de arroz es como una matriz de vidrio cavernosa y cuando se le aplica fuego, esta cerámica protege la materia orgánica que lleva en su interior.

El material aglomerado se compone de 90% de cascarilla de arroz y el resto por una resina capaz de aglutinarla, cubriendo además los pequeños intersticios entre las partículas de cascarilla.

# CAPÍTULO 3

## 3. PARTE EXPERIMENTAL

### 3.1. Descripción del Diseño Experimental.

Este trabajo se centra en desarrollar un material compuesto que contenga HDPE en mezcla con fibras naturales, bagazo de caña y cascarilla de arroz, y anhídrido maleático como agente acoplante, el cual facilita la unión entre el polietileno y la fibra. Lo que se espera de este compuesto es que mejore las propiedades mecánicas y reológicas de la matriz polimérica, o sea del polietileno de alta densidad.

El tipo de diseño que se utilizó fue del diseño factorial  $2^n$ , donde n son las variables del sistema. En este caso las variables que se tomará en cuenta son las siguientes:



- Tipo de Fibra
- Velocidad del tornillo
- Porcentaje de Fibra

Como condiciones fijas hemos tomado a:

- Tipo de resina
- Tipo de compatibilizador
- Porcentaje de compatibilizador
- Granulometría de las fibras
- Humedad de la fibra
- Temperatura de la camisa de extrusión

Las propiedades mecánicas que se analizaron fueron:

- Resistencia al impacto

Las propiedades reológicas que se analizaron fueron:

- Absorción de agua
- Índice de fluidez
  - Temperatura de Ablandamiento

Habiendo definido las condiciones fijas y variables, así como las variables de repuesta, se procedió a elaborar el diseño de experimentos, el cual se detalla en la tabla 3

**TABLA 3**  
**DISEÑO DE EXPERIMENTO**

Mezcla	TIPO DE FIBRA	VELOCIDAD DEL TORNILLO	% FIBRA
A	+	+	+
B	+	+	-
C	+	-	+
D	+	-	-
E	-	+	+
F	-	+	-
G	-	-	+
H	-	-	-

VARIABLES		
TIPO DE FIBRA	+	BAGAZO DE CAÑA
	-	CASCARILLA DE ARROZ
VELOCIDAD DEL TORNILLO	+	ALTA
	-	BAJA
% DE FIBRA	+	50
	-	30

### **3.1.1. Materiales a utilizar.**

Se utilizaron dos tipos de fibras: cascarilla de arroz y bagazo de caña. El tipo de resina usado fue el HDPE y el agente compatibilizador fue anhídrido maleático.

La obtención de la cascarilla de arroz no fue problema ya que estos desperdicios se encuentran en los patios de las piladoras de la región costa.

Debido al clima que posee el Ecuador, el arroz se produce en la zona costera. Se obtuvieron 15 kg de cascarilla de arroz de la zona arrocería ubicado a lo largo de la vía Duran – Boliche.

Gracias a los proyectos realizados en la Facultad de Ingeniería Mecánica FIMCP – ESPOL como el de “Desarrollo de Tecnologías Sustentables para la Aplicación de fibras Naturales para Materiales de Construcción” se consiguieron 13 kg de bagazo de caña proveniente del Ingenio del Norte (IANCEM), localizado en provincia de Imbabura.

El uso de HDPE como parte del análisis en varias tesis como; “Evaluación De Polietilenos De Alta Densidad Reciclados para Aplicaciones en Mobiliario Urbano”, “Evaluación de las Propiedades de Compuestos de Polietileno y Carbonato de Calcio” facilitó obtener el HDPE.

El HDPE usado es virgen, es decir, sin procesar, marca LG HDPE Lutene-H FE0070, proveniente de Korea; sus propiedades se muestran en la figura 3.1.

ITEM	TEST METHOD	UNIT	VALUE	
Melt Index 190/2.16	ASTM D1238	g/10min	0.05	
Density (23°C)	ASTM D1505	g/cm <sup>3</sup>	0.953	
Melting Point	DSC	°C	133	
Vicat Softening Point	ASTM D1525	°C	128	
□ Mechanical Properties				
ITEM	TEST METHOD	UNIT	VALUE	
Tensile Strength at Yield	ASTM D882	kg/cm <sup>2</sup>	380(MD)	360(TD)
Tensile Strength at Break	ASTM D882	kg/cm <sup>2</sup>	610	590
Elongation at Break	ASTM D882	%	300	500
Tear Resistance	ASTM D1922	kg/cm <sup>2</sup>	22	100
Impact Resistance	ASTM D1709	g	250	

**FIGURA 3.1 PROPIEDADES DEL HDPE LUTANO– HFE0070 SIN PROCESAR**

El anhídrido maleático que va hacer la función de acoplante es de la marca EASTMAN proveniente de los Estados Unidos de América.

### 3.1.2. Equipos necesarios

Los equipos utilizados son los siguientes:

- **Molino.**

Se utilizaron dos molinos, uno de martillos y otro de cuchillas rotatorias, ambos marca Thomas Wiley, pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).



**FIGURA 3.2MOLINO DE MARTLLO**



**FIGURA 3.3 MOLINO DE CUCHILLOS**

- **Estufas**

Se utilizaron dos estufas, una del laboratorio de textiles de la EPN y la otra del Laboratorio Cerámicas de la ESPOL. En la figura 3.4 y 3.5 se muestran las estufas usadas.



**FIGURA 3.4 ESTUFA DE LA EPN**



**FIGURA 3.5 ESTUFA DE LA ESPOL**

Las características de la estufa de la ESPOL se muestran en la tabla 4.

**TABLA 4**

**PROPIEDADES DE LA ESTUFA DE LA ESPOL.**

Marca	Memmert
Modelo	UNB 500
Rango de Temperatura	20 - 220°C
No de bandejas	5
Carga máxima por bandeja	30 Kg
Carga máxima de las estufa	60 Kg

- **Extrusora.**

Se utilizó una extrusora del tipo tornillo simple Construzioni donada por la compañía AMANCO-PLASTIGAMA. Dicha extrusora fue adaptada para transformarla en una máquina para fabricación de compuestos de poliolefinas con rellenos varios y nanocompuestos; este equipo pertenece a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESPOL.



**FIGURA 3.6 EXTRUSORA**

Entre los componentes que posee la extrusora esta el tornillo de extrusión que sirve para realizar la mezcla homogénea de los materiales.





**FIGURA 3.7. TORNILLO EXTRUSOR**

El tornillo tiene diferentes secciones que se detalla a continuación:

**Mezcladores dispersivos.**

Estos mezcladores se encargan de dar uniformidad al tamaño de las partículas, rompen los aglomerados y los dispersan en la mezcla; existiendo dos tipos, de anillo y Maddox o Le Roy. Según se muestra en las figuras 3.8 y 3.9.



**FIGURA 3.8 TIPO ANILLO**



**FIGURA 3.9 TIPO MADDOX O LE ROY**

El plástico fundido debe ser sometido a altos esfuerzos, minimizando los cortantes y maximizando los de elongación [31].

Los elementos del flujo deben pasar por las regiones de esfuerzo varias veces para incrementar la acción de mezclado.

### **Mezcladores Distributivos**

Este tipo de mezcladores se encargan de dar uniformidad a la distancia entre partículas, es decir, repartir las partículas de relleno a través de toda la mezcla. El tipo de mezclador que realiza este tipo de mezclado es de tipo romboide ubicada al final del tornillo como se observa en la figura 3.10.



**FIGURA 3.10 MEZCLADOR DISTRIBUTIVO TIPO ROMBOIDE**

Además cumple los siguientes objetivos:

- El plástico fundido debe ser sometido a un gran esfuerzo cortante.  
El flujo debe ser partido y reorientado constantemente.

