



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

**“OBTENCIÓN DE UN MATERIAL DE POLIPROPILENO DE DESECHO  
REFORZADO CON FIBRA DE MAGUEY (AGAVE SALMIANA)”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

**ALICIA DE LA CRUZ POZOS**

ASESORA

M. EN C. MARÍA DEL ROSARIO RODRÍGUEZ HIDALGO

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO 2015.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Obtención de un material de propileno de desecho reforzado con fibra de maguey (agave salmiana)

Que presenta la pasante: Alicia de la Cruz Pozos  
Con número de cuenta: 407079557 para obtener el Título de: Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 01 de Diciembre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Dr. Eligio Pastor Rivero Martínez	
<b>VOCAL</b>	M. en C. Graciela Martínez Cruz	
<b>SECRETARIO</b>	M. en C. María del Rosario Rodríguez Hidalgo	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Q. Juana Cabrera Hernández	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M e. C. Bernardo Francisco Torres	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## **AGRADECIMIENTOS**

---

A mi familia por el apoyo incondicional que siempre me dieron, en especial a mi madre por apoyarme en todos los aspectos y a mi novio Daniel por estar conmigo en todo momento.

A mi casa de estudios, la FES-Cuautitlán Campo 1; a todos mis profesores por transmitirme sus conocimientos y brindarme su apoyo siempre.

A mi asesora de tesis la M. en C. María del Rosario Rodríguez Hidalgo, por todo su apoyo para la realización de este proyecto, y por alentarme siempre para concluirlo. Gracias por su amabilidad y su disponibilidad, ya que siempre estuvo presente en todo momento.

Al M. en I. Noé Alberto Cortés Guerrero y al M. en I. Juan José García Ruiz del Laboratorio de Ensayos Mecánicos del Centro de Asimilación Tecnológica de la FES-C por el apoyo en la realización de las pruebas mecánicas.

Al Dr. Luis Alberto Vicente Hinestroza, por el apoyo al acceso de los equipos de caracterización en la USAI-FQ, CU-UNAM. Así como también a la Q. Marisela patricia Gutiérrez, por su apoyo en el análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier, a la Q. Margarita Portilla Bauza y a la Q. Elvia del Socorro Reynoso, por su apoyo en el análisis térmico por Calorimetría Diferencia de Barrido.

A mi amiga Montse por apoyarme y alentarme siempre, gracias por tu amistad, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas. Y bueno sin dejar de mencionar a Tania y Nayeli que siempre me alentaron para concluir este trabajo.

Introducción	1
Glosario de términos	3
Objetivos	5

## **Capítulo 1.**

### **Generalidades 6**

1.1 Concepto de la reacción de polimerización	7
1.2 Polipropileno	9
1.2.1 Marco histórico del Polipropileno	9
1.3 Generalidades del Polipropileno	9
1.3.1 Propiedades del polipropileno	11
1.3.2 Reciclaje de Polipropileno	15
1.3.3 Reciclaje	16
1.4 Agave salmiana	17
1.4.1 Usos del maguey	17
1.4.2 Composición de las hojas de agave	19
1.4.3 Composición química de la fibra de maguey	19

## **Capítulo 2.**

### **Desarrollo experimental 24**

2.1 Preparación de la fibra de maguey	25
2.2 Preparación de las muestras de PP desecho	25
2.3 Elaboración de las probetas de PP desecho - fibra de maguey	25
2.4 Preparación de las probetas para la prueba de compresión	26
2.5 Realización de las pruebas mecánicas	27

## **Capítulo 3.**

### **Resultados y análisis de resultados 29**

3.1 Análisis de la prueba mecánica de compresión	30
3.1.1 Resultados y análisis para la probeta FMCO20	32
3.1.2 Resultados y análisis para la probeta FMCO25	34
3.1.3 Resultados y análisis para la probeta FMCO30	36
3.2 Análisis de espectroscopia infrarrojo por Transformada de Fourier FT - IR	38
3.3 Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido DSC	46

