



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

***Estudio Comparativo de
Pruebas de Tracción en
Materiales Compuestos de
Bagazo de Caña y Bagazo de
Agave***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA
(ÁREA MECÁNICA)**

P R E S E N T A

ADOLFO ALTAMIRANO MEZA

DIRECTOR DE TESIS:
M.I. MAGDALENA TRUJILLO BARRAGAN

2008





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.

Dedicatoria:

A mis padres José y Ernestina por ser un ejemplo y darme la vida.

A mi esposa María de la Luz por prestarme su apoyo incondicional.

A mis hermanos Alejandro y María Isabel por haber compartido los primeros años de mi vida.

Agradecimientos:

Al Dr. Omar A. Jiménez Arevalo el cual nos proporciono el material para la realización de las muestras para realizar los ensayos de tracción.

Al Ing. Grabiél Soto Irineo por sus conocimientos, paciencia y tiempo para la inyección del las muestras de tracción.

A la Ing. Magdalena Trujillo Barragán por su valioso apoyo, por el interés presentado y por su incomparable amistad.

ÍNDICE.

Introducción.....	1
Objetivo General.....	2
Objetivos Particulares.....	2
Antecedentes.....	3
Aspectos generales del proyecto.....	4
Capítulo 1. Elementos que constituyen al material.....	6
1. Materiales compuestos.....	7
1.1. Clasificación de los Materiales Compuestos.....	8
1.1.1. Compuestos Reforzados por Dispersión.....	8
1.1.2. Compuestos Reforzados con Partículas.....	9
1.1.3. Compuestos Reforzados con Fibras.....	10
1.2 El bagazo de caña de azúcar.....	12
1.2.1 Características del Bagazo de Caña.....	15
1.3. Agave	16
1.4 Los plásticos.....	21
1.4.1 Clasificación de los Polímeros.....	24
1.4.1.1 Características del Almidón.....	27
1.4.1.2 Forma de los granos de almidón.....	29
1.4.1.3 Gelatinización.....	30
1.4.1.4 Retrogradación.....	31
1.4.1.5 Gelificación.....	31
1.5. Otras fibra naturales.....	31
1.5.1 Fibras de Origen Vegetal.....	32
1.5.2 Compuestos de Rastrojo de Piña.....	34
1.5.3 Plásticos Reforzados con Madera.....	35
1.5.4 Polipropileno Reforzado con Sisal.....	37
1.5.5 Fabricación de Tableros Aglomerados con Partículas de Caña Brava.....	38
1.5.6 Otros Proyectos.....	39
Referencias bibliográficas.....	41
Capítulo 2. Proceso de inyección.....	42
2. El proceso de inyección.....	43
2.1 Importancia de la fabricación de productos hechos a base de Plásticos	43
2.2. Moldeo por Inyección.....	44
2.2.1 Fundamentos del Proceso de Inyección.....	44
2.2.2. La Máquina de Inyección.....	46
2.3. Problemas en Piezas Procesadas por Inyección.....	48
2.4 La inyección con preparación de compuestos capta la atención del sector.....	51
2.4.1. Demostraciones en el laboratorio técnico.....	52

Referencias bibliográficas.....	54
Capítulo 3. Desarrollo experimental.....	55
3.1. Descripción general del proceso de trabajo.....	56
3.1.1 Determinación de las Características de las Fases del Compuesto.....	57
3.1.1.1 Condiciones de Trabajo para el Bagazo de Caña y de agave	57
3.1.1.2 Condiciones de Trabajo para el Almidón.....	58
3.1.1.3 Cálculo del Porcentaje de Humedad y Proceso de Secado del Bagazo de Caña y Agave.....	58
3.1.2 Determinación de las cantidades de material a utilizar.....	60
3.2. Optimización del proceso de inyección.....	63
3.3. Ensayos mecánicos.....	65
3.3.1 Prueba de Tracción.....	65
Capítulo 4. Resultados y análisis.....	68
4.1. Procesamiento de las muestras.....	69
4.1.1 Características Físicas de las Piezas.....	71
4.1.2 Análisis de la prueba de Tracción.....	74
Conclusiones.....	80
Referencias bibliográficas.....	82
Referencias bibliográficas consultadas de internet.....	83

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 observar y analizar que tan viable resultaría hacer una combinación de materiales completamente orgánicos, como es el caso de las fibras naturales como refuerzos (ya sean residuos maderables, plantas, etcétera) con almidón como matriz, para producir nuevos compuestos, los que tienen la finalidad de mejorar las propiedades de este último, 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; por el otro lado, el almidón, siendo un material con estructuras similares a la de los termoplásticos, se puede considerar que éste es altamente funcional, de fácil producción y de costos bajos, según la Cadena Productiva Mexicana.

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 elementos orgánicos 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, 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 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 y el tequila, junto con una base orgánica también, con estructura molecular polimérica como es el almidón, puede dejar de ser desperdicio o alimento para ganado y convertirse en un material que al ser acoplado entre sus elementos, nos dé un producto con diferentes propiedades mecánicas.

En este trabajo se presentan las características que constituyen al material, seguido de una explicación de los procesos de inyección de plásticos, para después, llevando a cabo pruebas de tracción, describir la fase experimental de unión entre las fibras y el almidón, finalizando con el análisis de los resultados obtenidos y sus conclusiones.

OBJETIVO GENERAL

Se elaborarán dos materiales compuestos con resina natural (almidón) y fibra, una de bagazo de caña y otra de bagazo de agave. Se establecerán las características mecánicas de ambos por medio de ensayos de tracción y así determinar su posible uso.

Objetivos Particulares.

-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, y de la cosecha del agave.

-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.

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. 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 biodegradable al cual se le incorpore una fibra natural ofrece ventajas importantes, 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 impulsando al sector industrial a trabajar con ellas.

El almidón reforzado por fibras naturales dan una alternativa para aplicaciones específicas como materiales de embalaje en sustitución del poliestireno expandido (unicel) y bolsas de empaque de supermercado en vez del polietileno 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 almidón reforzado con fibras naturales de bagazo de caña de azúcar y agave.

Para poder caracterizar al almidón y sus propiedades mecánicas se recurrirá al uso del proceso de Inyección de Plásticos y se desarrollarán pruebas de tracción de acuerdo a las normas de la American Society for Testing 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 Almidón como la parte matricial del compuesto, se debe a que es un material que tiene similitud molecularmente hablando con los polímeros de mayor empleo en la Industria de los Plásticos y es cien por ciento biodegradable.

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

1. Observación de la buena adhesión entre la matriz de almidón 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 almidón 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:

a). Si las fibras quedan separadas y no se distribuyen de forma uniforme, pueden generar cambios en las propiedades mecánicas del compuesto.

b). El tamaño de fibra debe ser pequeño y uniforme para lograr una mejor adherencia entre ella y la matriz polimérica.

c). Tener presente que la fibra debe de estar libre de la mayor cantidad de humedad posible, para evitar porosidades.

d). 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.

CAPÍTULO 1
ELEMENTOS QUE
CONSTITUYEN AL
MATERIAL

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 procesado 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*. Al final del capítulo se encuentran las referencias completas.

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. *Tradicional*es 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. Compuestos Reforzados por Dispersión.

Este grupo de materiales contienen en su estructura partículas que van entre los 10 a 250 μm de diámetro, se les conoce como dispersoides, que por lo general son óxidos de metal en matriz metálica o cerámica. 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.

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.

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.

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

^b . Askeland Donald R. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*.

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 $10\ \mu m$ hasta $150\ \mu m$ 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.

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

^c ídem a

^d ídem a

CLASE	FIBRA /MATRIZ
Matriz de polímero	(Fibra de vidrio)/Poliéster (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)

Tabla 1.2. Sistemas de compuestos reforzados por fibras. a

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.
- 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.

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.

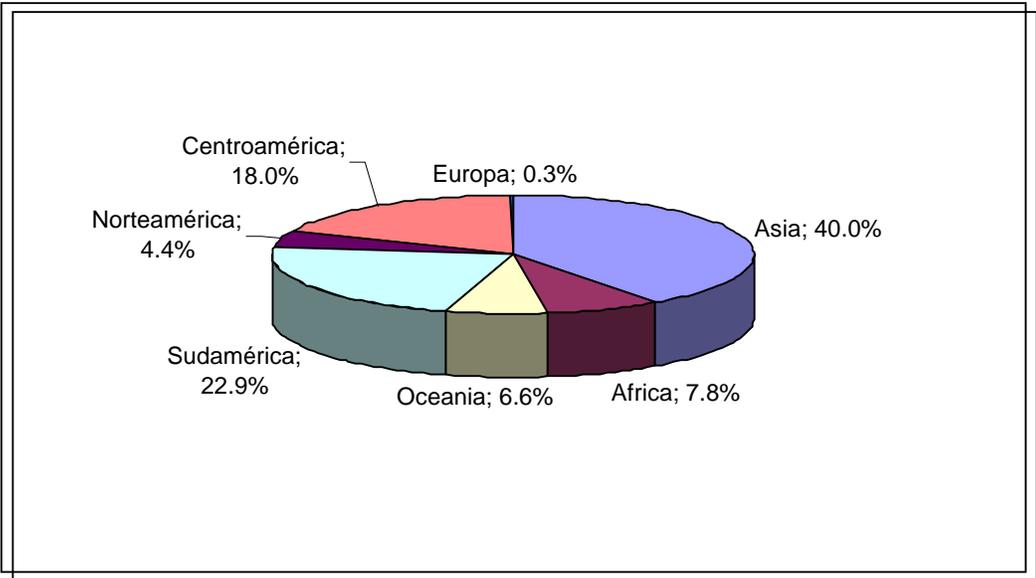


Figura 1.1. Disponibilidad de bagazo de caña a nivel mundial.^f

^e Fernández Rodríguez N. *El Bagazo y las Fibras Naturales: Presente y Futuro Para su Industrialización*.