- **Prensa de termoformado**

Se utilizará una prensa hidráulica diseñada para calentarse mediante unas placas que poseen cables para conectarse y por resistencia eléctrica iniciar el calentamiento, esta permitirá desarrollar las probetas, con determinado espesor. Posee una cavidad que tiene como medidas 19.5 cm de largo y 6.85 cm de ancho.



**FIGURA 3.11 PRENSA PARA TERMOFORMAR**

- **Péndulo de impacto.Tinius Olsen**

Este equipo es de marca Tinius Olsen y consiste de una base maciza en la cual es montado un tornillo de sujeción para agarrar al espécimen y al cual será conectado, a través de una armadura rígida y rodamientos, un martillo tipo péndulo. La máquina tiene también un mecanismo para agarrar y lanzar el péndulo y un mecanismo para indicar la energía de rompimiento del espécimen.



**FIGURA 3.12. PENDULO DE IMPACTO TINIUS OLSEN**

- **Equipo usado para el ensayo de la temperatura de ablandamiento**

Este equipo es marca TINIUS OLSEN modelo HD94, figura 3.12, que posee dos celdas para realizar estos tipos de ensayos la cual nos facilito la ASEPLAS.

El equipo contiene un baño de inmersión, es un baño de glicerina que es un líquido de transferencia de calor, con un termómetro, un agitador y unos calentadores los cuales nos permitan una tasa de elevación constante de temperatura. Este líquido de transferencia de calor, debe tener una elevación moderada de temperatura y se prefiere líquidos de viscosidades bajas a temperatura ambiente.

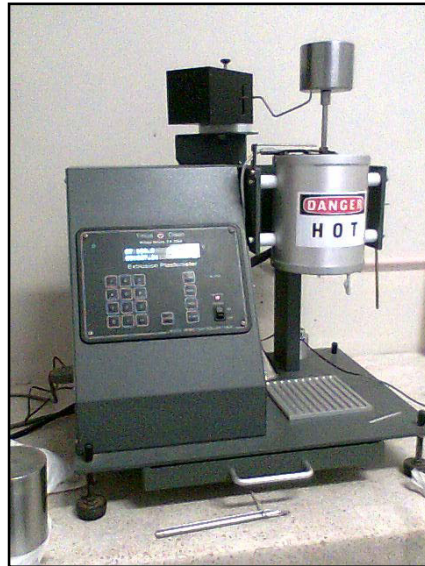
El dispositivo de penetración debe de tener un coeficiente de expansión no mayor de 0,02 mm.



**FIGURA 3.13 EQUIPO USADO PARA EL ENSAYO DE TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO**

- **Plastómetro**

Este equipo es usado para medir el índice a la fluidez; es marca Tinius Olsen modelo MP993 el cual nos fue facilitado por ASEPLAS. Este aparato de ensayo esta formado por un cilindro vertical, que se calienta a una temperatura constante y que tiene una boquilla en su parte interior. La masa a ensayar se introduce en el cilindro, un pistón de peso determinado presiona la masa a través de la boquilla.



**FIGURA 3.14 EQUIPO USADO PARA EL ENSAYO DE INDICE A LA FLUIDEZ**

- **Zaranda.**

En la zaranda usamos tamices de mallas: 1.7 mm., 850 micras, 600 micras, 425 micras y 300 micras.

- **Balanza**

La balanza usada es de la ESPOL y sus características se detallan en la tabla 5



**TABLA 5**  
**PROPIEDADES DE LA BALANZA**

Marca	Sartorius
Modelo	CP4201
Máxima Carga	4200 g
Precisión	0.1 g

- **Zaranda.**

En la zaranda usamos tamices de mallas: 1.7 mm., 850 micras, 600 micras, 425 micras y 300 micras

### **3.2. Elaboración de experimentos**

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

1) Preparación de las fibras.

- Secado de Fibras.
- Molienda de Fibras.
- Tamizado de Fibras.

- Secado de Fibras.
- 2) Preparación del compuesto.
- Mezclado
  - Extrusión de las mezclas.
  - Molido de la mezclas.
  - Moldeo por compresión de las mezclas.
- 3) Evaluación de las mezclas.

### **3.2.1. Preparación de las fibras.**

Este paso consistió básicamente de los siguientes pasos:

- Secado de Fibras.
- Molienda de Fibras.
- Tamizado de Fibras.
- Secado de Fibras.

Primeramente se trabajó con 15 kg de cascarilla de arroz. El secado de esta fibra se la realizó a 105 °C por 24 h, para después proseguir con el proceso de molido.

En dicha fibra, fue necesario hacer tres molidos sucesivos, dos en el molino de martillo y una en el de cuchillas.



**FIGURA 3.15 PROCESO DE MOLIDA**

Luego se procedió al tamizado en las mallas de 1.7 mm, 850 micras, 600 micras, 425 micras y 300 micras. En la tabla 6 se muestran la cantidad que se obtuvo después del tamizado.

**TABLA 6**

**CANTIDAD DE MOLIDO DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

No de malla	Peso (Kg)
1,7 mm	1
850 micras	3
600 micras	4
425 micras	3
300 micras	2,5

Como se puede apreciar en la tabla la mayor cantidad se obtuvo con la malla de 600 micras; adicionalmente se indica que en el proceso del molido y tamizado se obtuvo un porcentaje de pérdida en peso de 10% del total de la muestra.

Luego trabajamos con 13 Kg de bagazo de caña. El secado de la fibra se lo realizó de igual manera que la cascarilla es decir a 105°C por una hora y luego procedimos al molido. Con esta fibra solo fue necesaria una molienda usando el molino de martillo, en este proceso se obtuvo un 15% de pérdida que en peso represento 1.95 Kg. Todos estos pasos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería Química de la EPN.

De manera similar a la cascarilla de arroz, luego en la FIMCP – ESPOL se realizó el proceso de tamizado del bagazo de caña teniendo muestras de 1.7 mm., 850 micras, 600 micras, 425 micras y 300 micras. En la tabla 7 se muestra la cantidad de molido que obtuvimos en el tamizado.

**TABLA 7**  
**CANTIDAD DE MOLIDO DEL BAGAZO DE CAÑA**

No de malla	Peso (Kg)
1,7 mm	0,05
850 micras	3
600 micras	5
425 micras	2
300 micras	1

Teniendo las fibras secas, molidas y tamizadas se procedió a secarlas nuevamente a una temperatura de 105°C para realizar los compuestos.

### **3.2.2. Preparación del compuesto.**

La tabla 3.1 nos indica que debemos realizar 8 mezclas, cuatro con bagazo de caña y cuatro con cascarilla de arroz. Los porcentajes de fibra usados para estas mezclas fueron 30 y 50 %. El porcentaje de anhídrido maleático para las ocho mezclas fue fijado en 4%; y el porcentaje restante es del HDPE. La velocidad del tornillo usada en la extrusora fue de 18 rpm y de 26 rpm. Todos estos valores se

fijaron de acuerdo a proyectos realizados como se menciona en el capítulo 2.

De cada mezcla se debió obtener probetas para realizar los respectivos estudios de propiedades. Cada probeta tenía un peso promedio de 10 g.; es así que se decidió sacar 1 Kg. de cada mezcla.

En la tabla 8 se presenta los resultados del cálculo de masas de cada mezcla.