<b>Conclusiones</b>	<b>50</b>
Anexos	51
Anexo A. Moldes para las probetas	51
Anexo B. Pruebas mecánicas	51
Anexo C. Espectroscopía Infrarroja (IR)	52
Anexo D. Espectro infrarrojo de una muestra de fibra	53
Anexo E. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	54
Bibliografía	56

Los plásticos son materiales de gran importancia, en los tiempos actuales se han convertido indispensables en muchos aspectos debido a su versatilidad, durabilidad, resistencia y costo-efectividad. Aunque en la actualidad estos han generado parte de la contaminación ambiental que afecta a todo el planeta y crece día a día por la gran acumulación de desechos, una de las alternativas para remediarlo es mediante el reciclaje o degradación de materiales de desecho.

Los polímeros de gran consumo como el polipropileno (PP) y polietileno (PE), se desarrollaron para proporcionar durabilidad y resistencia a diversas formas de degradación. Sin embargo, la disposición de productos de plástico no biodegradables se ha convertido en una de las principales causas de preocupación para los ambientalistas. [7] Es por eso que el estudio de estos nuevos materiales hechos de plástico y fibra natural se ha convertido en el foco de la investigación mundial y son una familia nueva de materiales compuestos. [10]

Durante el proceso de reciclado, el material plástico experimenta varias acciones que ocasionan modificaciones en su estructura. De hecho, las propiedades físicas del producto reciclado y su estructura molecular son diferentes comparadas con las del material virgen. Para compensar esta pérdida de propiedades, es práctica común el adicionar reforzantes, los cuales pueden significativamente modificar las características mecánicas del material.

Hoy en día existe una tendencia a reciclar los materiales sintéticos y obtener materiales compuestos de plásticos y fibras naturales, los cuales presentan ventajas en su biodegradabilidad, soportan altas cargas, son ligeros, etc. [1]

Pero existen además otras razones para reciclar polímeros; que es el ahorro de energía para obtener objetos útiles y a la vez la disminución de costo frente a materiales tradicionales aportando las mismas prestaciones. [3]

Por su parte las fibras naturales tienen un bajo costo, buenas propiedades específicas y su amabilidad con el medio ambiente. [2] Las fibras naturales que se obtienen a partir de recursos renovables tales como la piña, plátano, bambú, henequén, yute, madera y aserrín, coco (bonote), cáscara de arroz y paja de trigo están siendo ampliamente estudiadas como agentes de refuerzo en diferentes matrices poliméricas. [6] [9]

Los materiales compuestos a base de polímeros tienen una amplia aplicación en la industria del transporte, aeronáutica y construcciones navales debido a sus buenas propiedades mecánicas específicas y baja densidad. [4,5] Debido a que son materiales ligeros se podrían utilizar en la industria de la construcción.

El polipropileno (PP) tiene una posición prominente entre todos los polímeros de gran consumo, debido a su excelente relación precio-rendimiento, que presenta numerosas posibilidades de modificación de su estructura, y un buen reciclaje. Ha sido ampliamente utilizado en aparatos domésticos, en recipientes para alimentos, partes de automóviles, arquitectura, etc. [8]

Cabe señalar que en nuestro país hacen falta más iniciativas que fomenten la reutilización de materiales reciclables lo cual contribuya en la mejora del medio ambiente y se pueda generar ingresos.

Por sus innumerables características, en este trabajo se presenta un material constituido de polipropileno de desecho reforzado con fibra de maguey (*agave salmiana*), como una alternativa para la reutilización del polipropileno.

La fibra de maguey que se utiliza para la elaboración de este material compuesto, es la utilizada antes en otro proceso, como en la cocción de la barbacoa pero cabe señalar que también hubo comparación con fibra de maguey sin cocción.

Al final se obtuvo un nuevo material compuesto, el cual puede tener varias aplicaciones como lo son: contenedores de basura, muebles para el hogar, tarimas de uso industrial, entre otros.



**Calor específico:** También llamada capacidad calorífica específica, es la energía necesaria para elevar un grado la temperatura de un kg de masa.