^f . y f.1 idem e

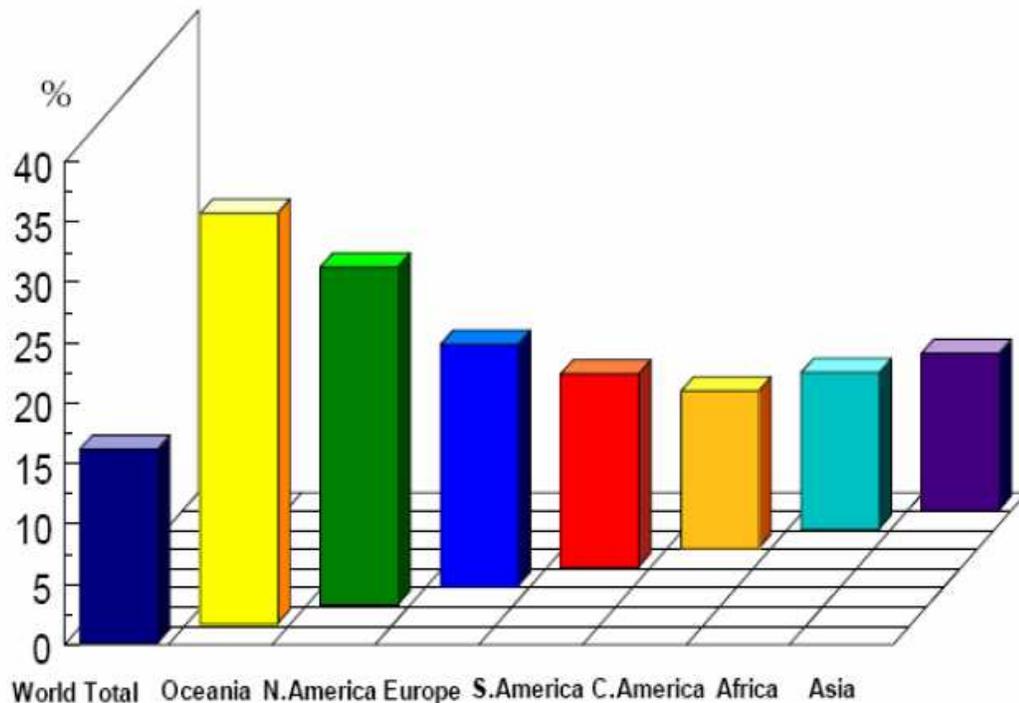


Figura 1.2. Bagazo industrializado (%) por regiones y a nivel mundial.*f.1

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.⁹

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.

⁹ idem e

1.3. *Agave*^u

Clasificación científica

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Asparagales
Familia: Agavaceae
Género: *Agave*

Los agaves son plantas suculentas pertenecientes a una extensa familia botánica del mismo nombre: Agavaceae. Se le conoce además con los nombres de pita, maguey o cabuya. Proceden principalmente de México (la región de Tequila, en el estado de Jalisco es la máxima productora de tequila, la bebida nacional mexicana) y también se localizan en la zona meridional y occidental de Estados Unidos y en zonas centrales y tropicales de Sudamérica.

Estas plantas forman una gran roseta de hojas gruesas y carnosas, generalmente terminadas en una afilada aguja en el ápice y, a menudo, también con márgenes espinosos. El robusto tallo leñoso suele ser muy corto, por lo que las hojas aparentan surgir de la raíz.

Los agaves requieren un clima semiseco con temperatura promedio de 20 °C, generalmente a una altitud entre 1.500 y 2.000 msnm. Las condiciones del suelo: arcilloso, permeable y abundante en elementos derivados del basalto y riqueza en hierro, preferentemente volcánico. Es muy importante la exposición al sol, y no debe haber más de 100 días nublados al año y preferentemente sólo 65.

La reproducción se puede dar por semilla o bulbillo o más eficientemente mediante rizomas, es decir transplantando los hijuelos que brotan de la raíz de la planta. Al alcanzar una altura de 50 cm y cuando el corazón es del tamaño de una toronja, se desprenden de la planta madre cortándolos con un barretón. La edad óptima de un agave para reproducirse, es entre los 3 y los 5 años. Una planta madre da entre uno y dos hijuelos por año. Una vez separados los hijuelos de la madre, se procede a la plantación precisamente antes del tiempo de lluvia, la nueva planta debe quedar asentada y

^u Academia mexicana del tequila.

enterrada en un 75% de su volumen, apisonando la tierra para asegurar la planta.

Su crecimiento es muy lento, la maduración demora de 8 a 10 años y florecen sólo una vez emitiendo un largo tallo de casi 10 m de altura que nace del centro de la roseta, hacia la mitad del tallo surgen ramificaciones con numerosos grupos de flores tubulares. La planta muere tras desarrollar el fruto pero por lo general produce retoños en su base.

Probablemente fueron los exploradores españoles y portugueses quienes condujeron los agaves a Europa, pero se hicieron populares durante el siglo XIX, cuando los coleccionistas comenzaron a introducir diferentes tipos, algunos de los cuales llevan propagándose por esquejes desde entonces y ya no tienen semejanza a ninguna de las especies conocidas en la naturaleza, aunque esto pueda deberse simplemente a las poco naturales condiciones de cultivo europeas.

Contra lo que algunas personas creen, el agave no es un cactus, es de hojas largas, fibrosas de forma lanceolada, de color verde azulado, cuya parte aprovechable para la elaboración del tequila es la piña o cabeza.



Fig1.3.Campo sembrado de agave.

El agave se ha aprovechado entre otras cosas en:

- Como papel
- Vallas para guardar las heredades
- Las hojas o pencas como tejas en techumbres
- Tallos o quíotes como vigas
- Las fibras de las hojas en hilaturas para tejidos
- Puntas de las pencas como: Clavos, punzones, agujas
- Zumo o licor del cual se hace vino, vinagre, miel, azúcar

El agave en la prehispanidad era considerada una planta sagrada. Sus registros más antiguos datan de algunos códices prehispánicos como el Tonalmatl Náhuatl que significa "Tira de peregrinación Azteca", que narra la historia del pueblo de México.

Según los códices Nutall, Laud, Florentino y Mendocino, las tribus indígenas hallaron diferentes usos para el agave y sus subproductos, por ejemplo; alimentos, hilos, agujas para coser, calzado, techos para casas, ropa, clavos, punzones, armas de guerra, papel, entre otros objetos. Los mexicas aprendieron a cocer las piñas del agave.

Ya en los tiempos de la conquista, en los estados de Jalisco, Colima, Nayarit y Aguascalientes, los indios ticuila o tiquilinos elaboraban un aguardiente de la planta del agave, mismo que bebían en fiestas y ceremonias religiosas. Cuando los españoles lo probaron, fueron conquistados por Mayahuel y adquirieron la costumbre de beberlo en la punta de un cuerno de vaca.



Figura 1.4. Detalle de un agave tequilero

La planta del agave azul embellece el paisaje mexicano con sus hojas puntiagudas. En distintos lugares de México se obtienen diferentes bebidas aguardentosas que reciben el nombre genérico de mezcal y toman el apellido de la población donde nacen. El más famoso de todos el es mezcal de Tequila.

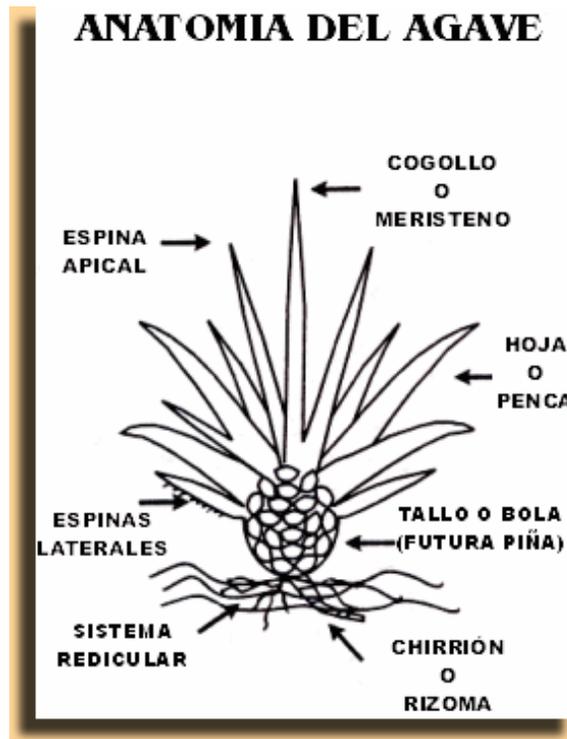


Figura 1.5. Anatomía de un agave.