TABLA 8

## RELACION DE PORCENTAJES Y PESOS DE LOS MATERIALES EN CADA MEZCLA

Mezcla	Fibras			Velocidad del tornillo (rpm)	Anhídrido Maleático		HDPE	
	Tipo	Porcentaje (%)	Peso (Kg)		Porcentaje (%)	Peso (Kg)	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
A	BAGAZO DE CAÑA	50	0,5	26	4	0,04	46	0,46
B	BAGAZO DE CAÑA	30	0,3	26	4	0,04	66	0,66
C	BAGAZO DE CAÑA	50	0,5	18	4	0,04	46	0,46
D	BAGAZO DE CAÑA	30	0,3	18	4	0,04	66	0,66
E	CASCARILLA DE ARROZ	50	0,5	26	4	0,04	46	0,46
F	CASCARILLA DE ARROZ	30	0,3	26	4	0,04	66	0,66
G	CASCARILLA DE ARROZ	50	0,5	18	4	0,04	46	0,46
H	CASCARILLA DE ARROZ	30	0,3	18	4	0,04	66	0,66

El procedimiento para la preparación del compuesto fue el siguiente:

Se pesaron las muestras de HDPE siguiendo la tabla 10.



**FIGURA 3.16 PESADO DEL HDPE**

Lo mismo se realizó con la fibra y el anhídrido maleático.



**FIGURA 3.17 MUESTRAS DE LA FIBRA Y ACOPLANTE**

Una vez obtenidas las proporciones se procedió a mezclarlas manualmente en un recipiente.

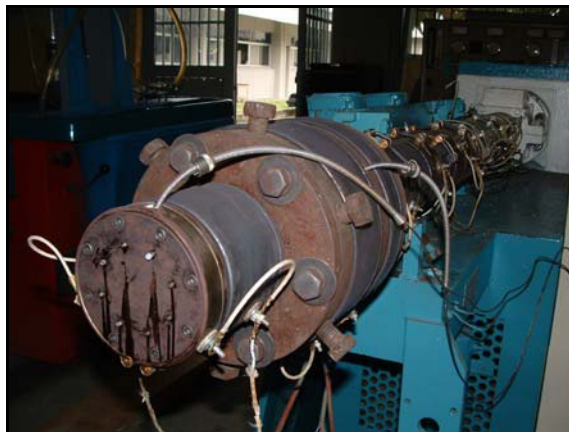




**FIGURA 3.18 MUESTRAS DE LA FIBRA, HDPE Y ACOPLANTE**

Finalmente la mezcla se lo colocó en la estufa por 24 horas a 105°C para eliminar la humedad adquirida por el medio ambiente.

Luego de haber realizado las mezclas, de acuerdo al diseño experimental, se procedió al proceso de extrusión.



**FIGURA 3.19. EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE**

En este paso del procedimiento experimental, se presentaron limitantes en las capacidades de extrusión de nuestro equipo, por lo que solamente se pudo extruir las 4 mezclas que contenían bagazo de caña (A, B, C, D) y una pequeña parte de la muestra F que contenía cascarilla de arroz.

Probablemente este fenómeno se produce por la coalescencia ente las partículas de cascarilla, la cual se aglomera taponando el canal del mezclador tipo Maddox.

Las muestras extruidas se las molió en un molino de cuchillas rotatorias de la compañía Recynter, luego, se procedió al proceso de inyección, pero lastimosamente en el proceso se tuvo dificultades debido a la baja fluidez que poseían los compuestos, lo cuál impedía que la máquina adquiriera la presión necesaria para inyectar las probetas que iban a servir para evaluar la resistencia y módulo a la tracción. No obstante de optó por un método alternativo, que es el termoformado.

Este método consiste en colocar las muestras obtenidas del proceso de extrusión en una prensa hidráulica con calentamiento externo con el objetivo de termoformar placas de compuestos plásticos, como se muestra en la figura 3.20.



**FIGURA 3.20 PRENSA PARA TERMOFORMAR**

Con este procedimiento se pudo obtener las placas para poder evaluar las propiedades que se detallan en la siguiente sección.

### **3.3. Propiedades a evaluar.**

#### **3.3.1. Resistencia y Módulo a la tracción ASTM D-638.**

Debido a que el proceso de inyección no fue factible, no fue posible la elaboración de las probetas de tensión. La otra opción de fabricación de las probetas era por el método de moldeo por compresión, el cual fue descartado debido a que este proceso no brinda la adhesión necesaria entre la fibra y la matriz polimérica fundida, por lo cuál sería infructuoso elaborar pruebas mecánicas de tracción mediante este proceso. Una muestra de esto es que en la

FIMCP, se está desarrollando un proyecto de evaluación de propiedades de tensión en nanocompuestos de HDPE con nanoarcillas ecuatorianas, encontrándose que las propiedades de tensión resultaron muy bajas en comparación con el plástico puro en los ensayos realizados por el método en mención. De allí que un estudio de propiedades de tracción en este tipo de compuestos, cargas que necesitan de un acoplante para desarrollar la compatibilidad molecular, se propone para el futuro cuando se cuente con un equipo de inyección apropiado para realizar este tipo de prueba.

### **3.3.2. Resistencia al Impacto ASTM D-256.**

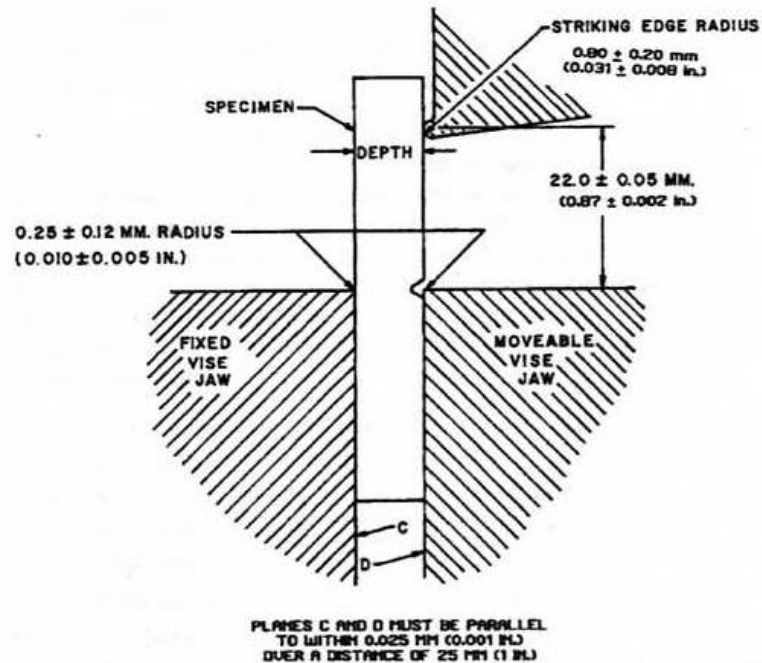
En este ensayo medimos como el material se comporta al absorber energía rápidamente ya que, en circunstancias reales, los materiales también se someten a fuerzas de impacto para lo cual necesitamos medir cuan rápido el material absorbe fuerzas este tipo de fuerzas

Con este ensayo estandarizado se trata de medir el comportamiento de este material con golpes, colisiones y caídas.

La norma a la cuál nos regiremos es la ASTM D256-06, que nos proporciona 4 métodos diferentes los cuales miden diferentes rangos de energía de impacto, el que debemos usar depende de el tipo de material a ser ensayado.

El método usado para este ensayo es el Método A, que nos indica que este método se usa para materiales que poseen una fuerza de impacto mayor a 27 J/m.

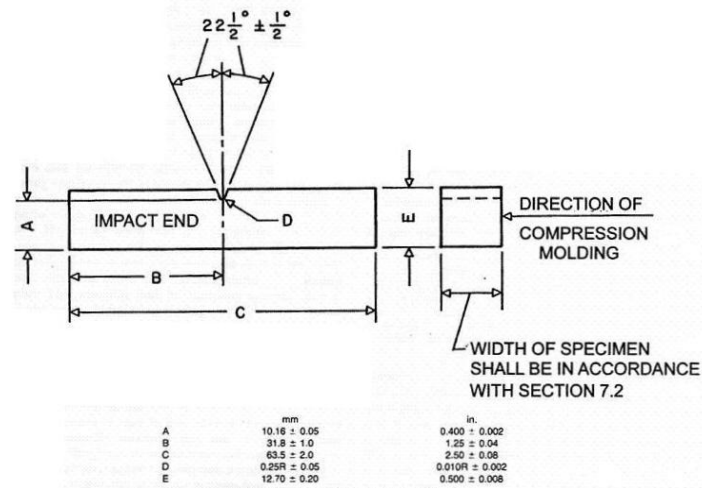
En el Método de prueba A, el espécimen es sostenido como una viga en cantiliver vertical y es rota mediante una simple oscilación del péndulo. La línea de contacto inicial está a una distancia fijada desde el sujetador del espécimen y desde el centro de la hendidura y en la misma cara de la hendidura, como se observa en la figura 3.21.



