

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

***Estudio del Comportamiento Mecánico
de un Polímero Reforzado con Bagazo
de Caña***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A

TERESITA ROJAS MARTINEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. MAGDALENA TRUJILLO BARRAGAN



2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México y su Facultad de Ingeniería por la formación que recibí durante mi carrera, ya que gracias a lo aprendido seré un profesionalista con ética y responsabilidad para contribuir en el desarrollo de mi país.

A mis Padres

Gracias mamá y papá por su apoyo, comprensión y su amor, porque siempre han sido la razón más importante para superarme, los amo, gracias por estar siempre conmigo, este trabajo es reflejo de que su dedicación y trabajo no ha sido en vano.

A Cristina, Ana y Magdalena

Por su ayuda, consejos y sobre todo por su apoyo en todos los aspectos para que pudiera alcanzar mi meta, gracias porque hermanas como ustedes no hay mejores.

A Oscar Domínguez

Porque si alguien sabe el esfuerzo y la dedicación que tuve eres tú, gracias por ser mi mejor amigo, compañía y cómplice, pero sobre todo mi apoyo en todo este camino, este trabajo también es esfuerzo tuyo y te lo agradezco enormemente.

A la M.I. Magdalena Trujillo

Por su asesoría y consejos para la elaboración de este Proyecto.

**A los Ingenieros Adolfo Altamirano, Gabriel Soto
y el Biólogo Germán Álvarez**

*Por su apoyo en todas las actividades realizadas para el Desarrollo
de este Trabajo*

ÍNDICE TEMÁTICO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	
ANTECEDENTES	1
ASPECTOS GENRALES DEL PROYECTO	2
OBJETIVO GENERAL	4
Objetivos Particulares	4
Capítulo 1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN AL MATERIAL	
1.1 Materiales Compuestos	5
1.1.1 Clasificación de los Materiales Compuestos	6
1.1.1.1 Compuestos Reforzados por Dispersión	6
1.1.1.2 Compuestos Reforzados Por Partículas	7
1.1.1.3 Compuestos Reforzados con Fibras	8
1.2 El Bagazo de Caña	10
1.2.1 Características del Bagazo de Caña	13
1.3 Los Plásticos	14
1.3.1 Clasificación de los Polímeros	17
1.3.1.1 Características del Polipropileno	18
Capítulo 2 REFUERZOS NATURALES Y PROCESO DE INYECCIÓN	
2.1 Refuerzos Naturales. Fibras	22
2.1.1 Fibras de Origen Vegetal	22
2.1.2 Compuestos de Rastrojo de Piña	25
2.1.3 Plásticos Reforzados con Madera	27
2.1.4 Polipropileno Reforzado con Sisal	29
2.1.5 Fabricación de Tableros Aglomerados con Partículas de Caña Brava	30
2.1.6 Otros Proyectos	31
2.2 El Proceso de Inyección	32
2.2.1 Importancia de la Fabricación de Productos hechos a base de Plásticos	32
2.2.2 Moldeo por Inyección	34
2.2.2.1 Fundamentos del Proceso de Inyección	34
2.2.2.2 La Máquina de Inyección	36
2.2.3 Problemas en Piezas Procesadas por Inyección	38

Capítulo 3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Descripción General del Proceso de trabajo	42
3.1.1 Determinación de las Características de las Fases del Compuesto	43
3.1.1.1 Condiciones de Trabajo para el Bagazo de Caña	44
3.1.1.2 Condiciones de Trabajo para el Polipropileno	44
3.1.1.3 Cálculo del Porcentaje de humedad y Proceso de Secado del Bagazo de Caña	45
3.1.2 Determinación de las Cantidades de Material a Utilizar	47
3.2 Optimización del Proceso de Inyección	51
3.3 Método A. Inyección con mezcla In-situ	54
3.4 Método B. Reciclado del Material	57
3.5 Ensayos Mecánicos	60
3.5.1 Prueba de Tracción	60
3.5.2 Ensayo de Dureza	62
3.5.3 Ensayo de Resistencia a la Flexión	64
3.5.4 Microscopia Electrónica	65

Capítulo 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Procesamiento de las Muestras	67
4.1.1 Características Físicas de las Piezas.	69
4.1.2 Análisis de la Prueba de Tracción	74
4.1.3 Resultados y Análisis del Ensayo de Dureza	80
4.1.4 Resultados de la Prueba de Flexión	82
4.1.5 Microscopia Electrónica	86
Conclusiones	91
Aportaciones Futuras	93
Anexo 1. Cálculo de las cantidades requeridas para las mezclas en peso y volumen.	I
Anexo 2. Resultados de las pruebas mecánicas.	IV
Referencias Bibliográficas	

INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional a nivel mundial y las nuevas necesidades que va teniendo la sociedad, han llevado a un sector de la Ingeniería a elaborar nuevos materiales funcionales que permitan satisfacer estos requerimientos. Debido a ello se está buscando hoy en día ver de que forma se pueden desarrollar estos nuevos materiales a través de la combinación de diferentes elementos que los conformen, los cuales deben de presentar características bien definidas y que sean reutilizables, con la finalidad de que no sean una fuente de contaminación sino que representen una alternativa de reciclaje.

Lo anterior ha llevado a ver y analizar que tan viable resultaría hacer una combinación de materiales orgánicos con inorgánicos, como es el caso de las fibras naturales (ya sean residuos maderables, plantas, etcétera) con vidrios, metales y/o plásticos, para producir nuevos compuestos, los que tienen la finalidad de mejorar las propiedades de estos últimos, que sean más baratos y que exista una verdadera unión entre los elementos que conforman el nuevo compuesto.

Hoy en día las investigaciones se inclinan por el estudio de las características de los materiales compuestos conformados por fibras naturales las cuales en su mayoría se queman para ser utilizadas como combustibles o bien como alimento para ganado, o simplemente son desechadas como basura, sin ningún beneficio; y termoplásticos, que son materiales altamente funcionales, de fácil producción y de costos bajos, según la Cadena Productiva Mexicana (fuente: ANIPAC 2006).

El hecho de que estos nuevos polímeros reforzados (como hoy en día se les nombra) sean altamente funcionales es de gran valor, ya que con esto no solo se tiene la certeza de que el material es capaz de competir con cualquier material comercial conocido, sino que debido a que se conforman por fibras orgánicas generan una reducción de costos en los procesos de producción.

Es importante mencionar que el interés por estudiar estos materiales surge de la búsqueda para generar fuentes alternas de explotación de recursos naturales, ya que, como es conocido, la sobre explotación de los bosques, lagos, acuíferos y demás zonas naturales, ha llevado a que el planeta sufra grandes cambios, los cuales incrementan los niveles de contaminación y que se ven reflejados en las transformaciones abruptas que sufre el clima; es por ello que el uso de residuos orgánicos generados por las cosechas en distintas

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

regiones del país, puede resultar económicamente más benéfico que continuar con la destrucción incontrolada del medio ambiente que existe hoy en día.

Por ello es que este trabajo pretende demostrar que usar fibras orgánicas producto de la molienda para extracción del azúcar puede dejar de ser desperdicio o alimento para ganado y convertirse en un refuerzo que al ser acoplado a un polímero, nos dé un producto con altas propiedades mecánicas, respecto al polímero sin la presencia del refuerzo.

ANTECEDENTES

Los materiales constituidos por fibras naturales y termoplásticos se han elaborado en Estados Unidos desde hace décadas y han tenido un auge importante en los últimos años debido a la necesidad de minimizar el impacto ecológico que tienen los plásticos al ser desechados, ya que estos generan desperdicios a lo largo de todo su proceso de elaboración hasta después de haber sido utilizados y es importante recordar que estos materiales son elaborados a base de petróleo el cual es un recurso no renovable y que está a pocos años de agotarse, lo que hace que también sea importante disminuir su consumo.

La consideración de usar un material al cual se le incorpora una fibra natural ofrece ventajas importantes al ser embebido en un termoplástico, sobre todo en sus propiedades mecánicas, tales como alta resistencia a la tracción y rigidez (en ciertos casos); sin embargo, tiene desventajas que deben ser consideradas, tales como su gran capacidad de absorber y retener agua, baja estabilidad térmica y una calidad inestable; estas fibras tienen un comportamiento muy parecido a las fibras sintéticas como las de vidrio debido a la distribución que presentan de acuerdo al proceso de manufactura, la cuál generalmente debe ser uniforme (no debe presentar empaquetamientos) pero en todas direcciones y esto permite que pueden mejorar las propiedades del material.

Por ser consideradas como residuos orgánicos, las fibras naturales suelen ser más baratas que algunos refuerzos inorgánicos como fibra de vidrio o las fibras de Kevlar (aunque con propiedades menores) y debido a ello suelen ser más atractivas para procesar, lo que está impulsado al sector industrial a trabajar con ellas.

Los plásticos reforzados por fibras naturales dan una alternativa para aplicaciones específicas y como su nombre lo indica están constituidos por dos o más materiales a nivel físico, los cuales se identifican por:

- Refuerzo: Parte en forma de partícula o fibra discontinua, ya sea corta o larga.

- **Matriz:** Este funciona como aglutinante del nuevo compuesto y permite una buena distribución de esfuerzos.
- **Interfase:** Que es la zona de unión entre el refuerzo y la matriz, de ella dependen todas las características finales del nuevo compuesto, es la parte más importante de la fabricación del material.

En estos, se desea la existencia de una mejora en sus características cuando se logra una buena unión entre la matriz y el refuerzo, sin embargo cuando esta adhesión no existe, se pueden presentar problemas como absorción de agua u otros que pueden generar una baja en las propiedades del material.

Es por ello que para la elaboración de estos materiales es importante tomar en cuenta las características básicas de cada uno de los elementos que conformarán al nuevo compuesto, para que una vez desarrollado, éste presente las condiciones óptimas para ser sometido a cualquier condición.

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.

Se realizará una caracterización de las propiedades mecánicas del material polimérico reforzado con fibras naturales de bagazo de caña de azúcar, es importante mencionar que se trabajará bajo dos diferentes condiciones de procesamiento del material:

1. **Someter al material compuesto al proceso de inyección**, con la finalidad de tratarlo como un polímero.
2. **Reciclar el material inyectado por primera vez y someterlo a un reproceso** de inyección para ver la morfología y el comportamiento de las fibras después del reprocesamiento.

Para poder caracterizar al polímero en sus propiedades mecánicas se recurrirá al uso del proceso de Inyección de Plásticos y se desarrollarán pruebas de acuerdo a las normas de la American Society Testing of Materials ASTM, además se hará una inspección del producto terminado para observar el flujo del material, dirección de las fibras y su distribución.

El uso del Polipropileno como la parte matricial del compuesto, se debe a que es uno de los polímeros de mayor empleo en la Industria de los Plásticos después del Polietileno, aunque este último presenta propiedades un tanto inferiores al Polipropileno y es más utilizado para extrusión de película (datos tomados del Instituto Mexicano de Plástico Industrial IMPI 2004) además de ser el polímero con mayor facilidad para su moldeo.

Dentro de los aspectos que se buscan en esta investigación están:

1. **Observación de la buena adhesión entre la matriz polimérica y el refuerzo** de fibras naturales, lo cual depende en primera instancia de que nuestra fibra contenga la menor cantidad posible de humedad.
2. **Generar un control óptimo de proceso** para obtener el material con el menor número de merma posible.
3. **Generar un compuesto que supere a las propiedades mecánicas** que presenta el polipropileno sin ser reforzado.

Debido al proceso que se utilizará para la obtención del compuesto es importante tener presente aquellas situaciones que puedan alterar las características de nuestro material, algunas son:

1. Si las fibras quedan separadas y no se distribuyen de forma uniforme, pueden generar cambios en las propiedades mecánicas del compuesto.
2. El tamaño de fibra debe ser pequeño y uniforme para lograr una mejor adherencia entre ella y la matriz polimérica.
3. Tener presente que la fibra debe de estar libre de la mayor cantidad de humedad posible, para evitar porosidades.
4. Hay que tomar en cuenta que durante los diferentes procesos la fibra puede ser sometida a temperaturas muy elevadas lo que puede provocar que se calcinen y generar que el compuesto tenga un aspecto no adecuado.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un material compuesto que utilice como matriz un polímero común y evaluar el efecto del empleo de un reforzamiento proveniente del uso de bagazo de caña de azúcar, para encontrar un aprovechamiento de los desechos naturales generados por la industria azucarera.

Objetivos Particulares.

- Elaborar mediante diferentes condiciones de procesamiento y pruebas mecánicas una caracterización del material compuesto y con ello determinar de que forma se presentan las mejores cualidades del material.
- Lograr la elaboración de un material que sea reciclable, funcional y flexible, para dar un buen uso a los residuos orgánicos que resultan del proceso de refinación del azúcar, de forma que haya un aprovechamiento de estos y un mínimo requerimiento de material polimérico para una reducción de costos.

CAPÍTULO 1

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN AL MATERIAL

1.1 MATERIALES COMPUESTOS.

A los materiales compuestos se les puede adjudicar el grado de la cuarta categoría más importante dentro de la clasificación de los materiales después de los metales, cerámicos y polímeros. Debido a la complejidad de su estructura son ampliamente estudiados y hoy en día comienzan a tener mayor aplicación tecnológica debido a la diferencia y en ocasiones aumento que sufren en general sus propiedades.

Si es posible dar una definición concreta de que es un material compuesto, podemos decir que es “un sistema de materiales formados por dos o más fases físicas distintas, cuya combinación produce propiedades conjuntas que son diferentes de las de sus constituyentes”^{*a}; en donde a una fase la identificamos como un material que es homogéneo en toda su estructura.

Estos materiales pueden presentar ventajas significativas con respecto a los materiales de una sola fase entre ellas están:

- Hacer productos de bajo peso pero muy resistentes.
- Pueden ser generados para evitar o en su defecto prevenir la oxidación.
- Al ser combinados dos materiales de fases diferentes es posible obtener combinaciones de propiedades que quizá con ningún tipo de proceso es posible obtener.

Sin embargo, es importante mencionar que así como tienen ventajas también poseen desventajas:

- Si están constituidos por un polímero, son susceptibles de ser atacados por algún agente químico o solvente.
- Los procesos de su elaboración generalmente son poco productivos.
- En el caso de los compuestos reforzados por fibras naturales la limitante son las bajas temperaturas permisibles de procesamiento para evitar la degradación de las mismas o impedir que éstas mismas originen emisiones volátiles que pudiesen afectar las propiedades del compuesto. Por lo mismo, dichas temperaturas están limitadas alrededor de 200 °C, aunque es posible emplear temperaturas más altas por cortos periodos.

^{*a}. Groover Mikell. ***Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas***. Pearson Educación, México, 1997, 1062 pp.

1.1.1 Clasificación de los Materiales Compuestos.

Como ya vimos los materiales compuestos son de gran importancia cuando se requiere reducir peso y ganar resistencia; sin embargo, siempre han estado presentes en la naturaleza y otros más se han ido ideando con respecto a los avances tecnológicos y científicos; debido a ello los podemos clasificar en dos grupos importantes:

1. **Tradicionales o Naturales**, que como su nombre lo indica están presentes en la naturaleza o que fueron ideados por las poblaciones que habitaron el planeta en épocas pasadas; encontrando a la madera como el máximo ejemplo de este grupo, sin embargo el adobe es otro, el cual se formó por estas civilizaciones.
2. **Sintéticos**, los cuales son generados por las industrias de la Manufactura Moderna, en ellos los componentes pueden ser producidos en forma separada, para posteriormente por un segundo método conjuntarlos y formar el compuesto con características muy específicas.

Ahora bien dentro de este segundo grupo es posible encontrar subcategorías de estos compuestos de los cuales encontramos.

1.1.1.1 Compuestos Reforzados por Dispersión.

Este grupo de materiales contienen en su estructura partículas que van entre los 10 a 250 nm de diámetro, se les conoce como dispersoides, que por lo general son óxidos de metal. Generalmente son menos resistentes a temperatura ambiente si se les compara con aleaciones que son endurecidas por envejecimiento.

Es importante que el dispersante tenga un nivel bajo de solubilidad en la matriz y que no reaccione químicamente con ésta cuando se les conjunta, algunos ejemplos de este tipo de compuestos así como las aplicaciones para las que son utilizados, se presentan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Ejemplos y aplicaciones de compuestos endurecidos por dispersión.^b

SISTEMA	APLICACIONES
Ag-CdO	Materiales para contactos eléctricos
Al-Al ₂ O ₃	Uso posible en reactores nucleares
Be-BeO	Aeroespacial y reactores nucleares
Co-ThO ₂ , Y ₂ O ₃	Posibles materiales magnéticos resistentes a la termofluencia
Ni-20%Cr-ThO ₂	Componentes de turborreactores
Pb-PbO	Rejillas de batería
Pt-ThO ₂	Filamentos, componentes eléctricos
W-ThO ₂ , ZrO ₂	Filamentos, calentadores.

1.1.1.2 Compuestos Reforzados con Partículas.

Cuando a los materiales (generalmente polímeros) se les añade un relleno, se les conoce como compuestos particulados, la función de este relleno es modificar y/o mejorar las propiedades del material además de ser un sustituto de gran parte del volumen del mismo; el tamaño de las partículas puede variar en diámetros desde 1 a 700 μm o hasta de 5 a 500 nm , como es el caso del negro de humo utilizado en compuestos con matriz polimérica, para la elaboración del caucho vulcanizado. Es importante mencionar que en la mayoría de los casos este material de relleno es mucho más barato que el de la matriz.

Ejemplos de este tipo de compuestos son el hormigón, formado por cemento el cual es considerado el material base, y arena o grava que hacen la función de partículas y por otro lado los insertos para herramientas de corte compuestos por carburos en una matriz blanda de Cobalto.

Hay que mencionar que las partículas pueden ser de geometrías diversas pero suelen presentar una dimensión igual en todas las direcciones. Todos los materiales ya sean polímeros, metales y cerámicas se utilizan para fabricar este tipo de compuestos, los elastómeros y los plásticos frecuentemente son reforzados con materiales en forma de partículas, el carácter de estas es de gran importancia, por un lado la distribución de tamaños influye en la cantidad necesaria de material base y por otro las superficies del agregado deben estar limpias de cualquier otro material que no permita su buen funcionamiento.

^b Askeland Donald R. **Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. International Thomson Editores. México. 1998. 790 pp.

1.1.1.3 Compuestos Reforzados con Fibras.

Quizá este sea el tipo de compuesto que más nos interese debido a que el material obtenido en este trabajo es un compuesto reforzado con fibras, este tipo de materiales se pueden considerar como los más importantes debido a la presencia de fases dispersas, se fabrican con la finalidad de conseguir una mejor resistencia a la fatiga y rigidez a baja densidad; el material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada, la resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.

Para fabricarlos son empleados muchos tipos de refuerzos, por siglos se ha utilizado la paja para reforzar los ladrillos de barro o adobes; en las estructuras de concreto se introducen varillas de acero como refuerzo; las fibras de vidrio en una matriz polimérica producen un material para aplicaciones en la transportación y la industria aeroespacial, las fibras de boro y carbono aportan un refuerzo excepcional en compuestos avanzados basados en matrices de polímero, metal o cerámica. Las propiedades mecánicas que adquieren estos compuestos dependen en gran medida de las características geométricas de la fibra tales como su longitud y diámetro, pero además es importante considerar el grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz; las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas, a menudo se caracterizan sus dimensiones mediante la relación de forma l/d , donde l es la longitud de las fibras y d su diámetro; “una fibra típica tiene diámetros que varían desde **10 μm hasta 150 μm** y la resistencia del compuesto tiende a mejorar cuando su relación es grande”.^{*c}

Las fibras de refuerzo se introducen en la matriz con orientaciones diversas, generalmente de forma aleatoria dando un comportamiento isotrópico; cuando hay arreglos unidireccionales las fibras son largas e incluso continuas y producen propiedades anisotrópicas, con resistencia y rigidez paralelas a las fibras.

*c. ídem p. 7.

En la tabla 1.2 se aprecian algunos de los sistemas compuestos reforzados con fibras.

Tabla 1.2. Sistemas de compuestos reforzados por fibras. *d

CLASE	FIBRA /MATRIZ
Matriz de polímero	(kevlar)/Epóxico (kevlar)/Poliéster C (grafito)/Epóxico C (grafito)/Poliéster C (grafito)/Polietercetona (PEEK) C(grafito)/Sulfuro de Polifenileno (PPS)
Matriz de Metal	B/Al Al ₂ O ₃ /Al Al ₂ O ₃ /Mg SiC/Al AlC/Ti (aleaciones)
Matriz de Cerámica	Nb/MoSi ₂ C/C SiC/Al ₂ O ₃ SiC/SiC SiC/Si ₃ N ₄ SiC/Li-Al-silicato (vidrio-cerámica)

Aunque en la tabla anterior no aparecen las fibras naturales, existen muchas aplicaciones que se han hecho principalmente en América Latina dentro de las que se encuentran:

- Polietilenos y Polipropilenos recuperados de desechos municipales reforzados con fibras de madera.
- Polímeros biodegradables con fibras de algas mediante calandrado.
- Polipropileno con fibras de Kudzu, revelando mejoras de hasta un 50% al utilizar un acoplador.
- Poliéster biodegradable con fibras cortas de Albahaca con y sin tratamiento, presentando mejoras en los compuestos con las fibras tratadas.

*d. ibidem p. 7.

- Compuestos poliméricos con fibra de palma.
- Compuestos de fibra de sisal y matriz polipropileno.
- Compuestos de PVC y SAN con fibras de henequén.
- Compuestos de henequén y polietileno de alta densidad (HDPE).
- Materiales compuestos a base de polipropileno con fibras de aserrín de eucalipto.
- Poliéster con refuerzo de cascarilla de arroz.
- Materiales compuestos a base de celulosa y ácidos poli carboxílicos para la elaboración de membranas inteligentes que sean capaces de variar su tamaño de poro dependiendo las condiciones de temperatura y presión a las que sean sometidas.

En el próximo capítulo nos enfocaremos al estudio de fibras naturales y de algunos trabajos de fabricación de materiales compuestos con este tipo de refuerzos.

1.2 EL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.

La caña de azúcar es una materia prima con características muy importantes (planta gramínea del género *Saccharum Officinarum*) que la sitúan como una de las plantas comerciales de mayor rendimiento, tanto en materia verde, energía y por supuesto fibra. Como materia prima para su aprovechamiento, da lugar a productos primarios que se originan durante su cosecha y su procesamiento, estos son:

Subproductos de los campos de caña. Las hojas pueden ser utilizadas:

- En verde, con las puntas de los tallos para la alimentación de ganado.
- En seco, de primera materia para la fabricación de abono.

Subproductos del procesamiento.

- Cachaza.
- Miel fina.
- Bagazo.
- Cenizas y alcohol.

Al incorporar a la producción de azúcar los avances de la revolución del Siglo XIX, los ingenios no tenían la capacidad de procesar todo lo que sobraba después de producir azúcar. Una parte de bagazo se utilizaba como combustibles, aunque prevalecía la leña, las mieles tenían escasos usos y el resto de los productos constituían sobrantes indeseables. A inicios del siglo XX, surgen fábricas con una mayor eficiencia energética que no solo producían vapor para el proceso, sino que convertían éste en energía eléctrica; sin embargo, el bagazo seguía constituyendo un estorbo que implicaba un gasto considerable al deshacerse de él. Hasta 1950, comienzan los primeros esfuerzos para la producción de pulpa, papel y tableros y con ello un aprovechamiento más racional del bagazo que ahora comenzaría a ser de mayor interés. A partir de 1960, se incrementa el uso del bagazo en la producción de tableros, de pulpa y papel y a la fecha es una de las fibras más utilizadas para la elaboración de estos productos.

“El bagazo de la caña de azúcar, las pajas de diferentes cereales, y el bambú son las fibras no maderables mas ampliamente conocidas en la industria de celulosa y papel, no obstante, otras fibras diferentes a la madera presentan potencialidades o están siendo usadas en pequeña escala. La disponibilidad de bagazo actualmente se estima en algo más de 200 millones de ton (50% humedad). La operación eficiente y con buenas prácticas del sector azucarero permite en determinadas condiciones generar hasta un 30% de bagazo sobrante, del cual se puede disponer para numerosas aplicaciones industriales y de gran valor agregado. La mayor disponibilidad corresponde a Asia (40%) seguidos por el Sur de América (22,9%) y Centro América (18%), dicha distribución se aprecia en la figura 1.1. En el año 2000 solo el 16% del bagazo estaba industrializado, figura 1.2, pero sus aplicaciones en diversos mercados han ido evolucionando y muchas industrias debido a los avances tecnológicos comienzan a hacerse sentir, integrando esta fibra a productos biotecnológicos, la salud y la alimentación entre otros”^{*e}.

^{*e}. Fernández Rodríguez N. ***El Bagazo y las Fibras Naturales: Presente y Futuro Para su Industrialización.*** Unión de Investigación Producción de la Celulosa del Papel, Artículo para el Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, La Habana, 2000.