Existen varias especies de agave, cuyo jugo puede ser fermentado y destilado para la producción de bebidas alcohólicas, sin embargo, sólo el agave tequilana Weber en su variedad azul es el único autorizado para la elaboración de tequila. El cultivo de esta planta requiere de la combinación de numerosos factores como:

- La altitud, preferentemente a 1500 metros sobre el nivel del mar.
- Las condiciones de la tierra, favorablemente suelo volcánico, arcilloso, permeable y abundante en elementos derivados del basalto y riqueza en hierro.
- Pluviosidad, cerca de un metro anual.
- Temperatura constante de clima semiseco que oscile entre los 20° . Importante la exposición al sol, ya que se considera favorable que existan nublados entre 65 y 100 días del año.

Sólo una región de aproximadamente 209 km² en el estado de Jalisco reúne las mejores condiciones, para mejor reproducción del agave azul tequilana Weber: la famosa región de Tequila.

La planta del agave tequilana Weber variedad azul, goza de ciertas características que la hacen diferente de otros agaves, ya que es una planta carnosa en forma de roseta, fibrosa, de color azul o verde grisáceo originado por un alto contenido de ceras que impiden que la planta pierda agua. Sus hojas son rígidas, con espinas marginales y apicales; almacena inulina en el tallo y es productora de fructuosa.

La reproducción del agave azul tequilana Weber se puede dar por semilla o bulbillo, los cuales, en razón de producciones industriales no son utilizados. En estos casos el método que se emplea es el de rizoma, que consiste en transplantar los hijuelos que brotan de la raíz de la planta. Al alcanzar una altura de 50cm. y cuando el corazón es del tamaño de una toronja, se desprenden de la planta madre cortándolos con un barretón. La edad óptima de un agave para reproducirse, es entre los tres y los cinco años. Una planta madre da entre uno y dos hijuelos por año. En la figura 1.5 se muestran las partes que componen a un agave.

Una vez separados los hijuelos de la madre, se procede a la plantación precisamente antes del tiempo de lluvia, la nueva planta debe quedar asentada y enterrada en un 75% de su volumen, apisonando la tierra para asegurar la planta.

En el momento de apisonar la tierra, empieza el largo proceso de evolución del agave, el cual tardará de ocho a diez años en obtener su madurez, durante los que se le debe dar mantenimiento; limpieza del terreno, fertilización, control de crecimiento y prevención de enfermedades.

Para obtener alto nivel de calidad, durante el proceso siempre debe haber una selección minuciosa de las plantas madres así como de los hijuelos. Durante el crecimiento de la planta se van realizando algunas labores que ayudan a la misma a producir y conservar el máximo nivel de almidones en el corazón.

A los seis años, para favorecer su madurez, se realiza barbeo de escobeta rebajado, que consiste en hacer cortes horizontales en la parte superior de las hojas dejando la superficie plana. Casi al llegar a la madurez, el barbeo se va haciendo estricto, hasta dejar la piña casi sin pencas, este barbeo es denominado barbeo castigado.

Una vez alcanzada la madurez y en los meses secos, el agave comienza a reducir el tamaño de sus hojas en el cogol o centro, haciéndose más pequeñas y numerosas por el crecimiento de una inflorescencia llamada quiote. Este quiote crece rápidamente y consume todos los azúcares que se acumularon durante años, por lo que es cortado; a esta operación se le llama desquiote.



Figura 1.6. Un jimador realizando su trabajo.

Después de que el agave ha llegado a su plena madurez, se lleva a cabo la cosecha y durante esta se realiza la jima, ya que en la elaboración del tequila se utiliza únicamente la parte central (corazón, piña o cabeza) de la planta, donde se concentra la mayor cantidad de azúcares.

En la jima se utiliza la herramienta llamada coa, que consiste en una barreta con la punta semicircular sumamente filosa, para cortar y eliminar las hojas del agave quedando sólo la médula, misma que es separada de la tierra eliminando la raíz hasta dejar la piña. Dependiendo de la edad, del tipo de agave y de la forma del corte, la piña llega a pesar cien o más kilos. La persona que realiza este proceso es llamado jimador.

El resto del agave se reduce y se considera como agave, mismo que utilizaremos en nuestro estudio.

1.4 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 en la figura 1.7:

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^h donde R y R' representan grupos de átomos que permanecen como una simple unidad y mantienen su identidad durante las reacciones químicas.

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

Origen	Materia Prima	Productos intermedios	Materias Plásticas
Animales	Leche	Caseína	Galalita y Lanital
Vegetales	Algodón y madera	Celulosa	Celuloide, Celofan, Rayón y Viscosa
	Plantas oleaginosas	Aceites	Almidon rilsan y barnices
	Hevea	Latex	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	Nailon, Resinas formofenólicas o fenoplastos
		Nafteno	Resinas gliceroftalicas
		Curoma e indeno	Resinas para lacas y barnices
		Acetileno (a partir del calcio obtenido con coque y cal)	Resinas acrílicas, acetato de celulosa, polivinilo, neopreno, y cauchos sintéticos, plexiglas y fibras.
		Gas (a partir del coque)	Baquelita y resinas formofenólicas
		Amoniaco (a partir del hidrógeno procedente de la hulla y del nitrógeno del aire)	
	Petróleo y gas natural	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 gliceroftalicas
		Xileno	Poliésteres y fibras textiles

Figura 1.7. Materias primas para la obtención de Plásticos. ⁱ

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.

ⁱ www.fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/industria_plastica.pdf

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	$R-C \begin{array}{l} \nearrow OH \\ \searrow O \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-C \begin{array}{l} \nearrow OH \\ \searrow O \end{array} \\ \\ H \end{array}$ Ácido acético
Aldehídos	$R-C \begin{array}{l} \searrow O \\ \nearrow H \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C=O \\ \\ H \end{array}$ Formaldehído
Hidrocarburos aromáticos	$\begin{array}{c} R \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ a \end{array}$	$\begin{array}{c} OH \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{Fenol} \end{array}$

La estructura simplificada  significa el anillo bencénico.

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.

1.4.1 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.

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^j donde R y R' representan grupos de átomos que permanecen como una simple unidad y mantienen su identidad durante las reacciones químicas.

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

Polímero	Unidad de repetición	Aplicaciones
Polietileno (PE)		Películas para empaque, aislamiento de conductores, botellas blandas, tuberías, elementos caseros.
Polipropileno (PP)		Tanques, fibras para alfombras, cuerdas, empaque.
Poliestireno (PS)		Empaques y espumas aislantes, paneles de iluminación, componentes de aparatos, rejillas para huevo.
Polimetilmetacrilato (PMMA)		Ventanas, parabrisas, recubrimientos, lentes de contacto rígidos, señalizaciones iluminadas internamente.
Politetrafluoroetileno (teflón) (PTFE)		Sellos, válvulas, recubrimientos no adherentes.

Tabla 1.4. Unidades de repetición y aplicaciones para termoplásticos por adición seleccionados.^b

Los polímeros naturales se consideran como tales por tener una arquitectura molecular muy similar a la de los polímeros sintéticos que vimos en la tabla 1.4. Uno de estos polímeros naturales es el almidón del cual hablaremos a continuación.

1.4.1.1 Características del Almidón.^t

El almidón es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual. Del mismo modo, la cantidad de almidón utilizado en la preparación de productos alimenticios, sin contar el que se encuentra presente en las harinas usadas para hacer pan y otros productos de panadería.

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum spp.*), varios tipos de arroz (*Oryza sativa*), y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de papa (*Solanum tuberosum*), batata (*Ipomoea batatas*) y mandioca (*Manihot esculenta*). Tanto los almidones como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente anti-envejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante. En la figura 1.8, se muestra la arquitectura del almidón.

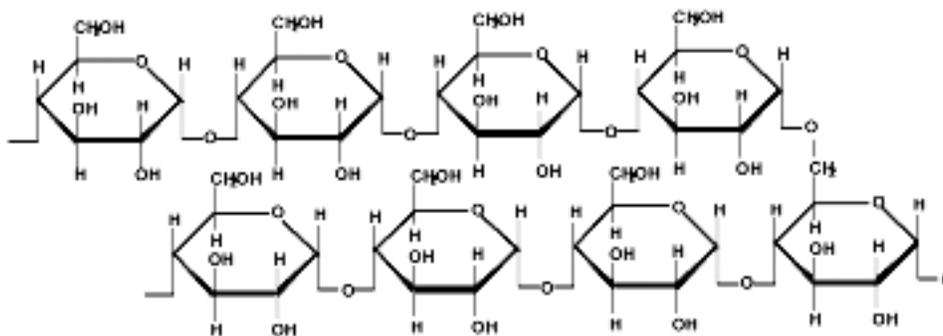


Figura 1.8. Estructura del almidón.

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que, en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los

^t Wikipedia

gránulos de almidón son relativamente densos, insolubles y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35%.

El trigo, el centeno (*Secale cereale*) y la cebada (*Hordeum vulgare*) tienen dos tipos de granos de almidón: los grandes lenticulares y los pequeños esféricos. En la cebada, los granos lenticulares se forman durante los primeros 15 días después de la polinización. Los pequeños gránulos, representando un total de 88% del número de granos, aparecen a los 18-30 días posteriores a la polinización.

Los almidones de los cereales contienen pequeñas cantidades de grasas. Los lípidos asociados al almidón son, generalmente, lípidos polares, que necesitan disolventes polares tales como metanol - agua, para su extracción. Generalmente el nivel de lípidos en el almidón cereal, está entre 0.5 y 1%. Los almidones no cereales no contienen esencialmente lípidos.

Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo tienen parecido grado de cristalinidad que los almidones normales. La disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón en un gránulo resulta evidente al observar la cruz de polarización (cruz blanca sobre un fondo negro) en un microscopio de polarización cuando se colocan los polarizadores a 90° entre sí. El centro de la cruz corresponde con el hilum, el centro de crecimiento de gránulo.

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$, que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los dos almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del 70-75%.

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como *céreos*. La amilopectina de papa es la única que posee en su molécula grupos éster fosfato, unidos más frecuentemente en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3.

1.4.1.2 Forma de los granos de almidón.

El tamaño y la forma de los granos de almidón de las células del endospermo, varía de un cereal a otro; en el trigo, centeno, cebada, maíz, sorgo y mijo, los granos son sencillos, mientras que los de arroz son compuestos. La avena tiene granos sencillos y compuestos predominando estos últimos. La mayor parte de los granos de almidón de las células del endospermo prismático y central del trigo tiene dos tamaños: grande, 30-40 micras de diámetro, y pequeño, 1-5 micras, mientras que los de las células del endospermo sub-aleurona, son principalmente de tamaño intermedio 6-15 micras de diámetro. En las células del endospermo sub-aleurona hay relativamente más proteína y los granos de almidón están menos apretados que en el resto del endospermo.

Origen del almidón	Márgenes de temperatura de gelificación (°C)	Forma del grano	Tamaño del grano (nm)
Trigo	58 - 64	Lenticular Redondo	20-352-10

Tabla 1.5: Características del almidón usado en el laboratorio

Debido a las cualidades morfológicas diferenciadas con que cuentan los gránulos de almidón según la planta a la cual pertenecen, se ha diseñado una técnica de investigación paleoetnobotánica (granos de almidón en arqueología) de gran ayuda para la arqueología de las regiones tropicales del mundo. Muchas plantas, sobre todo tuberosas y de semillas, no habían podido ser identificadas en contextos arqueológicos de los trópicos,

situación que arrestaba el conocimiento que se podía tener sobre la importancia que tuvieron las plantas para los pueblos antiguos de estas áreas. Los gránulos de almidón, al ser estructuras perdurables en las herramientas arqueológicas relacionadas con la producción de alimentos y otros derivados, pueden ser recuperados e identificados. El proceso de extracción de almidones de herramientas arqueológicas comienza con la recolección de muestras de sedimentos de los poros, grietas y fisuras de dichas herramientas para luego someterlas a un proceso de separación química (por medio de centrifugación con Cloruro de cesio).

Gracias a la aplicación del estudio de granos de almidón en arqueología, en la actualidad existen varias investigaciones sobre el origen y evolución de las plantas en el neotrópico americano que han servido para comenzar a trazar, de manera efectiva, todas las dinámicas bioculturales en torno al desarrollo de las plantas económicas y de la complejidad sociocultural de los pueblos indígenas.

1.4.1.3 Gelatinización.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden embeber agua de manera reversible; es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua y volver luego al tamaño original al secarse. Sin embargo cuando se calientan en agua, los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización, que es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan.

Los diversos estados de gelatinización pueden ser determinados utilizando un microscopio de polarización. Estos estados son: la temperatura de iniciación (primera observación de la pérdida de birrefringencia), la temperatura media, la temperatura final de la pérdida de birrefringencia (TFPB, es la temperatura a la cual el último gránulo en el campo de observación pierde su birrefringencia), y el intervalo de temperatura de gelatinización. Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos.

1.4.1.4 Retrogradación.

Se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y accionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; se puede efectuar por diversas rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema. Si se calienta una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente.

La retrogradación esta directamente relacionada con el envejecimiento del pan, las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida, que requiere de una alta energía para que se rompan y el almidón gelatinice.

1.4.1.5 Gelificación.

Tipo de almidón	Maíz	Trigo
Amilasa	27 %	24 %
Forma del gránulo	Angular poligonal, esférico	Esférico o lenticular
Tamaño	5-25 micras	11-41 micras
Temperatura de gelatinización	62-72 °C	58-64 °C
Características del gel	Tiene una viscosidad media, es opaco y tiene una tendencia muy alta a gelificar	Viscosidad baja, es opaco y tiene una alta tendencia a gelificar

1.5. OTRAS FIBRAS NATURALES.

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.

1.5.1 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:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fibras de baja densidad, ayudan a generar compuestos más ligeros Amplia variedad de fibras para su selección y uso No son corrosivas 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.	No se pueden usar a temperaturas altas por periodos largos de tiempo, ya que se degradan Su uso se restringe a ciertos polímeros, los cuales no deben emitir gases ni vapores peligrosos. Absorben gran humedad, y pueden generar vapores que formen porosidades.

Tabla 1.9. Ventajas y Desventajas de la utilización de fibras naturales.

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 Césped, el Yute y el Césped 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:

1.5.2 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.

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

Tabla 1.10. Propiedades físicas y mecánicas del compuesto resina poliéster y rastrojo de piña.^o

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 1.10, 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.

1.5.3 Plásticos Reforzados con Madera.

^m . Quesada-Solís K., Alvarado-Aguilar P., et al. Utilización de las Fibras de Rastrojo de Piña como materia en resinas de Poliéster. Laboratorio de Polímeros-POLIUNA, Universidad Nacional. Costa Rica.

ⁿ ídem *m.

^o . ídem *m.

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.

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,

p

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

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 utilizaciones. 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 cartelería. 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.

*1.5.4 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

* *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.*

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.

1.5.5 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.

^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.

^r Idem *q.

^{*} 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 *Saccharum Officinarum*.

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

1.5.6 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,

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

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

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.

Referencias Bibliográficas.

- *a. Groover Mikell. *Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas*. Pearson Educación, México, 1997, 1062 pp.
- *b. Askeland Donald R. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. International Thomson Editores. México. 1998. 790 pp.
- *c. ídem *a
- *d. ídem *a
- *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.
- *f. y f.1 ídem *e
- *g. ídem *e
- *h. www.fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/industria_plastica.pdf
- *i. Callister William D, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Tomo II, Edit. REVERTÉ, España 1996, pp 788.
- *l. <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-fibras%20naturales.htm>
- *m. Quesada-Solís 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 *m.
- *o. ídem *m.
- *p. http://www.plastico.com/pragma/documenta/plastico/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOSREPORTAJ_ESHOMEDOC_41542_HTML.html?idDocumento=41542 .
- *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. Idem *q.
- *s. http://www.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronicas/revistaforestal/vol43-2/articulo43_2_1.pdf.
- t. Wikipedia
- u. Academia mexicana del tequila.

CAPÍTULO 2
PROCESO DE INYECCIÓN

2. EL PROCESO DE INYECCIÓN.

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”.^v

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.^w

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

^v <http://www.monografias.com/trabajos13/plasti/plasti.shtml>.

^w Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI. Enciclopedia del Plástico

alrededor de un millón de barriles diarios.^x 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.

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.

2.2.1 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

^x idem v.

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 reutilizable), 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.

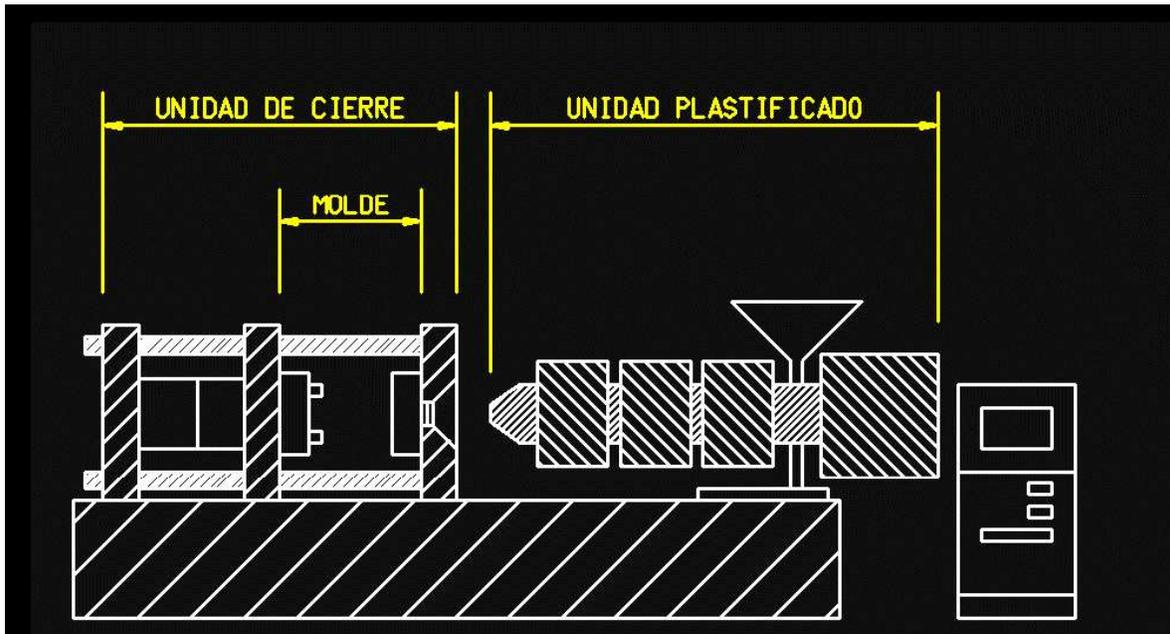


Figura 2.1 Máquina Básica de Inyección.

2.2.2. 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 recíprocante.

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.