**Carga:** Fuerza aplicada a un material durante un ensayo.

**Conductividad térmica:** Es la capacidad de un material para transferir calor.

**Densidad:** Es la cantidad de masa por unidad de volumen.

**Elasticidad:** Es la propiedad que poseen algunos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

**Elongación:** Es el incremento de la longitud en la distancia calibrada dividido por la longitud original de la distancia calibrada.

**Esfuerzo-deformación:** Esfuerzo dividido por deformación en cualquier carga o deflexión.

**FMCO:** Fibra de maguey cocido

**FMCO20:** Fibra de Maguey Cocido al 20%

**FMCO25:** Fibra de Maguey Cocido al 25%

**FMCO30:** Fibra de Maguey Cocido al 30%

**Módulo de Young:** Pendiente de la parte lineal de la curva esfuerzo-deformación en la región elástica. Es sinónimo de módulo de elasticidad.

**Monómeros:** Son aquellas sustancias químicas compuestas por moléculas simples, capaces de unirse entre si para formar polímeros.

**Polimerización:** Es el proceso por el que resulta la formación de un polímero.

**Polímeros:** Son macromoléculas formadas por la unión de unidades repetitivas de moléculas pequeñas llamadas monómeros.

**PP:** Polipropileno

**PP desecho:** Polipropileno de desecho

**Resistencia al impacto:** Representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la repentina aplicación de una carga mecánica. Se determina por la medición de la energía requerida para fracturar una probeta bajo condiciones normalizadas.

**Resistencia a la compresión:** Es el esfuerzo máximo que un material rígido puede resistir bajo compresión longitudinal.

**Resistencia a la flexión:** Representa el máximo esfuerzo desarrollado en la superficie de la probeta en forma de barra, soportada cerca del extremo y cargada en el centro hasta que ocurra la falla.

**Resistencia a la tensión:** Representa la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

**Tacticidad:** Se refiere al arreglo estereoquímico en centros quirales de un polímero.

**Temperatura de fusión ( $T_m$ ):** Es la temperatura a la cual un polímero pasa de un estado sólido a un estado líquido (fundido); sólo se aprecia en polímeros cristalinos.

**Temperatura de reblandecimiento Vicat:** Se define como la temperatura a la cual una aguja de punta plana penetrará 1mm en el interior de una probeta plana de material plástico rígido a temperatura ambiente bajo ciertas condiciones de carga y velocidad de calentamiento.

**Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ):** Intervalo de temperatura por debajo del cual el polímero amorfo toma una estructura vítrea rígida.

**%:** Porcentaje

**°C:** Grado centígrado.

**g/cm<sup>3</sup>:** gramo por centímetro cúbico

**kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>:** kilogramo fuerza por centímetro cuadrado

### **Objetivo general:**

Elaborar a partir de polipropileno de desecho un material reforzado con fibra de maguey (*agave salmiana*), analizar sus propiedades fisicoquímicas y su comportamiento mecánico; para darle un uso posterior.

### **Objetivos particulares:**

- ✓ Obtener la fibra por medio del tratamiento de la penca del maguey (*agave salmiana*) con y sin cocción.
- ✓ Preparar el material de polipropileno de desecho para la elaboración de las probetas.
- ✓ Elaborar las probetas de polipropileno con cantidades variables de fibra de maguey (*agave salmiana*).
- ✓ Caracterizar las probetas obtenidas por medio de la prueba mecánica de resistencia máxima a la compresión, por espectroscopía infrarrojo (IR) y por calorimetría diferencial de barrido (DSC).



## **CAPITULO 1**

### **GENERALIDADES**

### 1.1 Concepto de la reacción de polimerización.

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de unidades repetitivas de moléculas pequeñas llamadas *monómeros*. El proceso de unirlos se llama polimerización:

Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia-densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico, y una buena resistencia a los ácidos, bases y disolventes. Son adecuados para un gran número de aplicaciones por su fortaleza, resistencia al agua, excelente resistencia a la corrosión, facilidad de fabricación y notable gama de colores.

La versatilidad de las propiedades de los plásticos ha permitido su aplicación en campos tan distintos como la medicina, ingeniería, comunicaciones, industria textil, industria automotriz y la vida cotidiana.