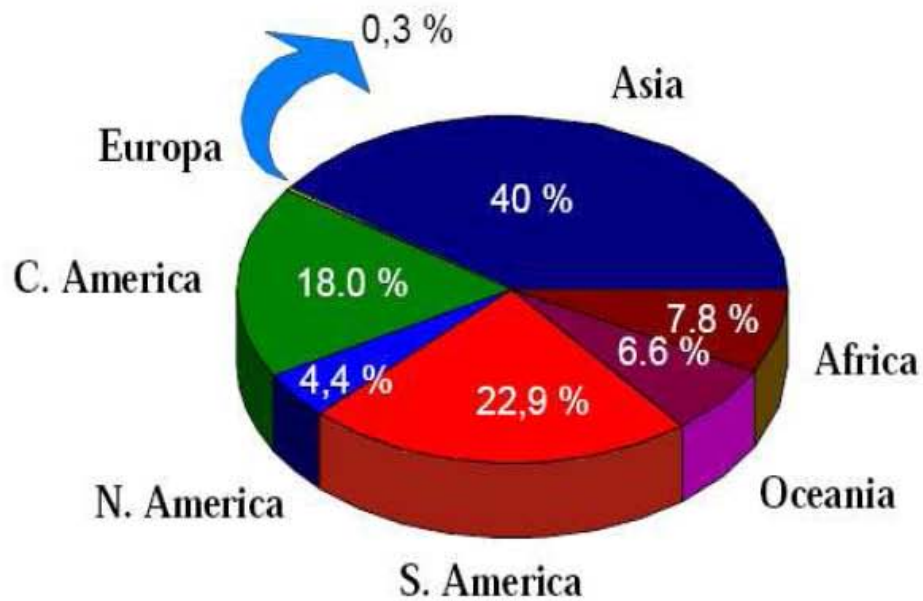


Figura 1.1. Disponibilidad de bagazo de caña a nivel mundial.*

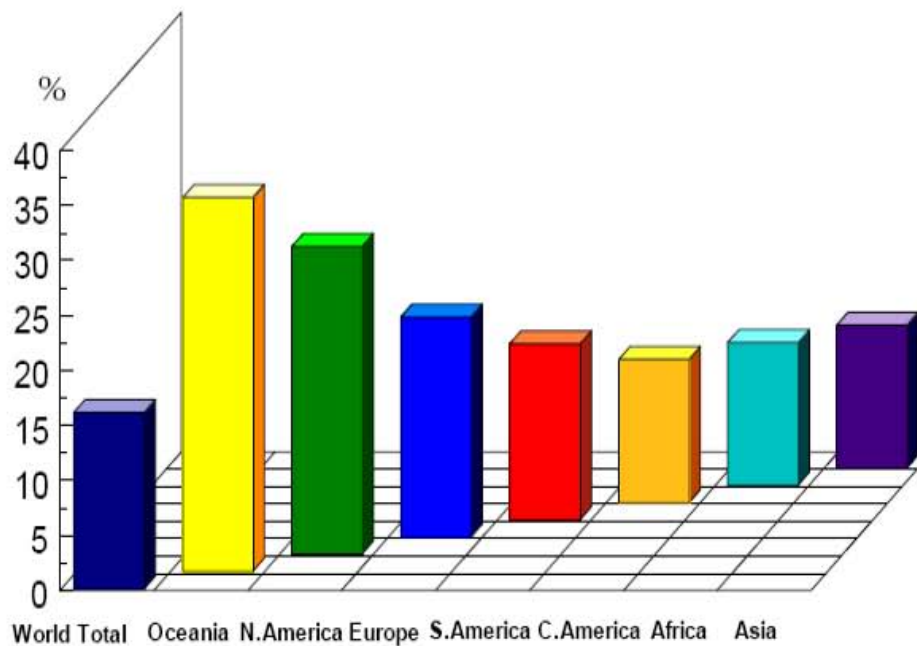


Figura 1.2. Bagazo industrializado (%) por regiones y a nivel mundial.*¹

*f.y.f.1 ídem p.11.

Si de un país interesado en el desarrollo de productos con bagazo de caña hay que hablar ese es Cuba, este es considerado uno de los países más involucrados en el desarrollo de estos nuevos compuestos debido a que este país no cuenta con recursos forestales suficientes y su principal fuente fibrosa es esta fibra. Es utilizada no solo en la industria de pulpa y papel, sino también para la obtención de otros derivados de alto valor económico, pero que aún no es explotado en toda su potencialidad.

Años de investigaciones y aplicaciones tecnológicas en ese país han revelado que las fibras de bagazo de caña tienen una posición muy ventajosa respecto a otras fibras no maderables con relación a la recolección, manipulación y almacenaje, que de hecho van mejorado mucho la economía del mismo país como materia prima para la industria.

Los investigadores cubanos están demostrando su potencialidad para que formen parte de productos en los que tradicionalmente se utilizan otras fibras como son las pulpas con fines absorbentes, diferentes tipos de medios filtrante etcétera, es por ello que el bagazo de la caña de azúcar seguirá siendo la principal fuente fibrosa en Cuba para la industria de celulosa y papel y para la producción de aglomerados, sin embargo la obtención de producto de mas alto valor agregado hacen necesario que este país desarrolle otras fuentes alternativas de obtención y manejo de fibra que permitan un suministro estable a la industria y la sustitución de importaciones.

1.2.1 Características del Bagazo de Caña.

El bagazo de caña es un residuo lignocelulósico-fibroso que se obtiene del último molino del proceso azucarero, de conformación heterogénea; en cuanto a su composición presenta una estructura granulométrica y estructural, contiene relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en condiciones “normales” del proceso de molienda de la caña.

El contenido en cenizas del bagazo natural puede considerarse moderado, ubicándose entre 2 y 5 %. Sin embargo, como consecuencia directa de lo mecanizado del proceso y sobre todo en época de lluvia, este parámetro puede elevarse considerablemente, llegándose a reportar valores extremos de 12 a 15 %, las partículas presentan tamaños con un promedio de 20mm, su valor calórico es relativamente bajo al ser comparado con otros combustibles fósiles tradicionales, pero constituye un valioso potencial energético y sobre

todo tiene la característica de ser un recurso renovable. Es una fibra conformada por unidades fenólicas donde los principales anillos son del tipo p-hidroxicinámico y en menor proporción unidades siringílicas y guaiacílicas, su composición se relaciona más con las ligninas de las plantas anuales, y en ese sentido sus hemicelulosas son del tipo xilano todo lo cual será importante para referirse a sus usos y aplicaciones, ya que estas lo hacen más utilizables.*g

Esta fibra es comparable a las de maderas duras y más delgadas que las de maderas suaves, aún cuando su contenido de cenizas es superior a las fibras maderables, es inferior a las de otras fibras no maderables.

1.3 LOS PLÁSTICOS.

Los polímeros naturales procedentes de plantas y animales, en donde se incluyen madera, caucho, lana, cuero y seda, además de proteínas, enzimas, etcétera, han sido utilizados desde prácticamente las primeras civilizaciones. Desde los comienzos del Siglo XX, la investigación ha determinado la estructura molecular de este grupo de materiales y ha desarrollado numerosos polímeros, sintetizados a partir de moléculas orgánicas, pero es a finales de la Segunda Guerra Mundial que se ha tenido una mayor evolución por la aparición de polímeros sintéticos.

La polimerización es el resultado del proceso por el cual moléculas pequeñas mejor conocidas como monómeros se van uniendo hasta formar moléculas más grandes. El resultado de las síntesis moleculares proporciona propiedades comparables a las de otros materiales análogos a ellos, y sobre todo muestran una gran flexibilidad para ser empleados en diferentes aplicaciones, con lo cual han dado solución a numerosas limitaciones que existen en los materiales tradicionales a tal grado que cada día se desarrollan nuevas tecnologías para su obtención.

Como ya mencionamos, los plásticos pueden ser naturales o elaborados por procesos humanos, es por ello que podemos identificar ciertas materias primas, productos intermediarios y materias plásticas obtenidas las cuales podemos apreciar a continuación:

*g, ibidem p. 11.

Materia Prima		Productos intermedarios	Materias Plásticas
Animales	Leche	Caseína	Galalita y Lanital
Vegetales	algodón y madera	Celulosa	Celuloide, Celofana rayón y viscosa
	plantas oleaginosas	Aceites	Rilsan y barnices
	hevea	Látex	Ebonita y caucho
	resina de coníferas	Colófana	Barnices
	gomas vegetales	Lacas	Discos de gramófono y barnices

Minerales	Hulla	Benceno y estireno	Poliésteres, poliestireno, elastómeros o cauchos sintéticos
		Fenol	naílon, resinas formofenólicas o fenoplastos
		naftaleno	resinas gliceroftálicas
		cumarona e indeno	resinas para lacas y barnices
		acetileno (a partir del carburo del calcio obtenido con coque y cal)	resina acrílicas, acetato de celulosa, polivinilo, neoprene y cauchos sintéticos, plexiglás y fibras
		gas (a partir del coque)	Baquellita y resinas formofenólicas
	Petróleo y gas natural	amoníaco (a partir del hidrógeno procedente de la hulla y del nitrógeno del aire)	urea y aminoplastas
		acetileno y benceno	ver más arriba derivados de la hulla
		butileno	caucho butilo
		Etileno	cloruro de vinilideno, poliésteres, caucho artificial y fibras textiles
		propileno	acetato de celulosa y resinas gliceroftálicas
		xileno	poliésteres y fibras textiles

Figura 1.3. Materias primas para la obtención de Plásticos. ^h

^hwww.fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/industria_plastica.pdf

Como es sabido, la estructura orgánica de los polímeros sintéticos está formada por hidrocarburos, es decir, compuestos formados por carbono e hidrógeno con enlace interatómico covalente, formado este cuando cada uno de los átomos que participan en el enlace contribuye con un electrón. Los grupos más comunes de hidrocarburos se mencionan en la tabla 1.3 donde R y R' representan grupos de átomos que permanecen como una simple unidad y mantienen su identidad durante las reacciones químicas.

Estas estructuras son gigantescas si se comparan con las moléculas de los hidrocarburos hasta hoy conocidos, en la mayoría de los polímeros, estas moléculas forman cadenas largas y flexibles, cuyo esqueleto es una hilera de átomos de carbono.

Tabla 1.3 Grupos mas comunes de compuestos orgánicos.*¹

Tabla 15.2 Algunos grupos corrientes de compuestos orgánicos		
Familia	Unidad característica	Compuesto representativo
Alcoholes	$R-OH$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H \end{array}$ Alcohol metílico
Éteres	$R-O-R'$	$\begin{array}{c} H \quad H \\ \quad \\ H-C-O-C-H \\ \quad \\ H \quad H \end{array}$ Éter dimetílico
Ácidos	$R-C(=O)OH$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-C(=O)OH \\ \\ H \end{array}$ Ácido acético
Aldehídos	$R-C(=O)H$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C=O \\ \\ H \end{array}$ Formaldehído
Hidrocarburos aromáticos	$\begin{array}{c} R \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} OH \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ Fenol

La estructura simplificada  significa el anillo bencénico.

*1. Callister William D, **Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales**, Tomo II, Edit. REVERTÉ, España 1996, pp 788.

Los polímeros comerciales o estándar son materiales ligeros, resistentes a la corrosión, de baja resistencia mecánica y rigidez y no son adecuados para uso a temperaturas altas, presentando aquí su mayor desventaja con respecto a otros materiales, sin embargo aprovechando esta característica, son excelentes aislantes, sobre todo eléctricos.

1.3.1 Clasificación de los Polímeros.

Los polímeros se clasifican de varias formas: primero, según la manera en que las moléculas son sintetizadas; segundo, en función de su estructura molecular y tercero, por su familia química. Sin embargo, el método más usado para describirlos es en función de su comportamiento mecánico, por ello se clasifican en:

- Termoplásticos, los cuales se componen de largas cadenas producidas al unir monómeros y se comportan de una manera plástica y dúctil. Al ser calentados a temperaturas elevadas, estos se ablandan y se conforman por un flujo viscoso y pueden ser reciclados con facilidad.
- Termoestables, que están compuestos por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales; estos son más resistentes, pero más frágiles que los termoplásticos, este tipo de materiales no tienen una temperatura de fusión fija y es muy difícil su procesamiento una vez ocurrida la formación de enlaces cruzados.
- Elastómeros, en donde el más representativo es el caucho, estos tienen una estructura intermedia de acuerdo a los dos criterios anteriores, en donde se permite que ocurra una ligera formación de enlaces cruzados entre las cadenas.

El proceso de síntesis de estos se inicia con la producción de cadenas largas, en donde los átomos se unen con enlaces covalentes. El número y la resistencia de los enlaces cruzados le confieren a cada tipo sus propiedades especiales, pero es importante señalar que las diferencias entre estos tipos de polímeros a menudo son muy sutiles.

1.3.1.1 Características del Polipropileno.

Se le considera un material sumamente versátil, atiende necesidades de mercados como los de fibras, rafias, productos inyectados de uso general, además de aquellos subproductos destinados a conformar piezas para automóviles o de aparatos eléctricos.

El Polipropileno (PP) está considerado dentro de las matrices del tipo termoplástico, su fórmula química es C_3H_6 . Estructuralmente es un polímero vinílico, lineal (y cristalino), similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo.

El polipropileno se puede fabricar a partir del monómero propileno, por catalizadores Ziegler-Natta y por polimerización catalizada de metallocenos.

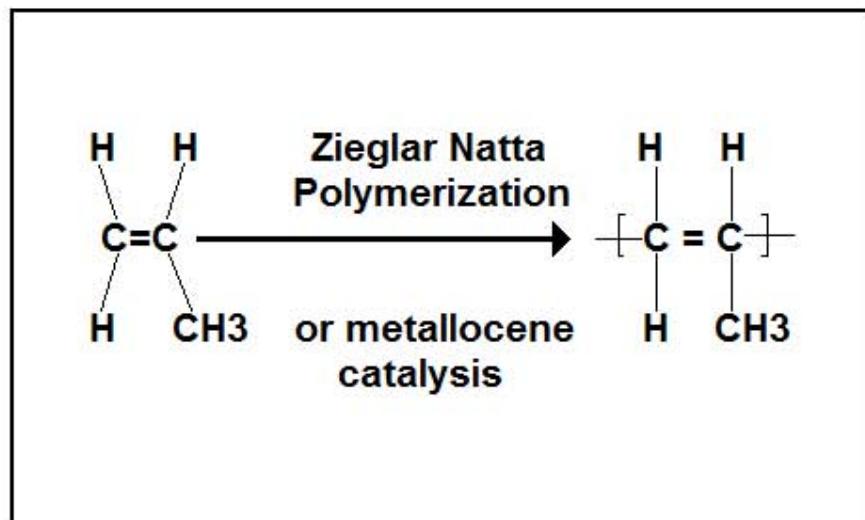


Figura 1.4. Polimerización del Polipropileno.

Puede clasificarse ampliamente como homopolímero (cuando todas las unidades monoméricas de la cadena son del mismo tipo), o como copolímero (que es cuando se pueden formar cadenas de dos o más unidades monoméricas).

El homopolímero polipropileno tiene una dureza y una resistencia térmica superiores a las del polietileno de alta densidad, pero una resistencia al impacto inferior y se vuelve frágil por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; además de tener una temperatura de transición vítrea entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posee la capacidad de fundirse a una temperatura determinada (entre 180 y $210\text{ }^{\circ}\text{C}$), además

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

posee un comportamiento visco-elástico que proporciona ante los ensayos de tracción, compresión, flexión y torsión, resultados satisfactorios. Además no es afectado por compuestos inorgánicos en general, exceptuando obviamente a los oxidantes como el cloro y el ácido nítrico.

Es un material desarrollado también, bajo el manejo de un excelente control de calidad, brindando así una plena seguridad de uso en sus diferentes aplicaciones.

Las aplicaciones para los homopolímeros se dan en envolturas de aparatos eléctricos, embalajes, estuches de cintas, fibras, cordelería, para procesos de soplado, artículos domésticos y de oficina, etcétera. Su popularidad a partir de 1994 en México hace que este sea mucho más demandado que el polietileno de baja densidad.

Dentro del gran número de propiedades que maneja este material, deben destacarse unas que en especial son de mucha importancia:

Propiedades físicas

- La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.90 y 0.93 (gr/cm³).
- Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 (kg/cm²) (2.5 MPa), aplicada durante 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70 (°C).
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Tiene una excelente compatibilidad con el medio.
- Es un material fácil de reciclar.
- Posee alta resistencia al impacto.

Propiedades mecánicas

- Puede utilizarse en calidad de material para elementos deslizantes no lubricados.
- Tiene buena resistencia superficial.
- Tiene buena resistencia química, a la humedad y al calor sin deformarse.
- Buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

Es adecuado para una gran variedad de aplicaciones en diferentes sectores, y marca una base ante los materiales del futuro, además de suponer una alternativa, mucho más económica. Debido a esto, el empleo de este material está creciendo, gracias en gran parte, al desarrollo de nuevos y mejores productos.

Se le procesa por inyección, extrusión, moldeo, compresión y termoformado; compite tanto con materiales baratos como con otros de mayor costo como los metales y las fibras naturales.

Tabla 1.4. Características básicas del polipropileno, trabajando a condiciones estándar.^j

CARACTERÍSTICAS MECANICAS A TEMPERATURA AMBIENTE DEL POLIPROPILENO.						
Densidad [gr/cm ³]	Módulo elástico [psi E ⁵ (MPa E ²)]		Resistencia a la tracción [psi E ³ (MPa)]		Alargamiento a la rotura (%)	Resistencia al impacto (ft.lb _r /in)
0.9-0.91	1.6-2.3	(11-16)	4.5-6.0	(31-41)	100-600	0.4-1.2

La elevada versatilidad del Polipropileno en los procesos de transformación, tanto de extrusión como de inyección, explica la creciente demanda del material y su penetración en mayor número de aplicaciones esto debido a sus propiedades, “El consumo en México de Polipropileno en el proceso de inyección fue de casi el 30% del consumo total en plásticos en los 90’s, equivalente a 74,000 toneladas”^k, situación que en conjunto con las propiedades que presentan fueron factores para que se haya decidido utilizar este material en el presente trabajo.

Enfocándonos en aplicaciones determinadas del Polipropileno, éstas se dirigen en los siguientes sectores:

- Transporte: Paneles, componentes exteriores y baterías.
- Empaque: Principalmente tapas.
- Eléctrico-electrónico: Partes de interruptores y aparatos electrodomésticos.
- Muebles: Partes de asientos para oficina y sillas de jardín.
- Consumo: Cubiertos, macetas, recipientes para comida, jeringas desechables y muchos otros.

^j. Ibidem p. 7.

^k. Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI. ***Inyección de Plásticos, Curso Teórico Práctico***, Edit. Centro Empresarial del Plástico.

El problema del Polipropileno y de los plásticos en general radica en que siendo hoy por hoy la mayoría de ellos derivados de aceites fósiles contribuyen significativamente a la creación del efecto invernadero. Aunque muchos plásticos pueden ser reciclados de un modo u otro, existe una cantidad máxima que los limita y con ello el que ya no se puedan reprocesar.

Por otro lado, muchos de los plásticos desechados no desaparecen del entorno. Se estima que una botella de plástico perdurará durante más o menos 200 años, y por consiguiente, los depósitos de desechos no podrán acoger semejante cantidad por mucho tiempo.

Por esta razón se están desarrollando nuevas e imaginativas soluciones como los plásticos que utilizan refuerzos de fibras naturales o recientemente los biodegradables.

CAPÍTULO 2

REFUERZOS NATURALES Y PROCESO DE INYECCIÓN

2.1 REFUERZOS NATURALES, FIBRAS.

Hoy en día el interés y preocupación de la tecnología por conseguir nuevos materiales nos inclina a la búsqueda de aquellos que nos ayuden a mejorar las propiedades de otros mediante una combinación adecuada.

Es por ello que muchas investigaciones se inclinan a la elaboración de productos plásticos con refuerzos de fibras naturales, pero, ¿qué son las fibras?, ¿Cuáles son las más utilizadas?, a continuación, se dará respuesta a estas inquietudes.

Las fibras (no importando el tipo) se conocen como estructuras unidimensionales, largas y delgadas, aunque en ocasiones esta última característica no se cumple del todo. Algunas se doblan con facilidad (aunque otras no como es el caso de la fibra de vidrio) y su propósito principal es la creación de tejidos; por lo general, tienen un grado elevado de cristalinidad y fuerte interacción entre las estructuras, tejidos o cadenas que los forman, las cuales encuentran una orientación que permite el incremento de las fuerzas de tensión cuando se les somete a condiciones de aplicación de carga. Comúnmente poseen una longitud muy superior a su diámetro, además de estar orientadas a lo largo de un solo eje.

Las fibras pueden dividirse en tres clases: de origen vegetal, de origen animal y de origen mineral; sin embargo para el caso de estudio nos inclinaremos por las fibras de origen vegetal, ya que como nuestro refuerzo dentro del compuesto es de este tipo se consideró únicamente hablar respecto a ellas.

2.1.1 Fibras de Origen Vegetal.

Las fibras vegetales son principalmente de celulosa, que a diferencia de las proteínas que poseen las fibras de origen animal, son resistentes a los álcalis. Estas fibras son las que protegen a la planta de la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes si las afectan considerablemente, la utilización incorrecta de blanqueadores puede debilitarlas o destruirlas.

Desde la forma de su estructura, las fibras vegetales se clasifican en cuatro tipos principales. En primer lugar las fibras de semillas, que forman el pelo suave que envuelve las semillas de algunas plantas. El segundo tipo es el de las fibras de liber (las cuales son fibras fuertes que crecen entre la corteza y el tallo de muchas plantas dicotiledóneas). Las fibras vasculares son las fibras que se pueden hallar en las hojas y en los tallos de las monocotiledóneas, y el cuarto tipo es el constituido por los tallos completos de algunas gramíneas.^{*1} Las especies que aportan el mayor volumen de fibras a nivel mundial se clasifican en:

- **Abacá**, Cáñamo de Manila: Utilizado en la fabricación de cordeles y revestimientos para cables telegráficos.
- **Algodón**: Elaboración de hilos y telas. De la semilla se extrae aceite para alimentos.
- **Cáñamo**: Se utiliza en la manufactura de cordeles, la estopa se usa para empaques.
- **Apocia**: Utilizada para la producción de cordeles gruesos y materiales para costal.
- **Lino**: Sus fibras son materia prima para la textilería, de la semilla se obtiene aceite para pintura sobre óleo.
- **Ramio**: Sus fibras se utilizan para producir hilazas y cuerdas gruesas, cables, cordeles; aislamiento de cables, tuberías para incendios, redes para pesca y bandas industriales.
- **Sisal**: Se utiliza para elaborar cordelería marítima, por la acción de resistir el agua salada.
- **Yute**: Por sus propiedades de flexibilidad y brillo, se utilizan en el tejido de alfombras, telas para muebles y cortinas.
- **Fique**: Se usa para elaborar cordeles, redes, sacos, alfombras y adornos.

La utilización de este tipo de fibras tiene sin duda un gran atractivo económico, debido a sus bajos costos, pero su aplicación para la fabricación de diversos productos también tiene implícita una serie de ventajas y desventajas que deben ser consideradas desde el momento del diseño hasta las condiciones bajo las cuales va a ser manufacturado el producto, tales ventajas y desventajas se presentan en la tabla siguiente:

*1 <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-fibras%20naturales.htm>

Tabla 2.1. Ventajas y Desventajas de la utilización de fibras naturales.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fibras de baja densidad, ayudan a generar compuestos más ligeros	No se pueden usar a temperaturas altas por periodos largos de tiempo, ya que se degradan
Amplia variedad de fibras para su selección y uso	Su uso se restringe a ciertos polímeros, los cuales no deben emitir gases ni vapores peligrosos.
No son corrosivas	Absorben gran humedad, y pueden generar vapores que formen porosidades.
Debido a que se generan en grandes cantidades, se usan en igual proporción y dan compuestos de mejores propiedades.	
Son de fácil reprocesamiento	
Se degradan en menor tiempo	
Bajo costo.	

Las fibras de origen vegetal han adquirido innumerables aplicaciones en los últimos años, principalmente en la industria del papel. El algodón y el lino son la base de algunos papeles rugosos de calidad, mientras algunas gramíneas, como el Cañamo, el Yute y el Cañamo de Manila se utilizan para fabricar papeles de embalaje y otros de menor calidad. El papel de los periódicos y el papel de tipo Kraft se manufacturan de madera tratada químicamente con fibras de madera y bagazo de Caña de Azúcar y mediante un proceso similar al de la fabricación del papel, se obtienen tableros para la construcción, además de otro tipo de productos como bases para mesa, perfiles, láminas, hasta componentes que pueden ser utilizados en el sector automotriz.

Una vez que se tiene referencia acerca del origen y características de las fibras naturales, los usos de éstas para reforzar materiales poliméricos se están inclinando hacia los grandes avances tecnológicos y de investigación en la fabricación de estos compuestos, entre los que destacan:

- Polietileno y Polipropileno reforzados con madera.
- Polímeros biodegradables con fibras de algas.
- Compuestos con fibra de palma.
- Compuestos de PVC y SAN con fibras de henequén.
- Compuestos de matriz de polipropileno con fibras de aserrín de eucalipto.
- Compuestos formados por una matriz acrílica.

A continuación se mencionarán algunos de los más sobresalientes:

2.1.2 Compuestos de Rastrojo de Piña.

El Laboratorio de Polímeros-POLIUNA de la Universidad Nacional, en Costa Rica y el Laboratorio de Adhesión y Adhesivos de la Universidad de Alicante, España, desarrollaron un trabajo para reforzar resinas de poliéster con rastrojos de piña; en este proyecto se prepararon materiales compuestos con fibra de distinta longitud, y con diferente porcentaje de la misma, el objetivo fue realizar la evaluación de las propiedades del compuesto a través de la densidad, resistencia a la ruptura por tensión, flexión y energía de impacto. De estos estudios se observó una mejora en la resistencia a la ruptura por tensión, con valores cercanos a los 20 (MPa).

A su vez se realizó el análisis de la interfase entre la fibra y la matriz por microscopía electrónica de barrido (SEM), lo cual dio como resultado que no existe una buena adhesión entre la fibra y la matriz. Sin embargo, “se encontró que esta adhesión puede ser incrementada por el aumento en la presión de moldeo durante la preparación del material”.^{*m}

Algo importante de destacar en este trabajo es que los porcentajes que son utilizados solo llegan al 20% (porcentaje en masa), aunque utilizan variaciones de longitud entre 0.05 y 1.5 (mm), además de que el proceso de fabricación fue muy “rudimentario” ya que se formaron láminas con una mezcla “la cual se vertió sobre el molde y se dejó curar por un período de dos horas a temperatura ambiente”.^{*n}

Sin embargo, las pruebas se elaboraron bajo las normas ASTM, lo cual puede ser considerado como condiciones satisfactorias para una mejor obtención de resultados, los cuales presentaron una mejoría de acuerdo a lo expresado en el artículo en comparación con los datos que tenían de las resinas de poliéster, aunque no presentan los datos de este último.

^{*m}. Quesada-Solis K, Alvarado-Aguilar P., et al. ***Utilización de las Fibras de Rastrojo de Piña como material en resinas de Poliéster.*** Laboratorio de Polímeros-POLIUNA, Universidad Nacional. Costa Rica. Laboratorio de Adhesión y Adhesivos, Universidad de Alicante, Revista Iberoamericana de Polímeros, Volumen 6(2). España, 2005.

^{*n}. ídem.

Tabla 2.2 Propiedades físicas y mecánicas del compuesto resina poliéster y rastrojo de piña.*o

ENSAYO VALOR	
Densidad aparente (g/ cm ³)	1,19 ± 0,01
Fuerza de tensión (MPa)	16,1 ± 0,5
Módulo de Young (MPa)	89 ± 6
Fuerza de flexión (MPa)	122,4 ± 0,3
Energía de impacto (J/m)	9 ± 1

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 2.2, es notoria una mejoría ya que existe un aumento en el Módulo del compuesto en comparación con el de la matriz por si solo, lo cual indica que hay un mayor almacenamiento de energía por parte del compuesto para soportar esfuerzos.

*o. ibidem 25.