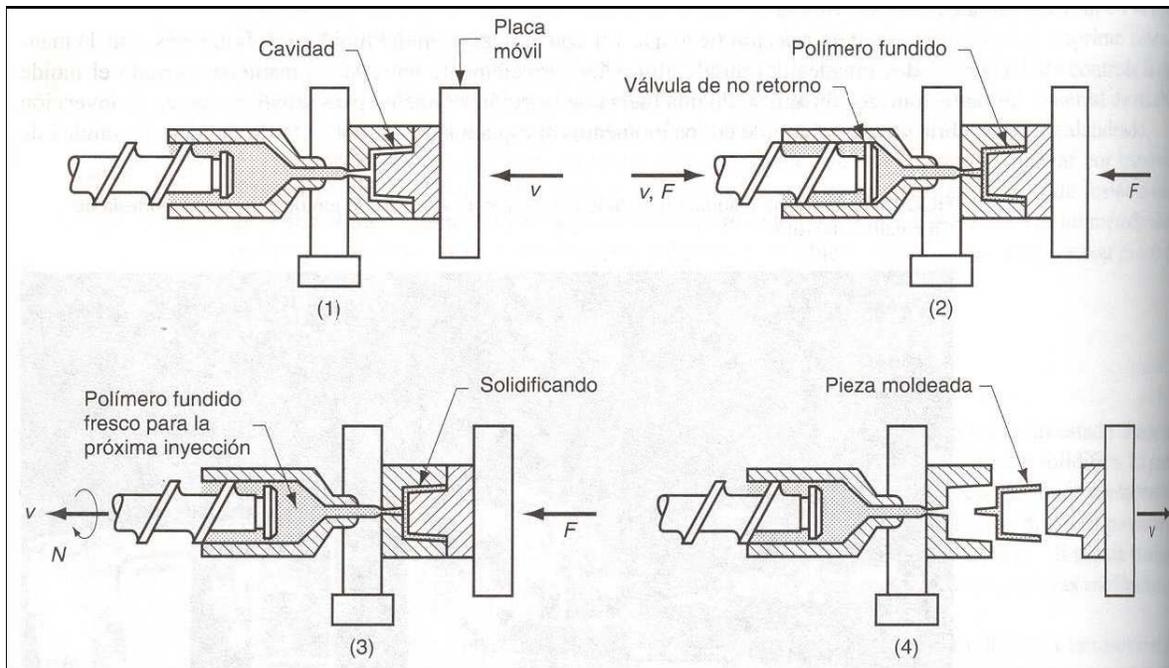


Figura 2.2. Esquema del proceso de Inyección.

2.3 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 dicha 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.

2.4 La inyección con preparación de compuestos capta la atención del sector^y

Existen empresas que se han dedicado a fabricar maquinaria para el uso de materiales compuestos, como la empresa Krauss-Maffei, la que cosechó con gran éxito en junio de 2002 el equipo llamado Munich que consiguió ampliar la ventaja vanguardista en cuestiones tecnológicas.



Figura 2.3. Máquina de moldeo por inyección.

La máquina de moldeo por inyección con preparación de compuestos IMC combina el proceso continuado de preparación de una extrusora de doble husillo, con el proceso cíclico del moldeo por inyección. Para ello se sustituye la plastificación de la máquina de moldeo por inyección por un extrusor de giro sincronizado que introduce sin interrupciones una masa fundida de calidad constante en un cilindro de inyección o en un acumulador intermedio. Todos los procesos que son necesarios para transformar un polímero con componentes de mezcla, sustancias de refuerzo o sustancias

^y Plásticos Universales - 78 - Julio-Agosto 2002

de relleno, en una masa fundida homogénea, suceden en "un calor". Una unidad de dosificación gravimétrica de funcionamiento constante garantiza la homogeneidad de la composición del material. Las excelentes características de la innovadora tecnología de producción son: - preparación homogénea de la masa fundida de plástico - embutido esmerado de sustancias de relleno y de refuerzo - capacidad de plastificación extremadamente alta.

En un foro internacional por las fechas lanzadas en los párrafos anteriores, hubo una exposición sobre el tema de "Compuestos de PP reforzados con fibras naturales" de Hans-G. Fritz, KT Stuttgart, así como con ponentes procedentes de la industria de materiales y de la técnica de dosificación (BASF, DOW, Minelco, Naintsch Mineralwerke y Colortronic). Con numerosos ejemplos de cálculo, se presentó el potencial de ahorro de esta técnica frente al empleo de la técnica convencional. La ponencia final fue ofrecida por Philippe Dumazet de Faurecia, Francia, uno de los primeros usuarios de sistemas IMC y fabricante líder de componentes para la industria del automóvil. Desde su punto de vista, la nueva tecnología ofrece una amplia gama de perspectivas en los ámbitos de integración de funciones, elevada transducción de fuerza con un peso reducido, flexibilidad para la selección del material, posibilidad de reutilización, libertad de diseño, resistencia térmica, aislamiento acústico y reducción de costes. Las posibilidades de empleo residen principalmente en la fabricación de soportes para parachoques, soportes para paneles de instrumentos, revestimientos de pared y suelo, revestimientos integrados para las puertas, marcos integrados para los asientos, paredes cortafuegos y soportes delanteros.

Todos los procesos que son necesarios para transformar un polímero con componentes de mezcla, sustancias de refuerzo o sustancias de relleno, en una masa fundida homogénea, suceden en "un calor"

2.4.1. Demostraciones en el laboratorio técnico

En una máquina de moldeo por inyección con preparación de compuestos KM 2700 ICM, fueron fabricados revestimientos para parachoques según un concepto de materiales de Borealis, Linz. Se trataba de un compuesto abierto de R-TPO (tipos de reactores de PP de alta resistencia a los golpes), mezcla de alto rendimiento, talco y mezcla negra. Esta composición de materiales se corresponde con un material empleado en la actualidad en la serie. Debido a que la colaboración de Krauss-Maffei y Borealis acaba de

iniciarse, no existen aún comparaciones de materiales de productos acabados. En una segunda máquina de moldeo por inyección con preparación de compuestos IMC del tipo KM 1300 IMC, se mostró la fabricación de un soporte delantero, realizado con un paquete de PP desarrollado especialmente por Dow y cables de fibra de vidrio. El desarrollo de la técnica presentada para su lanzamiento al mercado fue apoyada por Dow Automotive, Schwalbach, por medio de una amplia serie de ensayos. Como alternativa a las bolas de fibra de vidrio PP para el moldeo por inyección habitual, la empresa Dow Automotive creó tipos de PP para el proceso de preparación de compuestos en línea con fibras de vidrio de características equivalentes desde el punto de vista técnico y que aportan además el ahorro de costes deseado. Los puntos de información en el laboratorio técnico acerca de temas y materiales relacionados con IMC completaban la oferta informativa del acontecimiento. Se presentaron, entre otros, la técnica de superficies Decoform, la técnica de varios componentes, la técnica de espumación (entre otras, técnica MuCell y técnica de inyección de agua) así como la tecnología LFI-PUR. Con la innovadora tecnología IMC la casa de sistemas Krauss-Maffei presentó soluciones, entre otras cosas, para los próximos ciclos de automóviles ante un foro muy amplio. En el Laboratorio técnico de Munich, existen a partir de estos mismos momentos tres máquinas de moldeo por inyección con preparación de compuestos IMC con unas magnitudes de fuerza de cierre de 4.200, 13.000 y 27.000 kN, respectivamente, a disposición de las personas interesadas en realizar pruebas.



Figura 2.4. Aspectos del Laboratorio Técnico de Munich.

Referencias Bibliográficas.

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

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

*x. idem *t.

*y. Plásticos Universales - 78 - Julio-Agosto 2002 – Tecnirama 300 participantes en el foro internacional de Krauss-Maffei

CAPÍTULO 3
DESARROLLO
EXPERIMENTAL

Dadas las razones expuestas en los capítulos anteriores, en este trabajo se desarrolló de manera mecánica un material compuesto de almidón como base matricial. Como refuerzo se utilizaron fibras de bagazo de caña y de agave de 3mm de longitud y 0.05 mm de diámetro en promedio y deshidratadas previamente en los laboratorios del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ) y proveniente de un ingenio azucarero del Estado de Veracruz y de una productora de tequila del estado de Jalisco.

Los ensayos Mecánicos empleados en este trabajo se realizaron bajo los requerimientos de las Normas de la *American Society for Testing Materials* (ASTM) ASTM D638-02 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 en la inyectora, posteriormente se darán las cantidades exactas de los materiales que se utilizaron.

Antes de la elaboración de las mezclas, fue necesario realizar un control del proceso de inyección con material virgen de Almidón, (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.

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 almidón 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, pues la comparación entre ambas fibras es crucial para este trabajo.

3.1.1.1 Condiciones de Trabajo para el Bagazo de Caña y de agave.

- Las fibras de agave a utilizar en la elaboración de los materiales, es la que proviene de la piña del agave, la cual es sometida a un proceso de fermentación y después de utilizarse para obtener el tequila es desechada por las empresas tequileras del estado de Jalisco.
- Las fibras de caña 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, obteniéndose de cualquier manera un valor promedio.
- 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.

**

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.

3.1.1.2 Condiciones de Trabajo para el Almidón.

- Almidón proveniente del maíz, molido en forma de pellets de fibra larga de 2mm en promedio de diámetro y 12 mm de largo aproximadamente.
- Este al igual que el bagazo de caña fue utilizado sin tratamiento químico o térmico alguno.