**FIGURA 3.21. RELACIÓN DEL TORNILLO DE SUJECIÓN, ESPÉCIMEN, Y BORDE DE IMPACTO ENTRE SÍ PARA MÉTODOS DE PRUEBAS IZOD A Y C**

### Especímenes de prueba

Los especímenes de pruebas se realizarán conforme a las dimensiones y geometría de la figura, excepto como se modifica en los siguientes puntos. Para asegurar el correcto contorno y condiciones de la hendidura especificada, todos los especímenes serán hechos de acuerdo a lo indicado en la figura 3.22.



**FIGURA 3.22. DIMENSIONES DE UN ESPÉCIMEN DE PRUEBA TIPO IZOD**

Estudios han mostrado que, para algunos materiales, la localización de la hendidura en el espécimen y la longitud del impacto final pueden tener un efecto ligero en la medida de resistencia al impacto.

### Procedimiento

Al menos 5 y preferiblemente 10 o más determinaciones individuales de resistencia al impacto deberán ser realizadas de cada muestra a ser probada bajo las condiciones de prueba, mencionadas anteriormente.

Medir y anotar el espesor de cada espécimen después de realizar la hendidura cercanamente a 0.025 mm [0.001 in]. Medir el espesor en

un lugar adyacente a la muesca centrada sobre el plano antes de fracturar.

Medir y anotar la profundidad del material restante en el espécimen bajo la hendidura de cada espécimen cercanamente a 0.025 mm [0.001 in]. El espécimen estará aproximadamente vertical entre los yunques.

Posicionar el espécimen precisamente de manera que quede rígido pero no apretado, agarrado en el tornillo de sujeción. Poner especial atención de asegurarse que el “extremo impactado” del espécimen como se muestra en la figura 3.20 es el extremo proyectado sobre el tornillo de sujeción. Suelte el péndulo y anote la energía de quiebre indicada del espécimen junto con una descripción de la apariencia del espécimen roto.

### **3.3.3. Absorción de agua**

Este método mide una relativa tasa de absorción de agua cuando el material se encuentra sumergido.



Esta prueba es importante en los casos en los que la relación entre humedad y las propiedades eléctricas y mecánicas son determinantes para obtener una uniformidad del material.

Para realizar este ensayo nos apegamos a la norma ASTM D 570-98 el cual nos indica que para la realización de este ensayo necesitamos de un recipiente de agua, condiciones de temperaturas constantes y de una balanza marca Sartorius con una capacidad de lectura de 0.0001 g.

Las probetas para materiales que son moldeados deben ser en forma de discos con un diámetro de 50,8 mm. Y con un espesor de 3.2 mm.

Estas probetas deben estar libres de rasgaduras, es decir tienen que ser moldeadas para que estén completamente lisas.

El ensayo consiste en sumergir las probetas pesadas previamente en agua destilada por un tiempo que depende del tipo de material que va desde 2 horas, hasta 24 horas.

Para el polietileno se recomienda que debe de tener un tiempo de 24 horas con una tolerancia de +30 min.

Después de ser sumergida por ese tiempo se extrae, se la limpia con una toalla y debe ser pesada nuevamente para poder sacar el porcentaje de peso a adquirido.


#### **3.3.4. Índice de Fluidez (Melt Flow Index) ASTM D1238**

La prueba de índice de fluidez es un método para una rápida determinación de las propiedades de fluidez de las masas de termoplásticos. El material al ser calentado empieza a fluir por el orificio; el primer material saliente se descarta. Si la masa no tiene burbujas, se cortan con una espátula o cuchilla trozos a espacios de tiempo constante y se pesan. Este es el método apropiado para poliolefinas.

Los resultados de las mediciones, para una misma serie de materiales permiten sacar conclusiones sobre el peso molecular medio. Un índice de fluidez alto nos indica que la capacidad de fluir del material es mayor y un bajo grado de polimerización.

El peso que utiliza el pistón para presionar el material depende del tipo de material a usarse, para el polietileno se pueden usar pesos de 2,16 y de 10 Kg. Para este ensayo usamos un peso de 2,16 Kg.

Las condiciones del procedimiento se detallan a continuación:

 **D 1238**

**TABLE 1 Standard Test Conditions, Temperature, and Load**

Obsolete-For-reference only	Condition		Total Load Including Piston, kg	Approximate Pressure	
	Standard Designation	Temperature, °C		kPa	psi
A	125/0.325	125	0.325	44.8	6.5
B	125/2.16	125	2.16	298.2	43.25
C	150/2.16	150	2.16	298.2	43.25
D	190/0.325	190	0.325	44.8	6.5
E	190/2.16	190	2.16	298.2	43.25
F	190/21.60	190	21.60	2982.2	432.5
G	200/5.0	200	5.0	689.5	100.0
H	230/1.2	230	1.2	165.4	24.0
I	230/3.8	230	3.8	524.0	76.0
J	265/12.5	265	12.5	1723.7	250.0
K	275/0.325	275	0.325	44.8	6.5
L	230/2.16	230	2.16	298.2	43.25
M	190/1.05	190	1.05	144.7	21.0
N	190/10.0	190	10.0	1379.0	200.0
O	300/1.2	300	1.2	165.4	24.0
P	190/5.0	190	5.0	689.5	100.0
Q	235/1.0	235	1.0	138.2	20.05
R	235/2.16	235	2.16	298.2	43.25
S	235/5.0	235	5.0	689.5	100.0
T	250/2.16	250	2.16	298.2	43.25
U	310/12.5	310	12.5	1723.7	250.0
V	210/2.16	210	2.16	298.2	43.25
W	285/2.16	285	2.16	298.2	43.25
X	315/5.0	315	5.0	689.5	100.0

**FIGURA 3.23. TABLA DE CONDICIONES, TEMPERATURA Y CARGA ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA ASTM D1238**

### Procedimiento

- Revisar el dado, el cilindro y las dimensiones de posición

- Refiérase a la figura 3.22 para selección de condiciones de temperatura y carga en concordancia con las especificaciones del material.
- Fije la temperatura del plastómetro como la requerida para el material que será probado y con el voltaje aplicado a los calentadores como está detallado en la norma.
- Asegure que el agujero del plastómetro de extrusión está apropiadamente alineado en la dirección vertical.
- Limpie el aparato a fondo para cada prueba. La posición del pistón y el dado en el cilindro se deben asentar firmemente en la base del plato. Mantenga la temperatura por al menos 15 minutos antes de empezar la prueba. Cuando el equipo sea usado repetidamente, no será necesario calentar el pistón y el dado por 15 minutos.
- Coloque el pistón cargado en su lugar, y de inicio al reloj o el precalentamiento.
- Una vez colocado el pistón cargado, estar atento a que la alarma programada suene para cortar una porción del material.
- Las próximas alarmas serán continuas, por lo tanto, se obtendrá porciones de material fundido del mismo peso. En cada una de las alarmas cortar las porciones indicadas.
- Descargar cualquier resina remanente y limpie el dado y el cilindro.

Para este ensayo se requiere cortar el material en pequeños pedazos como unas lentejas las cuales tienen que sumar un peso de 3.5 gr.