2.1.3 Plásticos Reforzados con Madera.

Sin duda, la madera por sí sola representa uno de los compuestos más interesantes para ser analizados, sin embargo y a pesar de que existen muchos estudios y experimentos con plásticos reforzados con madera. De acuerdo con las investigaciones, estos materiales presentan ventajas significativas frente a la madera por sí sola, “pues además de ser más livianos, son más resistentes a la humedad, tienen una mejor estabilidad dimensional, son resistentes a insectos y microorganismos”, y por esto mismo, requieren menos mantenimiento. Sin embargo, algunas propiedades mecánicas de la madera siguen siendo insuperables.*^p

Hoy en día se hacen investigaciones encaminadas a desarrollar materiales compuestos de plástico y madera en América Latina, algunas tan sólo a nivel experimental y otras ya a punto de llevarse a cabo en el proceso productivo.

Un ejemplo de ello es el caso del proyecto en el que participa la empresa brasileña Industria Madeireira Uliana Ltda., dedicada al procesamiento de madera, que desde hace algunos años, en un esfuerzo por darle valor agregado a sus desechos, comenzó a trabajar en un proyecto para la fabricación de este tipo de materiales. La iniciativa, fomentada por el gobierno brasileño a través del IBAMA (Instituto Brasileño de Ambiente y Recursos Naturales Renovables), está a punto de dar frutos. En este momento, Uliana, junto con otras tres compañías, Indusparquet Ltda., empresa maderera, y PoliBrasil S.A e Interject Ind. y Com. de Plásticos Ltda., empresas que trabajan con resinas termoplásticas, planean crear una nueva compañía para fabricar probablemente perfiles extruídos e ingresar sus productos al mercado norteamericano y europeo.

Un proyecto similar se lleva a cabo en Chile, donde se están realizando las negociaciones para construir una planta de gránulos de material compuesto de madera y plástico con una capacidad de 800 (Kg/h). El desarrollo de la tecnología fue realizado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción.

*^phttp://www.plastico.com/pragma/documenta/plastico/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOSREPORTAJESHOME/doc_41542_HTML.html?idDocumento=41542.

A partir de iniciativas que comenzaron en el año 2000, este Instituto está a punto de lograr sus objetivos; dentro de las aplicaciones que se han considerado están estructuras en contacto con el agua, especialmente agua de mar, además, se está evaluando con el ministerio chileno la posibilidad de la fabricación de componentes para fabricar muelles pesqueros, cubiertas, estructuras soportantes, barandas y otros componentes más sofisticados, como partes de buques o partes para el cultivo de salmón.

En Argentina, la Unidad de Madera del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, también ha trabajado en este tema. A partir de 1997, ambas partes trabajaron hasta alcanzar un nivel de planta piloto en la fabricación de placas que después se conformaban por presión y calor para obtener productos finales con una forma determinada, los resultados fueron la obtención de una familia de materiales, con distintas propiedades, densidades, componentes, propiedades mecánicas, y en consecuencia con distintas posibilidades y utilidades. Algunas de las aplicaciones evaluadas estuvieron ligadas al área de la construcción, como cerramientos internos, puertas, tejas, techos, pisos y otras aplicaciones agrarias, como posters y carterería. Este proyecto concluyó la etapa piloto y actualmente se encuentran en el proceso de conseguir la financiación para pasar a una etapa industrial.

Existen muchos otros casos de investigación sobre la elaboración de materiales compuestos de resinas plásticas y madera. En Colombia por ejemplo, en la Universidad de Los Andes, se ha trabajado no sólo con aserrín sino con otro tipo de fibras ligno-celulósicas. También, en la Universidad de San Francisco en Brasil, se han llevado a cabo investigaciones en este tema con muy buenos resultados.

Algunos datos importantes de destacar en estos han sido la reducción de costos del material compuesto, pues para obtener precios competitivos se debe optimizar la concentración de madera en altos niveles, más allá del 50% (porcentaje en masa). De igual forma se debe tener en cuenta que al contar con una concentración considerable de madera, la viscosidad del material aumenta, lo que hace que éste fluya menos, y los procesos se deben adaptar.

2.1.4 Polipropileno Reforzado con Sisal.

Este fue un estudio realizado por la Dirección de Tecnología del Centro Tecnológico Repsol y el Departamento de Física y Polímeros del Instituto de Ciencia y Tecnología en Polímeros de Madrid España, en donde se realizó un compuesto de matriz de Polipropileno y refuerzo de fibras de Sisal, y al igual que en los casos anteriores, se logró la presencia de composiciones en porcentajes masa y longitudes variadas de las fibras, el proceso es muy similar al del estudio del compuesto de rastrojo de piña, una cantidad de matriz que fue mezclada con las fibras para posteriormente formar láminas por “compresión de discos calientes”^{*q}; se hizo también una observación bajo microscopía electrónica para observar el comportamiento de la interfase.

Los resultados presentan una mejoría en propiedades térmicas cuando el tamaño de fibra es mayor, aunque “a mayores tamaños de fibra presentaron una reducción en la dureza Rockwell R, pero un aumento en la Rigidez y en el Módulo de flexión”^{*r} y algo importante a destacar es la buena adhesión entre la matriz y el refuerzo de fibras.

* **Sisal:** Fibra proveniente del agave (familia de las Agaváceas) muy similar al henequén; se utiliza para elaborar cordelería marítima, por la acción de resistir el agua salada además de gran flexibilidad y resistencia mecánica.

*q. J. M. Arribas, F.J Gómez, et al. **Compuestos de Polipropileno con fibras Naturales.** Dirección de Tecnología del Centro Tecnológico Repsol y el Departamento de Física y Polímeros del Instituto de Ciencia y Tecnología en Polímeros de Madrid, Revista de Plásticos Modernos, Vol.88, no. 582, España, 2004.

*r. Ídem.

2.1.5 Fabricación de Tableros Aglomerados con Partículas de Caña Brava.

Este proyecto se realizó en El Laboratorio Nacional de Productos Forestales en Venezuela, como una alternativa para el desarrollo de alternativas que ayuden a disminuir la presión sobre los bosques naturales debido al tipo de especies maderables que se tienen en ellos y que por el contrario se incorporen nuevas especies que sean no comerciables, gramíneas como esta de caña brava, que cuentan con características semejantes que las maderables, para aplicarlas en los mismos sectores industriales, como la industria de la mueblería. En este proyecto se desarrollaron tableros de partículas de caña brava con matriz de resina urea-formaldehído, esto se elaboró a porcentajes de 10 y 13% de resinosidad, para una vez fabricados éstos, cortar muestras para ensayos mecánicos.

Los resultados obtenidos de ello fueron comparados con normas venezolanas para verificar si los tableros podrían ser utilizados o no como sustitutos de madera. Los resultados de su investigación mostraron que los tableros de resinosidad 10%, tienen propiedades inferiores a las exigidos por las normas, presentando buena consistencia y agradable apariencia física, similar a los tableros de resinosidad 13%, permitiendo inducir su uso en la fabricación de artesanías y cerramientos internos.

A fin de aumentar la calidad de los tableros en el tiempo hicieron recomendaciones acerca de la aplicación de algún tratamiento que impida la absorción de humedad y de agentes químicos, ya que aquí es donde se presentaron los resultados más desfavorables. Sin embargo el desarrollo de este proyecto es una alternativa firme en Venezuela y ya se están corrigiendo problemas y buscando aplicaciones comerciales sustentables.*s

La caña Brava es parte de la familia de las gramíneas, perteneciente a la clase de las monocotiledóneas del género **Gynerium Sagittatum extraída del bosque natural tropical en Venezuela; la diferencia entre este tipo de caña para la extracción del bagazo utilizado en este trabajo es la variedad, ya que aunque pertenecen a la misma familia, la fibra extraída proviene del Género **Sacchurum Officinarum**.*

**Resinosidad: Porcentaje de Urea-formaldehído agregado al compuesto.*

*s.http://www.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubeelectronicas/revistaforestal/vol43-2/articulo43_2_1.pdf.

2.1.6 Otros Proyectos

Hoy en día se están desarrollando nuevas tecnologías con respecto a la fabricación de estos compuestos, como en Michigan State University, East Lansing, en donde se elaboraron compuestos de diferentes fibras naturales tanto maderables como no maderables incluyendo al bagazo de caña, en donde encontraron aplicaciones para la industria automotriz y dieron por hecho de que a pesar de utilizarse en compuestos con matriz plástica pueden ser reprocesados y sustituir así a otros compuestos inorgánicos; sin embargo, ellos puntualizan en la necesidad de un mayor desarrollo de la tecnología para la agricultura en los Estados Unidos, (el artículo no cuenta con datos específicos de los resultados).

Es interesante ver que en México también se empiezan a desarrollar este tipo de materiales, en la Universidad de Guadalajara U de G se desarrolla el proyecto de Compuestos Base Madera y Agrofibras, en donde su línea de investigación se inclina por estudiar materiales como los tableros aglomerados de partículas y de fibras, tableros contrachapados, tableros enlistonados y la combinación de materiales fibrosos lignocelulósicos con polímeros. Esta Institución lleva a cabo trabajos enfocados al conocimiento y aprovechamiento de materias primas para la manufactura de materiales compuestos, con especial énfasis en la utilización de residuos municipales, industriales y agrícolas, así como la evaluación de sus propiedades tecnológicas con el objetivo de conocer su calidad y usos potenciales.

Además esta universidad tiene otros proyectos tales como la fabricación de un material compuesto de partículas de bagazo de caña y plástico residual, con la finalidad de caracterizarlo físico-mecánicamente, aunque es importante mencionar que en este caso la matriz es un polietileno de alta densidad; y en otro estudio desarrollarlo pero con matriz de polietileno y llanta triturada, en donde el objetivo sigue siendo la caracterización del material.

2.2 EL PROCESO DE INYECCIÓN.

2.2.1 Importancia de la fabricación de productos hechos a base de Plásticos.

Hoy en día resultaría difícil imaginar que en nuestra vida diaria no existieran los productos hechos a base de plásticos, botellas para beber agua, recipientes para guardar alimentos, objetos para transportar alimentos, etc.; con el solo hecho de observar a nuestro alrededor nos damos cuenta de la importancia y funcionalidad que tienen los productos hechos de plástico, esto nos llevaría a entender el porque de su importancia para el desarrollo económico a nivel mundial de estos materiales.

Tal importancia la observamos en los índices de crecimiento que desde principios de siglo, superan a casi todas las demás actividades industriales y grupos de materiales. “En 1990 la producción mundial de plásticos alcanzó los 100 millones de toneladas y para el año 2000 llegó a 160 millones de toneladas”. *t

En el año 2000 el Proceso de Inyección de Plásticos ocupó el segundo lugar en importancia en cuanto al consumo de plásticos en el mercado internacional y el segundo en el mercado de consumo mexicano (por debajo del proceso de extrusión), esto último respecto al número de máquinas existentes en el país. *u

*t. <http://www.monografias.com/trabajos13/plasti/plasti.shtml>.

*u. Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI. ***Enciclopedia del Plástico***, Edit. Centro Empresarial del Plástico. 2ª ed., Volumen 3, México 2000. 435 pp.

Los plásticos seguirán creciendo en consumo pues debido a sus propiedades y su relación costo-beneficio (ya que no necesitan en muchos casos, un proceso de acabado, los costos de producción no son elevados, y esto permite venderlos en grandes cantidades) puede competir con mercados como el del vidrio, papel y metales. Sin embargo, como se sabe, México es un país exportador de petróleo y ello no le ha permitido hasta ahora desarrollar un mercado potencial en cuanto a la fabricación de productos hechos a base de plásticos y a pesar de que este recurso es un buen negocio hoy en día, si se agrega valor, se podrá convertir en un negocio muy redituable y con alto impacto en la economía mexicana.

Actualmente, México es el cuarto productor mundial de petróleo, con alrededor de un millón de barriles diarios.*^v Esta producción podría alcanzar mayores utilidades convirtiéndose en productos petroquímicos y plásticos. Esta razón fundamenta el porqué muchos países industrializados, a pesar de no contar con petróleo en sus respectivos territorios tiene altos ingresos de divisas. Además, dentro de los petroquímicos, las fibras y las resinas representan el mayor valor económico en México, comparado con el volumen de fertilizantes, donde su costo de producción es muy alto y su utilidad muy baja.

*v. idem p 32.

2.2.2 Moldeo por Inyección.

A pesar de que el proceso de inyección no alcanza volúmenes tan altos como el proceso de extrusión (considerado hasta 1993 como el más importante) su importancia se fundamenta en la diversidad de artículos que se pueden producir y en la diversidad de mercados que alcanza, se fabrican hoy en día artículos como cucharas desechables, plumas, tapas, hasta engranes de ingeniería o piezas complicadas para implantes quirúrgicos, objetos del tamaño de un botón, así mismo tarimas de embalaje, defensas de automóviles, etcétera, esto sin contar con las innumerables utilidades que día a día van surgiendo para estos productos.

Debido a que el objetivo de nuestro estudio se inclina por la obtención de materiales compuestos de polipropileno y fibra de bagazo de caña “por medio del proceso de Inyección” solo nos inclinaremos por hacer una descripción de éste.

La justificación de porqué utilizar este proceso es simple, es el más utilizado para procesar termoplásticos por sus bajos costos y la calidad en las piezas finales, además de que el compuesto que se va a desarrollar, está pensado para conformar productos de uso doméstico y alta producción y el moldeo por inyección es el que garantiza esta fabricación.

2.2.2.1 Fundamentos del Proceso de Inyección.

En palabras simples, la inyección es un proceso en el que un polímero es llevado a una cierta temperatura en donde alcanza un estado plástico para hacerse fluir bajo alta presión dentro de una cavidad donde solidifica en un tiempo relativamente corto y después de ello se obtiene una pieza de cierta geometría. Todo este proceso puede durar entre 10 y 30 segundos lo que lo hace muy rápido, pero, debido a la complejidad de algunas piezas o por el tamaño de las mismas este periodo conocido como CICLO puede llegar a durar tanto como 60 segundos. Es importante mencionar que la versatilidad del proceso nos puede llevar a tener moldes con varias entradas de material, lo que permite la obtención de más de dos piezas en un solo ciclo.

Los moldes son una de las herramientas primordiales en el proceso y pueden representar sin duda el mayor costo del proceso (aunque debido a las altas producciones es redituable), sin embargo con un buen diseño de los mismos se pueden obtener piezas de alta complejidad.

Una buena pieza inyectada se consigue si se tiene en el momento un conjunto correcto entre máquina, molde y por supuesto material, este último no permite un óptimo procesamiento si:

1. La máquina no se adapta por sus insuficientes posibilidades de regulación.
2. La máquina no ha sido ajustada de forma adecuada.
3. No se han tomado en cuenta las características del molde.
4. No se están considerando las especificaciones del proveedor para el manejo del material.

Una máquina constructiva y que técnicamente cuenta con variadas posibilidades de mando y regulación así como altos rendimientos, no puede alcanzar una eficiencia máxima si:

1. El o los moldes no fueron proyectados de forma correcta.
2. Los parámetros de la máquina no han sido controlados.
3. El material no se ha trabajado de acuerdo a las recomendaciones del proveedor.

También es importante mencionar que el tener un buen molde radica en la buena adaptación que este tenga respecto a:

1. Observación de una buena contracción.
2. Una observación de la cantidad de unidades y canales de fluencia, que se encuentren correctamente distribuidos.
3. Adaptación a la máquina, tal como la distancia entre columnas, tamaño del plato de máquina, posibilidades de sujeción, diámetros admisibles del molde, etc.

En cuanto a las máquinas de inyección estas han evolucionado a partir de la fundición de metales en dados, y hoy en día vemos máquinas con controladores por medios electrónicos, manipulados por tarjetas PLC's y servomotores. En la figura 2.1 observamos una máquina básica de inyección de plásticos.

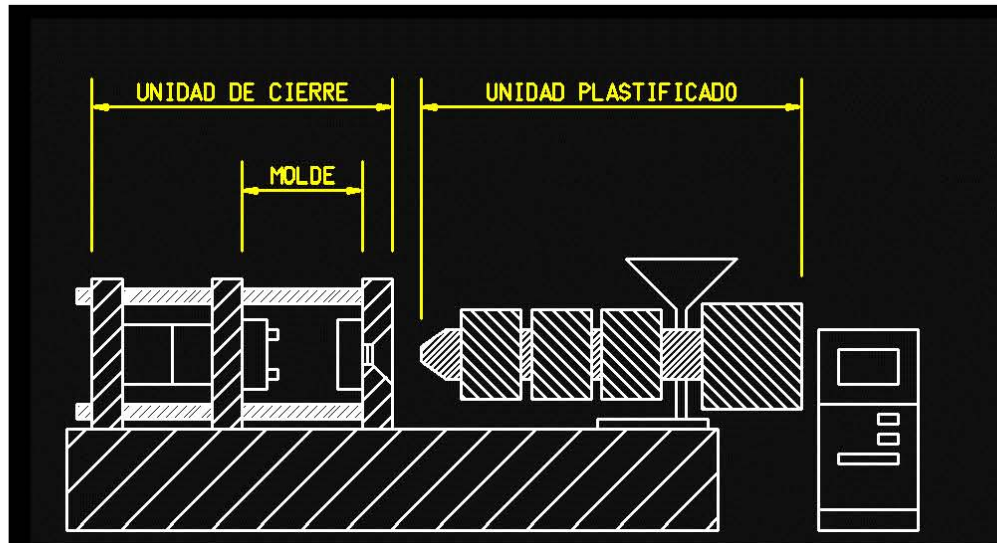


Figura 2.1. Máquina Básica de Inyección.

2.2.2.2 La Máquina de Inyección.

La evolución del Proceso de inyección se enfoca más por los cambios que han sufrido las máquinas a lo largo de los años, sin embargo estas máquinas siguen estando conformadas por dos partes fundamentales:

- La unidad de inyección del plástico o plastificadora.
- La unidad de sujeción o de cierre.

En la primera, se cuenta con un sistema constituido por un cilindro o cañón conectado en un extremo hacia una tolva de alimentación la cual se encarga de suministrar las provisiones de pellets de plástico. En el interior del cañón se encuentra un tornillo encargado de girar para mezclar y calentar el polímero, pero además de ello tiene la función de mover de manera rápida al plástico fundido hacia delante para ser introducido en el molde.

Encontramos también una válvula de retorno, ubicada en la punta del tornillo, esta tiene la función de reintegrar a su posición original, por ello al tornillo se le conoce como reciprocante.

Si sintetizamos las funciones de la unidad de plastificado encontramos: a) fundir al polímero y hacerlo homogéneo y b) transportarlo y depositarlo en la cavidad del molde.

La unidad de cierre está enfocada a la buena operación del molde, dentro de sus funciones encontramos:

- El mantener mediante guías, u otros dispositivos las mitades del molde alineadas de forma correcta, para evitar salidas de material y que la pieza quede defectuosa.
- Que durante el proceso el molde se mantenga cerrado, esto a través de la aplicación de una fuerza de sujeción suficiente para soportar la fuerza de inyección.
- De acuerdo al ciclo programado para cada pieza el molde abra y cierre en los momentos adecuados para la extracción de las piezas.

En la unidad de sujeción existen dos placas de las cuales generalmente una es móvil y la otra fija además de un sistema para accionar la placa móvil.

Hablando ya del ciclo de inyección de polímeros termoplásticos, se lleva a cabo de acuerdo a una secuencia muy básica:

- (1)** Colocación y sujeción del molde.
- (2)** Una cantidad de material fundido a temperatura y viscosidad determinadas, que se obtuvo por calentamiento y trabajo del tornillo, se inyecta a alta presión dentro del molde, en donde después de unos segundos se enfría y empieza a solidificar; para hacer que la pieza sea correcta, durante el enfriamiento se debe de mantener una presión del émbolo y evitar contracciones.
- (3)** Una vez terminado el proceso anterior el tornillo gira y se retrae con la válvula de retorno, para posteriormente permitir el flujo de una nueva carga de polímero y,
- (4)** El molde se abre y expulsa a la pieza.

El proceso se esquematiza en la figura 2.2.

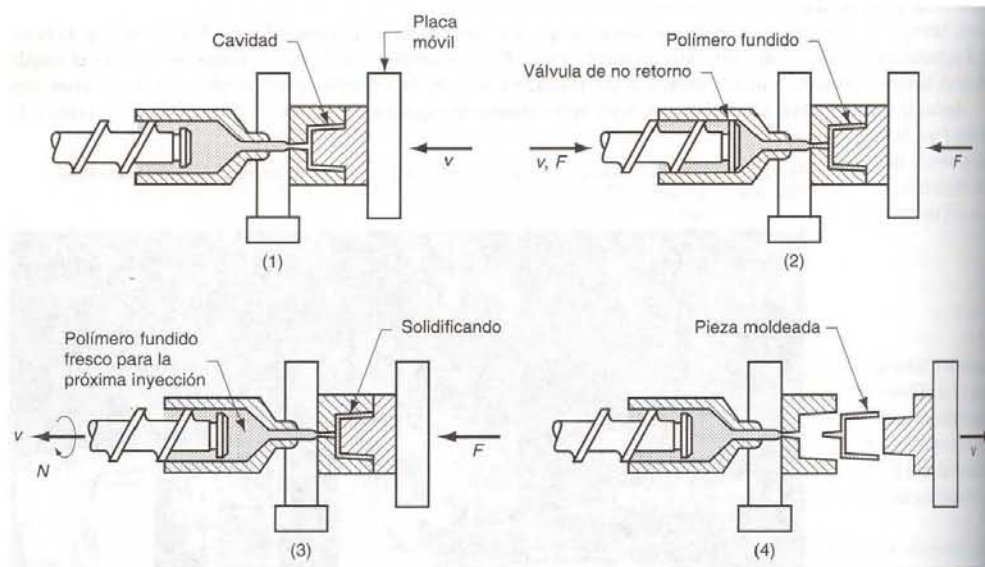


Figura 2.2. Esquema del proceso de Inyección.

2.2.3 Problemas en Piezas Procesadas por Inyección.

Es importante señalar que una vez concluido el proceso de moldeo por inyección es común la presencia de “imperfecciones” en las piezas y se deben tomar en cuenta éstas para su fácil identificación al momento de obtener la pieza final. Entre las más relevantes y sus posibles causas y soluciones tenemos:

- **Dificultad de extracción de la pieza del molde.** Sucede generalmente cuando los botadores no tienen la capacidad de eliminar a la pieza una vez concluido el proceso y esta se rompe o simplemente no sale del molde. Esto es observable si: a) Las piezas están demasiado frías, entonces se debe verificar la temperatura del molde. b) Hay un excesivo empaquetamiento del material, es necesario disminuir la presión de inyección. c) Puede haber defectos en el molde ya sea de acabado o de diseño, puede solucionarse esto con un recubrimiento superficial al molde, rectificar la superficie del molde o en última instancia cambiar el mismo. d) Material inadecuado, la pieza no está saliendo por que el tipo de diseño requiere un material con un índice de fluidez menor, por lo que se debería cambiar el material.
- **Acabado superficial deficiente de la pieza.** Este se presenta cuando las piezas tienen aspectos no deseados de acuerdo con el diseño previo, esto puede ser por varias circunstancias: a) El material

- entra frío al molde, por lo que se debe verificar el perfil de temperaturas para el material, la boquilla y el molde. b) El llenado del molde es muy lento, por lo que sería necesario aumentar el perfil de temperaturas como en el caso anterior o, en su defecto, aumentar la presión de inyección. c) Defectos en el molde por diseño, por lo que sería necesario verificar la configuración de los corredores y entradas para la pieza.
- **Burbujas internas en la pieza.** Las cuales se presentan como huecos internos dentro de las piezas; esto sucede si: a) El material en el molde impide una contracción producida por bordes o nervios; se recomienda aumentar la alimentación, el tamaño de la entrada o bien dar un pequeño incremento en la presión de inyección. b) Hay existencia de humedad en el material; aquí lo recomendable sería dar un secado adecuado del material antes de su procesamiento, o tener un correcto almacenamiento del mismo. c) Por la existencia de una temperatura desigual en el molde; por lo que se deben verificar los canales de alimentación para el enfriamiento del molde, que no se encuentren obstruidos.
 - **Ruptura o piezas con grietas.** Lo que puede ser un problema muy frecuente si: a) El molde está frío, se tiene que regular su temperatura y verificar que se mantenga más o menos constante. b) Excesivo empaquetamiento del material; esto sucede cuando la presión de inyección es demasiado alta y debe disminuirse.
 - **Rebaba:** Los cuales son excesos de material que durante el proceso de llenado salen entre las superficies del molde, este es un problema muy común y suele deberse a: a) Una alimentación excesiva de material, por lo que se debe disminuir la cantidad de carga de material. b) Por una elevada presión, o sobrecalentamiento del material, en dicha situación hay que reducir la presión de inyección y hacer una verificación del perfil de temperaturas del material, es importante señalar que este perfil siempre va en función del tipo de material con el que se está trabajando. c) Molde desajustado; generalmente hay un desfase entre los canales que unen a la placa móvil y a la placa fija, por lo que es necesario hacer una calibración del cierre del molde. d) Una baja fuerza de cierre, lo que genera que en el momento de la inyección las placas tengan una pequeña separación generando la rebaba, es muy importante conocer las características de la máquina y saber si la presión o fuerza de cierre que tiene es la indicada para la pieza que se desea inyectar, en el caso de que sea correcta, solo hay que aumentar esta fuerza.

- **Líneas de flujo:** Representadas por secciones ásperas y canales muy marcados en la pieza en una dirección determinada, la cual generalmente se presenta en forma de semicírculo; las razones de su presencia pueden ser variadas: a) Se tiene un molde muy frío, aquí se tiene que elevar la temperatura del molde y verificar los canales de enfriamiento. b) Se tiene una baja presión de inyección o el canal de alimentación está obstruido; debe incrementarse la presión de inyección y hacerse una limpieza de la entrada de la boquilla de alimentación del molde. c) No está existiendo una dosificación adecuada, aquí se puede aumentar esta dosificación, hacer un aumento en la velocidad de inyección o en las revoluciones del husillo o bien aumentar el perfil de temperaturas.
- **Piezas incompletas.** Se presenta este problema cuando las piezas no llegan al 100% del volumen de llenado, este problema se genera por: a) Insuficiente carga de material, por lo que debe aumentarse el volumen de llenado o hacer un aumento de la presión de inyección. b) No hay temperaturas uniformes en el molde y/o el perfil de temperaturas no es el adecuado, es importante vigilar estos parámetros y monitorearlos para evitar estos problemas; también puede aumentarse un poco la velocidad de inyección del material o la dosificación.
- **No hay carga de material.** Se presenta cuando al hacer una inyección esta no es completa o simplemente no se lleva a cabo, las causas: a) La garganta de la tolva está obstruida, por lo que siempre es importante verificar que el material esté libre de cualquier tipo de basura o material ajeno a él, si es así hay que hacer una limpieza de la tolva y del canal de entrada del material. b) El perfil de temperaturas es bajo, esto sucede cuando no se saben las condiciones de procesamiento del material por lo que es indispensable conocer el tipo de material con el que se trabaja y las posibles temperaturas para la inyección.
- **Quemados y manchas negras en las piezas.** Estas son zonas en donde se concentran excesos de temperatura degradando al material y que éste, en consecuencia, genere una pieza de merma, esto se presenta cuando: a) Hay un valor muy alto en el perfil de temperaturas, con lo que se debe disminuir empezando por la boquilla, la que puede considerarse como mayor generadora de esta situación o bien hacer una limpieza del husillo. b) Salida de gases deficiente, generalmente se presenta en materiales con algún aditivo o químico extra y si los gases no se controlan generan dichas

quemaduras, por lo que se tendría que tener un sistema de eliminación de gases adecuado.