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

Uno de los aspectos más importantes que se tomaron en cuenta antes de someter a cualquier proceso las fibras de bagazo de caña y de agave 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, 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^z, 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, la tabla 3.1 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 a 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.

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

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

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

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:

$$\text{Porcentaje de humedad eliminada (\%)} = (\text{masa húmeda} - \text{masa seca}) / \text{masa húmeda} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de humedad promedio eliminada} = (7.28 + 4.81 + 8.2 + 4.61) / 4 \times 100 = 6.23 \%$$

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 eliminará 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 la caña como para el agave, 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:

PORCENTAJES VOLUMÉTRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MUESTRA				
Identificación de la muestra	Bagazo de caña (%)	Identificación de la muestra	Bagazo de Agave (%)	Almidón (%)
A	0	A	0	100
T1	1	A1	1	99
T2	2	A2	2	98
T3	3	A3	3	97
T4	4	A4	4	96
T5	5	A5	5	95
T6	6	A6	6	94
T7	7	A7	7	93
T8	8	A8	8	92
T9	9	A9	9	91
T10	10	A10	10	90
T11	11	A11	11	89
-	-	A12	12	88
-	-	A13	13	87
-	-	A14	14	86
-	-	A15	15	85
-	-	A16	16	84
-	-	A17	17	83
-	-	A18	18	82

Tabla 3.2. Porcentajes para las muestras.

Únicamente se llegó hasta una mezcla intermedia, 18-82 de bagazo de agave/almidón, por no tener la certeza de su comportamiento 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, dado que el almidón no tenía buena fluidez para el proceso de inyección.

Fue necesario determinar la densidad del bagazo de caña y de agave 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 Adventure (Capacidad 3100 (gr) y 0.01 (gr) de resolución), de este paso se obtuvo la siguiente tabla:

MUESTRA	CANTIDAD DE BAGAZO [ml]	CANTIDAD DE BAGAZO [cm ³]	MASA EFECTIVA [g]
Bagazo de caña	16	16	1.6
Bagazo de agave	21	21	3.01

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

$$\rho_{\text{bagazo de caña}} = \text{masa/volumen} = 1.6 \text{ g} / 16 \text{ cm}^3 = 0.1 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{bagazo de agave}} = \text{masa/volumen} = 3.01 \text{ g} / 21 \text{ cm}^3 = 0.0957 \text{ g/cm}^3$$

Con estos datos y con el de la densidad del almidón (1.49g/cm³) se calcularon matemáticamente los porcentajes volumétricos y en masa para las mezclas requeridas. Se partió de una base de 1.5 (Kg) de Almidón, 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 Almidón, 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:

$$\rho_{\text{Bagazo de caña}} = 0.1[(\text{g/cm}^3)]$$

$$\rho_{\text{Bagazo de agave}} = 0.0957[(\text{g/cm}^3)]$$

$$\rho_{\text{Almidón}} = 1.49 (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{Volumen de Almidón} = \text{masa} / \rho_{\text{Almidón}} = 1500 \text{ g} / 1.49 \text{ g/cm}^3 = 1006.71 \text{ cm}^3$$

Volumen de almidón al 100% = 1006.71 (cm³) este es el dato que se tomó como referencia.

Considerando un 100% en volumen de Almidón se tiene: Compuesto al 5% de fibra de bagazo de caña y agave con 95% de matriz de almidón:

$$\text{Volumen bagazo de caña y agave} = 50.34 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen almidón} = 956.37 \text{ (cm}^3\text{)}$$

En masa se tiene que

$$m_{\text{caña}} = \rho_{\text{Bagazo caña}} V_{\text{Bagazo caña}} = (0.1 \text{ (g/cm}^3\text{)}) \times (50.34 \text{ (cm}^3\text{)}) = 5.034\text{g}$$

$$m_{\text{agave}} = \rho_{\text{Bagazo agave}} V_{\text{Bagazo agave}} = (0.0957 \text{ (g/cm}^3\text{)}) \times (50.34 \text{ (cm}^3\text{)}) = 4.817\text{g}$$

$$m_{\text{almidón}} = \rho_{\text{almidón}} V_{\text{almidón}} = (1.49 \text{ (g/cm}^3\text{)}) \times (956.37 \text{ (cm}^3\text{)}) = 1424.991\text{g}$$

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 almidón.

PORCENTAJES EN MASA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS			
PORCENTAJE EN VOLUMEN FIBRA-ALMIDON (%)	FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA (g)	FIBRA DE BAGAZO DE AGAVE (g)	ALMIDON (g)
0-100	0	0	1500
1-99	1.006	0.963	1485
2-98	2.013	1.926	1470
3-97	3.020	2.890	1455
4-96	4.027	3.854	1440
5-95	5.034	4.817	1425
6-94	6.040	5.781	1410
7-93	7.047	6.744	1395
8-92	8.054	7.707	1380
9-91	9.060	8.671	1365
10-90	10.067	9.634	1350
11-89	11.07	10.597	1335
12-88	-	11.561	1320
13-87	-	12.524	1305
14-86	-	13.488	1290
15-85	-	14.451	1275
16-84	-	15.415	1260
17-83	-	16.378	1245
18-82	-	17.342	1230

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

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 Almidón no nos proporcionó datos acerca del procesamiento del material y sabiendo que el almidón se degrada alrededor de 180 °C, 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 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.

CONTROL DE TEMPERATURAS DEL PROCESO (°C)						
Material	DH	MH3	MH2	MH1	EF	ACEITE
Bagazo de Caña	190	175	180	170	55	45
Bagazo de Agave	190	185	183	170	55	45

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

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.

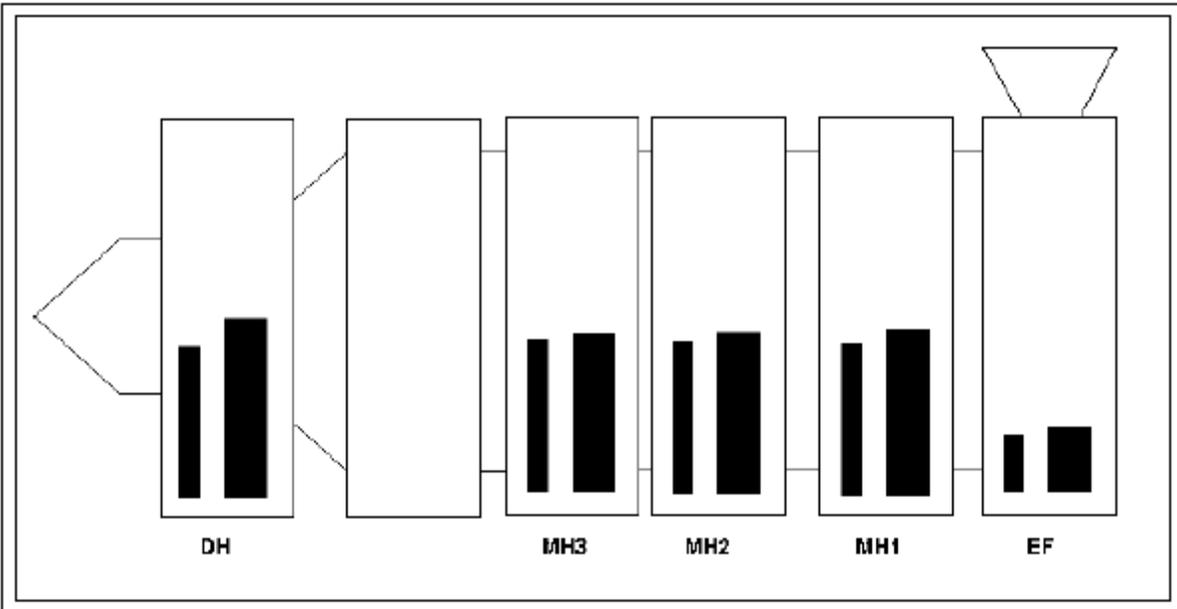


Figura 3.9 Esquema para el control de Temperaturas del Proceso de Inyección.

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.

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN		
Material	Bagazo de caña	Bagazo de agave
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

Tabla 3.6. Control del proceso de Inyección.

A pesar de la implementación de los parámetros de inyección anteriores, el material tuvo ciertas dificultades para su inyección. Las características del almidón lo hacen un material bastante pastoso.

3.3 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 de los compuestos, 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.

3.3.1 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.

Además de establecer 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 una Máquina Instron electromecánica modelo 4206, a una

velocidad de trabajo de 50 (mm/min) y con una celda de carga de 5 (KN), de esto los resultados obtenidos se muestran en las tablas 3.10 y 3.11:

Identificación de la muestra	Porcentaje de fibra	Esfuerzo Máximo	Esfuerzo a la ruptura	Deformación Maxima	Módulo de Young
	%	Mpa	MPa	mm/mm	MPa
A	0	11.34	4.1	0.0176	919.4
T1	1	3.914	1.361	0.214	136.8
T2	2	3.729	2.86	0.0112	588.7
T3	3	6.618	2.35	0.0256	512.1
T4	4	4.975	3.441	0.1746	124.1
T5	5	4.337	3.098	0.0088	677.3
T6	6	4.287	2.245	0.1988	112
T7	7	0.4733	0	0.0162	0
T8	8	12.38	7.74	0.0386	646.8
T9	9	2.742	1.328	0.2233	110.7
T10	10	4.282	1.712	0.1309	221.7
T11	11	3.161	1.252	0.1776	163.4

Tabla 3.10. Resultados de la Máquina Instron para el Ensayo de Tracción Bagazo de caña.