Para el cálculo del índice de fluidez se utiliza la siguiente formula:

$$\text{índice de fluidez} = \frac{(427 \times L \times d)}{t}$$

Donde:

L=longitud que tiene que recorrer el pistón.

D= densidad de la resina a la temperatura del test g/cm<sup>3</sup>

t= tiempo en que tarda el pistón en recorrer la distancia L

427= área estandarizada del pistón y cilindro x 600

Adicional a las pruebas anteriormente nombradas se procedió a evaluar la Temperatura de ablandamiento (VICAT).

### ***Ensayo temperatura de ablandamiento (VICAT)***

Este método determina la temperatura denominada VICAT, la cual es la temperatura mínima a la cual el material empieza a sufrir cambios en su estructura. Esta prueba fue realizada teniendo como referente la norma ASTM D1525.

Este ensayo principalmente se basa en subir gradualmente la temperatura del material hasta que un dispositivo de 1mm<sup>2</sup> de área el cual presiona el material con un peso de 1000,+40, 0 g, penetre la superficie a una profundidad de 1 mm de su espesor.

La forma de las probetas, según la norma especificada, tiene que ser cuadrada con un área de 144 mm<sup>2</sup> y un espesor de 3 mm.

El procedimiento seguido fue el siguiente:

La prueba se inicia a la temperatura del lugar donde se realiza la prueba la cual fue de 23°C.

Con la tasa de elevación de temperatura es de  $120 \pm 12$  °C/h se debe controlar el termómetro cada 5 min. Y la temperatura deber elevarse  $10 \pm 1$  °C.

Una vez que este dispositivo penetra el material se toma la temperatura.

La norma nos indica que tomando dos muestras de cada placa y siguiendo todas las indicaciones mencionadas continuación el ensayo tendrá aproximadamente un 95% de confiabilidad.

# CAPITULO 4

## 4. ANALISIS DE RESULTADOS

Se evaluaron las propiedades de las 5 mezclas bajo la siguiente normativa:

- ✓ Resistencia al impacto ASTM D 256
- ✓ Absorción de agua ASTM D 570-98
- ✓ Índice de fluidez ASTM D 1238
- ✓ Temperatura de ablandamiento ASTM D1525

En la siguiente sección se presentará los resultados obtenidos.

#### 4.1. Presentación de resultados.

##### Resistencia al impacto ASTM D 256

En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de resistencia al impacto, adicionalmente se adjunta en la tabla los valores en referencia al HDPE puro.

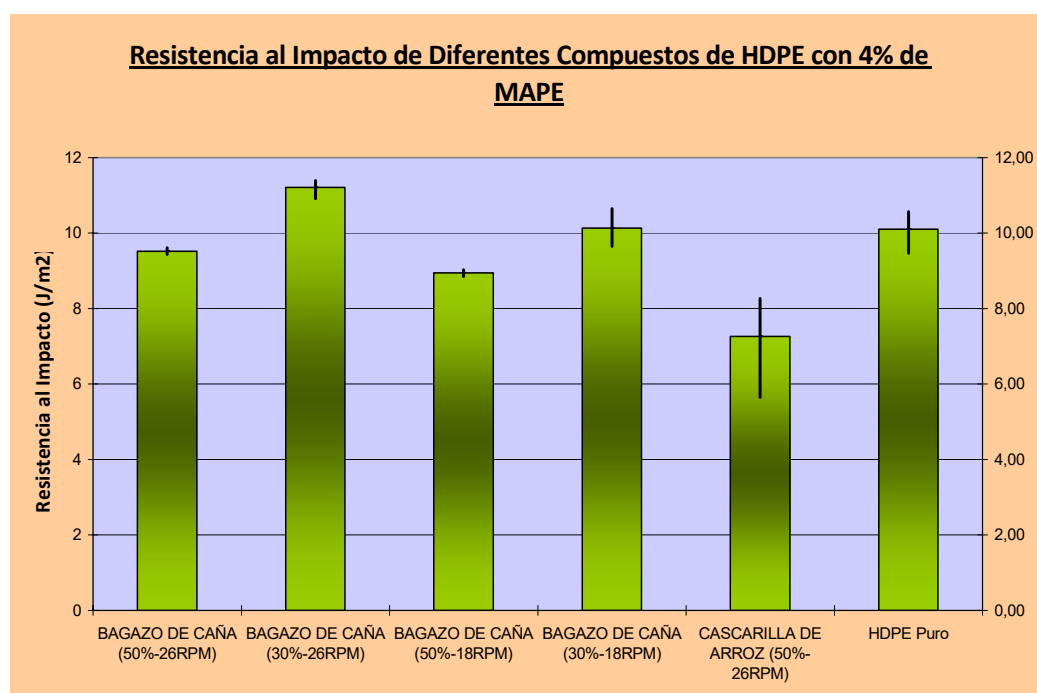
**TABLA 9**  
**RESISTENCIA AL IMPACTO**

Mezcla	Espesor (mm)	Impact Energy (J/m)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )
<b>A</b>	4,2	102,5	9,52
	4,2	102	
	4,2	103,8	
	4,2	102,1	
	4,2	103,7	
<b>B</b>	4,7	122,81	11,21
	4,7	117,8	
	4,7	118,9	
	4,7	122,56	
	4,7	123	
<b>C</b>	4,5	95,6	8,94
	4,5	97,5	
	4,5	96	
	4,5	97,1	
	4,5	96,8	
<b>D</b>	4,5	115	10,13
	4,5	106,6	
	4,5	111,7	
	4,5	103,8	
	4,5	109,8	



<b>E</b>	4,7	89,3	7,26
	4,7	61	
	4,7	81,5	
	4,7	75,1	
	4,7	85	
<b>HDPE Puro</b>	4,7	110,2	10,10
	4,7	110,1	
	4,1	108,7	
	4,5	102,3	
	4,4	114,1	

En el gráfico 4.1 se representa la variación de los valores de resistencia al impacto en las diferentes muestras.