Como observamos, es importante tener en cuenta todos los problemas que se presentan al obtener productos por el proceso de moldeo por inyección, pero más importante aún es realizar la regularización del proceso antes de comenzar con una producción en serie para evitar la aparición de estos defectos y con ello generar datos erróneos en los ensayos mecánicos, ya que dependiendo el defecto que se presente, este puede tener cierta influencia en dichos ensayos y generar resultados no deseables.

Durante la presentación de los resultados sabremos si las piezas obtenidas presentaron estos problemas y como se llevó a cabo la optimización del proceso.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Dadas las razones expuestas en los capítulos anteriores, en este trabajo se desarrolló de manera mecánica un material compuesto de Polipropileno como base matricial identificación H700 marca DOW Chemical de alta densidad, del tipo homopolímero, con índice de fluidez 12 sin tratamiento químico previo. Como refuerzo se utilizó de fibra de bagazo de caña de 3mm de longitud y 0.05 (mm) de diámetro en promedio y deshidratada previamente en los laboratorios del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ) y proveniente de un ingenio azucarero del Estado de Veracruz.

Los ensayos Mecánicos empleados en este trabajo se realizaron bajo los requerimientos de las Normas de la **American Society for Testing and Materials** (ASTM) para materiales plásticos, esto por ser del tipo polímero la matriz utilizada en el compuesto y por ser el material con más presencia dentro del mismo.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE TRABAJO.

Para la obtención del compuesto deseado se elaboraron una serie de mezclas con los elementos que conformaron el compuesto, esta mezcla se realizó de forma manual sin la ayuda de máquina mezcladora alguna; cabe hacer notar que para una mejor obtención de resultados, la mezcla se hizo justo antes de procesar el compuesto, posteriormente se darán las cantidades exactas de los materiales a utilizar.

Antes de la elaboración de las mezclas, fue necesario realizar un control del proceso de inyección con una cierta cantidad de material virgen de Polipropileno, (éste se explicará a detalle más adelante) esto con dos objetivos principales:

- Hacer un control Previo del Proceso para únicamente hacer un monitoreo posterior y que con ello el proceso se llevará a cabo más rápidamente.
- No tener una merma excesiva de mezcla, para no hacer un gasto de material innecesario.

Para desarrollar el análisis de las propiedades del compuesto, se elaboraron dos procesos, a los cuales denominamos:

Método A: Proceso in situ. El proceso consistió en mezclar los elementos que integraron al compuesto sin la presencia de elementos extras como aditivos, alcoholes, o tratamientos con reactivos químicos; es importante mencionar que en el caso de las fibras, éstas solamente se sometieron a un proceso de secado, para evitar la presencia de los defectos de los que se habló en el capítulo anterior.

Método B: El cual se efectuó con los productos obtenidos en el método A, aquí el objetivo fue intentar reprocesar los productos bajo las condiciones iniciales, y con ello lograr una comparación más coherente al someter a las muestras a las pruebas mecánicas.

Una vez obtenidas las piezas se procedió a la realización de las pruebas correspondientes para hacer el análisis de las propiedades mecánicas del compuesto, con esto se obtuvieron los resultados de ambos procesos los cuales se compararon con las características del Polipropileno trabajado sin la presencia de fibras de refuerzo.

A continuación se efectuará la descripción detallada de cada uno de los pasos del proceso de obtención del compuesto.

3.1.1 Determinación de las Características de las Fases del Compuesto.

El conocer las características de las fibras fue sumamente importante, ya que como éstas representan el refuerzo o carga en el compuesto, las propiedades mecánicas de este pueden depender significativamente de la estructura que tengan estas.

3.1.1.1 Condiciones de Trabajo para el Bagazo de Caña.

- Las fibras fueron suministradas por un ingenio azucarero del Estado de Veracruz, como ya se mencionó, fueron obtenidas a partir de médula de bagazo de caña, la cual, previamente fue secada y molida en un molino de martillos y posteriormente separada del *parénquima*. A esta fibra no se le aplicó lavado o preparación superficial alguna.
- La fibra se clasifica como malla 30, de dimensiones promedio de 3mm longitud por 0.05mm de diámetro.
- Se sometieron a un proceso de secado por un tiempo de 24 hrs. a una temperatura que osciló entre 100 (°C) y 105 (°C) -esto por las variaciones que presentó la mufla-.
- No se le sometió a ningún otro proceso adicional, ni se le aplicó químico o aditivo alguno.
- La estructura que presentan las fibras en general es tipo maderable, con canales en sentido longitudinal a ellas.

3.1.1.2 Condiciones de Trabajo para el Polipropileno.

- Polipropileno H700 marca DOW Chemical de alta densidad, homopolímero.
- Índice de fluidez MFI 12.
- Este al igual que el bagazo de caña fue utilizado sin tratamiento químico o térmico alguno.

Propiedades que reporta el proveedor:

- Densidad 0.9 (gr/cm³).
- Esfuerzo a la fluencia 34.5 (MPa).

* **Parénquima.** *Células que forman uno de los tejidos fundamentales en la estructura de las plantas, es un tejido simple de poca especialización, formado por células vivas en la madurez, que conservan su capacidad de dividirse. Cumplen diversas funciones, de acuerdo a la posición que ocupan en la planta, presentando formas y contenidos celulares acordes.*

3.1.1.3 Cálculo del Porcentaje de Humedad y Proceso de Secado del Bagazo de Caña.

Uno de los aspectos más importantes que se tomaron en cuenta antes de someter a cualquier proceso las fibras de bagazo de caña fue el eliminar la mayor cantidad posible de agua que estas pudieran retener, ya que de acuerdo con los capítulos anteriores se pueden presentar problemas en las piezas finales al evaporarse esa agua, como la formación de poros, es aquí en donde radicó la importancia de eliminar cualquier exceso de agua que se pudiera presentar en las fibras.

Se sabe que cualquier exceso de humedad contenida en cualquier material se puede eliminar por métodos mecánicos, pero la eliminación más completa se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico^{*x}, y por considerarse este como el más sencillo se tomó la decisión de hacer la eliminación de agua con este proceso.

El secado se efectuó en una Mufla marca Lindberg de resistencias de grafito a una temperatura de oscilación de entre 100 (°C) y 105(°C), durante un periodo de 24 (hrs), para ello las fibras fueron depositadas en una caja de metal en cantidades determinadas, tabla 3.1, la cual muestra tanto la masa en húmedo como en seco de las cantidades conforme fueron entrando al horno de secado además del porcentaje promedio de eliminación de agua. Algunos de los aspectos fundamentales que se tomaron en cuenta para este proceso fueron:

- Que las fibras se sometieran a una temperatura que no las calcinara.
- Que en el horno se mantuviera la temperatura constante y sobre todo tener un control de ésta, ya que como el periodo de tiempo es considerable fue necesario mantener a las fibras sin fluctuaciones durante el tiempo establecido.

*x.<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#INTRO>

Tabla 3.1 Muestreo de las fibras para determinar la cantidad de humedad eliminada.

MASA HÚMEDA (gr)	MASA SECA (gr)	DIFERENCIA OBTENIDA EN PESO (gr)	PORCENTAJE DE HUMEDAD ELIMINADA (%)
362.3	335.9	26.4	7.28
369.96	352.15	17.81	4.81
336.11	308.44	27.67	8.23
319.36	304.63	14.73	4.61

Para verificar que no existían dichas variaciones importantes de temperatura durante el proceso de secado, fue necesario el realizar un control de la temperatura durante un periodo de 6 (hrs), para ello cada 30 (min) se hizo una medición de la temperatura dentro del horno con ello garantizamos que se sometiera a la misma temperatura a todas las muestras que secamos, no fue necesario prolongar el tiempo de monitoreo debido a que la temperatura no es muy alta y en este lapso se pudo controlar la misma y solo se llegó a una variación del 5%, la que consideramos aceptable. Una vez secas, las fibras fueron depositadas en recipientes metálicos, se cubrieron con papel aluminio y una tapa hermética de plástico para garantizar que no volvieran a absorber humedad y se conservaran secas hasta la elaboración de las mezclas para la inyección.

De este procedimiento se obtuvieron las siguientes muestras antes y después del secado, y con ello los porcentajes correspondientes de humedad eliminada:

Porcentaje de humedad eliminada (%)

$$= \frac{(\text{masa húmeda} - \text{masa seca})}{\text{masa húmeda}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de humedad promedio eliminada} = = \frac{(7.28 + 4.81 + 8.2 + 4.61)}{4}$$

= **6.23 %**

A pesar de que se retiró un porcentaje de humedad éste no fue suficiente ya que las piezas sufrieron algunas alteraciones, eso se discutirá más adelante.

En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran las fibras antes y después del secado, es interesante observar que no existe un cambio apreciable a nivel físico de las mismas, sin embargo el porcentaje de eliminación de humedad se reflejó en

la disminución de peso de las fibras de acuerdo con los datos observados en la tabla 3.1, aunque sería recomendable y mucho mejor que se eliminara mayor cantidad de agua.



Figura 3.1. Fibras de Bagazo de Caña.



Figura 3.2. Fibras después del secado.

3.1.2 Determinación de las cantidades de material a utilizar.

Para los métodos de prueba que se llevaron a cabo, tanto para el A como para el B, se utilizaron cantidades de material referidas al porcentaje volumétrico del compuesto, es importante señalar que de ahora en adelante las muestras se referirán en porcentaje de bagazo; de lo cual se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Porcentajes para las muestras.

PORCENTAJES VOLUMÉTRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MUESTRA	
Bagazo de caña (%)	Polipropileno (%)
0	100
5	95
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50

Únicamente se llegó hasta una mezcla intermedia, 50-50, por no tener la certeza del comportamiento que iba a tener el bagazo dentro de la máquina de inyección, ya que existía la posibilidad de que se presentará algún

problema dentro del cañón de la máquina por una sobresaturación de material (alguna fibra retenida o la generación de un tapón en la boquilla) que generará una presión excesiva en la misma.

Fue necesario determinar la densidad del bagazo de caña para obtener los porcentajes de masa con los que se realizaron las mezclas para la elaboración de las probetas, además obtener este valor fue necesario para determinar el espacio (en volumen) que ocupan dichas fibras dentro del nuevo material.

Para ello se tomaron dos muestras de bagazo en una probeta de 50 (ml) de capacidad, se midió el volumen que ocupaba el bagazo dentro de la probeta y posteriormente se pesaron las muestras en una báscula digital marca Adventurer (Capacidad 3100 (gr) y 0.01 (gr) de resolución) para determinar su peso, de este paso se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Muestras obtenidas para medir la densidad de las fibras de bagazo de caña.

MUESTRA	CANTIDAD DE BAGAZO [ml]	CANTIDAD DE BAGAZO [cm ³]	MASA EFECTIVA [gr]
a	16	16	1.6
b	21	21	2.01

$$\rho_a = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{1.6 \text{ gr}}{16 \text{ cm}^3} = 0.1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_b = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{2.01 \text{ gr}}{21 \text{ cm}^3} = 0.0957 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{Prom}} = \frac{0.1 + 0.0957}{2} = 0.0978 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Con este dato y con el de la densidad del polipropileno ($\rho = 0.91 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$) se calcularon matemáticamente los porcentajes volumétricos y en masa para las mezclas requeridas. Se partió de una base de 1.5 (Kg) de Polipropileno, porque consideramos esta cantidad suficiente para obtener un número aceptable de muestras; de acuerdo al ejemplo siguiente para la mezcla al 5% de bagazo, primero se determinó el volumen del 1.5 (Kg) de PP, posteriormente se tomó este dato como el volumen al 100% de la mezcla y con ello se calculó la masa por componente, de lo cual se obtuvo:

$$\rho_{\text{Bagazo}} = 0.098 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_{\text{Polipropileno}} = 0.91 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen de polipropileno} = \frac{\text{masa}}{\rho_{\text{polipropileno}}} = \frac{1500 \text{ gr}}{0.91 \text{ cm}^3}$$

Volumen de Polipropileno al 100% = **1648.53** (cm³) este es el dato que se tomó como referencia.

Al 100% en volumen del PP se tiene: Compuesto al 5% de fibra de bagazo de caña y 95% de matriz de polipropileno:

$$\text{Volumen bagazo} = 82.41 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen polipropileno} = 1566.1 \text{ (cm}^3\text{)}$$

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{Bagazo}} V_{\text{Bagazo}} \qquad m = \rho_{\text{Polipropileno}} V_{\text{Polipropileno}}$$

$$m = (0.098 \text{ (gr/cm}^3\text{)}) \times (82.41 \text{ (cm}^3\text{)})$$

$$m = (0.91 \text{ (gr/cm}^3\text{)}) \times (1566.1 \text{ (cm}^3\text{)})$$

$$m = \mathbf{8.07} \text{ (gr)} \qquad m = \mathbf{1425.151} \text{ (gr)}$$

En el Anexo 1 se muestran los cálculos correspondientes a la obtención de todas las mezclas.

De forma similar se obtuvieron las mezclas consecutivas y de la elaboración de estos cálculos se obtuvo la tabla 3.4, en donde se especifican todas las cantidades en masa que se utilizaron tanto de bagazo como de PP.

Tabla 3.4. Obtención del tamaño en peso de las muestras para el proceso de inyección.

PORCENTAJES EN MASA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS		
PORCENTAJE EN VOLUMEN (FIBRA-PP) (%)	FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA (gr.)	POLIPROPILENO (gr.)
0-100%	0	1500
5-95%	8.07	1425.151
10-90%	16.155	1350.146
20-80%	32.31	1200.129
30-70%	48.465	1050.094
40-60%	64.621	900.081
50-50%	80.0776	750.0675

De las figuras 3.3 a la 3.8 se presentan las cantidades de material de cada uno de los constituyentes del compuesto, se observa el incremento de cantidad de bagazo de caña conforme la relación va cambiando, sin embargo al llegar al 50-50 de la mezcla, no se observa un equilibrio a pesar de que la relación es intermedia, esto es consecuencia de que la densidad del bagazo es mucho menor con respecto a la del Polipropileno.



Figura 3.3. Bagazo al 5% - Polipropileno 95%



Figura 3.4. Bagazo al 10% - Polipropileno 90



Figura 3.5. Bagazo al 20% - Polipropileno 80%



Figura 3.6. Bagazo al 30% - Polipropileno 70%



Figura 3.7. Bagazo al 40% - Polipropileno 60%



Figura 3.8. Bagazo al 50% - Polipropileno 50%

3.2 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN.

Como se mencionó al principio de este capítulo antes de procesar las mezclas para la obtención de las probetas fue necesario “Optimizar el Proceso”, es decir lograr la obtención de piezas con características adecuadas –piezas completas, con una superficie lisa, sin contracciones, sin quemaduras, marcas de flujo o la presencia de otro defecto del proceso- y que solo se efectuará el monitoreo correspondiente al introducir las mezclas, dicha puesta a punto como también se le conoce se realizó con una cantidad de material virgen y en la Máquina de Inyección marca DEMAG 50 270 con las siguientes características:

- Capacidad de 50 (Ton) de Fuerza de Cierre.
- Presión de Inyección de 1890 (bar).
- Diámetro de husillo de 35 (mm).
- Carrera Máxima de dosificación de 150 (mm).
- Presión de apoyo en la boquilla de 66 (KN).
- Volumen desplazado de 144.3 (ccm).

Como el proveedor del Polipropileno no nos proporcionó datos acerca del procesamiento del material, los primeros parámetros se establecieron de acuerdo a la guía de plásticos de la Máquina DEMAG, de la cual se tomó el primer rango de temperaturas que osciló entre 160 (°C) y 200 (°C) en todas

las resistencias como se muestra en la tabla 3.5, tales temperaturas se establecieron de forma tal que el material pudiera fluir sin ningún problema de la salida de la boquilla a la cavidad del molde, que presentará una uniformidad en cuanto a coloración y que no sufriera algún tipo de quemadura.

Tabla 3.5. Control de Temperaturas durante el proceso de Inyección.

CONTROL DE TEMPERATURAS DEL PROCESO						
METODO	DH	MH3	MH2	MH1	EF	ACEITE
A	190	175	180	170	55	45
B	190	185	183	170	55	45

En la figura 3.9 observamos la distribución de las resistencias eléctricas dentro de la máquina de Inyección. Es interesante ver que esta distribución va en forma ascendente para permitir una mejor salida de flujo en la boquilla y con ello además evitar una posible degradación del material.

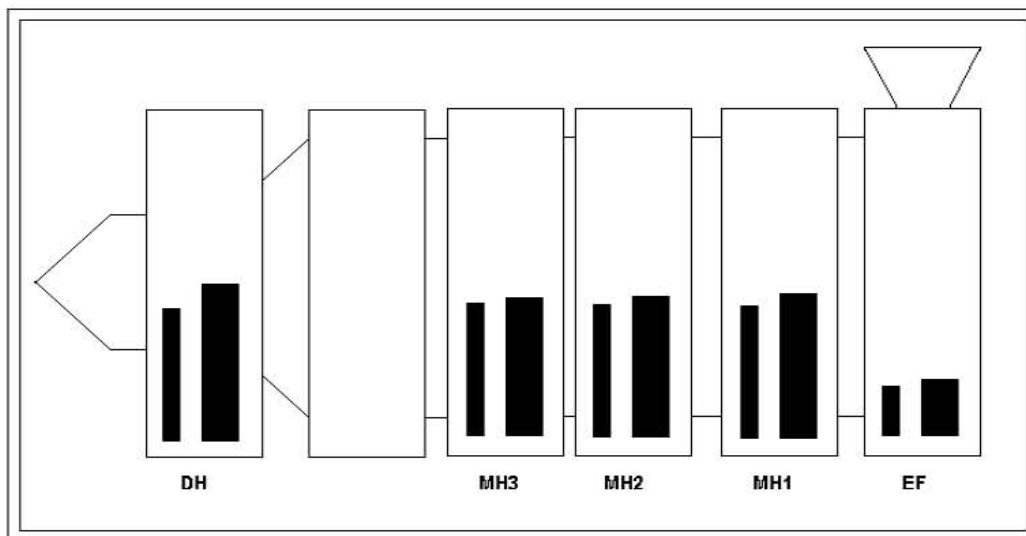


Figura 3.9 Esquema para el control de Temperaturas del Proceso de Inyección.

Se reguló la presión de Inyección hasta 1400 (bar), con ella se alcanzó un peso promedio de las muestras de 48 (gr), en un llenado de las piezas de un 95%; en este paso la presión posterior fue de 0 (bar), pero al obtener ya ese 95%, dicha presión se fue incrementando hasta 650 (bar) –a este se le denomina conmutación-, además de dar pequeños ajustes a la velocidad de inyección y las revoluciones del husillo para obtener un flujo de material

efectivo, con dicha metodología llegamos a obtener piezas completas con las características antes mencionadas y con un peso promedio de 54.83 (gr), pero es importante tomar en cuenta que el material no tiene refuerzo, por lo que se planteó la hipótesis de que dicho peso pudiera variar al ir introduciendo los porcentajes de bagazo, esto sucedió así ya que antes de obtener los parámetros antes mencionados se desecharon al introducir las dos primeras mezclas el proceso sufrió ajustes y una vez controlados se obtuvieron todos los datos antes mencionados.

En la tabla 3.6 observamos las condiciones una vez optimizado el proceso para ambos métodos, se puede ver que entre el método A y el B existen pequeñas diferencias en los parámetros, esto fue debido a que una vez reprocesadas las muestras del método A, las fibras redujeron su tamaño y por consiguiente hubo una compactación del material, sin embargo podemos decir que el cambio solo fue para obtener piezas completas ya que las otras características siempre fueron aceptables.

Tabla 3.6. Control del proceso de Inyección.

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN		
MÉTODO	A	B
Tiempo control de ciclo [seg]	30	30
Presión de Inyección [bar]	1400	1450
Velocidad de Inyección [mm/seg]	65	80
Tiempo de presión posterior [seg]	4	4
Presión Posterior [bar]	650	700
Tiempo de Enfriamiento [seg]	11	11
Revoluciones [mm/seg]	300	300
Retroceso[ccm]	55	55
Parada de dosificación[ccm]	55	55

3.3 MÉTODO A. INYECCIÓN CON MEZCLA IN-SITU.

Una vez determinadas las cantidades de las mezclas a realizar, se procedió al desarrollo del **Método A**.

El método se desarrollo de forma muy sencilla, primero cada uno de las fases del compuesto se depositaron en un recipiente de plástico, se colocó una cantidad de PP y posteriormente una de Bagazo, para en seguida hacer una premezcla manual y posteriormente agregar el resto de cada elemento y continuar mezclando hasta obtener una uniformidad, es decir, se trató de evitar que existieran concentraciones de bagazo en algunas zonas de la mezcla, ya que estas podrían generar tapones en la boquilla de la máquina, sin embargo esto no fue posible del todo, ya que como podemos ver en las figuras 3.10 a y b se pueden identificar algunos paquetes del refuerzo en diferentes sectores de la mezcla no importando la concentración.



Figuras 3.10 a y b. Mezclas Preparadas antes del proceso de Inyección, se aprecia la concentración de bagazo en ciertas zonas de la mezcla.

Una vez terminado este paso se procedió a introducir una por una de las mezclas dentro de la máquina, se tomó la decisión de que se fueran procesando en orden ascendente con respecto al porcentaje de bagazo, el cual se muestra en la tabla 3.7. Se introdujo la primera mezcla y se obtuvieron un número de piezas y posteriormente se hace la inyección de material virgen para limpiar el husillo, es importante mencionar que las probetas obtenidas en este paso se desecharon porque no entran en el

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.
proceso como tal; finalmente se colocó en la tolva de alimentación la mezcla siguiente y el proceso comenzó nuevamente.

Tabla 3.7 Orden de entrada de las mezclas de Material a la Máquina.

ORDEN DE ENTRADA A LA MÁQUINA	PORCENTAJE FIBRA-PP
1	5-95
2	10-90
3	20-80
4	30-70
5	40-60
6	50-50

Hay que considerar dos aspectos interesantes, el primero es que la inyección del material virgen solo cumplió con la función de eliminar la mayor cantidad de residuos posibles de la mezcla anterior y segundo, que las tres primeras probetas obtenidas de cada mezcla también fueron desechadas para tener la certeza de que las piezas que se utilizarán en los ensayos correspondieran al porcentaje de mezcla que se les asignó desde un principio.

En las figuras 3.11 a y b, se aprecian tanto la máquina DEMAG 50 utilizada para el procesamiento de las muestras, como la obtención de dichas probetas, en donde ya son observables algunas diferencias, principalmente en el cambio de tonalidad con respecto al porcentaje de bagazo de caña, que se observa con mayor claridad en la figura 3.12.



Figuras 3.11 a y b. Procesamiento de las mezclas y obtención de las muestras para experimentación.



Figura 3.12. Se observa una clara diferencia física de las muestras debido al incremento en el porcentaje de bagazo de caña, conforme aumenta la concentración de bagazo la pieza se vuelve más oscura.

Dentro de las características que encontramos en estas piezas fue que desafortunadamente existió una retención de agua por parte de las fibras lo que generó que esta se eliminara durante la inyección y produjera algunas muestras “hinchadas”, es decir, con variaciones dentro de sus dimensiones, esto nos dio el indicativo de esa humedad, lo cual se corroboró posteriormente al encontrar porosidades dentro de algunas muestras; sin embargo las piezas cumplieron con los requerimientos para las pruebas, esto se ve físicamente en la figura 3.13.



Figura 3.13. Muestras antes del reprocesamiento, se puede observar que en las muestras de la parte superior está presente una variación de dimensión.

Una vez obtenidas las probetas, se realizó la selección de cada muestra para pruebas mecánicas, para ello se decidió hacer un muestreo del cual se obtuvieron seis muestras, esto mediante la obtención del peso de cada una y haciendo la eliminación de aquellas que salieran del peso promedio de forma significativa (más del 5% de diferencia en peso no se contabilizaron para las pruebas), con ello se obtuvo la tabla siguiente:

Tabla 3.8. Muestreo para la elaboración de las Pruebas Mecánicas.

Número de muestras obtenidas a partir del porcentaje de fibra de bagazo método A						
0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
4	5	8	1	7	1	1
5	6	9	2	8	2	2
7	9	14	3	10	3	4
10	10	16	4	11	4	7
11	12	19	6	13	7	8
13	15	20	12	14	8	9
peso promedio=54.83 (gr)	55.36 (gr)	55.20 (gr)	55.97 (gr)	56.38 (gr)	56.42 (gr)	56.6 (gr)

Una vez hecha la selección se procedió con el desarrollo de las pruebas mecánicas y posteriormente se continuó con el segundo Método.

3.4 MÉTODO B. RECICLADO DEL MATERIAL.

Para el segundo Método, una vez concluidos los ensayos correspondientes al Método A, se hizo la trituración de las probetas y del material sobrante, tomando en cuenta el porcentaje de fibra que contenían en un inicio; esto se realizó de forma manual con una cizalla para obtener un tamaño intermedio que fuera reducido sin complicación en la trituradora para plástico del tipo Pagani -fabricada en los Talleres de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería- con la finalidad de obtener material de un tamaño adecuado para ser depositado nuevamente en la tolva para el reprocesamiento, las piezas antes y después de la trituración se observan en las figuras 3.14 y 3.15.



Figura 3.14. Muestras cortadas para trititación.



Figura 3.15. Tamaño del material después de la trititación.

El procedimiento fue similar que en el primer caso, pero por la poca cantidad de material recuperado durante la trititación no fue posible el reprocesar cantidades similares a las primeras (esto por la pérdida de material durante las etapas de entrada y salida de las mezclas), por ello las cantidades que se reprocesaron fueron de 600(gr), referencia obtenida en base a que esa fue la menor cantidad de material recuperado, correspondiente a la mezcla 50% Bagazo- 50% PP.

A pesar de que el objetivo fue obtener piezas bajo los mismos parámetros de control que en el Método A, esto no fue posible por las cuestiones mencionadas en el punto 3.2, sin embargo la variación es aceptable y aquí lo interesante es que dicha regulación fue mucho más sencilla y no se requirió de una supervisión continua.