Identificación de la muestra	Porcentaje de fibra	Esfuerzo Máximo	Esfuerzo a la ruptura	Deformación Maxima	Módulo de Young
	%	Mpa	MPa	mm/mm	MPa
A-Agave 100% fibra 0%	0	11.34	4.1	0.0176	919.4
A1	1	6.543	6.543	0.022	475.5
A2	2	13.5	12.32	0.0625	613.4
A3	3	10.77	8.879	0.0441	535.9
A4	4	7.259	6.509	0.0407	431.9
A5	5	13.5	13.22	0.031	778.1
A6	6	13.26	11.1	0.0441	684.5
A7	7	10.59	9.678	0.0223	787.7
A8	8	8.622	8.486	0.0176	677.2
A9	9	10.32	6.337	0.0444	538.4
A10	10	13.85	13.08	0.0575	634
A11	11	13.6	13.6	0.0322	655.3
A12	12	12.87	12.61	0.0416	851.1
A13	13	12.92	10.8	0.0536	595.9
A14	14	6.618	6.618	0.0168	732.3
A15	15	11.85	11.85	0.023	802.8
A16	16	13.36	13.05	0.0069	725.7
A17	17	6.757	2.012	0.096	345.9
A18	18	12.27	6.807	0.033	602.5

Tabla 3.11. Resultados de la Máquina Instron para el Ensayo de Tracción Bagazo de Agave

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. Desarrollo del Ensayo de Tracción.

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 (1 y 2% 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 tapara 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 podemos ver en la figura 4.2 en donde se aprecia que la pieza está 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 y agave 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 ignifugo 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 ciertas muestras, 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.



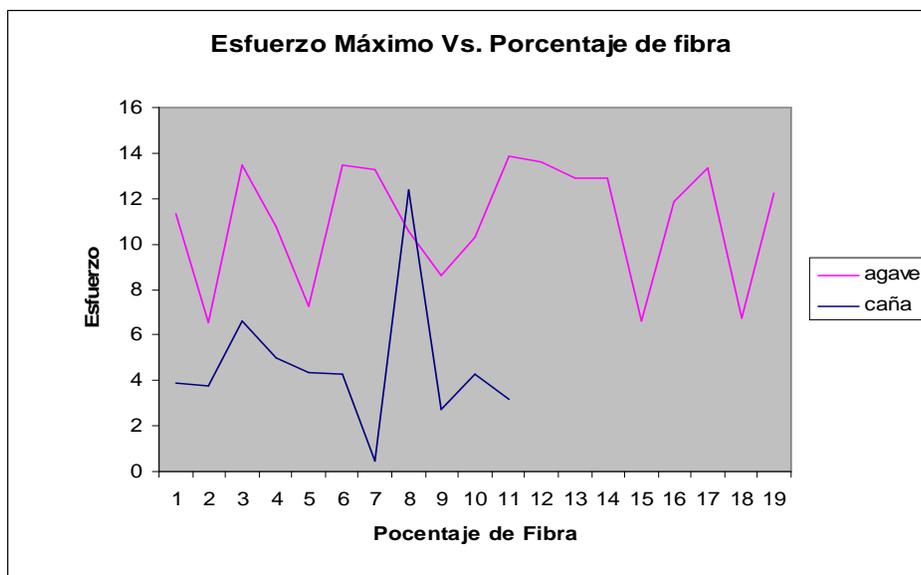
Figura 4.8. La pieza muestra un aparente recubrimiento de la matriz hacia la fibra del compuesto respecto al Porcentaje de Fibras.

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 tipos de bagazo.

Porcentaje de fibra	Esfuerzo a la carga Máxima Bagazo de caña (MPa)	Esfuerzo a la carga Máxima Bagazo de agave (Mpa)
0	11.34	11.34
1	3.914	6.543
2	3.729	13.50
3	6.618	10.77
4	4.975	7.259
5	4.337	13.50
6	4.287	13.26
7	0.473	10.59
8	12.38	8.622
9	2.742	10.32
10	4.282	13.85
11	3.161	13.60
12		12.87
13		12.92
14		6.618
15		11.85
16		13.36
17		6.757
18		12.27

Tabla 4.1. Comportamiento de Ambos Refuerzos a la carga Máxima.



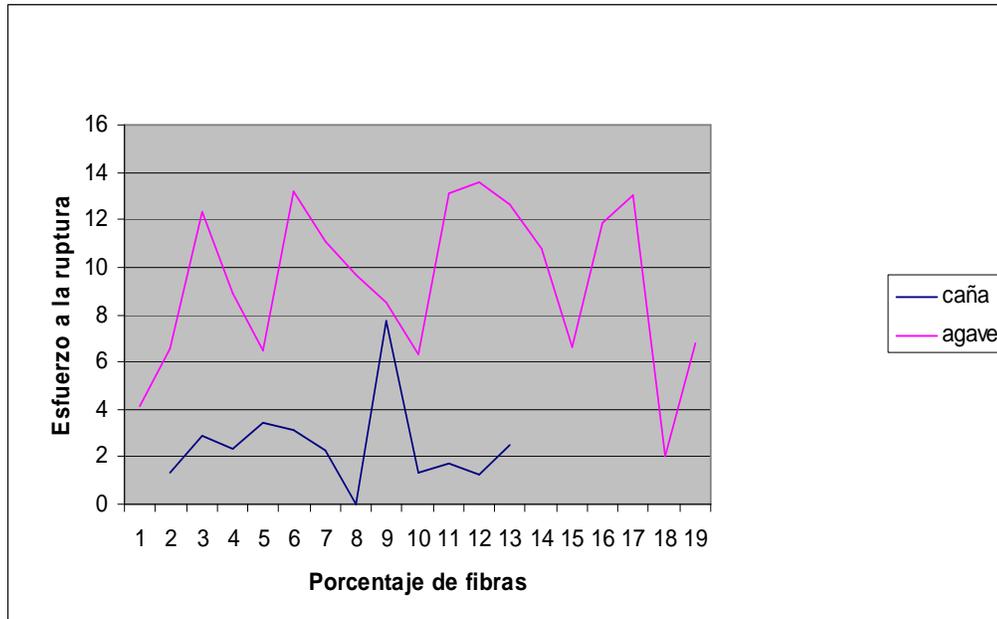
Grafica 4.1. Esfuerzo a la carga Máxima.

En la tabla 4.1 y en la gráfica 4.1 vemos que el comportamiento de los materiales al esfuerzo de tracción tiene un comportamiento con muchas alteraciones, esto probablemente se deba a que el acoplamiento entre las fibras y la resina no está bien estructurado, por lo que la repetibilidad de los resultados puede ser no confiable; sin embargo, nos muestra las tendencias numéricas para ambos bagazos. Así, podemos observar que el bagazo de agave presenta mejor resistencia que el de caña. Los valores del bagazo de agave, tienen un valor promedio de (11.03 MPa) ligeramente debajo de la resistencia del almidón puro (11.34 MPa), mientras que los valores del agave de caña (promedio 4.63 MPa) están muy por abajo del valor del almidón puro, esto quiere decir que las muestras con bagazo de caña no se compatibilizan con el almidón, a menos de que puedan reforzarse con un agente acoplante.

Ahora bien si analizamos el esfuerzo a la ruptura en ambos materiales encontramos que en la tabla 4.2 y gráfica 4.2, el comportamiento sigue la misma tendencia, los valores siguen con alteraciones significativas, cuyos resultados comparados con el esfuerzo a la tracción, son similares, esto quiere decir que el intervalo plástico es mínimo, incluyendo el acercamiento en valores hacia la resistencia a la fluencia de ambos materiales.

Porcentaje de fibra	Esfuerzo a la ruptura Bagazo de caña (MPa)	Esfuerzo a la ruptura Bagazo de agave (Mpa)
0	4.1	4.1
1	1.361	6.543
2	2.86	12.32
3	2.35	8.879
4	3.441	6.509
5	3.098	13.22
6	2.245	11.10
7	0	9.678
8	7.74	8.846
9	1.328	6.337
10	1.712	13.08
11	1.252	13.60
12		12.61
13		10.80
14		6.618
15		11.85
16		13.05
17		2.012
18		6.807

Tabla 4.2. Comportamiento del Compuesto en la Ruptura.



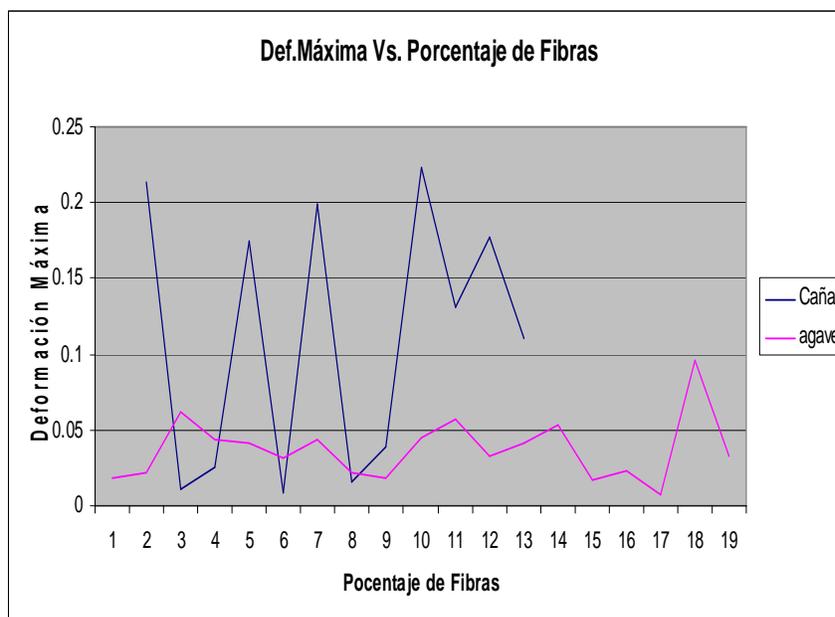
Gráfica 4.2. Esfuerzo realizado al momento de la Ruptura.