Los materiales poliméricos están constituidos por macromoléculas cuya estructura se basa en la combinación de átomos de carbono e hidrógeno fundamentalmente y en menor proporción otros como el oxígeno, nitrógeno, flúor, azufre y cloro que confieren características especiales.

Es conveniente señalar que hay dos clases de polímeros sintéticos: los polímeros de adición (Termoplásticos) y los polímeros de condensación (Termofijos).

- **Termoplásticos:** pueden calentarse desde el estado sólido hasta el estado líquido viscoso, y al enfriarse vuelven a adoptar el estado sólido; además, este ciclo de enfriamiento puede aplicarse muchas veces sin degradar al polímero. La razón de dicho comportamiento es que los termoplásticos consisten en macromoléculas lineales. Algunos ejemplos son el polietileno, polipropileno, poliestireno, PVC, policarbonato, entre otros.
- **Termofijos:** son materiales rígidos que tienen una estructura molecular de tipo red, formados durante el proceso de polimerización. Son plásticos que una vez moldeados no pueden modificar su forma, y por lo tanto no pueden ser reciclados. Se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde, son más rígidos, son frágiles, etc. Algunos ejemplos son: fenol formaldehído, epóxidos, poliésteres, poliuretanos, entre otros.

Comercialmente los Polímeros se dividen en:

## 1. GENERALIDADES

- *Commodities*, que son los más simples en su estructura, precios no altos y desempeño razonable. como son: Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, Policloruro de Vinilo, entre otros.
- *De Ingeniería*: Aquellos con propiedades mecánicas estables, por arriba de los 100°C, con mayores precios; utilizan generalmente en aplicaciones semi-estructurales como resultado de su elevada rigidez, resistencia y temperatura de reblandecimiento.

Los polímeros denominados *commodities*, se clasifican de acuerdo a su importancia comercial y por sus aplicaciones en el mercado (Tabla 1).

Nombre	Acrónimo	Número de identificación	usos
Polietilentereftalato	PET	1	Botellas para bebidas, bandejas, laminas, etc.
Polietileno de Alta Densidad	HDPE	2	Bolsas de basura, tuberías, artículos del hogar, tarimas, etc.
Policloruro de Vinilo o Vinilo	PVC	3	Tuberías, ventanas, puertas, canalización eléctrica, etc.
Polietileno de baja densidad	LDPE	4	Botellas, bolsas, juguetes, tuberías, vasos, platos, etc.
Polipropileno	PP	5	Bolsas, utensilios domésticos, juguetes, etc.
Poliestireno	PS	6	Cajas para comida, cajas para CD, aislamiento térmico, etc.
Otros	Otros	7	Envases, industria automotriz, construcción, etc.

Tabla 1. Clasificación de polímeros commodities

(El código de Identificación es adoptado en México el 25 de noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999 basado en la identificación de Europa y países de América)



### 1.2 Polipropileno

El polipropileno es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que pertenece a la familia de las poliolefinas; se obtiene a través de la polimerización del propileno. [11]

Esta materia se obtiene a partir de la refinación del petróleo o gas natural. El propileno junto con el etileno son las materias primas más baratas en la producción de polímeros, se parte de ellos para crear una gran variedad de monómeros vinílicos para producir una extensa serie de productos. [11]

#### 1.2.1. Marco histórico del Polipropileno

En 1955, el científico italiano F.J. Natta anunció el descubrimiento de polipropileno estereoespecífico. La palabra *estereoespecífico* indica que las moléculas están dispersas en un orden definido en el espacio. Natta denominó este material organizado de forma regular *polipropileno isotáctico*. Al experimentar con los catalizadores de tipo Ziegler, sustituyó el tetracloruro de titanio en  $Al(C_2H_5)+TiCl_4$  por el catalizador estereoespecífico tricloruro de titanio. Esto condujo a la producción comercial de polipropileno. [12]

No es sorprendente que el propileno y el polietileno compartan muchas de las propiedades ya que son similares en origen y fabricación. El polipropileno se ha convertido en un potente competidor del polietileno.