Las piezas ya reprocesadas, sufrieron también variaciones en sus dimensiones, menores en comparación con el primer proceso, esto nos dio el indicativo de que siguió existiendo un porcentaje de humedad en el bagazo y es necesario buscar una forma más efectiva para hacer un secado más efectivo; además en cuanto a aspecto físico realmente no se notó una diferencia marcada entre la pieza procesada in-situ y la del reproceso como se ve en la figura 3.16.



Figura 3.16. Comparación entre muestras del Método A (parte inferior) y el Método B (parte superior), estas últimas presentan menos variaciones dimensionales aunque físicamente son idénticas.

Como ya se mencionó fue poca la recuperación de material y esto solo permitió la obtención de promedio de 6 muestras por mezcla, todas con un peso promedio similar, por esta situación no se realizó ningún método de selección como en el primer proceso solo nos limitamos a eliminar a la muestra con mayor diferencia en peso (sin considerar un porcentaje como en el caso anterior), esto se ve en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Peso promedio de las muestras obtenidas.

Número de muestras obtenidas a partir del porcentaje de fibra de bagazo Método B						
	5%	10%	20%	30%	40%	50%
	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6
	55.45(gr)	55.32(gr)	56.01(gr)	56.42(gr)	56.53(gr)	56.66(gr)

3.5 ENSAYOS MECÁNICOS

Podemos considerar a esta parte como la etapa principal dentro del desarrollo de este trabajo, los ensayos mecánicos nos ayudaron a determinar las principales propiedades mecánicas del compuesto, es importante decir que si bien no se desarrollaron pruebas químicas o térmicas del material, dependiendo de la aplicación que se le de al compuesto se puede considerar la elaboración de más pruebas.

3.5.1 Prueba de Tracción.

Dicho ensayo se realizó con la finalidad de investigar el comportamiento de probetas a la deformación por tracción, además para obtener información relacionada con la resistencia del material al someterlo a una fuerza gradualmente aplicada.

Pero además de darnos un parámetro sobre la resistencia del material, obtuvimos un panorama sobre la Rigidez y Ductilidad del compuesto, la resistencia a la Tracción se obtuvo a partir de la carga máxima aplicada, el otro parámetro que se obtuvo fue el Modulo de Young que es el indicativo principal de la rigidez, es decir, si el compuesto presenta un alto Módulo de Elasticidad el material puede conservar su tamaño y forma incluso al ser sometido a una carga en la región elástica.

Esta prueba se llevó a cabo bajo las condiciones de la norma ASTM D638-02, la pieza fue colocada en la Máquina Instron Serie IX Automated Materials Testing System, a una velocidad de trabajo de 50 (mm/min) y una carga de 5 (KN), de esto los resultados obtenidos se muestran en las tablas 3.10 y 3.11:

Tabla 3.10. Resultados de la Máquina Instron para el Ensayo de Tracción Método A.

Método A									
Porcentaje de fibra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
0	8.077	1.484	35.67	0.1615	9.098	1.463	35.17	0.182	760.577
5	7.852	1.449	34.83	0.157	10.24	1.384	33.29	0.2048	739.3415
10	7.418	1.448	34.82	0.1484	8.772	1.411	33.93	0.1754	769.7676
20	6.505	1.379	33.17	0.1301	7.513	1.346	32.36	0.1503	772.8827
30	5.943	1.363	32.78	0.1189	6.435	1.339	32.2	0.1287	786.7058
40	4.003	1.163	27.96	0.801	4.225	1.152	27.7	0.0845	838.7229
50	5	1.281	30.8	0.1	5.352	1.264	30.4	0.107	798.9712

Tabla 3.11. Resultados de la Máquina Instron para el Ensayo de Tracción Método B.

Método B									
Porcentaje de fibra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
5	7.686	1.378	33.12	0.1537	9.034	1.347	32.39	0.1807	717.8074
10	8.568	1.405	33.77	0.1714	12.58	1.284	30.88	0.2515	579.6725
20	8.036	1.389	33.4	0.167	11.04	1.31	31.49	0.2209	670.6681
30	7.208	1.346	32.36	0.1442	8.818	1.309	31.46	0.1764	691.5274
40	6.364	1.322	31.8	0.1273	7.107	1.297	31.2	0.1421	763.4281
50	6.046	1.291	31.04	0.1209	6.522	1.273	30.61	0.1304	696.7312

En la figura 3.17 se dan las dimensiones que exige la norma para el desarrollo de este ensayo y en las figuras 3.18 a y b observamos el desarrollo de la prueba.



Figura 3.17. Esquema del espécimen requerido para el ensayo de Tracción.



Figuras 3.18 a y b. Ensayo de Tracción.

3.5.2 Ensayo de Dureza.

Este ensayo lo desarrollamos para determinar la resistencia a la penetración sobre la superficie de nuestro compuesto; como se sabe “la dureza es una medida de la resistencia de un material a la deformación permanente (plástica) en su superficie”^w, en la figura 3.19 se presentan las dimensiones del espécimen requerido para el ensayo.

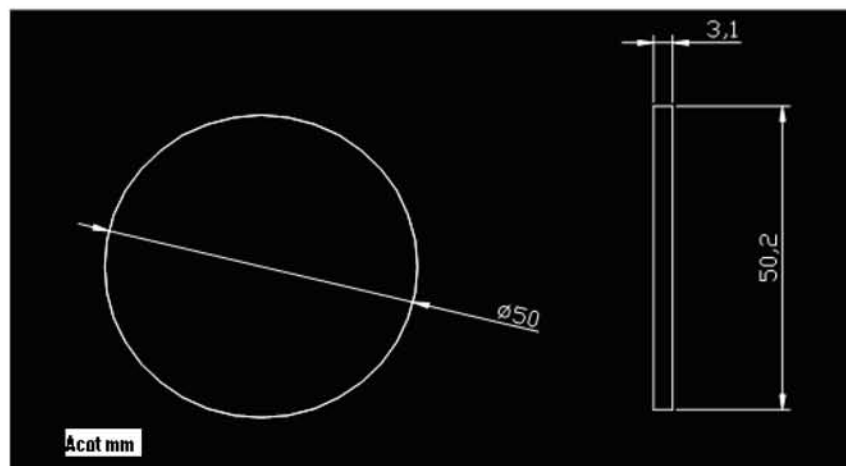


Figura 3.19. Diagrama de la muestra. Prueba de Dureza.

*w. William F. Smith ***Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales***, Mc. Graw Hill, 3ª. Edición, México 1998. 715 pp.

En el ensayo Rockwell, el material del penetrador es usualmente una bola, pirámide o cono que está hecho de un material mucho más duro que el material bajo ensayo, para la mayoría de los ensayos estándar se aplica lentamente una carga conocida presionando el penetrador a 90° en la superficie del material bajo ensayo, de acuerdo a los requerimientos de la Norma ASTM D 785.

La realización de las pruebas de dureza se efectuó en un Durómetro Rockwell marca Mitutoyo, en una escala Rockwell R con un indentador de bola de 1/2" para Polipropileno, se colocó la pieza sobre la base y durante 30 (seg) se le aplicará y retirará la carga a la muestra y esta registrará el valor en la pantalla digital.

Condiciones de la prueba:

- Carga menor: 10[Kg]
- Carga mayor: 60[Kg]
- Identador: 1/2"
- Promedio de valores a obtener: 76.8-102.5
- Unidad en la que se reportan los valores: Dureza HRR.

En la figuras 3. 20 a y b, se muestra parte del desarrollo de la prueba.



Figuras 3.20 a y b. Ensayo de dureza efectuado en el Durómetro Mitutoyo.

3.5.3 Ensayo de Resistencia a la Flexión.

Esta prueba se realizó para determinar que tanto sería capaz el compuesto de soportar un esfuerzo sobre él antes de doblarse, además de determinar la resistencia a la flexión del material. Aquí la probeta fue colocada en la Máquina y sometida a una carga aplicada a velocidad constante, en tres puntos, provocando la flexión hasta que llegó a una deflexión máxima, es decir, se intentó ver cuanto sería la máxima carga que soportaría el material, dicho valor se conoce como resistencia a la flexión y describe también la resistencia del material. Esta prueba la desarrollamos con las condiciones establecidas en la norma ASTM D790 en la máquina INSTRON, utilizada también en el ensayo de Tracción.

Condiciones de la prueba.

- Máquina Instron Serie XI Automática.
- Carga de la Máquina 150 (KN).
- Carga de Prueba 5 (KN).
- Velocidad de trabajo 2.7mm/min.

Los resultados obtenidos de dicho ensayo por la máquina Instron, los presentamos en las tablas siguientes:

Tabla 3.12. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión para el primer método.

Porcentaje de Bagazo	Desplazamiento a la Cedencia (mm)	Método A		
		Deformación a la Cedencia (mm/mm)	Carga a la Cedencia (KN)	Esfuerzo a la Cedencia (MPa)
0	11.06	0.107	0.3015	53.52
5	10.45	0.1011	0.3012	53.46
10	9.407	0.091	0.3163	56.15
20	8.737	0.0851	0.3816	66.84
30	8.557	0.0873	0.3513	55.73
40	6.942	0.0747	0.3675	52.73
50	7.53	0.0812	0.3507	50

Tabla 3.13. Resultados para el segundo método.

Porcentaje de Bagazo	Desplazamiento a la cedencia (mm)	Metodo B		
		Deformación a la cedencia (mm/mm)	Carga a la cedencia (KN)	Esfuerzo a la cedencia (MPa)
5	10.6	0.1026	0.3163	56.14
10	9.909	0.0959	0.326	57.83
20	7.829	0.0758	0.3496	61.91
30	7.433	0.0721	0.3715	65.57
40	7.335	0.0713	0.3684	64.71
50	6.462	0.0633	0.3506	60.66

En la figura 3.21 se muestran las dimensiones del espécimen para el ensayo.

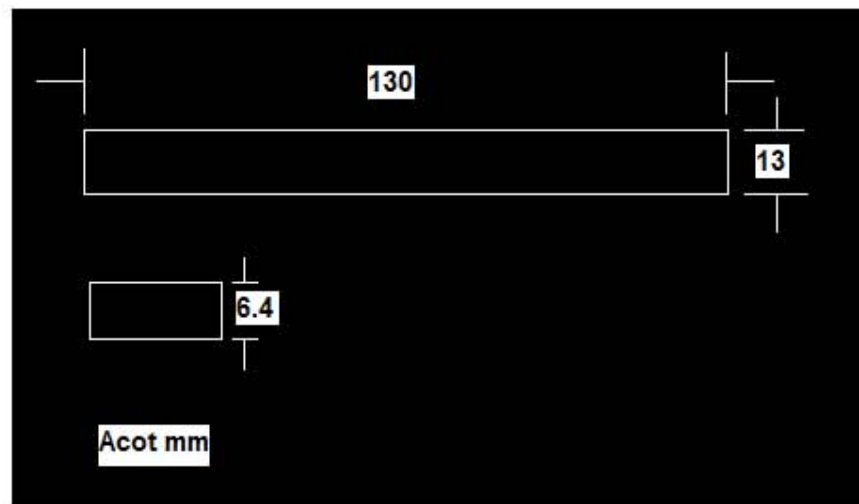


Figura 3.21. Dimensiones de la muestra para ensayo de flexión.

3.5.4 Microscopia Electrónica.

Esta fue la última etapa del proceso, en ella la intención fue observar a nivel microscópico el comportamiento e interacción de cada una de las fases del compuesto, verificar si existió o no una adherencia entre el refuerzo y la matriz del compuesto, para ello se hicieron unos cortes a las piezas del ensayo de Tracción (muestras obtenidas de la zona de fractura y de los dos métodos), se colocaron en porta-muestras y se llevaron a un recubrimiento, conocido como “dorado”, para la observación al microscopio electrónico; las muestras fueron observadas a 100X, 400, y 800X para tener buenas

comparaciones, aunque algunas tuvieron que ser vistas a otros aumentos para que se apreciaran mejor.

La preparación de las muestras se realizó en las Instalaciones del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM con la supervisión de la Dra. Cristina Piña Barba, desafortunadamente por cuestiones del Instituto no fue posible que se nos proporcionaran los datos de la máquina y los parámetros del proceso.

Una vez hecho el recubrimiento las muestras se observaron en el Microscopio Electrónico de Barrido marca Philips XL Series de los Talleres del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, con la supervisión del Biol. Germán Álvarez.

* **“Dorado”**: Proceso mediante el cual en un dispositivo especial, en donde una pastilla de oro es colocada junto con la muestra a “dorar”, se genera un vacío y al aplicar una diferencia de potencial determinada se genera un flujo de electrones de oro que forman una nube de electrones del metal (a la vista se forma una nube en color morado), dichos electrones se depositan en la superficie y zonas de falla de la muestra generando una capa de metal en el compuesto; esta capa permite el paso del haz de electrones del microscopio electrónico de barrido y que con ello se puedan observar las muestras.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS.

Durante el procesamiento de las muestras fue necesario hacer mezclas adicionales en los primeros porcentajes (5 y 10% de bagazo), esto fue a causa de que en el inicio del proceso para la obtención de las piezas, la temperatura del molde y de la resistencia a la salida de la boquilla de la unidad de inyección no resultaron eficientes, como suponíamos, para obtener un flujo efectivo de material, lo que originó que en varias ocasiones se tapará dicha boquilla y que algunas piezas salieran con ráfagas y marcas de flujo. En la figura 4.1 se aprecian claramente dichos defectos además diferentes tonalidades en la pieza ya que en la parte inferior se observa un color más claro lo que corrobora la existencia de bajas temperaturas y en la parte superior se aprecia esta misma característica aunque no tan severa lo cual confirmó que el molde no tenía una uniformidad de temperatura en su superficie, es importante decir que las temperaturas mostradas en la tabla 3.5 son las que se obtuvieron una vez realizadas las correcciones de estos problemas aunque dichos ajustes no fueron mayores de 5 (°C).



Figura 4.1. Muestra dañada por la variación de temperaturas.

Otra situación que encontramos en las primeras muestras fue la presencia de piezas incompletas y rebabas en algunos especímenes, en el primer caso esto sucedió porque la presión de inyección no era suficiente para ayudar a las fibras de bagazo a salir de la boquilla, además de que la velocidad de inyección también fue baja para tener un flujo efectivo de material, esto lo

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

podemos ver en la figura 4.2 en donde se aprecia que la pieza esta llena en un 95% por lo que el ajuste al igual que en la temperatura fue mínimo; sin embargo en el segundo caso esto sucedió porque para encontrar el ajuste correcto y obtener piezas al 100% fue necesario incrementar de forma intencional la presión posterior hasta un valor de 800 (bar), superior a los 650 (bar) mostrados en la tabla 3.6; sin embargo una vez obtenida la pieza con el exceso de material solo fue necesario ir disminuyendo paulatinamente dicha presión hasta llegar al punto de llenado en un 100%.



Figura 4.2. Muestra llena al 95% fue necesario monitorear la presión para corregir el problema.



Figura 4.3. Muestra con rebaba, fenómeno que ocurrió para realizar el ajuste correcto de la presión posterior en el proceso de inyección.

Encontramos algunas líneas muy parecidas a las de Soldadura en especímenes para el ensayo de tracción, pero de acuerdo a lo visto en el capítulo 2 dicha situación solo ocurre si la pieza tiene más de un canal de llenado, sin embargo el molde con el que se trabajó solo cuenta con una

entrada para llenado de las piezas, por lo que este problema se lo atribuimos también a esas primeras variantes en las temperaturas ya que al realizar el ajuste del que ya hablamos esta situación también se corrigió en gran medida; sin embargo hay que tener muy en cuenta que este defecto puede ser de los principales factores para la obtención de los resultados de las pruebas mecánicas, ya que en los ensayos de tracción algunas piezas se fracturaron muy cerca de esa zona.

Pero sin duda la situación más problemática que tuvimos fue el flujo lento del refuerzo de bagazo de caña dentro del husillo de la máquina, esto generó que el proceso se detuviera en varias ocasiones y que se perdieran las dos mezclas iniciales y fue necesario desbloquear la entrada de la cavidad del molde con un pequeño alambre de material de aporte previamente calentado en más de tres ocasiones, esto fue consecuencia de la humedad que retuvieron las fibras después del proceso de secado puesto que al evaporarse los residuos de agua se generaron espacios de aire que provocaron una mala salida de material y con ello la generación de dicho bloqueo en la cavidad del molde.

Todas estas situaciones nos llevan a justificar el porque se requirió del monitoreo del proceso y porque fue necesario repetir los dos primeros porcentajes de las mezclas, pero hay que mencionar que una vez corregidos estos problemas el proceso se desarrolló de manera satisfactoria.

4.1.1 Características Físicas de las Piezas.

De acuerdo a la inspección visual de las muestras, se observa un aumento considerable de la tonalidad y una mayor opacidad de las mismas (figura 3.12) conforme el porcentaje de Bagazo de Caña fue en aumento, las muestras presentaron una dispersión multi-direccional de las fibras, aunque mantuvieron el patrón de trayectoria del flujo del proceso de inyección, como se observa en la figura 4.4, lo que es una característica de los compuestos reforzados con fibras y dicha distribución siempre tiende a aumentar las propiedades mecánicas unidireccionalmente.



Figura 4.4. Es apreciable la dirección que tienen las fibras a lo largo de la probeta, cumplen con la característica de seguir su trayectoria en el mismo sentido que la inyección.

Para corroborar si las fibras contenían humedad en el momento de la inyección y que ello fuera causa del cambio en las dimensiones en ciertos especímenes, se elaboraron cortes con una cizalla manual en forma paralela y transversal al flujo de inyección en algunos de ellos.

En ambos cortes se presentaron grandes cavidades y/o porosidades en las trayectorias de la pieza, lo que corrobora que efectivamente existió humedad durante la inyección, las temperaturas internas de 190 (°C) utilizadas en el cañón de la máquina provocaron la evaporación del agua y en consecuencia la formación de cavidades, como se ve en las figuras 4.5 y 4.6. Con ello podemos decir que, o la temperatura de secado debe modificarse (aumentarse de ser necesario) o en su defecto será necesario buscar otro tipo de proceso para eliminar la humedad en el bagazo, pero teniendo en cuenta que este es un producto ignífugo y por consiguiente puede quemarse fácilmente.



Figuras 4.5 y 4.6. Cortes longitudinal y transversal al flujo. Espacios formados por la permanencia de humedad en las fibras.

En cuanto a la adherencia entre fases del compuesto, es importante señalar que se observa el desprendimiento de algunas fibras en ciertos especímenes, esto es una señal clara de que el anclaje no fue fuerte, aunque a simple vista existen zonas donde las fibras están bien cubiertas por la matriz de polímero (figuras 4.7 y 4.8), dicha situación se verificó con la microscopía electrónica empleada y de la que hablaremos más adelante. También fue interesante observar que los paquetes de fibras que se formaron al momento de efectuar las mezclas se mantuvieron durante el proceso de inyección, con ello podemos afirmar que el tamaño de las fibras es muy grande para el proceso que utilizamos y que podría ser una buena alternativa efectuar un tamizado a fin de reducir las dimensiones de ellas -sin llegar a que se formen partículas- y que la humedad también es factor para que existan estos empaquetamientos.



Figura 4.7. Muestra con desprendimiento de fibras de la matriz.



Figura 4.8. La pieza muestra un aparente recubrimiento de la matriz hacia la fibra

En el capítulo anterior hablamos acerca de el cambio de dimensiones en algunos especímenes, las piezas que sufrieron la variación fueron las del ensayo de Flexión y en los porcentajes a partir del 30% de fibras, sin embargo esta variación no fue mayor a 0.7 (mm) (de 6.4 (mm) que debería ser la medida a una variación de 7.1 (mm)) como se muestra en los resultados de la Máquina Instron.



Fig. 4.9. Algunas muestras presentaron cambios en dimensiones durante el proceso, se aprecia esto debido a la falta de acomodamiento entre ellas.

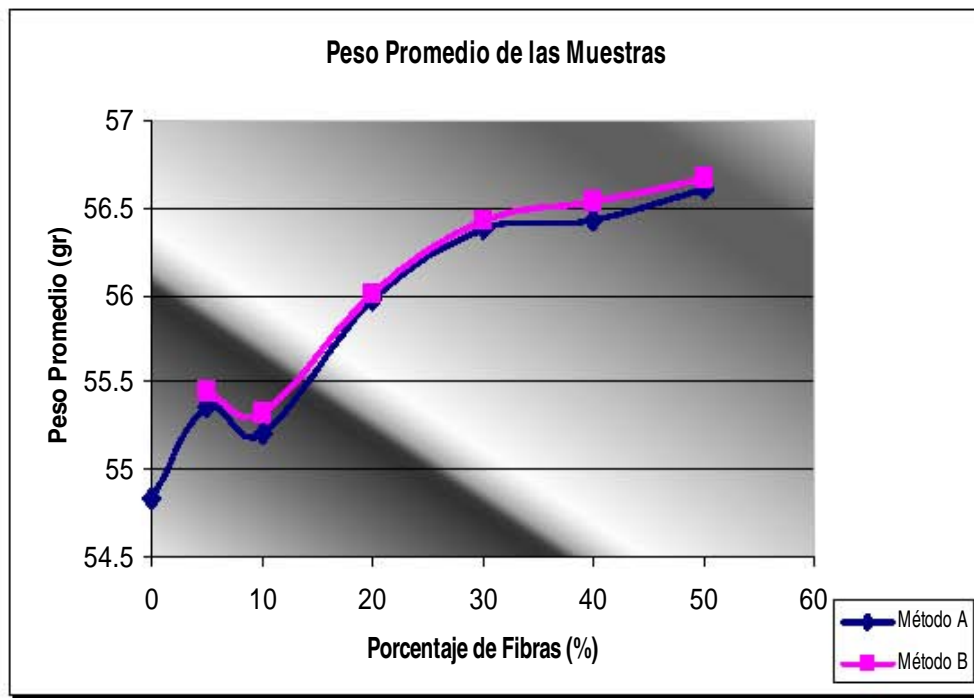
De acuerdo con la optimización del Proceso las piezas logran la conmutación en un peso promedio de 54.83 (gr) sin la presencia de refuerzo, sin embargo el hecho de ir agregando refuerzo en porcentajes diferentes originó un aumento de dicho peso en forma irregular, pues mientras en la mezcla con el

5% de fibra se registró un aumento del 0.96%, en la mezcla máxima este alcanzó un valor del 3.22%, correspondiente al Método A; y un incremento del 1.13% al 3.33% correspondiente al segundo Método B, por ello, si bien este incremento es menor al 5% y aceptable, podemos decir que en el Método B es mayor por la reducción del tamaño de fibra durante la trituración para el reprocesamiento y la pérdida de un porcentaje mayor de humedad, además de que estos fueron factores para generar una mayor compactación de material y por consiguiente que existieran mucho menos porosidades que en los especímenes del Método A, dicha comparación la podemos ver en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Comparación de pesos de las muestras obtenidas

PESO PROMEDIO DE LAS MUESTRAS (gr) Y PORCENTAJE DE INCREMENTO (%)				
Porcentaje de fibras (%)	Peso (gr) Método A	Porcentaje de aumento (%)	Peso (gr) Método B	Porcentaje de aumento (%)
0	54.83	0	-	-
5	55.36	0.96	55.45	1.13
10	55.20	0.67	55.32	0.89
20	55.97	2.07	56.01	2.15
30	56.38	2.82	56.42	2.89
40	56.42	2.89	56.53	3.10
50	56.6	3.22	56.66	3.33

Observamos en la gráfica 4.1 que la variación en peso registra dos pequeñas caídas, una en cada Método, esta situación solo se justifica porque después del ajuste de los parámetros y de la entrada de la primera mezcla con refuerzo el perfil de temperaturas quedó completamente uniforme ya que a partir de ese momento comienza el aumento de peso.



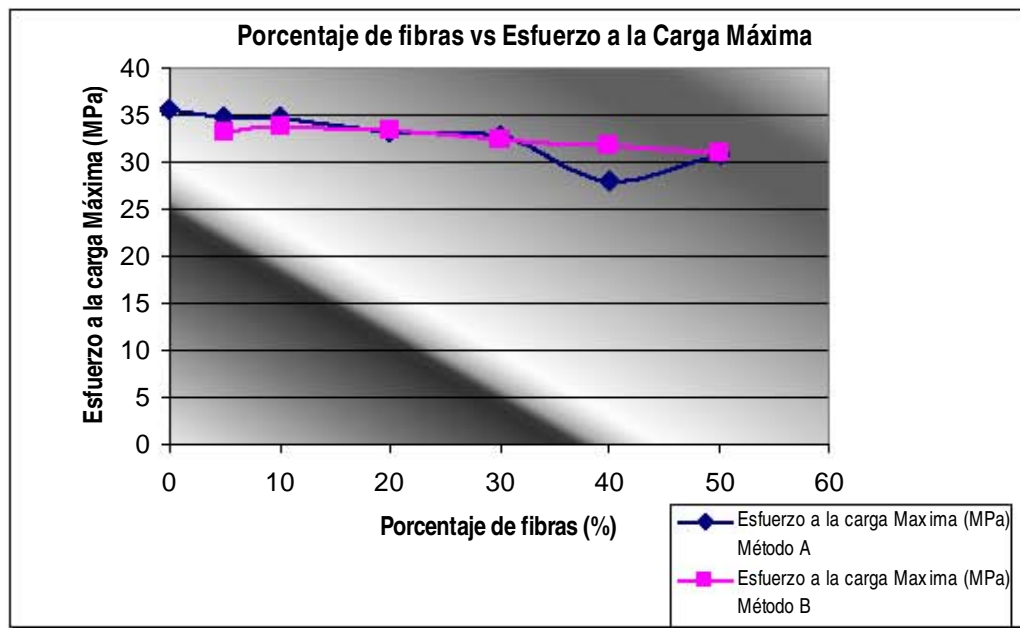
Gráfica 4.1. Incremento del peso del compuesto respecto al Porcentaje de Fibras.

4.1.2 Análisis de la prueba de Tracción.

Para poder concluir con respecto a este ensayo a continuación haremos un análisis comparativo de los dos métodos.

Tabla 4.2. Comportamiento de Ambos Procesos a la Carga Máxima.