En cuanto al análisis de los valores del esfuerzo a la ruptura, el bagazo de agave tiene un mejor comportamiento, al alcanzar un valor promedio de 9.64 MPa, más del doble que el del almidón 4.1 MPa, mientras que el bagazo de caña soportó menos de la mitad 2.49 MPa.

Durante el ensayo de tracción, y como ya se mencionó en párrafos anteriores, la ruptura ocurre poco después de que se llega a la resistencia máxima, esto era de esperarse por la orientación que tomaron las fibras durante su fabricación, recordando que en la mayoría de los compuestos ocurre este fenómeno; así, la deformación se reduce y la resistencia aumenta, esto lo podemos corroborar en la tabla 4.3 y gráfica 4.3:

Porcentaje de fibra	Deformación Máxima Bagazo de caña (mm/mm)	Deformación Máxima Bagazo de agave (mm/mm)
0	0.0176	0.0176
1	0.2140	0.0220
2	0.0112	0.0625
3	0.0256	0.0441
4	0.1746	0.0407
5	0.0088	0.0310
6	0.1988	0.0441
7	0.0162	0.0223
8	0.0386	0.0176
9	0.2233	0.0444
10	0.1309	0.0575
11	0.1776	0.0322
12		0.0415
13		0.0536
14		0.0168
15		0.0230
16		0.0069
17		0.0960
18		0.0330

Tabla 4.3. Deformación del compuesto con Carga Máxima.



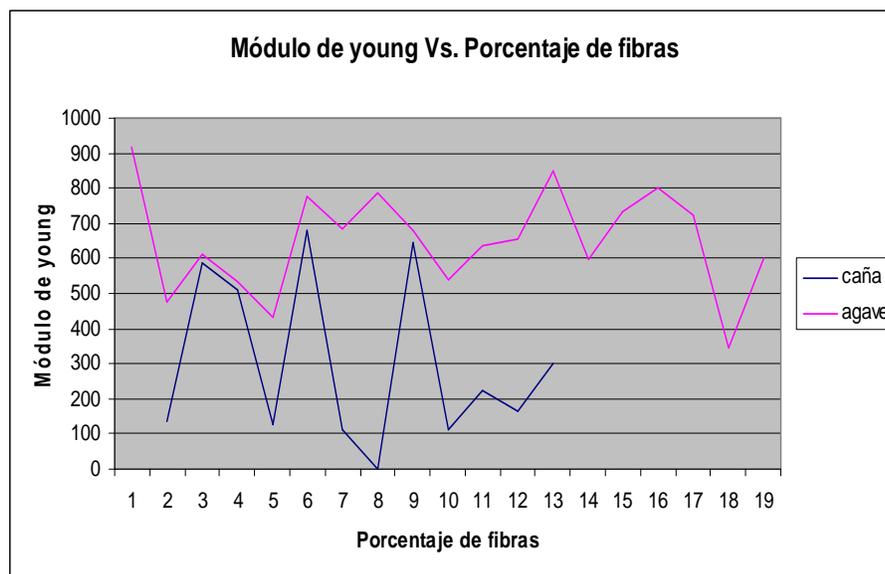
Gráfica 4.3. Deformación a la Carga Máxima.

Considerando la deformación, se puede ver que el bagazo de caña (deformación promedio 0.1109 mm/mm) tiene mayor ductilidad que el bagazo de agave (deformación promedio 0.0383 mm/mm), siendo en los dos materiales muy superior al valor del almidón puro (0.0176 mm/mm).

Pero si nuestro material tiene una resistencia aceptable, ¿también tiene una buena rigidez?, los resultados obtenidos los tenemos la gráfica 4.4 y tabla 4.4.

Porcentaje de fibra	Módulo de Young Bagazo de caña (MPa)	Módulo de Young Bagazo de agave (Mpa)
0	919.4	919.4
1	136.8	475.5
2	588.7	613.4
3	512.1	535.9
4	124.1	431.9
5	677.3	778.1
6	112	684.5
7	0	787.7
8	646.8	677.2
9	110.7	538.4
10	221.7	634
11	163.4	655.3
12		851.1
13		595.9
14		732.3
15		802.8
16		725.7
17		345.9
18		602.5

Tabla 4.4. Módulos de Young obtenidos en ambos Procesos.



Gráfica 4.4. Módulo de Young.

La gráfica 4.4 muestra que en los dos materiales el módulo de Young baja con respecto al almidón puro. El valor promedio del módulo de Young para el agave es de 637.12 MPa, para el de caña es de 299.42 MPa y para el almidón puro es de 919.4 MPa.

En términos generales, podemos decir que el mejor refuerzo es el bagazo de agave, cuando se trate de soportar carga. Pero el bagazo de caña funcionará mejor cuando se maneje una deformación mayor. La comparación anterior, solo se basa en el análisis entre los dos bagazos, pues sabemos que ninguno de los dos sirve como refuerzo por falta del agente acoplante necesario para que como material compuesto trabaje, pues de la literatura, se sabe que el mejor material compuesto para trabajo bajo carga será aquel que pueda transmitir la carga a todos sus componentes (matriz, refuerzo e interfase).

Conclusiones.

Al finalizar el presente trabajo se pudo evaluar el comportamiento mecánico de los compuestos almidón-bagazo de caña de azúcar y almidón-bagazo de agave tequilero, y se establecieron los siguientes puntos:

La inclusión de fibras naturales de bagazo de caña y agave en almidón por el método de inyección de plásticos se puede realizar en forma directa, sin una mezcla previa; sin embargo, la interfase entre los componentes del sistema no presentó la adherencia adecuada. Este método no es el ideal para trabajar el almidón con los dos tipos de agave, pero se aprovechó el hecho de contar con un molde de inyección para probetas de tracción. El rango de trabajo es muy estrecho ya que si se eleva demasiado la temperatura el material puede degradarse.

La gran ventaja de utilizar este tipo de materiales es el hecho de que todos los componentes son biodegradables, siendo el almidón un material con características similares a los polímeros tradicionales como pueden ser el polietileno y el polipropileno, además de poder sustituir los plásticos que son derivados del petróleo ya que el almidón se obtiene de cereales que son materiales cien por ciento renovables.

Otro aspecto a considerar, es el económico, ya que tanto el almidón como los dos tipos de bagazo tienen un costo menor que los plásticos y refuerzos comerciales conocidos. Hablando del almidón el costo puede ser de alrededor de 50 centavos el kilo, mientras que el polipropileno tiene un costo de aproximadamente 20 pesos el kilo. Los bagazos prácticamente tienen un costo mínimo pues son material de desecho tanto de la obtención del azúcar como del tequila, podríamos decir que los costos para ello son el secado y refinado, así como el costo de su transportación.

Si consideramos los resultados obtenidos del ensayo de tracción, podemos decir que el mejor refuerzo es el bagazo de agave, cuando se trate de soportar carga. Pero el bagazo de caña funcionará mejor cuando se maneje una deformación mayor. La comparación anterior, solo se basa en el análisis entre los dos bagazos, pues sabemos que ninguno de los dos sirve como refuerzo por falta del agente acoplante necesario para que como material compuesto trabaje, pues de la literatura, se sabe que el mejor material compuesto para trabajo bajo carga será aquel que pueda transmitir la carga a todos sus componentes (matriz, refuerzo e interfase).

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

Para evaluaciones futuras, faltaría investigar la incorporación de algún agente acoplante adecuado, el cual no afecte la estructura tanto de la fibra como de la matriz. Otro punto de cierta importancia, sería un estudio acerca de la duración de las piezas, considerando para ello condiciones de humedad, temperatura y luz solar, entre otros factores de intemperismo, con lo cual se puede establecer la vida útil del material. También, es necesario realizar un estudio de mercado de las posibles aplicaciones de estos componentes para tener un mayor aprovechamiento de la biodegradabilidad. Por último, queda abierta también la investigación acerca de los posibles usos de estas combinaciones de materiales.

Referencias Bibliográficas.

1. American Society Testing of Materials Annual Book of ASTM STANDARDS 2000. Section Eight. Vol. 8.01 a 8.04. Plastics. Edit. ASTM100 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/operacionsecado.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/TP/ES/MAIN/IN/AR TICULOSREPORTAJESHOME/doc_41542_HTML.html?idDocumento=41542 (Julio 2005).
4. [www.fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/industria_plastica .pdf](http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/industrias/industria_plastica.pdf) (Julio 2005).
5. <http://www.camingenieria.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.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulofibras%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).
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/curso-MATRICULA_RUN.cfm?id_curso=52717020050268536649505668694556&id_centro=2742207003149505256526748524548. (diciembre 2005).