### 1.3 Generalidades del Polipropileno

El polipropileno se diferencia del etileno porque en él existe un grupo metilo unido a uno de los átomos de carbono. La unidad estructural básica se muestra en la Figura 1.1:

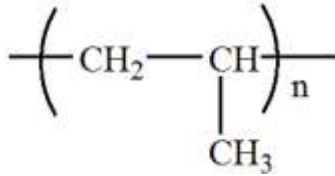


Figura 1.1. Unidad estructural básica del PP

El polipropileno es sintetizado a partir del monómero propileno bajo condiciones controladas de temperatura y presión, en presencia de un catalizador organometálico, tricloruro de titanio-TEAL.

La estereorregularidad en las cadenas lineales, depende del orden en que están colocados los grupos metilos laterales, así como del catalizador y proceso de polimerización usado, originando tres tipos de acomodo en la estructura molecular. [11]

Esta estereorregularidad se denomina tacticidad, y en base a esta propiedad se clasifican como polímeros: *Isotácticos*, *Sindiotácticos* y *Atácticos*. En toda polimerización se obtiene una mezcla de ellos y se busca alcanzar los mayores porcentajes del tipo isotáctico.

a) Polipropileno Isotáctico

Se caracteriza por una posición estereoquímica de los radicales metilos a lo largo de la cadena, lo cual permite obtener el polipropileno cristalino. Esto se refleja principalmente en valores altos de propiedades mecánicas y térmicas. La cadena molecular no puede cristalizar en forma plana como el polietileno, ya que sus cadenas toman una forma helicoidal con tres moléculas en cada vuelta. [11] En la Figura 1.2 se observa el polipropileno isotáctico:

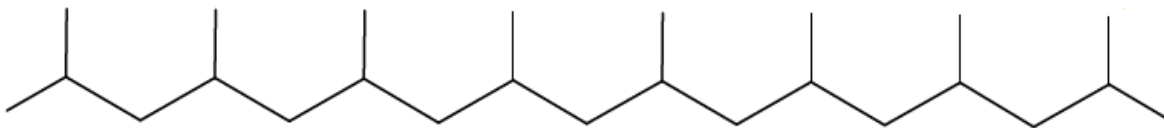


Figura 1.2 Polipropileno Isotáctico

b) Polipropileno Sindiotáctico

En esta estructura los radicales metilos están alternados a lo largo de la cadena de manera ordenada estereoquímica. [11] En la Figura 1.3 se observa el polipropileno sindiotáctico.



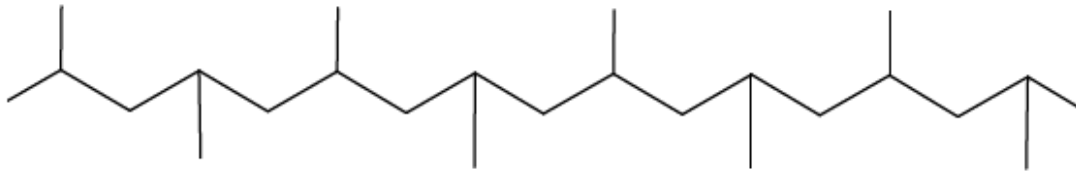


Figura 1.3 Polipropileno Sindiotáctico

### c) Polipropileno Atáctico

En el polipropileno Atáctico los grupos metilo se encuentran al azar en la cadena. Difícilmente cristaliza, dado que carece de ordenamiento espacial. Por consiguiente, su densidad y resistencia mecánica son menores al isotáctico, así como las temperaturas de reblandecimiento y fusión. [11] Su estructura se muestra en la Figura 1.4.

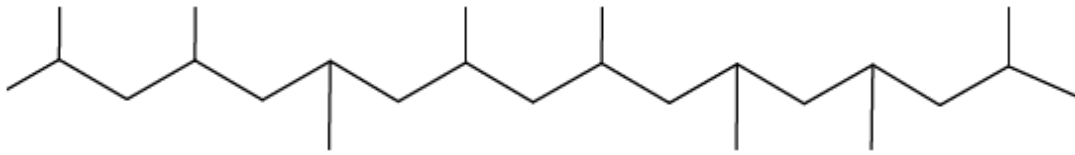


Figura 1.4 Polipropileno Atáctico

Los polímeros atácticos son materiales gomosos, transparentes de valor comercial limitado. Las calidades atácticas y sindiotácticas son más resistentes al impacto que los tipos isotácticos.