PORCENTAJE DE FIBRA	ESFUERZO A LA CARGA MAXIMA (MPa) MÉTODO A	ESFUERZO A LA CARGA MAXIMA (MPa) MÉTODO B
0	35.67	
5	34.83	33.12
10	34.82	33.77
20	33.17	33.4
30	32.78	32.36
40	27.96	31.8
50	30.8	31.04



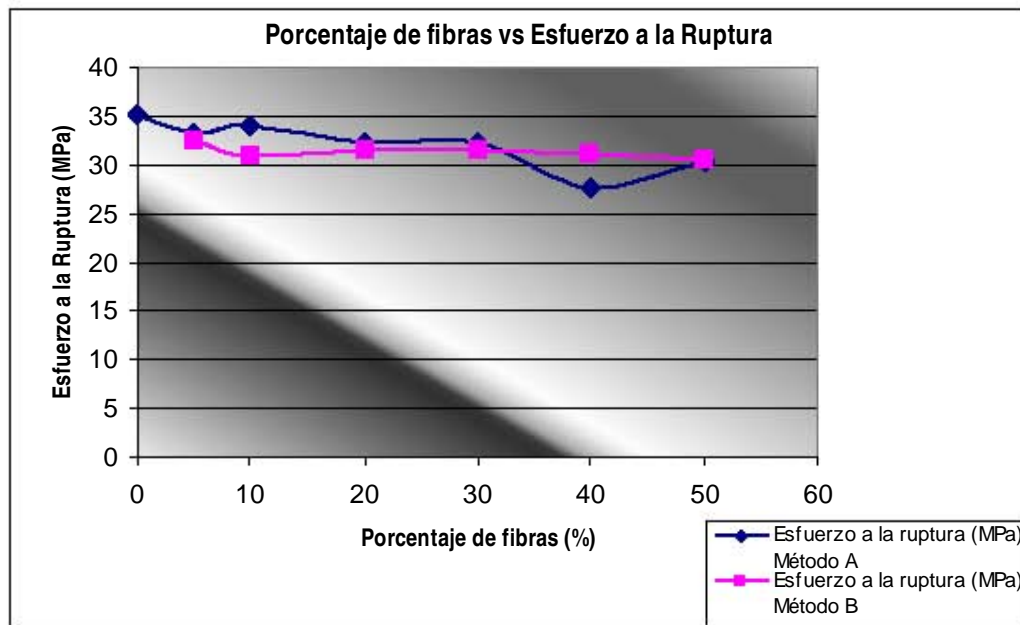
Gráfica 4.2. Esfuerzo a la Carga Máxima.

En la tabla 4.2 y en la gráfica 4.2 vemos que el comportamiento del material al esfuerzo de tracción tiene un comportamiento sin alteraciones considerables e incluso mostró valores de resistencia a la tracción muy semejantes en las concentraciones que se pueden considerar intermedias, es decir al 20 y 30% (marcadas en la tabla No. 4.2), si tomamos como referencia el resultado al 0% de fibra vemos que a pesar de que en las mezclas posteriores ocurre una reducción en la resistencia del material (2 MPa) dicha propiedad se mantiene en un rango aceptable, si consideramos que la literatura reporta valores en un rango de 31-41 (MPa) para Polipropileno, por lo que es sumamente importante decir que si bien quitamos polipropileno y reforzamos con bagazo, las propiedades de resistencia se mantienen como si no existiera carga.

Ahora bien si analizamos el esfuerzo a la ruptura en ambos materiales encontramos que en la tabla 4.3 y gráfica 4.3, el comportamiento sigue la misma tendencia, los valores siguen sin alteraciones significativas pero el dato interesante es que los mejores resultados de resistencia a la ruptura se encontraron nuevamente en las concentraciones intermedias, 20 y 30%.

Tabla 4.3. Comportamiento del Compuesto en la Ruptura.

PORCENTAJE DE FIBRA	ESFUERZO A LA RUPTURA (MPa) MÉTODO A	ESFUERZO A LA RUPTURA (MPa) MÉTODO B
0	35.17	
5	33.29	32.39
10	33.93	30.88
20	32.36	31.49
30	32.2	31.46
40	27.7	31.2
50	30.4	30.61



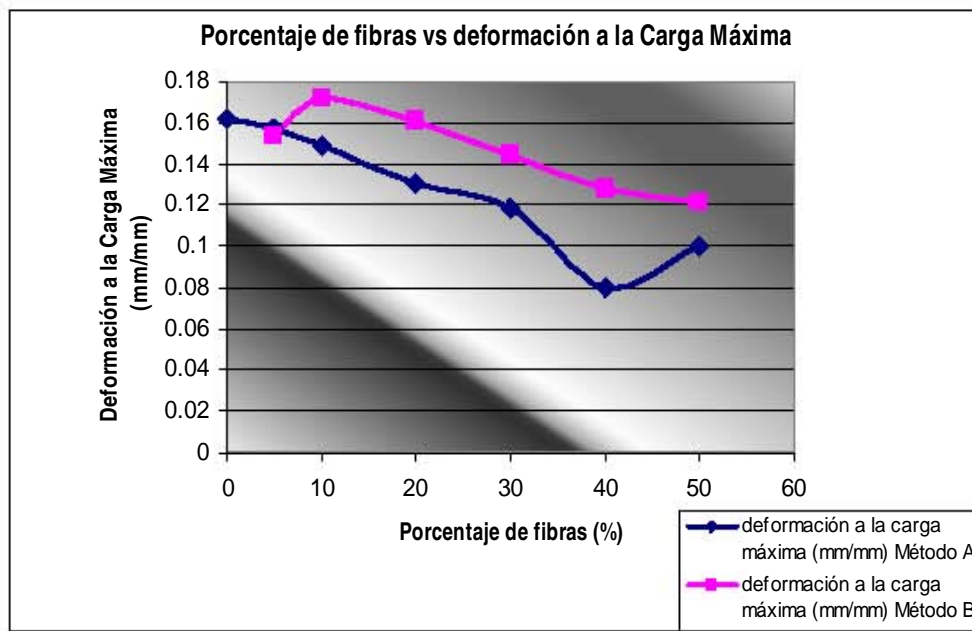
Gráfica 4.3. Esfuerzo realizado al momento de la Ruptura.

Y si bien no son los valores más altos de resistencia a la ruptura si son los más constantes en ambos procesos, ahora bien, esto nos indica que el material con carga puede ser sometido a esfuerzos similares a los del material virgen, pero el gran beneficio radica en que estamos consumiendo mucho menos cantidad de Polipropileno en volumen lo que en una producción a gran escala pudiera considerarse como un ahorro significativo, económicamente hablando.

Además se observó que la ruptura ocurre poco después de que se llegó a la resistencia máxima, esto es porque el compuesto no sufrió deformaciones grandes, esto fue de esperarse por la orientación que tomaron que las fibras, ya que en la mayoría de los compuestos ocurre este fenómeno, la deformación se reduce y la resistencia aumenta, esto lo podemos corroborar en la tabla 4.4 y gráfica 4.4:

Tabla 4.4. Deformación del compuesto con Carga Máxima.

PORCENTAJE DE FIBRA	DEFORMACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (mm/mm) MÉTODO A	DEFORMACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (mm/mm) MÉTODO B
0	0.1615	
5	0.157	0.1537
10	0.1484	0.1714
20	0.1301	0.1607
30	0.1189	0.1442
40	0.0801	0.1273
50	0.1	0.1209



Gráfica 4.4. Deformación a la Carga Máxima.

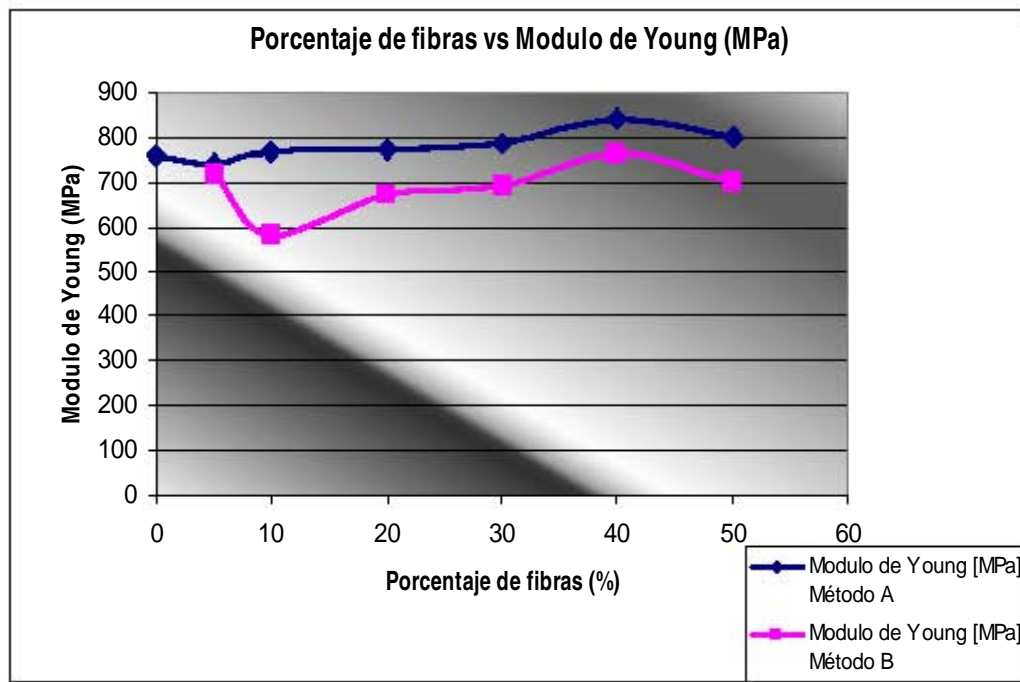
Al igual que en los esfuerzos, la deformación sufre una alteración en los porcentajes del 10 y del 40%, pero en general el comportamiento marca un descenso en la deformación pero sin ser considerable (de 0.1615 (mm/mm) en el 0% a 0.12 (mm/mm) en promedio aproximadamente), pero lo interesante es que en el segundo Método las deformaciones ocurrieron en

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.
 forma más reducida y son mucho menores con respecto al 0% de mezcla y en forma decreciente.

Pero si nuestro material tiene una resistencia aceptable, ¿también tiene una buena rigidez?, los resultados obtenidos los tenemos la gráfica 4.5 y tabla 4.5.

Tabla 4.5. Módulos de Young obtenidos en ambos Procesos.

PORCENTAJE DE FIBRA (%)	MODULO DE YOUNG [MPa] MÉTODO A	MODULO DE YOUNG [MPa] MÉTODO B
0	760.5769667	
5	739.3415	717.80744
10	769.7676333	579.67254
20	772.8827	670.6681
30	786.7057667	691.52744
40	838.7229333	763.428139
50	798.9712	696.7312



Gráfica 4.5. Módulo de Young.

La gráfica 4.5 muestra en el primer Método la presencia un incremento del Módulo de Elasticidad conforme se incrementa el porcentaje de fibras dentro del compuesto, dando mayor rigidez al material. Cabe hacer notar que al aumentar la proporción de fibras a un 50%, el valor del módulo presenta una caída la cual puede considerarse poco relevante, tomando en cuenta que se presenta el máximo valor al 40% de volumen de fibras, aunque por la referencia del esfuerzo y deformación máxima podemos considerar mucho mejor el comportamiento que presenta la mezcla al 20 y 30% de fibras, dicho fenómeno puede explicarse si se toma en cuenta que las fibras adquieren una orientación determinada por el proceso de inyección que ya se había comentado anteriormente. Por otro lado, al no existir una adherencia adecuada entre fibra y matriz y llegar un límite de saturación de fibras, las propiedades del material disminuirán, debido a que la matriz no transmite la fuerza necesaria a las fibras, por lo que se originaron tanto una disminución de esfuerzos y deformaciones lo que se observa en las caídas que se presentan al 40% en todas las gráficas.

Al observar el comportamiento del compuesto respecto al segundo Método en la gráfica 4.5, se aprecia que la rigidez del material empieza a tomar un comportamiento muy similar hasta casi constante, y esto tuvo como resultado que el material mantenga su tamaño casi sin modificaciones, aunque comparando los resultados con el Método A sí se presentó una disminución de la rigidez. El comportamiento también puede justificarse por esta disminución del tamaño de las fibras, ya que al ser más pequeñas si tienen una mayor compactación pero los esfuerzos que pueden soportar son menores, caso contrario a la otra técnica, en donde el refuerzo sí está soportando una cantidad considerable de la fuerza aplicada y con ello se consigue esa mayor rigidez del material.

Es de resaltar que el comportamiento del compuesto en general en el Método B tiende a ser menos brusco en comparación con el Método A, debido a varios factores; entre los que podemos mencionar: 1) la presencia de una adherencia “relativa” entre las fibras y la matriz; 2) al ser un material ya reciclado se presentó una degradación tanto de la matriz como del refuerzo; además 3) al ser reprocesado, las fibras se rompen adquiriendo un menor tamaño y teniendo con ello un comportamiento parecido al de partículas (situación no deseada, ya que se esperaba que si disminuyeran el tamaño pero no hasta el grado de partículas), en donde se forma una dispersión más fina de las partículas originando que la resistencia disminuya en mucho mayor grado.

Para finalizar podemos decir que si tuviéramos que considerar un porcentaje de mezcla óptimo escogeríamos dos, la correspondiente al 20 y al 30% de refuerzo en el Método A por los resultados antes obtenidos, ya que presentan una rigidez aceptable y una resistencia a la ruptura con valores parecidos a los del material virgen, aunque dependiendo de la aplicación podríamos tomar el 20% si se requirieran menores deformaciones y 30% si se requiere que el compuesto se deforme más.

Se podría pensar porque no utilizar otros porcentajes que presentan mejores resultados, pues bien una mezcla al 5% o 10% no sería de interés si se considera que la sustitución de Polipropileno es mínima y no se utilizaría una de 40% o 50% porque la saturación genera cambios más bruscos en las propiedades además de que utilizar dichos porcentajes implica un mayor control de los parámetros del proceso de inyección e incluso se podrían presentar saturaciones en el cañón que no permitirían fluir bien al compuesto.

4.1.3 Resultados y Análisis del Ensayo de Dureza.

En el Método A se apreció que no existió una tendencia determinada sobre la dureza del material, observando incluso una disminución de esta propiedad conforme la proporción de fibras va en aumento hasta valores del 98.5 HRR para el 50% de fibras. Este comportamiento resultó de la aparición de los agrupamientos de fibras de los cuales ya habíamos hablado, puesto que en las zonas donde no se presentaron estas concentraciones los índices de Dureza fueran bajos, y por el contrario, en las regiones con concentraciones de bagazo los valores resultaron mucho más altos, en las figuras 4.10 y 4.11 podemos ver dicho ensayo.



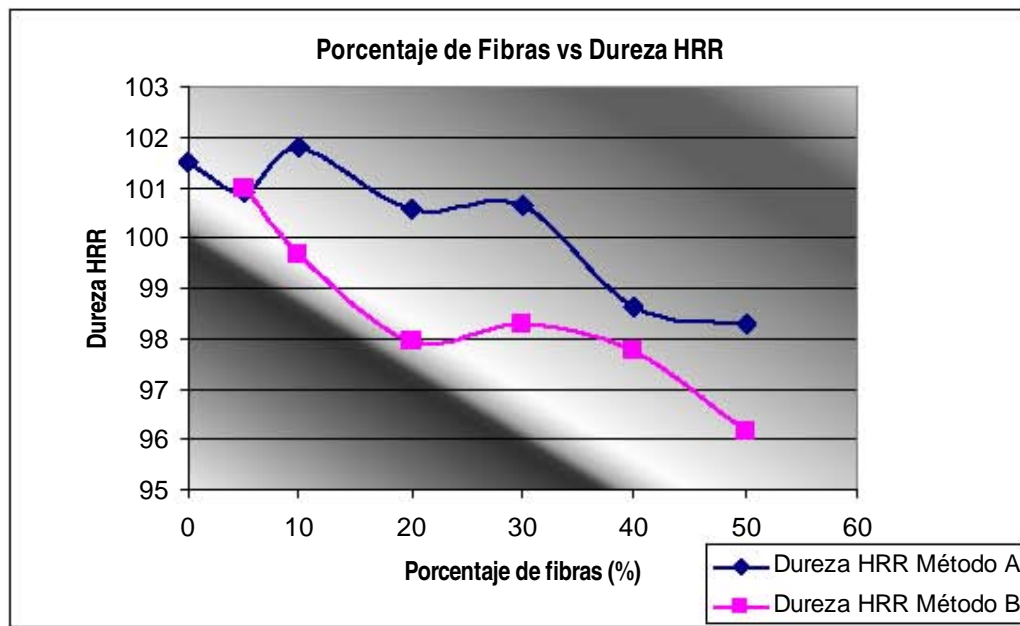
Figuras 4.10 y 4.11. Muestras sometidas a ensayo de Dureza.

En el caso del material reciclado y debido a los aspectos señalados anteriormente (degradación y ruptura de fibras), se volvió a presentar el mismo comportamiento que en el Método A, el rango de datos obtenidos es muy similar en todos los porcentajes con respecto al primer proceso, pero la gran diferencia se encontró en que en este caso el acomodamiento de fibras es mucho más uniforme en todas las muestras; en la gráfica 4.6 se aprecian ambos comportamientos y se observa que el segundo proceso tiende a ser mucho más suavizado en comparación con el primero, situación similar a lo sucedido en el ensayo de tracción.

Algo importante de destacar es que a pesar de estos comportamientos, haciendo una comparación con los valores de dureza para el material virgen (85-90R) reportados en la literatura, esta propiedad aumenta e incluso puede considerarse aceptable para cualquier proceso convencional para plásticos.

Tabla 4.6 Comportamiento del compuesto respecto a la Dureza.

PORCENTAJE DE FIBRA	DUREZA METODO A	DUREZA MÉTODO B
0	101.52	
5	100.906667	100.972
10	101.816667	99.676
20	100.57	97.968
30	100.653333	98.3
40	98.6433333	97.768
50	98.2766667	96.172



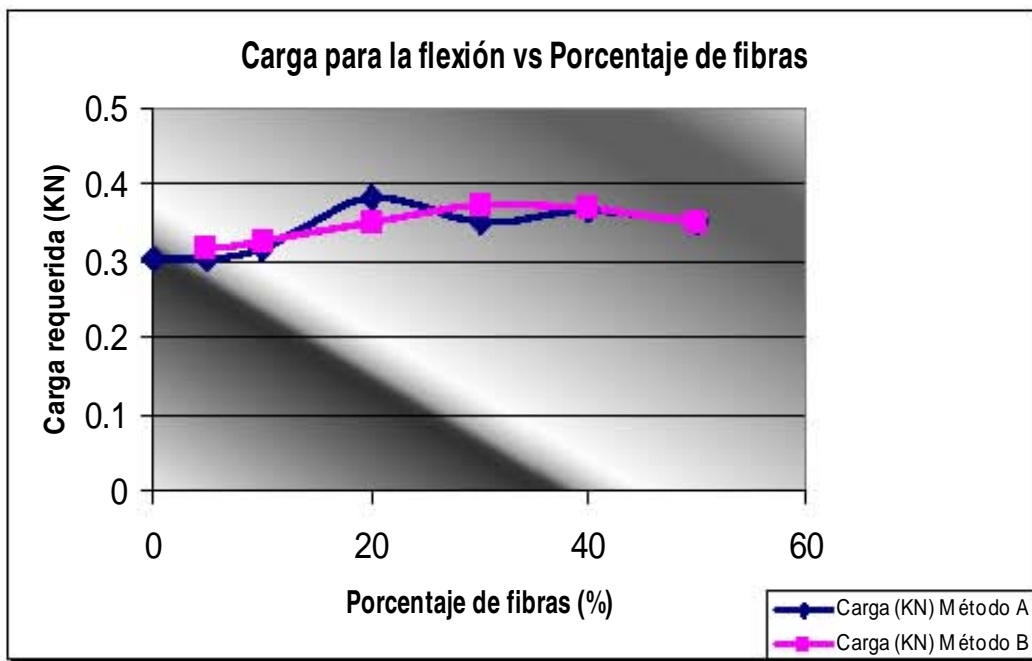
Gráfica 4.6 Comportamiento del compuesto con respecto al aumento de fibras.

4.1.4 Resultados de la prueba de Flexión.

De esta prueba se puede concluir que a pesar de que los esfuerzos generados para doblar el material son relativamente altos, debemos tener en cuenta que se tiene una velocidad de aplicación bastante lenta, además que las cargas requeridas también son bajas y pueden soportar hasta una carga de 381.6 (N) (al 20% Método A) y 371.5 (N) (al 30% Método B), es decir, un peso aproximado de 38kg respecto al tamaño de la muestra (gráfica 4.7 y tabla 4.7), aunque la pieza no se rompe, sí llegáramos a incrementar las dimensiones de la pieza e hiciéramos nuevamente el análisis correspondiente podríamos ver si la carga pudiera aumentar o no.

Tabla 4.7. Carga Requerida para llegar al punto de Esfuerzo Máxima.

PORCENTAJE DE FIBRA (%)	CARGA (KN) IN SITU	CARGA (KN) RECICLADO
0	0.3015	
5	0.3012	0.3163
10	0.3163	0.326
20	0.3816	0.3496
30	0.3513	0.3715
40	0.3675	0.3684
50	0.3507	0.3506



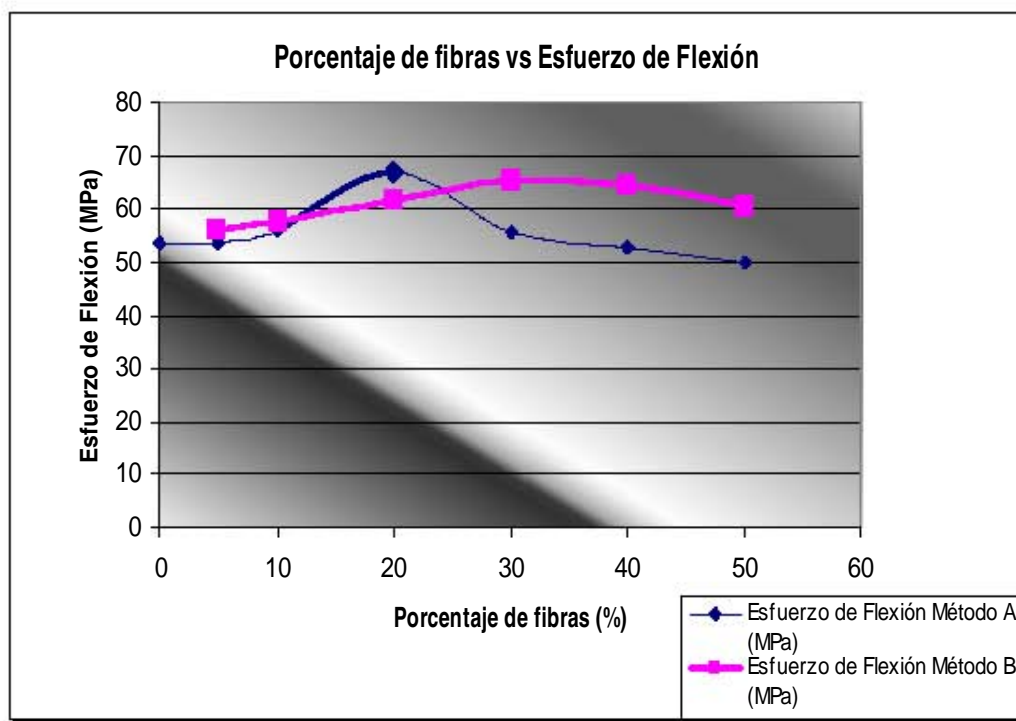
Gráfica 4.7. Carga requerida para llegar al Esfuerzo Máximo.

Este punto es importante, ya que los esfuerzos máximos presentados ocurren sin que las muestras se fracturen lo que es un indicativo de que el compuesto presenta una ductilidad aceptable ya que en el ensayo de tracción está no se apreció muy bien; si hacemos una comparación con el esfuerzo a la tracción, podemos decir que los resultados son mucho mayores a los reportados en la teoría, e incluso encontrado un mejor comportamiento y resistencia a la flexión al 30% de fibras en el segundo Método, aunque el

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.
 valor máximo en el primer método se encuentra al 20% de la concentración de fibras.

Tabla 4.8. Esfuerzos generados durante la Flexión del material.

PORCENTAJE DE FIBRAS (%)	ESFUERZO DE FLEXIÓN MÉTODO A (MPa)	ESFUERZO DE FLEXIÓN MÉTODO B (MPa)
0	53.52	
5	53.46	56.14
10	56.15	57.83
20	66.84	61.91
30	55.73	65.57
40	52.73	64.71
50	50	60.66

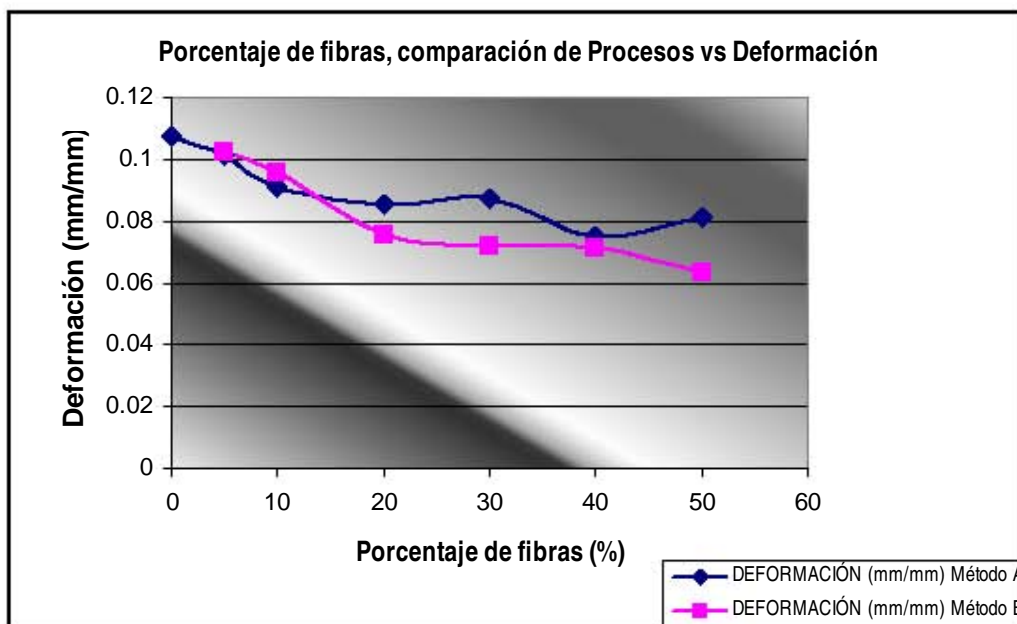


Gráfica 4.8. Esfuerzos presentados con respecto al porcentaje de fibras.

En cuanto a las deformaciones podemos mencionar que sí existen deformaciones considerables, pero no afectan a la pieza incluso esta pudo recuperar en cierta medida su forma original, lo cual indica que el material no llega a una zona de deformación plástica sino que se mantiene en la elástica como lo vemos en la tabla 4.9 y en la gráfica 4.9 y que el comportamiento vuelve a mantenerse mucho mejor en el Método B.

Tabla 4.9 Deformaciones generadas durante la prueba.