**FIGURA 4.1 RESISTENCIA AL IMPACTO**

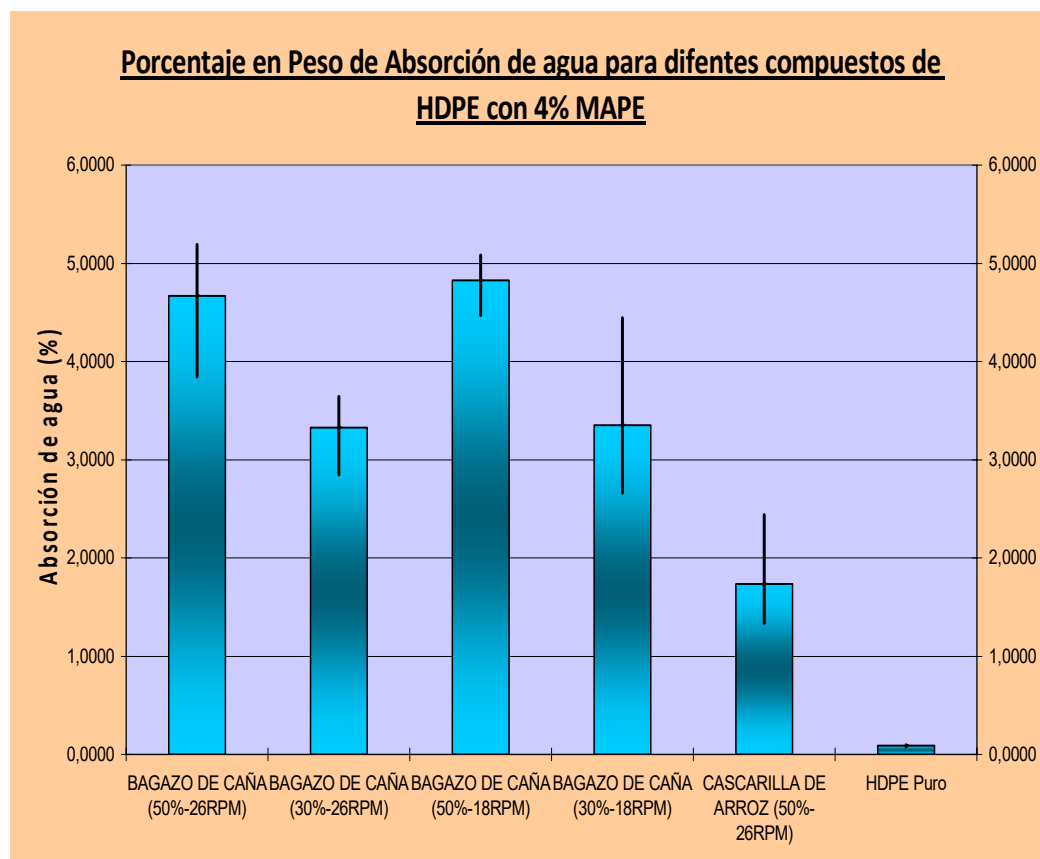
**Absorción de agua ASTM D 570-98**

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de absorción de agua, adicionalmente se adjunta en la tabla los valores en referencia al HDPE puro.

**TABLA 10**  
**ABSORCION DE AGUA.**

<b>MEZCLA</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso antes del ensayo (g)</b>	<b>Peso luego del ensayo (g)</b>	<b>Porcentaje de absorcion de agua (%)</b>	<b>Absorción de agua Promedio (%)</b>
<b>0</b>	1	5,1518	5,1559	0,0796	0,086409772
	2	5,2644	5,2689	0,0855	
	3	5,0974	5,1022	0,0942	
<b>A</b>	1	7,8642	8,2547	4,9655	4,666550716
	2	7,4755	7,7631	3,8472	
	3	6,2581	6,5827	5,1869	
<b>B</b>	1	5,8753	6,0427	2,8492	3,324934957
	2	6,4534	6,6783	3,4850	
	3	7,5894	7,8657	3,6406	
<b>C</b>	1	7,1583	7,4785	4,4731	4,826438067
	2	10,2584	10,7638	4,9267	
	3	8,5796	9,0154	5,0795	
<b>D</b>	1	12,5784	13,0247	3,5481	3,551501615
	2	10,5483	11,0168	4,4415	
	3	8,9047	9,142	2,6649	
<b>E</b>	4	5,6784	5,8167	2,4355	1,736122453
	5	6,9130	7,0124	1,4379	
	6	5,9328	6,012	1,3350	

En el gráfico 4.2 se representa la variación de los valores de absorción de agua en las diferentes muestras.



**FIGURA 4.2 ABSORCION DE AGUA**

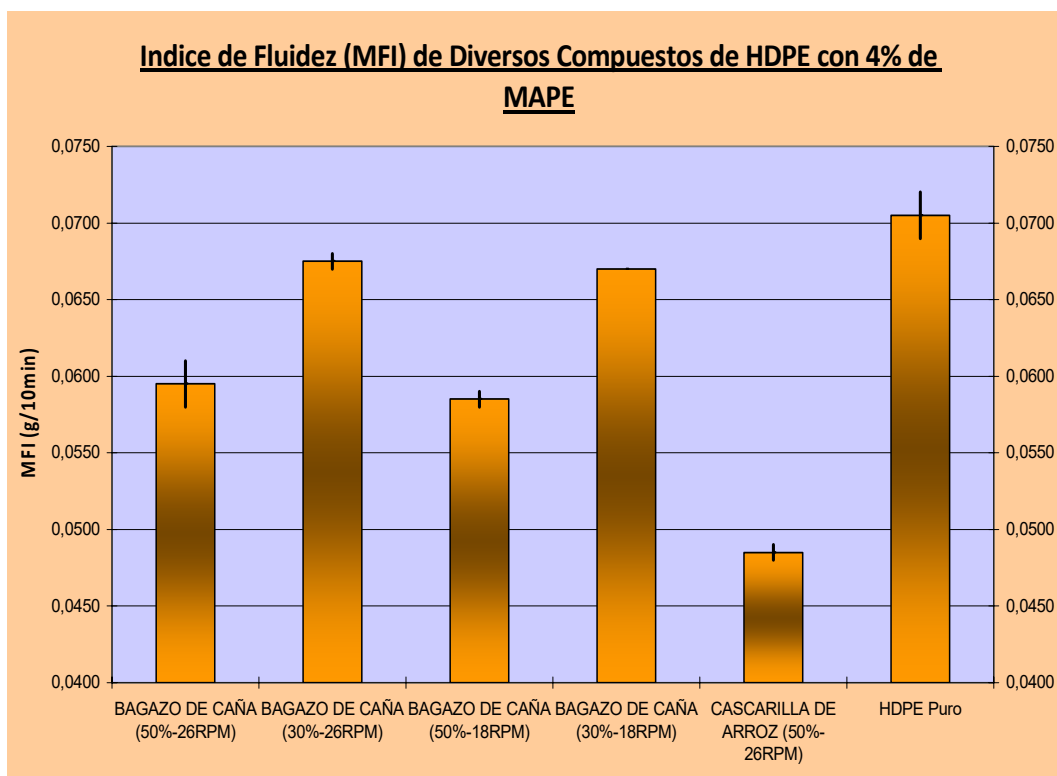
### Índice se fluidez ASTM D 1238

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de índice a la fluidez, adicionalmente se adjunta en la tabla los valores en referencia al HDPE puro.

**TABLA 11**  
**ÍNDICE A LA FLUIDEZ (MFI)**

<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Número de corte</b>	<b>Peso de corte (g)</b>	<b>Flow Rate (g/10min)</b>	<b>Average Flow Rate (g/10min)</b>
<b>Puro</b>	1	0,34	0,069	0,0705
	2	0,34	0,072	
<b>A</b>	1	0,37	0,058	0,0595
	2	0,37	0,061	
<b>B</b>	1	0,35	0,067	0,0675
	2	0,35	0,068	
<b>C</b>	1	0,38	0,058	0,0585
	2	0,38	0,059	
<b>D</b>	1	0,36	0,067	0,067
	2	0,36	0,067	
<b>E</b>	1	0,34	0,048	0,0485
	2	0,34	0,049	

En el gráfico 4.3 se representa la variación de los valores de índice a la fluidez en las diferentes muestras.