El polipropileno comercial es isotáctico en un 90-95%.

### 1.3.1 Propiedades del Polipropileno

#### a) Propiedades físicas.

- *Densidad.*

El polipropileno en comparación con el polietileno, tiene una densidad más baja, permitiendo que su rendimiento en producción sea mayor. Su intervalo de densidad es de 0.89 a 0.91 g/cm<sup>3</sup>. [11]

- *Absorción de agua.*

El polipropileno es un material que no absorbe humedad y evita su secado previo para procesarlo, manteniendo una buena estabilidad dimensional, incluso en ambientes altamente húmedos. [11]

- *Contracción de moldeo.*

La contracción del polipropileno en el molde es menor que la que sufre el polietileno y depende fundamentalmente de la temperatura de molde, temperatura de fundido y tiempo de enfriamiento. [11]

El intervalo de contracción del molde para polipropileno es de 1 a 2 % y debe tomarse en cuenta durante el diseño del molde.

- *Índice de fluidez.*

Determina la elección del grado del material de acuerdo al proceso de transformación que se va a utilizar, también es una medida indirecta del peso molecular del material. A medida que es menor este valor, el peso molecular es mayor y la viscosidad se incrementa. [11]

Por el contrario, cuando el índice de fluidez es elevado, el peso molecular es menor, la viscosidad disminuye, el brillo aumenta y se facilita la inyección en piezas de diseños complicados.

### **b) Propiedades mecánicas.**

Las propiedades mecánicas del polipropileno están en función del peso molecular y del grado de cristalinidad.

- *Resistencia la tensión.*

La resistencia a la tensión del polipropileno tiene un valor medio en comparación con los demás termoplásticos. De la isotacticidad del polipropileno, dependen las propiedades de tensión del material.

Dentro de los tipos comerciales, a medida que aumenta la cantidad de material isotáctico, aumenta la cristalinidad, el punto de reblandecimiento, la rigidez, resistencia a la tracción, módulo de tensión y dureza, a pesar de que siempre existe polímero atáctico como subproducto. [11]

- *Elongación.*

El polipropileno tiene un excelente intervalo de elongación y fluctúa entre 400 y 430% utilizando cargas de 300 a 400 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, lo que justifica el amplio uso de este material en la fabricación de películas, y que hace posible su estiramiento en dirección paralela y tangencial. [11]

- *Resistencia al impacto.*

La resistencia al impacto del polipropileno, es de 6.8 a 8.26 kg<sub>f</sub> /cm<sup>2</sup>. [11]

- *Resistencia a la flexión.*

El polipropileno es un material semirrígido, su resistencia es de 600 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, se utiliza en la fabricación de carcasas de aparatos, cajas y contenedores de alimentos. [11]

- *Módulo de flexión.*

Es una medida de la rigidez del material. La presencia de los grupos metílicos en el polipropileno proporciona una mayor rigidez con respecto al polietileno, incluso por encima de los 100°C. [11]

- *Resistencia a la compresión.*

Esta propiedad indica la carga que soporta un plástico antes de deformarse. El polipropileno presenta un valor de 500 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, se utiliza en la inyección de sillas y soportes para muebles. [11]

### **c) Propiedades térmicas.**

- *Temperatura de reblandecimiento Vicat*

El polipropileno presenta resistencia a temperaturas arriba de 140°C durante periodos cortos, sin presentar deformaciones, puede ser esterilizado con rayos gamma y óxido de etileno. [11]

- *Temperatura de deformación bajo carga*

El polipropileno a la temperatura de 110°C soporta una carga de 4.5 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, mientras que a 55°C soporta 18.5 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, pero si se refuerza con cargas como fibra de vidrio, talco o carbonato de calcio, la temperatura aumenta hasta 150°C. [11]