PORCENTAJE DE FIBRA (%)	DEFORMACIÓN (mm/mm) IN SITUO	DEFORMACIÓN (mm/mm) RECICLADO
0	0.107	
5	0.1011	0.1026
10	0.091	0.0959
20	0.0851	0.0758
30	0.0873	0.0721
40	0.0747	0.0713
50	0.0812	0.0633



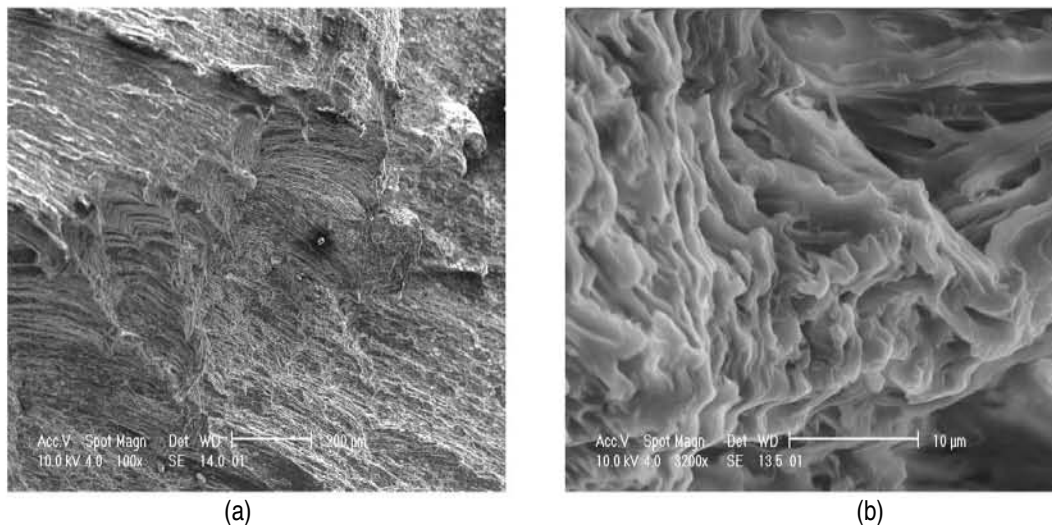
Gráfica 4.9. Comportamiento en la deformación del compuesto durante la Flexión.

Del análisis anterior podemos decir que si bien el compuesto presenta valores aceptables en dirección longitudinal de las fibras, este presenta una mejor resistencia en dirección transversal, aunque dependiendo de la aplicación que se le de ambos podrían dar buenos resultados.

4.1.6 Microscopia Electrónica.

Como se mencionó anteriormente la finalidad de observar algunas muestras en el microscopio electrónico radicó en verificar la adherencia y/o unión entre los constituyentes del compuesto, aquí se elaboró un análisis respecto a los porcentajes de ambos procesos de lo cual se obtuvo la siguiente información.

Partimos de la observación de muestras de Polipropileno virgen en donde se destaca la presencia de un acomodamiento casi perfecto de las cadenas de polímero originando un aspecto en forma de sábanas o pliegues, como se observa en las figuras 4.12 a y b.



Figuras 4.12 a y b. Sin la presencia de refuerzo, el material virgen presenta un acomodamiento uniforme de sus cadenas.

En general en todas las muestras se apreció una falta de anclaje entre la matriz y el refuerzo de fibras, existiendo zonas casi huecas, aunque cabe destacar que en ciertos porcentajes se presentaron pequeños anclajes de la matriz con las fibras; se verificó la existencia de paquetes de fibras en ciertas zonas, principalmente en los mayores porcentajes de refuerzo.

Sin embargo, hay que destacar que si existió una buena orientación de las fibras con respecto al flujo como lo demostraban las primeras inspecciones, ya que en la mayoría de las muestras se observaron a las fibras siguiendo la dirección del flujo de inyección aunque su posicionamiento es multi-direccional puesto que este proceso implica siempre un grado de

cizallamiento y las fibras tenían que seguir el movimiento del flujo de la matriz.

Al no existir un acoplamiento entre los elementos del compuesto se puede decir que estos no presentan una afinidad química por ser elementos orgánicos y por otro lado que no cuentan con la interacción mecánica esperada para soportar altas cargas o someterse a esfuerzos muy grandes, lo que se reflejó en los resultados de los ensayos de Tracción y Flexión.

Al analizar las muestras al 5% en la zona de fractura, los especímenes de ambos métodos muestran fibras corriendo a lo largo de la dirección al flujo, presentando algunas zonas oscuras que indicaron la falta de adherencia entre los elementos del compuesto. Sin embargo en el espécimen del segundo método se observó un desprendimiento más abrupto de la pieza lo que indica que se presenta un grado de anclaje del refuerzo, como se muestra en las figuras 4.13 y 4.14.

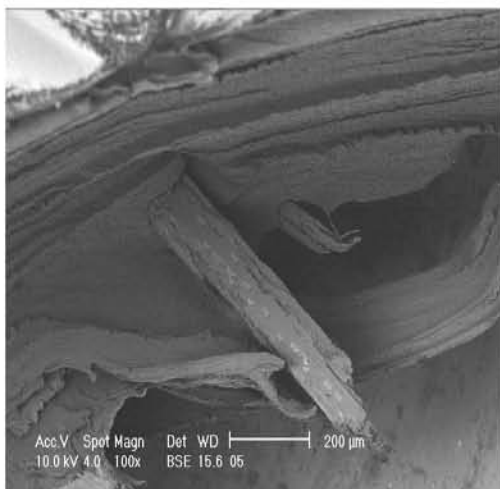


Figura 4.13. Muestras al 5% de fibra. Método A.



Figura 4.14. Muestras al 5% de fibra. Método B.

En las figuras 4.15 y 4.16 correspondientes al 10% de la mezcla, es de destacar que algunas fibras corren en forma paralela sobre la superficie de la muestra y al momento de salir quedan libres de polímero, lo que corrobora la versión de que corren en dirección al flujo de inyección, en la muestra correspondiente al método B se aprecia la estructura maderable que posee el bagazo y por las ramificaciones que presenta, sería deseable que por esas “ranuras” hubiera quedado impregnada la matriz de polímero.

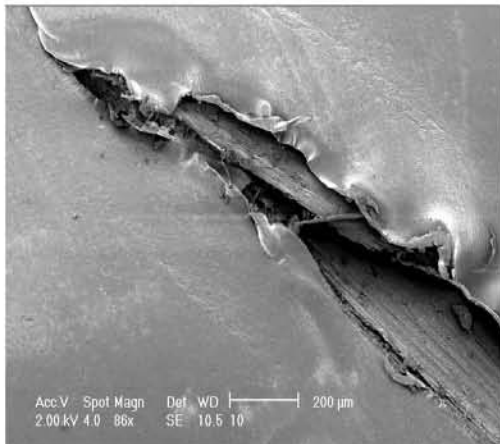


Figura 4.15. Espécimen al 10% de fibra. Método A.

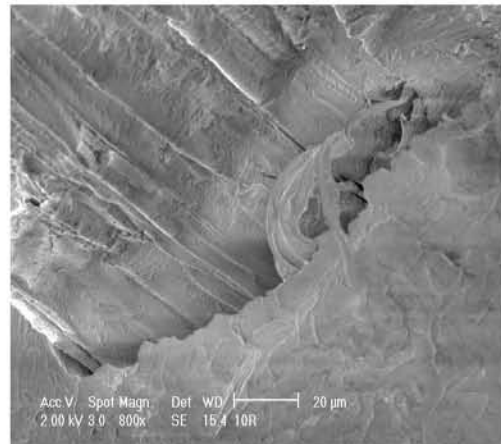


Figura 4.16. Espécimen al 10% de fibra. Método B.

Al someter a microscopía electrónica las muestras de la mezcla del 20% de fibra, en la zona de fractura se apreciaron fibras de bagazo totalmente limpias lo que corroboró la hipótesis de una falta de afinidad química y mecánica entre las fases del compuesto, aunque en el reciclado se empezaron a manifestar algunos pequeños recubrimientos de polímero en el refuerzo; esto nos mostró que al existir esta impregnación por muy pequeña que fue es la causa de que en este porcentaje se presente un mejor comportamiento en los ensayos mecánicos, figuras 4.17 y 4.18.

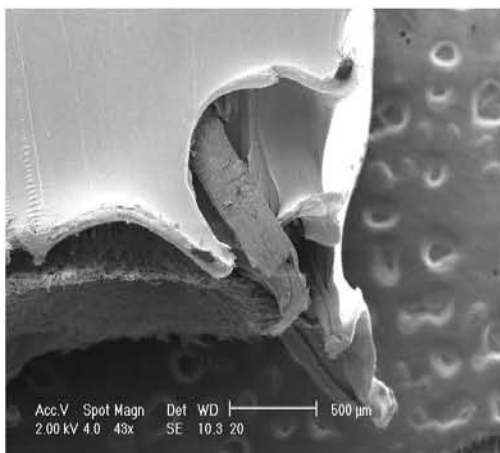


Figura 4.17. Espécimen al 20% de fibra. Método A.

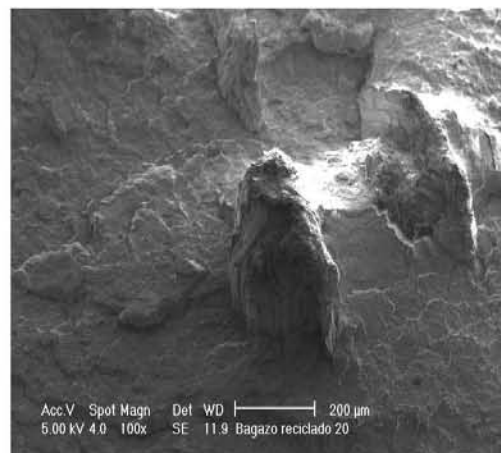


Figura 4.18. Espécimen al 20% de fibra. Método B.

En los piezas correspondientes al 30% de fibra (figuras 4.19 y 4.20), se observó que conforme el porcentaje de fibras aumenta los esfuerzos internos dentro del compuesto se van incrementando lo que obliga a la muestra a tener un desprendimiento más forzado de las fibras, además esto se corroboró con el tipo de desprendimiento que mostraron las fibras de bagazo en forma de pequeñas tiras o hilos y esto volvió a corroborar los resultados de los ensayos mecánicos, es decir, al existir mayores tensiones internas las

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

propiedades mecánicas del compuesto son mejores, esto también fue resultado de la reducción del tamaño de fibra aunque en el ensayo de flexión este tamaño no fue tan adecuado.

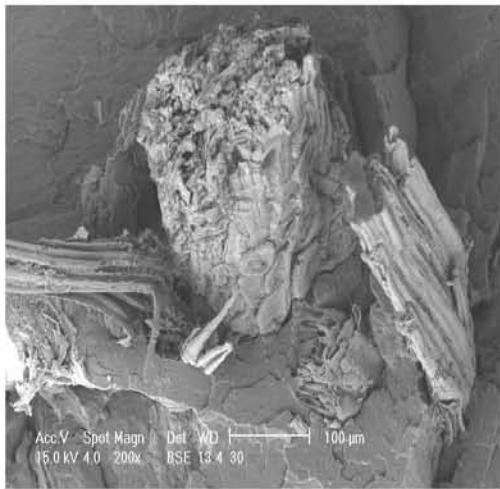


Figura.4.19. Espécimen al 30% de fibra. Método A.

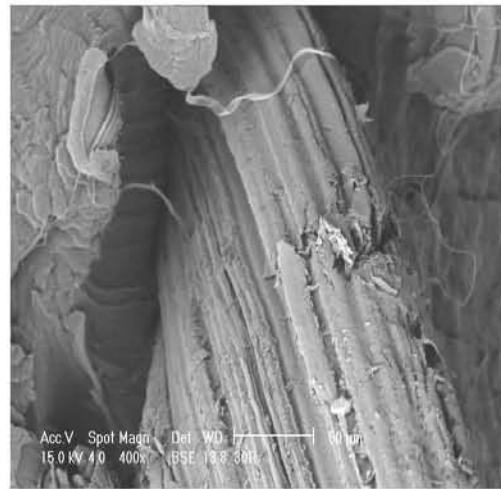


Figura.4.20. Espécimen al 30% de fibra. Método B.

La microscopía electrónica mostró un aumento considerable de la cantidad de refuerzo en las muestras correspondientes al 40% de la mezcla (figuras 4.21 y 4.22), manifestándose esto con la aparición de los empaquetamientos de los que se habló con anterioridad y que corroboró que la dureza en estas zonas debía aumentar; además dichos empaquetamientos llegaron al punto donde la concentración manifestó los resultados más cambiantes en determinadas zonas, lo cual no es aceptable, pues lo que se esperaba era una uniformidad de propiedades a lo largo de toda la pieza, sobre todo en el ensayo antes mencionado.

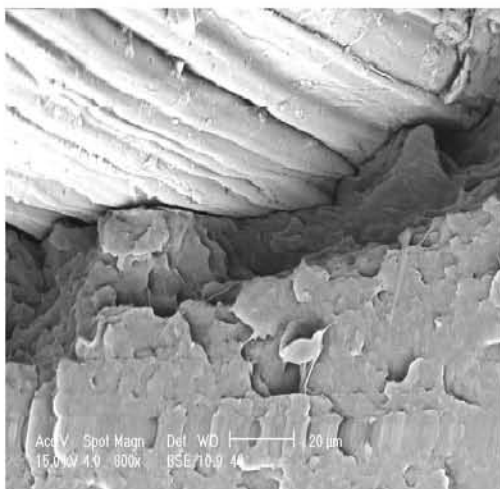


Figura 4.21. Espécimen al 40% de fibra. Método A.

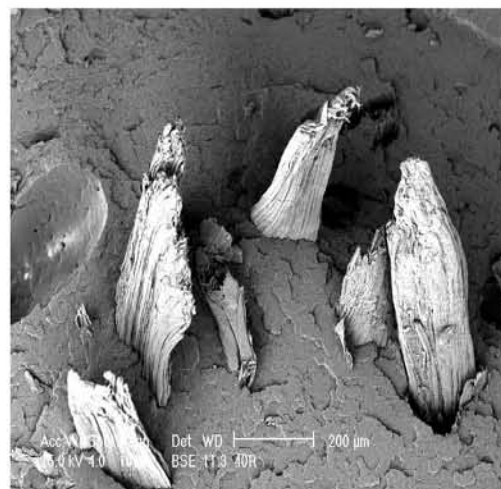


Figura 4.22. Espécimen al 40% de fibra. Método B.

Para finalizar, en los especímenes correspondientes al 50% de fibras vimos, que en esta mezcla se presentó la saturación de refuerzo, se manifestaron las mayores formaciones de paquetes de fibras, como se ve en las figuras 4.23 y 4.24, situación ya no deseable, puesto que si requeriáramos propiedades uniformes era necesario tener una dispersión uniforme del bagazo y la saturación no nos llevó a este resultado. Es de mencionar que también en estas concentraciones las propiedades mecánicas disminuyen, este fenómeno lo justificamos si consideramos que el porcentaje de matriz de Polipropileno en volumen es exactamente la misma que bagazo, entonces al no existir mayor proporción de polímero este no soporta y transmite los esfuerzos y cargas internas a la fibra y por consecuencia no es capaz de soportar cargas externas.

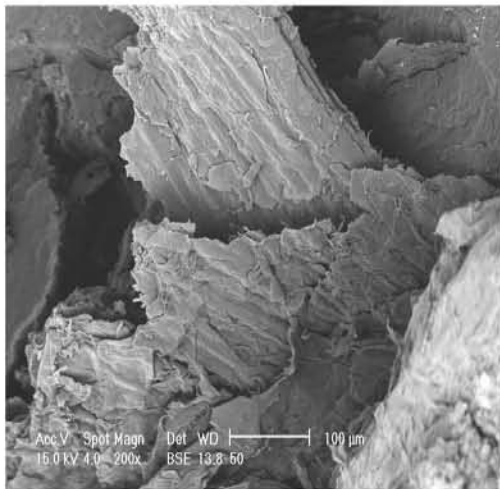


Figura 4.23. Especímen al 30% de fibra. Método A.

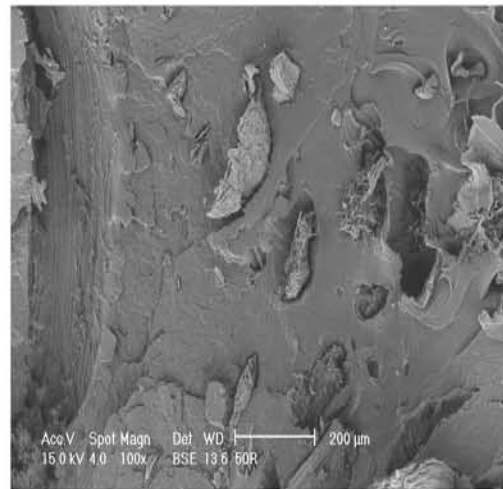


Figura 4.24. Especímen al 30% de fibra. Método B.

CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo se pudo evaluar el comportamiento mecánico del compuesto Polipropileno-Bagazo de Caña de azúcar y se llegó a que:

La inclusión de fibras naturales de bagazo de caña en materiales termoplásticos moldeados por inyección se puede realizar de forma directa en el proceso sin necesidad de mezcla previa; sin embargo, la interfase entre los componentes en general no existió del todo, pero el refuerzo se dispersó dentro de la matriz y solo presentó algunos empaquetamientos provocados por la humedad interna retenida en las fibras; por ello debe considerarse la posibilidad de someter a las fibras a un mayor tiempo de secado o aumentar la temperatura del mismo proceso o en su defecto buscar un proceso más efectivo para retirar dicha humedad, esto también es importante puesto que ayudará a evitar la formación de porosidades durante el proceso de inyección y que ello pueda perjudicar las propiedades del material, ya que las porosidades generadas por la humedad también fueron un factor para los diferentes comportamientos, puesto que en el Método B al eliminarse la humedad hay una mayor compactación del material por ello su comportamiento es más estable que en el Método A.

Aunque es de tomarse en cuenta que al aplicar alguna de estas soluciones, debemos considerar que las fibras pueden calcinarse por ser el bagazo un material parecido a la madera.

A pesar de que la resistencia mecánica disminuye en las mezclas correspondientes al 50% por la saturación, se observa que la presencia de las fibras provoca un aumento de rigidez del compuesto y que la dureza de este aumenta considerablemente, con lo cual el material podría ser utilizado en aplicaciones en donde se someta a esfuerzos y cargas de grado medio con dimensiones en cuanto a espesor controladas para evitar la posible flexión de este, con porcentajes de fibra entre el 20 y 30%.

Ahora bien en base a la microscopía y los resultados anteriores concluimos que el compuesto al 20% y 30% de carga presenta las mejores características mecánicas y que dependiendo de la aplicación puede utilizarse una u otra concentración además de que mezclas menores o mayores a estos porcentajes pueden ocasionar problemas en el procesamiento o variaciones a lo largo de los especímenes en cuanto a

propiedades mecánicas. El compuesto presenta buena resistencia a la tracción, aunque no sería recomendable para aplicaciones que requieran grandes deformaciones, tiene buena rigidez y es muy bueno para aplicaciones que soporten esfuerzos transversales a la dirección del bagazo de caña.

Es conveniente el uso de fibras más pequeñas, inferiores a las dimensiones descritas en el desarrollo experimental (3mm longitud por 0.05mm de diámetro), ya que de acuerdo a lo visto en el capítulo 2 sería preferible tener un diámetro que oscilará entre los 10 y 150 μm , ya que esto generaría una menor área de contacto en la que pudieran pasar fisuras o propagaciones de grieta y con ello se tendría la certeza de que se lograría aumentar la resistencia a la tracción del material, claro está que esto debe de hacerse sin manteniendo una relación l/d grande ya que si esta regla no se cumple estaríamos obteniendo partículas y las propiedades cambiarían; la base en la que se sustenta el hecho de reducir el tamaño de las fibras radica en que se puede observar que el Método B presenta propiedades con menos fluctuaciones (pero no mejores resultados) debido a tres factores: la degradación de los elementos del compuesto, la disminución del tamaño de dichas fibras durante el reprocesamiento y la eliminación de una mayor cantidad de agua debido a las temperaturas de trabajo.

Es posible realizar un control del proceso de inyección sin importar el porcentaje de refuerzo que se agregue a la matriz ya que pueden mantenerse las mismas condiciones, evitando con ello tiempos de optimización y pérdida de material (merma), aunque como se mencionó antes no es recomendable para mezclas mayores al 40% con la finalidad de no crear degradación de material y alteraciones en el proceso.

Las muestras presentan aspectos físicos aceptables en cuanto a color, textura, y opacidad, lo cual hace que no necesiten de pigmentos o un proceso adicional, dependiendo de las necesidades y gustos del cliente.

Si bien las propiedades mecánicas no aumentan e incluso caen, no lo hacen de forma abrupta y el compuesto es una alternativa para ahorro de material ya que como el bagazo no es un material que tenga un costo elevado, si este tiene la capacidad de sustituir Polipropileno en VOLUMEN, el ahorro se muestra justamente en que se requeriría mucho menor cantidad del polímero y en grandes producciones el ahorro pudiera ser importante.

APORTACIONES FUTURAS

Puede considerarse como una alternativa para lograr una adhesión mejor entre la fibra y la matriz un tratamiento superficial previo de estas para mejorar esta interfase o eliminar componentes que eviten la afinidad química entre los elementos del compuesto y garantizar un mejor comportamiento mecánico del material a mayores concentraciones.

Puede ser necesaria la búsqueda y utilización de un agente de acoplamiento adecuado el cual no afecte la estructura tanto de la fibra como de la matriz, un silano pudiera ser la alternativa, sin embargo hay que destacar que un silano es un agente de acoplamiento que enlaza una estructura orgánica y una inorgánica y los componentes que tenemos son orgánicos, entonces se tendría que buscar uno que permita unir estructuras orgánicas.

Sería recomendable además que si se utiliza este material para aplicaciones muy específicas, se elaborarán pruebas como de conductividad eléctrica, temperatura Vicat, etcétera, ya que están darían un panorama más completo para la aplicación, pero considerando antes todas las circunstancias a las que sería sometido el compuesto.

ANEXO 1

Cálculo de las cantidades requeridas para las mezclas en peso y volumen.

Para determinar las cantidades de material fue necesario tener los valores de la densidad de cada uno de los componentes:

$$\rho_{\text{Bagazo}} = 0.098 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

$$\rho_{\text{Polipropileno}} = 0.91 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Para tener una primera referencia se determinó utilizar 1500 gr de polipropileno con la finalidad de no gastar material de forma innecesaria, con esta masa y la densidad se obtuvo el volumen del polímero, de lo cual obtuvimos.

$$\text{Volumen de polipropileno} = \frac{\text{masa}}{\rho_{\text{polipropileno}}} = \frac{1500 \text{ gr}}{0.91 \text{ cm}^3}$$

Volumen de Polipropileno al 100% = **1648.53** [(cm³) este es el dato que se tomó como referencia.

Compuesto al 5% de fibra de bagazo de caña y 95% de matriz de polipropileno:

$$\text{Volumen bagazo} = 82.41 \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{Volumen polipropileno} = 1566.1 \text{ [cm}^3\text{]}$$

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{bagazo}} V_{\text{bagazo}}$$

$$m = (0.098 \text{ gr/cm}^3) * (82.41 \text{ cm}^3)$$

$$m = 8.07 \text{ [gr]}$$

$$m = \rho_{\text{polipropileno}} V_{\text{polipropileno}}$$

$$m = (0.91 \text{ gr/cm}^3) * (1566.1 \text{ [cm}^3\text{)})$$

$$m = 1425.151 \text{ [gr]}$$

Compuesto al 10% de fibra de bagazo de caña y 90% de matriz de polipropileno:

$$\text{Volumen bagazo} = 164.85 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volumen polipropileno} = 1483.67 \text{ [cm}^3\text{]}$$

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{bagazo}} V_{\text{bagazo}}$$

$$m = (0.098 \text{ [gr/cm}^3\text{)])} * (164.85 \text{ [cm}^3\text{)])}$$

$$m = 16.155 \text{ [gr]}$$

$$m = \rho_{\text{polipropileno}} V_{\text{polipropileno}}$$

$$m = (0.91 \text{ [gr/cm}^3\text{)])} * (1483.677 \text{ [cm}^3\text{)])}$$

$$m = 1350.146 \text{ [gr]}$$

Compuesto al 20% de fibra de bagazo de caña y 80% de matriz de polipropileno:

$$\text{Volumen bagazo} = 329.706 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volumen polipropileno} = 1318.82 \text{ [cm}^3\text{]}$$

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{bagazo}} V_{\text{bagazo}}$$

$$m = (0.098 \text{ [gr/cm}^3\text{)])} * (329.706 \text{ [cm}^3\text{)])}$$

$$m = 32.31 \text{ [gr]}$$

$$m = \rho_{\text{polipropileno}} V_{\text{polipropileno}}$$

$$m = (0.91 \text{ [gr/cm}^3\text{)])} * (1318.82 \text{ [cm}^3\text{)])}$$

$$m = 1200.12 \text{ [gr]}$$

Compuesto al 30% de fibra de bagazo de caña y 70% de matriz de polipropileno:

$$\text{Volumen bagazo} = 494.55 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volumen polipropileno} = 1153.95 \text{ [cm}^3\text{]}$$

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{bagazo}} V_{\text{bagazo}}$$

$$m = (0.098 \text{ [gr/cm}^3\text{)])} * (494.55 \text{ [cm}^3\text{)])}$$

$$m = 48.465 \text{ [gr]}$$

$$m = \rho_{\text{polipropileno}} V_{\text{polipropileno}}$$

$$m = (0.91 \text{ [gr/cm}^3\text{)])} * (1153.95 \text{ [cm}^3\text{)])}$$

$$m = 1050.094 \text{ [gr]}$$

Compuesto al 40% de fibra de bagazo de caña y 60% de matriz de polipropileno:

Volumen bagazo = 659.4 [cm³]

Volumen polipropileno = 989.1 [cm³]

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{bagazo}} V_{\text{bagazo}}$$

$$m = (0.098 \text{ [gr/cm}^3\text{]}) * (659.4 \text{ [cm}^3\text{]})$$

$$m = 64.621 \text{ [gr]}$$

$$m = \rho_{\text{polipropileno}} V_{\text{polipropileno}}$$

$$m = (0.91 \text{ [gr/cm}^3\text{]}) * (989.1 \text{ [cm}^3\text{]})$$

$$m = 900.081 \text{ [gr]}$$

Compuesto al 50% de fibra de bagazo de caña y 50% de matriz de polipropileno:

Volumen bagazo = 824.25 [cm³]

Volumen polipropileno = 824.25 [cm³]

En masa se tiene que

$$m = \rho_{\text{bagazo}} V_{\text{bagazo}}$$

$$m = (0.098 \text{ [gr/cm}^3\text{]}) * (824.25 \text{ [cm}^3\text{]})$$

$$m = 80.776 \text{ [gr]}$$

$$m = \rho_{\text{polipropileno}} V_{\text{polipropileno}}$$

$$m = (0.91 \text{ [gr/cm}^3\text{]}) * (824.25 \text{ [cm}^3\text{]})$$

$$m = 750.067 \text{ [gr]}$$

CANTIDADES DE LAS MEZCLAS REQUERIDAS EN MASA [GR]		
Muestra (porcentaje volumétrico)	Bagazo [gr]	Polipropileno [gr]
Al 5% de bagazo	8.07	1425.151
Al 10% de bagazo	16.155	1350.146
Al 20% de bagazo	32.31	1200.129
Al 30% de bagazo	48.465	1050.094
Al 40% de bagazo	64.621	900.081
Al 50% de bagazo	80.776	750.067

ANEXO 2

Resultados de las pruebas mecánicas.