**FIGURA 4.3 ÍNDICE A LA FLUIDEZ (MFI)**

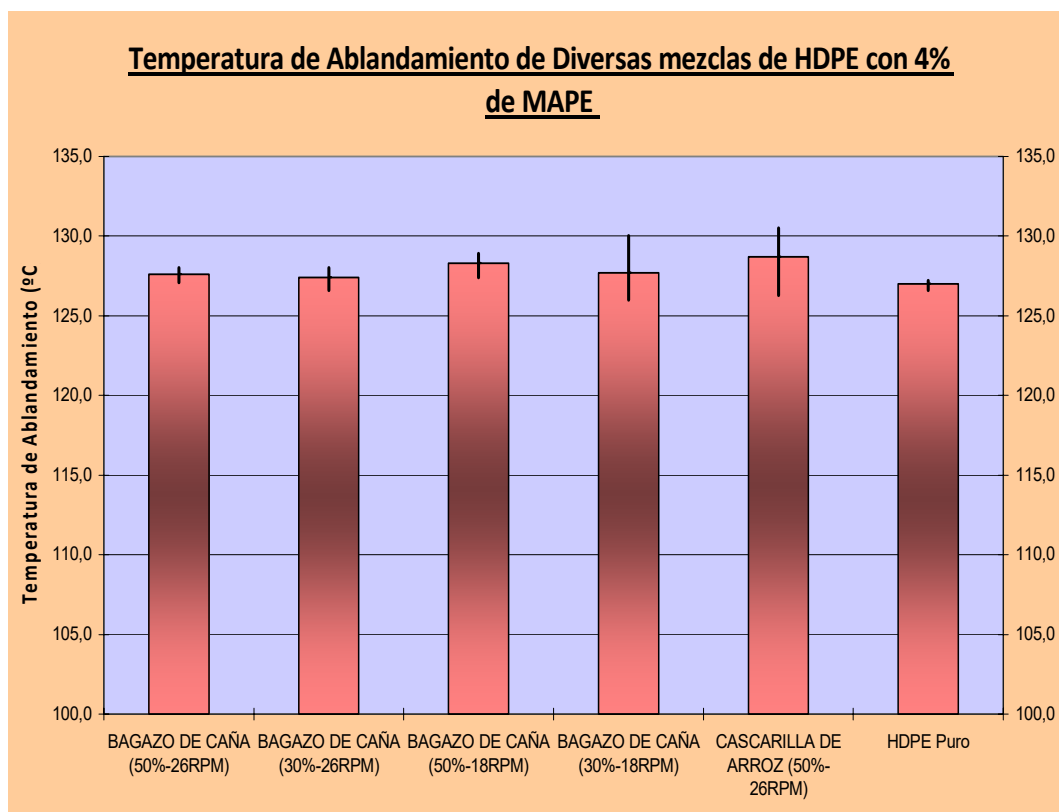
#### **Temperatura de ablandamiento ASTM D1525**

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de Temperatura de Ablandamiento, adicionalmente se adjunta en el cuadro los valores en referencia al HDPE puro.

**TABLA 12**  
**TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO (VICAT)**

<b>Muestra (%)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Temperatura Ablandamiento VICAT ©</b>	<b>Promedio</b>
<b>A</b>	4,2	128	127,6
	4,2	127,1	
	4,2	127,8	
	4,2	127,5	
<b>B</b>	4,7	128	127,4
	4,7	127,1	
	4,7	127,8	
	4,7	126,6	
<b>C</b>	4,5	127,4	128,3
	4,5	128,9	
	4,5	128,7	
	4,5	128	
<b>D</b>	4,5	127,9	127,7
	4,5	126	
	4,5	130	
	4,5	126,8	
<b>E</b>	4,7	126,3	128,7
	4,7	129,7	
	4,7	128,4	
	4,7	130,5	
<b>HDPE Puro</b>	3,2	127	127,0
	3,2	126,6	
	3,1	127,2	
	3,1	127	

En el gráfico 4.4 se representa la variación de los valores de temperatura de ablandamiento en las diferentes muestras.



**FIGURA 4.4 TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO (VICAT)**



#### **4.2. Interpretación de resultados.**

Analizando la gráfica 4.1 donde se muestra los valores de resistencia al impacto se puede observar que el efecto de la Velocidad del husillo en compuestos cargados con fibra de Bagazo de Caña influye notablemente. La mayor diferencia entre la muestra de HDPE puro y las mezcla se produjo a una velocidad de 26 RPM con 30% de bagazo de caña., este incremento es de aproximadamente del 10%.

Este fenómeno se produce debido a que existe una proporcionalidad del esfuerzo cortante con la velocidad del husillo, es decir a mayor velocidad del husillo se obtiene una mayor resistencia al impacto. Debido a esto, la intensidad del mezclado dispersivo se incrementa a mayores velocidades, de tal manera que las muestras que se procesaron con una velocidad de 26 RPM representaron valores de resistencia al impacto mayores que las muestras que se trabajo a 18 RPM. Se puede interpretar que las bajas propiedades con bajas velocidades es debido al efecto de concentración de esfuerzo que se da en compuestos plásticos cuando tienen aglomeraciones de carga (fibra).

La diferencia del 10% adicional que resultó comparando el HDPE puro con la mezcla de 30% de bagazo de caña muestra el efecto reforzante de la carga natural mediante el uso del agente acoplante MAPE.

En la misma gráfica se puede apreciar las diferencias que existe en relación al porcentaje de fibra, demostrándose que el efecto del porcentaje de fibra con la resistencia al impacto son inversamente proporcionales, es decir a mayores porcentajes de bagazo de caña, menor será la resistencia al impacto. Esto se debe a que mientras menor es la carga, la máquina esta en capacidad de dispersarla mejor en la matriz polimérica y en consecuencia la matriz se refuerza, mejorando sus propiedades.

Adicionalmente se aprecia una diferencia entre la mezcla de bagazo y cascarilla con proporciones de 50% fibras y a 26 RPM. En las mencionadas condiciones se observa que el bagazo posee un mejor desempeño que la cascarilla. Como se mencionó anteriormente se dieron muchos problemas en el procesamiento de la cascarilla, especialmente por el fenómeno de coalescencia que hacía que las aglomeraciones del material no permitieran un flujo uniforme del polímero fundido a través de mezcladores.

La gráfica 4.2 muestra los resultados de la medición de porcentaje de absorción de agua. Se puede apreciar que hubo un incremento significativo en todas las muestras comparadas con la muestra de HDPE puro. Analizando en igualdad de porcentajes y velocidades las muestras de bagazo y cascarilla, muestras A y E, la cascarilla de arroz absorbe 2.929% menor de agua que el bagazo de caña.

Ahora analizando las muestras que contenían bagazo de caña, se observa que la muestra C de 50% de fibra a una velocidad de 18 RPM obtuvo el mejor resultado lo que en porcentaje representó 4.8264%, dando una diferencia de porcentajes entre la muestra C y la muestra de HDPE puro de 4.74376%.

Esta diferencia se debe a la característica hidrofílica de todas las fibras utilizadas en este trabajo; es decir este porcentaje se debe a la absorción superficial del bagazo ya que la difusión de agua a través de la matriz polimérica es muy baja, observándose esto indirectamente en el valor de absorción de agua de la matriz de polietileno.

El incremento de la absorción de agua en los compuestos podría implicar una degradación superficial del material después de un tiempo determinado, sin embargo esto es algo que no se puede afirmar con

seguridad por lo que se recomendaría realizar en el futuro la medición de las propiedades mecánicas de estos materiales, teniendo en cuenta los efectos climáticos a través del tiempo.

En la gráfica 4.3 se puede observar la diferencia del índice de fluidez en las diferentes muestras. La adición de una carga de cualquier tipo a la matriz polimérica hace que el índice de fluidez decrezca y en nuestro caso no es la excepción; sin embargo podemos afirmar que la cascarilla de arroz reduce mucho más el MFI en comparación con el bagazo de caña, por lo cual con este resultado se puede afirmar indirectamente que el procesamiento de la cascarilla de arroz es más complicado reológicamente hablando. Además se puede decir que la producción industrial de compuestos de cascarilla de arroz mostraría un flujo másico menor al de los compuestos reforzados con bagazo de caña.

Comparando las muestras que solo contienen bagazo de caña; a la misma velocidad del husillo se observa que mientras menor sea el porcentaje de fibra, mayor será el índice de fluidez dando como mejor resultado la mezcla B con 30% de fibra y 26 RPM. Si mantenemos fijo el porcentaje de fibra se observa que a mayor velocidad el índice de fluidez también es mayor, siendo A la mejor mezcla.

En el gráfico 4.4 que muestran los resultado de la temperatura de ablandamiento (VICAT). Se observa que existe un ligero crecimiento en las muestras C y E comparado con la muestra de HDPE puro. La muestra C representa a la mezcla que posee 50 % de bagazo de caña con una velocidad de 18 RPM y la muestra E representa la muestra con 50% de cascarilla de arroz con 26 RPM de velocidad.

# CAPITULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones.

- ✓ El desarrollo de compuestos de cascarilla de arroz no fue posible en la extrusora de tornillo simple de la FIMCP-ESPOL. Esto se debe quizás al fenómeno de coalescencia que hace que el material se quede atrapado en los canales del mezclador Maddox. La inyección de probetas de tensión para compuestos cargados con fibras naturales no fue posible debido a problemas de presión en la

maquinaria disponible, ya que el polietileno que usamos para esta investigación tenía una fluidez muy baja, por lo que requería de maquinaria más robusta para la producción. Se recomendaría una máquina de al menos 60 Tm para el desarrollo de compuestos de este tipo.

- ✓ Las mejores propiedades de impacto se obtienen en el compuesto de 30% bagazo de caña, 4% de acoplante MAPE y a 26 RPM. Se evidenció el efecto reforzante de la fibra por lo que basándose en las propiedades de impacto es recomendable su uso en la producción de compuestos.
- ✓ No se evidenció mejoramiento en las propiedades de impacto en los compuestos con cascarilla de arroz y asimismo la fluidez bajó en un gran porcentaje por lo cual no es factible técnicamente la fabricación de estos compuestos en extrusoras de tornillo simple.
- ✓ La fabricación de compuestos con cargas naturales como la cascarilla de arroz y el bagazo de caña no afecta relevantemente la temperatura de ablandamiento de los compuestos.

- ✓ La adición de cargas naturales influye en las características reológicas de los compuestos disminuyendo su fluidez por lo que indirectamente afectaría la productividad de los compuestos en extrusión.
- ✓ El porcentaje de absorción de agua en todas las mezclas aumentó en comparación con la muestra de HDPE puro. Esto implicaría la posibilidad de degradación superficial del material con el tiempo.

## **5.2. Recomendaciones.**

- ✓ El uso de una extrusora de doble tornillo que someta al flujo del compuesto a esfuerzos cortantes mayores, impedirán el desarrollo del fenómeno de coalescencia, y de esta manera se facilitará la fabricación de compuestos de HDPE con cascarilla de arroz.
- ✓ Se recomienda que se realice investigaciones utilizando una granulometría menor a 425 micras y evaluar las propiedades mecánicas y reológicas.



- ✓ Se recomienda altamente la realización de un trabajo futuro sobre la variación de las propiedades mecánicas de estos compuestos expuestos a degradación climática y corrosiva.
  
- ✓ Existe la posibilidad de que la compatibilidad del polietileno con las fibras utilizadas en este trabajo aumente mediante el uso de un tratamiento superficial de las fibras previo al proceso de extrusión. Se recomienda un trabajo posterior con el uso de este tratamiento, por ejemplo con un agente acoplante basado en silanos, usando generalmente en este tipo de compuestos.

## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias Bibliográficas

1. **TAPIA C., SIMBAÑA A., PAREDES C., BERMUDEZ J.** “Estado del Arte de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos”, Revista Tecnológica ESPOL
2. **TAPIA C., PAREDES C., SIMBAÑA A., BERMÚDEZ J.** “Aplicación de Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa”, Revista Tecnológica ESPOL
3. [www.tierramerica.net/2001/0603/articulo.shtml](http://www.tierramerica.net/2001/0603/articulo.shtml) , Junio del 2007
4. [http://www.sica.gov.ec/agronegocios/consejos\\_consultivos/consejos/fibras/3er\\_congreso/textil\\_fibras.htm](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/consejos_consultivos/consejos/fibras/3er_congreso/textil_fibras.htm) , Junio del 2007
5. <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-fibras%20naturales.htm> , Junio del 2007
6. <http://www.invdes.com.mx/anteriores/Agosto2002/htm/arroz.html> ; Mayo del 2007
7. **CHI-MING C, JINGSHEN J., JIAN-CHONG X., YING-KIT C.,** (2002), “Polypropylene Calcium Carbonate Nanocomposites”, Polymer, 43,2981-2992
8. Cadena Productiva Sostenible de la Fibra de Coco. Internet.

[www.corpei.org/FRAMECENTER.ASP?APCION=8\\_fibra\\_coco](http://www.corpei.org/FRAMECENTER.ASP?APCION=8_fibra_coco)

9. **JULIANA MENUCCI.** (2002) “Gestión innovadora de una cadena de suministros en la Cuenca Amazónica”. [www.iaf.gov/grants/downloads/poemar\\_spn.pdf.pdf](http://www.iaf.gov/grants/downloads/poemar_spn.pdf.pdf)
10. **MOHANTY A., MISRA M.,** (2000), “Biofibers, Biodegradable polymers and Biocomposites: An overview” . *Macromolecular Materials and Engineering*, 24, 277-301.
11. **CORONET,** (2004)“Thermoplastics Composites: Research and Infrastructures”, European Research Network.
12. **ZAMPALONI M., YANKOVICH F., RODGERS B.,** (2007) Kenaf Natural Fibers reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions”, *Composites Part A*,38,1569-1580.
13. **YONG LEI. QINGLIN WU, FEI YAO,** (2007)“Preparation and Properties of recycled HDPE /natural fibers composites”, *Composites Part A*, 38,1664-1674.
14. **STAEL G., TAVAREZ M., ALMEIDA J.,** (2001)“Impact behaviour of sugarcane bagasse waste-EVA composites”, *Polymer Testing* ,20,869-872.
15. University of Massachusetts at Lowell. Annual Meeting 2005

16. HISTORIA DE LA MAQUINARIA PARA INYECCION DE PLASTICO.  
[www.maquinaria-para-inyeccion-de-plasticos.com.mx/historiainyeccionplastico.htm](http://www.maquinaria-para-inyeccion-de-plasticos.com.mx/historiainyeccionplastico.htm) Julio del 2007
17. Historia del plástico [www.arqhys.com/arquitectura/plastico-historia.html](http://www.arqhys.com/arquitectura/plastico-historia.html)  
Julio del 2007
18. <http://fyqata.euita.upm.es/CursoWeb01/Pweb/Pagweb/Mercurio/polimeros/pagpoli/pagpoli1.htm>
19. [www.henciclopedia.org.uy/autores/Laguiadelmundo/Plastico.htm](http://www.henciclopedia.org.uy/autores/Laguiadelmundo/Plastico.htm) Julio del 2007
20. [www.reciclon.net/historia\\_plastico.htm](http://www.reciclon.net/historia_plastico.htm) Julio del 2007
21. <http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>
22. **TAPIA C.**, “Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoestables” (Tesis, Facultad de Ingenierías en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007)
23. JOHN WILEY & SONS, Encyclopedia of Polymer Science and Technology.
24. **SALAZAR MARÍA BELEN**, “Evaluación de Pinturas Arquitectónicas de tipo Látex con Fibras Naturales de Tagua y Cabuya” (Tesis, Facultad de Ingenierías en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006)

25. **CHANABÁ A., OSPINA G., RUPERTI G.**, “Ensayos Primarios de Materiales Compuestos empleando Fibras Naturales Nacionales.” (Tópico, Facultad de Ingenierías Naval, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998)
26. **ZHANG H., RIZVI G. M., LIN W. S., GUO G., PARK C. B.** “Development of an Extrusion System For Fine-Celled Foaming of Wood-Fiber Composites Using a Physical Blowing Agent”
27. **ALCIDES L. LEAO, CARVALHO F., FROLLINI E**, Lignocellulosic – Plastic Composites, 1997
28. **JOHN Z., QINGLIN WU, IOAN I. NEGULESCU**, “COUPLING EFFICIENCY OF MALEATED POLYETHYLENE COPOLYMERS EN WOOD FIBERS-HIGH DENSITY POLYETHYLENE COMPOSITES”
29. <http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/panorama06.html> , Septiembre del 2007
30. <http://www.sica.gov.ec/cadenas/arroz/docs/panorama07.html> , Septiembre del 2007
31. **RAUWENDAAL C**, “Extrusion”, Encyclopedia of Polymer Science and Technology, vol 2, 533-546.