- *Conductividad térmica*

El polipropileno presenta un valor muy pequeño de conductividad, ya que el calor que absorbe lo transmite lentamente; esto se refleja en ciclos más largos de enfriamiento durante su transformación. [11]

- *Resistencia al calor continuo*

El polipropileno es el material que más resistencia al calor continuo presenta, es decir a la capacidad de soportar elevadas temperaturas libres de esfuerzos mecánicos. [11]

- *Calor específico*

Es la cantidad de calor que se necesita para elevar un grado centígrado, la temperatura de un material por unidad de masa. El polipropileno presenta un valor elevado de calor específico, por lo que requiere consumir más energía para su transformación. [11]

### **d) Propiedades ópticas.**

El polipropileno por naturaleza es translucido y su transmitancia es de 70 a 75%. A pesar del valor bajo, las piezas moldeadas en este material sin pigmentar presentan mayor transparencia que las fabricadas a base de polietileno de alta densidad. [11]

Esto se debe a que existe menor densidad en las zonas amorfas y cristalinas del polipropileno, cuya densidad es  $0.85 \text{ g/cm}^3$  y para el polietileno es de  $0.94 \text{ g/cm}^3$ .

### **e) Propiedades eléctricas.**

La constante dieléctrica es la capacidad de los materiales plásticos para almacenar la energía dentro de ellos. El polipropileno es un material que casi no acumula energía, puede ser utilizado en circuitos eléctricos y electrónicos. [11]

### **a) Propiedades químicas.**

Presenta excelente resistencia a los ácidos y bases fuertes o débiles, solo lo ataca el ácido nítrico concentrado por arriba de los  $80^\circ\text{C}$ . Pocos disolventes orgánicos pueden disolverlo a temperatura ambiente. [11]

Propiedades	Unidades	Polipropileno
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0.90-0.91
Cristalinidad	%	60-80
Resistencia a la tensión	Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	300-400
Elongación	%	500-700
Modulo elástico	1 x 10 <sup>3</sup> Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	11-18
Resistencia a la flexión	1 x 10 <sup>3</sup> Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	-
Dureza		85-95 R
Conductividad térmica	1 x 10 <sup>4</sup> Cal cm/s cm <sup>2</sup>	3.3
T. reblandecimiento Vicat	°C	140-160
T. de fusión	°C	170-175
T. de procesamiento	°C	
T. de transición vítrea	°C	-10
T. de cristalización	°C	116

Tabla 2. Propiedades generales del PP

### 1.3.2 Reciclaje de polipropileno

En los últimos 50 años, la industria de plásticos ha crecido considerablemente. Hoy en día, éstos materiales tienen una amplia variedad de aplicaciones domésticas y comerciales.

La mayoría de los plásticos son polímeros derivados del petróleo que de no ser reciclados podría generar daños graves al medio ambiente.

La reducción en origen es el primer paso hacia una gestión sostenible de los residuos y ello supone la disminución de la cantidad de plásticos que se utilizan, así como diseñar productos que reduzcan la utilización de estos materiales. Los plásticos son materiales idóneos para ser reutilizados porque son duraderos, resistentes, lavables etc.

La reutilización de los plásticos reciclados se utiliza más en los envases industriales y comerciales que en los domésticos. Un ejemplo son los envases de polipropileno, mismos que poseen un gran potencial para su reciclaje en el sector comercial.

El polipropileno es ampliamente usado en muchas aplicaciones, tanto en películas como por elementos rígidos tales como cierres, cubas, cajas, carcasas de baterías, botellas, etc. Como las botellas de polietileno y PET, muchos de estos contenedores de polipropileno pueden ser fácilmente reciclados proporcionando el criterio para control, calidad y coste.

### 1.3.3. Reciclaje

El reciclaje es el proceso de transformación de un artículo que al terminar su vida útil es reutilizada. El reciclaje se puede llevar a cabo de dos formas físico (o mecánico), o químico.