Ensayo de Tracción.

Condiciones de Trabajo. *Método A. Proceso In situ*

Dimensiones para todas las piezas.

Ancho espécimen: 13mm

Espesor: 3.2mm

Humedad: 50%

Temperatura 23 °C

Velocidad de aplicación de la carga: 50mm/min

Ensayo de Tracción Mezcla 0% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	8.79	1.511	36.33	0.1758	
2	8.37	1.45	34.86	0.1674	
3	8.48	1.481	35.61	0.1696	
4	7.88	1.477	35.51	0.1576	
5	7.52	1.493	35.9	0.1504	
6	7.42	1.489	35.8	0.1484	
promedio	8.077	1.484	35.67	0.1615	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	9.46	1.498	36.02	0.1892	698.47
2	9.29	1.436	34.53	0.1858	736.7
3	10.44	1.448	34.82	0.2088	739.3334
4	9.21	1.442	34.67	0.1842	783.3755
5	8.19	1.477	35.51	0.1638	784.7166
6	8	1.476	35.49	0.16	820.8663
promedio	9.098	1.463	35.17	0.182	760.5769667

Ensayo de Tracción Mezcla 5% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	7.91	1.431	34.41	0.1582	
2	7.98	1.453	34.94	0.1596	
3	8.07	1.443	34.7	0.1614	
4	7.89	1.459	35.08	0.1578	
5	7.54	1.45	34.86	0.1508	
6	7.72	1.456	35.01	0.1544	
promedio	7.852	1.449	34.83	0.157	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	9.16	1.376	33.09	0.1832	767.3724
2	10.98	1.372	32.99	0.2196	721.98
3	10.28	1.389	33.4	0.2056	631.6631
4	9.22	1.425	34.26	0.1844	771.4478
5	12	1.352	32.51	0.24	745.6457
6	9.8	1.393	33.49	0.196	797.94
promedio	10.24	1.384	33.29	0.2048	739.3415

Ensayo de Tracción Mezcla 10% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	7.49	1.462	35.15	0.1498	
2	7.69	1.436	34.53	0.1538	
3	7.48	1.434	34.48	0.1496	
4	7.23	1.458	35.06	0.1446	
5	7.29	1.454	34.96	0.1458	
6	7.33	1.445	34.74	0.1466	
promedio	7.418	1.448	34.82	0.1484	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	9.32	1.411	33.93	0.1864	733.0221
2	8.31	1.421	34.17	0.1662	752.7153
3	9.19	1.384	33.28	0.1838	825.6744
4	8.78	1.411	33.93	0.1756	677.8341
5	8.58	1.426	34.29	0.1716	842.45
6	8.45	1.413	33.97	0.169	786.9099
promedio	8.772	1.411	33.93	0.1754	769.7676333

Ensayo de Tracción Mezcla 20% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	6.73	1.391	33.45	0.1346	
2	6.32	1.401	33.69	0.1264	
3	6.95	1.399	33.64	0.139	
4	6.35	1.396	33.57	0.127	
5	5.9	1.325	31.86	0.118	
6	6.78	1.364	32.8	0.1356	
promedio	6.505	1.379	33.17	0.1301	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	7.82	1.357	32.63	0.1564	841.4483
2	8.07	1.331	32	0.1614	803.6948
3	7.49	1.387	33.35	0.1498	712.6774
4	7.52	1.366	32.84	0.1504	773.3961
5	6.73	1.291	31.04	0.1346	758.51
6	7.45	1.342	32.27	0.149	747.5696
promedio	7.513	1.346	32.36	0.153	772.8827

Ensayo de Tracción Mezcla 30% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	6.24	1.365	32.82	0.1248	
2	6.23	1.362	32.75	0.1246	
3	5.27	1.313	31.57	0.1054	
4	5.58	1.366	32.84	0.1116	
5	6.09	1.3873	33.25	0.1218	
6	6.25	1.391	33.45	0.125	
promedio	5.943	1.363	32.78	0.1189	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	6.86	1.345	32.34	0.1372	809.5142
2	7.19	1.31	31.5	0.1438	773.7084
3	5.81	1.272	30.58	0.1162	825.0003
4	5.75	1.36	32.7	0.115	829.5211
5	6.46	1.367	32.87	0.1292	676.824
6	6.54	1.381	33.21	0.1308	805.6666
promedio	6.435	1.339	32.2	0.1287	786.7057667

Ensayo de Tracción Mezcla 40% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	4.5	1.199	28.83	0.0904	
2	5.19	1.28	30.78	0.1038	
3	4.82	1.274	30.63	0.0964	
4	3.9	1.154	27.75	0.078	
5	2.42	0.9591	23.06	0.0484	
6	3.17	1.111	26.71	0.0634	
promedio	4.003	1.163	27.96	0.0801	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	4.81	1.185	28.49	0.0962	765.0279
2	5.65	1.264	30.39	0.113	885.021
3	5.23	1.247	29.98	0.1046	861.8641
4	3.99	1.151	27.68	0.0798	794.0271
5	2.5	0.9544	22.95	0.05	859.7719
6	3.17	1.111	26.71	0.0634	866.6256
promedio	4.225	1.152	27.7	0.0845	838.7229333

Ensayo de Tracción Mezcla 50% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	4.52	1.256	30.2	0.0904	
2	4.77	1.309	31.47	0.0954	
3	4.11	1.219	29.31	0.0822	
4	6.06	1.317	31.67	0.1212	
5	5.55	1.336	32.12	0.11	
6	4.99	1.248	30.01	0.0998	
promedio	5	1.281	30.8	0.1	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	4.57	1.254	30.15	0.0914	788.2085
2	5.07	1.293	31.09	0.1014	887.2009
3	4.16	1.217	29.26	0.0832	829.7437
4	6.81	1.294	31.11	0.1362	805.6666
5	6.13	1.304	31.35	0.1226	807.5905
6	5.37	1.224	29.43	0.1074	675.417
promedio	5.352	1.264	30.4	0.107	798.9712

Dimensiones para todas las piezas.

Ancho espécimen: 13mm

Espesor: 3.2mm

Humedad: 50%

Temperatura 23 °C

Velocidad de aplicación de la carga: 50 mm/min

Ensayo de Tracción Mezcla Reciclada al 5% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	6.57	1.347	32.39	0.1314	
2	8.6	1.418	34.1	0.172	
3	9.05	1.419	34.12	0.181	
4	4.99	1.27	30.54	0.0998	
5	9.22	1.434	34.48	0.1844	
promedio	7.686	1.378	33.12	0.1537	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	6.82	1.341	32.24	0.1364	652.9694
2	10.43	1.358	32.65	0.2086	956.0286
3	11.63	1.373	33.01	0.2326	566.057
4	5.24	1.254	30.15	0.1048	796.4102
5	11.05	1.409	33.88	0.221	617.572
promedio	9.034	1.347	32.39	0.1807	717.80744

Ensayo de Tracción Mezcla Reciclada al 10% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	8.89	1.408	33.85	0.1778	
2	8.55	1.398	33.61	0.171	
3	8.46	1.413	33.97	0.1692	
4	8.6	1.401	33.69	0.172	
5	8.34	1.403	33.73	0.1668	
promedio	8.568	1.405	33.77	0.1714	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	15.43	1.1211	29.12	0.3086	527.84
2	13.59	1.238	29.77	0.2718	637.435
3	10.29	1.361	32.72	20.58	587.8009
4	11.39	1.332	32.03	22.78	531.3701
5	12.18	1.279	30.75	24.36	613.9167
promedio	12.58	1.284	30.88	25.15	579.67254

Ensayo de Tracción Mezcla Reciclada al 20% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	7.67	1.379	33.16	0.1534	
2	8.09	1.385	33.3	0.1618	
3	8.07	1.4	33.66	0.1614	
4	8.09	1.395	33.54	0.1618	
5	8.26	1.386	33.33	0.1652	
promedio	8.036	1.389	33.4	0.1607	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	11.34	1.293	31.09	0.2268	737.5867
2	14.25	1.203	28.93	0.285	663.2967
3	9.36	1.381	33.21	0.1872	583.328
4	10.09	1.34	32.22	0.2018	672.3949
5	10.18	1.332	32.03	0.2036	696.7342
promedio	11.04	1.31	31.49	0.2209	670.6681

Ensayo de Tracción Mezcla Reciclada al 30% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	7.29	1.359	32.68	0.1458	
2	7.52	1.348	32.41	0.1504	
3	6.45	1.339	32.2	0.129	
4	7.22	1.345	32.34	0.1444	
5	7.56	1.339	32.2	0.1512	
promedio	7.208	1.346	32.36	0.1442	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	8.92	1.323	31.81	0.1784	646.5659
2	9.9	1.291	31.04	0.198	723.3187
3	6.82	1.318	31.69	0.1364	671.6289
4	8.02	1.328	31.93	0.1604	721.8186
5	10.43	1.283	30.85	0.2086	694.3051
promedio	8.818	1.309	31.46	0.1764	691.52744

Ensayo de Tracción Mezcla Reciclada al 40% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	6.74	1.337	32.15	0.1348	
2	6.54	1.347	32.39	0.1308	
3	5.89	1.313	31.57	0.1178	
4	6.36	1.306	31.4	0.1272	
5	6.29	1.309	31.47	0.1258	
promedio	6.364	1.322	31.8	0.1273	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	7.57	1.297	31.19	0.1514	654.2675
2	7.38	1.323	31.81	0.1476	702.3613
3	6.14	1.307	31.43	0.1228	814.3596
4	7.19	1.821	30.8	0.1438	861.791
5	7.24	1.279	30.75	0.1448	784.361296
promedio	7.104	1.297	31.2	0.1421	763.428139

Ensayo de Tracción Mezcla Reciclada al 50% Bagazo de Caña					
Muestra	Desplazamiento a la carga Máxima (mm)	Carga Máxima (KN)	Esfuerzo a la carga Máxima (MPa)	Deformación a la carga Máxima (mm/mm)	
1	6.04	1.315	31.62	0.1208	
2	5.38	1.291	31.04	0.1076	
3	6.72	1.286	30.92	0.1344	
4	6.12	1.285	30.9	0.1224	
5	5.97	1.277	30.7	0.1194	
promedio	6.046	1.291	31.04	0.1209	

Muestra	Desplazamiento a la ruptura (mm)	Carga a la ruptura (KN)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Deformación a la ruptura (mm/mm)	Módulo de Young (MPa)
1	6.63	1.824	30.87	0.1326	722.7629
2	5.84	1.274	30.63	0.1168	798.961
3	7.14	1.274	30.63	0.1428	621.66
4	6.66	1.268	30.49	0.1334	549.351
5	6.34	1.265	30.42	0.1268	790.9211
promedio	6.522	1.273	30.61	0.1304	696.7312

Ensayo de Flexión.

Condiciones de Trabajo. Método A. Proceso In situ.

Dimensiones para todas las piezas.

Ancho espécimen :13mm

Espesor: 6.4mm con pequeñas variaciones hasta una máxima de 7.2mm

Distancia entre puntos: 63 mm

Humedad: 50%

Temperatura 18 °C.

Velocidad de aplicación de la carga: 2.7mm/min

Ensayo de Flexión Mezcla 0% Bagazo de Caña				
Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	10.98	0.1063	0.3015	53.52
2	10.78	0.1043	0.3035	53.88
3	11.33	0.1096	0.3023	53.66
4	11.07	0.1071	0.3005	53.34
5	11.15	0.1079	0.2996	53.18
promedio	11.06	0.107	0.3015	53.52

Ensayo de Flexión Mezcla 5% Bagazo de Caña				
Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	11.07	0.1071	0.3028	53.75
2	9.913	0.0959	0.3043	54.02
3	10.55	0.1021	0.3035	53.88
4	11	0.1065	0.2992	53.11
5	9.718	0.094	0.2961	52.56
promedio	10.45	0.1011	0.3012	53.46

Ensayo de Flexión Mezcla 10% Bagazo de Caña				
Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	9.937	0.0961	0.3281	58.24
2	9.523	0.0921	0.3214	57.05
3	9.862	0.0954	0.311	55.21
4	9.956	0.0963	0.3138	55.7
5	7.758	0.0751	0.3073	54.55
promedio	9.407	0.091	0.3163	56.15

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

Ensayo de Flexión Mezcla 20% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	8.352	0.0808	0.3651	64.81
2	8.885	0.086	0.3713	65.91
3	9.254	0.0898	0.3848	67.88
4	8.508	0.083	0.4195	73.32
5	8.685	0.086	0.3674	62.27
promedio	8.737	0.0851	0.3816	66.84

Ensayo de Flexión Mezcla 30% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	8.712	0.0843	0.3328	59.08
2	9.977	0.0973	0.3152	55.09
3	7.997	0.0846	0.3796	56.33
4	7.793	0.0825	0.3709	55.04
5	8.308	0.0879	0.3581	53.14
promedio	8.557	0.0873	0.3513	55.73

Ensayo de Flexión Mezcla 40% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	5.829	0.0626	0.3443	49.66
2	7.581	0.0814	0.372	53.66
3	7.182	0.0782	0.362	50.77
4	6.434	0.0681	0.3701	53.38
5	7.777	0.0835	0.3893	56.15
promedio	6.942	0.0747	0.3675	52.73

Ensayo de Flexión Mezcla 50% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	7.11	0.0774	0.03513	49.27
2	6.963	0.0758	0.3491	48.96
3	7.097	0.0772	0.3812	53.47
4	8.658	0.0929	0.3477	50.15
5	7.823	0.0828	0.3243	48.12
promedio	7.53	0.0812	0.3507	50

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.
Condiciones de Trabajo. Método B. Proceso de Reciclado.

Dimensiones para todas las piezas.

Ancho espécimen :13mm

Espesor: 6.4mm con pequeñas variaciones hasta una máxima de 6.55 mm

Distancia entre puntos: 63 mm

Humedad: 50%

Temperatura 18 °C.

Velocidad de aplicación de la carga: 2.7mm/min

Ensayo de Flexión Mezcla Reciclada 5% Bagazo de Caña				
Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	10.28	0.0994	0.32	56.81
2	10.42	0.1008	0.3167	56.22
3	10.73	0.1038	0.3149	55.9
4	10.81	0.1046	0.3144	55.81
5	10.77	0.1042	0.3154	55.99
promedio	10.6	0.1026	0.3163	56.14

Ensayo de Flexión Mezcla Reciclada 10% Bagazo de Caña				
Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	9.833	0.0951	0.3223	57.21
2	10.3	0.0997	0.3161	56.11
3	9.357	0.0905	0.322	57.16
4	10.45	0.1011	0.3106	55.14
5	9.607	0.0931	0.3591	63.55
promedio	9.909	0.0959	0.326	57.83

Ensayo de Flexión Mezcla Reciclada 20% Bagazo de Caña				
Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	9.671	0.0936	0.3424	60.78
2	9.02	0.0874	0.3442	60.91
3	6.486	0.0629	0.3568	62.94
4	6.138	0.0594	0.3549	63
promedio	7.829	0.0758	0.3496	61.91

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

Ensayo de Flexión Mezcla Reciclada 30% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	7.6499	0.074	0.3593	63.78
2	7.841	0.0759	0.3656	64.9
3	8.449	0.0821	0.3835	67.44
4	7.033	0.0684	0.3761	66.14
5	6.193	0.0602	0.3728	65.56
promedio	7.433	0.0721	0.3715	65.57

Ensayo de Flexión Mezcla Reciclada 40% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	7.306	0.071	0.3634	63.91
2	7.331	0.0713	0.3642	64.05
3	7.367	0.0717	0.3775	66.18
promedio	7.335	0.0713	0.3684	64.71

Ensayo de Flexión Mezcla Reciclada 50% Bagazo de Caña

Muestra	Desplazamiento a la flexión (mm)	Deformación a la flexión (mm/mm)	Carga para la flexión (KN)	Esfuerzo de flexión (MPa)
1	6.725	0.0651	0.3196	56.73
2	6.82	0.665	0.3218	56.24
3	6.099	0.599	0.3669	63.14
4	6.968	0.0685	0.3698	63.64
5	5.7	0.0564	0.375	63.55
promedio	6.462	0.0633	0.3506	60.66

Ensayo de Dureza.

Condiciones de Trabajo. *Método A. Proceso In situ*

Dimensiones para todas las piezas.

Humedad: 50%

Temperatura 18 °C.

Diámetro del disco 50mm

Espesor 3.1mm

Carga 60Kg

DUREZA AL 0% DE FIBRA							
Muestra							
1	104.6	104.4	101.9	100.7	102.8	101.4	
2	101.1	103.2	102.2	99.9	103.4	105	
3	103.4	104.2	96	103.2	95.1	102.1	
4	100.7	102.5	103.1	97	98.9	103.6	
5	103.8	94.8	99.1	103.4	99.6	104.5	
promedio	102.72	101.82	100.46	100.84	99.96	103.32	promedio de la probeta 101.52

DUREZA AL 5% DE FIBRA							
Muestra							
1	103.5	102.4	96.7	100	102.6	102.3	
2	103.7	101.4	103.3	94.1	102.4	99.2	
3	102.8	102.6	101.5	95.5	103.2	102.2	
4	103.7	103.5	99.6	99	102.8	98.8	
5	102.2	102.6	100.5	89.8	103.5	101.8	
promedio	103.18	102.5	100.32	95.68	102.9	100.86	promedio de la probeta 100.906667

DUREZA AL 10% DE FIBRA							
Muestra							
1	105.7	103.7	101.8	103.6	104	102.8	
2	104.2	102.5	102.4	100.9	102.2	100.6	
3	103.4	102.1	103.6	98.7	98.4	101.2	
4	103.2	99	101.7	102.7	99.7	101.3	
5	100.9	103.9	95.7	98.9	102.7	103	
promedio	103.48	102.24	101.04	100.96	101.4	101.78	promedio de la probeta 101.816667

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

DUREZA AL 20% DE FIBRA							
Muestra							
1	102.4	100.8	102.4	102.9	103	100.9	
2	101.8	102.3	99.6	103.5	103.1	101.6	
3	102	93.8	103.6	100.3	103.1	96.1	
4	102.6	97.1	94.3	101.2	103.3	98.3	
5	102.5	100	100.9	93.7	102.1	97.9	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	102.26	98.8	100.16	100.32	102.92	98.96	100.57

DUREZA AL 30% DE FIBRA							
Muestra							
1	100.7	100.7	101.7	102.4	102.2	102.6	
2	85.5	93.6	101.5	102.6	103.4	102.1	
3	101.5	103.3	100.2	97.3	96.3	101.7	
4	101.3	103.1	101.8	101.1	98.2	102.3	
5	102.1	101.4	101.6	103.1	102.5	101.8	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	98.22	100.42	101.36	101.3	100.52	102.1	100.653333

DUREZA AL 40% DE FIBRA							
Muestra							
1	100.2	100.5	102.3	101.1	99.5	100	
2	92.9	91.5	102.4	101.1	100.2	100.4	
3	100.4	95	99.6	99.2	101.4	98.3	
4	97.2	99.4	102.3	94	86.7	101.3	
5	99.7	97.8	98.7	100.9	102	93.3	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	98.08	96.84	101.06	99.26	97.96	98.66	98.6433333

DUREZA AL 50% DE FIBRA							
Muestra							
1	101	101.9	100.4	101.3	102.3	100.7	
2	100.4	102.5	101.1	99.9	96.6	98.2	
3	97	98.9	99.7	85.9	94.9	100.9	
4	101.7	97.1	101.8	89.9	96.2	92.9	
5	102.5	93.2	93.9	101.5	95.2	98.8	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	100.52	98.72	99.38	95.7	97.04	98.3	98.2766667

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.
Condiciones de Trabajo. Método B. Proceso de Reciclado.

Dimensiones para todas las piezas.

Humedad: 50%

Temperatura 18 °C.

Diámetro del disco 50mm

Espesor 3.1 mm

Carga 60 Kg

DUREZA AL 5% DE FIBRA						
Muestra						
1	100	98.7	102.6	101.2	103.3	
2	99.7	102.7	98.8	102.2	102.2	
3	99	102.8	101.5	98.8	96.8	
4	101.8	103.7	102.2	100.5	102.3	
5	101.2	101.8	94.9	103.6	102	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	100.34	101.94	100	101.26	101.32	100.972

DUREZA AL 10% DE FIBRA						
Muestra						
1	100	101.2	101.3	101.5	101.3	
2	100.3	101.5	100.2	98	100.4	
3	99.1	99	99.6	98	97.6	
4	101.1	99	98.5	92.8	100.3	
5	100.6	100.9	100.7	98.7	100.3	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	100.22	100.32	100.06	97.8	99.98	99.676

DUREZA AL 20% DE FIBRA						
Muestra						
1	101.7	101.9	100.6	101.2	98.5	
2	95.8	91.4	99.9	98	99.2	
3	97.6	98.5	96.5	100.2	91	
4	94.4	93	98.4	99.9	99.4	
5	94.4	99.8	98.9	100.1	98.9	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	96.78	96.92	98.86	99.88	97.4	97.968

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

DUREZA AL 30% DE FIBRA						
Muestra						
1	101.4	101	99.7	99.7	101.4	
2	97.8	101.1	99.3	94.2	96.2	
3	94.6	98.9	90.9	94.4	100.8	
4	99	99.7	96.8	96.1	100.5	
5	101.5	98.2	99.2	98.9	96.2	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	98.86	99.78	97.18	96.66	99.02	98.3

DUREZA AL 40% DE FIBRA						
Muestra						
1	97	99.9	100.6	101.2	101.3	
2	99.4	99.3	99.6	97.8	99.7	
3	96.1	100	99.7	98.6	86.1	
4	95.5	87.5	97.7	98.8	98.9	
5	96.2	101	94.1	99	99.2	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	96.84	97.54	98.34	99.08	97.04	97.768

DUREZA AL 50% DE FIBRA						
Muestra						
1	98.3	99.2	99.6	98.4	99.2	
2	87.4	99.9	94.6	97.7	97.5	
3	95.8	98.3	93.6	94.6	90.5	
4	91.6	98.6	97.9	97.9	97.9	
5	96.4	88.5	98.9	93	99	<i>promedio de la probeta</i>
promedio	93.9	96.9	96.92	96.32	96.82	96.172

Referencias Bibliográficas.

1. American Society Testing of Materials ***Annual Book of ASTM STANDARDS 2000***. Section Eight. Vol. 8.01 a 8.04. Plastics. Edit. ASTM 100 Barr Harbor. 2002.
2. Arribas J.M. et. al, ***Compuestos de Polipropileno con fibras Naturales***, Revista de Plásticos Modernos. Vol. 88. Número 582, 2004.
3. Askeland Donald R. ***Ciencia e Ingeniería de los Materiales***. International Thomson Editores, México, 1998, 790 pp.
4. Callister William D. ***Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales***. Edit. REVERTÉ, Tomo II, España, 1996. 788 pp.
5. Fernández Rodríguez N. ***El Bagazo y las Fibras Naturales: Presente y Futuro Para su Industrialización***. Unión de Investigación Producción de la Celulosa del Papel. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel 2000. La Habana, 2000. 13 pp.
6. Groover Mikell P., ***Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas***. Pearson Educación. México, 1997, 1062 pp.
7. Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI. ***ENCICLOPEDIA DEL PLÁSTICO***. Edit. Centro Empresarial del Plástico. 2ª. Ed. Vol. 1 y 3 México 2000. 435 pp.
8. Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI. ***Inyección de Plásticos, Curso Teórico Práctico***. Edit. Centro Empresarial del Plástico.

9. J. M. Arribas, F.J. Gómez, et al. **Compuestos de Polipropileno con fibras Naturales**. Dirección de Tecnología del Centro Tecnológico Repson-YPF y el Departamento de Física y Polímeros del Instituto de Ciencia y Tecnología en Polímeros de Madrid, Revista de Plásticos Modernos. Vol.88 No. 582, España, 2004.
10. Lawrence T. Drzal, A. K. Mohanty, et al. **Structural BioComposites from Natural Fibers and BioPolymers** Composite Materials and Structures Center Michigan State University, East Lansing. ANTEC USA. 2003.
11. Quesada-Solís K., Alvarado-Aguilar P., et al. **Utilización de las fibras de rastrojo de Piña como material en resinas Poliéster**. Laboratorio de Polímeros-POLIUNA, Universidad Nacional. Costa Rica. Laboratorio de Adhesión y Adhesivos, Universidad de Alicante, Revista Iberoamericana de Polímeros, Volumen 6(2), España, 2005.
12. William F. Smith **Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales**, Mc. Graw Hill, 3ª Ed, México, 1998, 715 pp.

Referencias Bibliográficas consultadas de Internet.

1. <http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#INTRO> (Abril 2005).
2. http://www.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronicas/revistaforestal/vol43-2/articulo43_2_1.pdf (mayo 2005).
3. http://www.plastico.com/pragma/documenta/plastico/secciones/IP/ES/MAIN/IN/ARTICULOSREPORTAJESHOME/doc_41542_HTML.html?idDocumento=41542 (Julio 2005).
4. www.finguncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/industria_plastica.pdf (Julio 2005).
5. <http://www.camingeneria.com/capitulo4.html> (Agosto 2005).
6. <http://www.monografias.com/trabajos13/plasti/plasti.shtml> (septiembre 2005).
7. <http://www.inti.gov.ar/citip/boletin/b602.pdf> (octubre 2005).
8. <http://materiales.cia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-fibras%20naturales.htm> (noviembre 2005).
9. <http://mein2000.com/tutorial/inyeccion.htm> (noviembre 2005).
10. <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11c.pdf> (noviembre 2005).

Estudio del Comportamiento Mecánico de un Polímero Reforzado con Bagazo de Caña.

11. http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0531102-082602/03INTRODUCCION.pdf (diciembre 2005).
12. <http://gened.emc.maricopa.edu/Bio/BIO181/BIOBK/BioBookTOC.html> (Marzo 2006).
13. http://www.mundotutoriales.com/corso-MATRICULA_RUN.cfm?id_curso=52717020050268536649505668694556&id_centro=2742207003149505256526748524548. (diciembre 2005).