- ✓ *Reciclaje físico o mecánico:* es el proceso mediante el cual el plástico de postconsumo es recuperado para su reutilización. Este método consiste en la molienda, separación y lavado de los plásticos. El plástico en trozos se puede destinar de forma directa o combinar con materia prima nueva para la elaboración de nuevos productos.
- ✓ *Reciclaje químico:* en este proceso implica el rompimiento de la estructura original, dado origen a materia prima.

Es importante señalar que el maguey es una fuente rica en fibra, el cual se le puede extraer y darle un uso posterior, es por eso que mencionamos sus propiedades y características para facilitar su manejo.

### 1.4 *Agave salmiana*

El maguey manso, pulquero o de montaña es una planta perteneciente a la familia de las agaváceas, posee hojas carnosas, verdes y gruesas acomodadas en roseta con espinas en los márgenes y en la punta; su tamaño va desde 1.50 a 3.40 m de altura y hasta 5 m de diámetro (Figura 1.5). Esta familia vegetal es muy variada y rica en especies, se le encuentra en terrenos planos y montañosos, desde suelos profundos a superficiales. En México aún se explotan tres tipos de especies de maguey pulquero que son: *Agave Mapisaga*, *Agave Salmiana* y el *Agave Atrovirens*, que se distribuyen principalmente en el Valle de México, en los estados de México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla. [13]

Los usos de *Agave salmiana* son muy variados, su aprovechamiento es tal que no queda una sola de sus partes y productos que no tengan uno o varios fines específicos, el principal producto del cual se deriva su nombre genérico a nivel popular “maguey pulquero” es el pulque, el cual es un fermento de la savia de sus hojas o aguamiel. [13]



Figura 1.5 Maguey pulquero (*Agave salmiana*)

#### 1.4.1 Usos del maguey

*Alimentos:* Se puede explotar de diversas formas, en primer lugar tenemos el aguamiel, la base para producir miel, mezcales, atoles, jugo, y por supuesto,

## 1. GENERALIDADES

---

pulque. También algunas partes del maguey sirven para hacer dulces y postres como el quiote asado, la penca asada, ximfi o el raspado en almíbar o cristalizado, azúcar, piña y penca horneadas. [14]

*Artículos de uso diario:* La fibra del maguey se obtiene de las pencas (Figura 1.6). A la vieja usanza, la penca era triturada con un mazo para retirar la pulpa, después, con una pieza filosa es tallada hasta dejar las fibras descubiertas. Hoy, una máquina hace el proceso más rápido. [14]



Figura 1.6 Obtención de fibra de maguey

Una vez que se han obtenido las fibras se ponen a secar para elaborar, a través de la técnica del hilado, una tira con tal resistencia que se pueden fabricar costales, bolsas, mantas, telas, tapetes, lazos, etc. Y no sólo sirve para el vestido, sino también para elaborar herramientas de trabajo u artículos de uso cotidiano: redes de pesca, sogas, reatas, petates, hamacas, morrales, incluso hasta cuerdas para instrumentos musicales, entre otros. La fibra es tan fuerte que se utiliza para amarrar los armazones de madera de las casas. [14]

*Industria:* El maguey no tiene desperdicio, el quiote seco por ejemplo se utiliza en la construcción de casas, con él se elaboran vigas, cercas para delimitar terrenos, garrochas, con los quiotes ahuecados y las pencas frescas se construyen canales para la recolección del agua de lluvia y los techos de las casas. El aguamiel también sirve como pegamento de muros y hasta las púas pueden fungir como clavos. [14]



El sector agrícola también puede obtener un gran beneficio, pues el material restante del proceso para obtener la fibra del maguey, se puede ocupar para crear una especie de composta.

### 1.4.2 Composición de las hojas de Agave.

Las hojas de agave están constituidas, del exterior hacia el interior, por una capa fina de cera llamada cutícula que tiene la función de evitar pérdidas de agua a la hoja; debajo de ella, se encuentra la epidermis, luego el parénquima en empalizada y el mesófilo de la hoja, el cual está constituido por fibras de esclerénquima agrupadas en forma de herradura, por haces vasculares constituidos por fibras de xilema y fibras de floema y por parénquima acuoso. [16] (Figura 1.7)

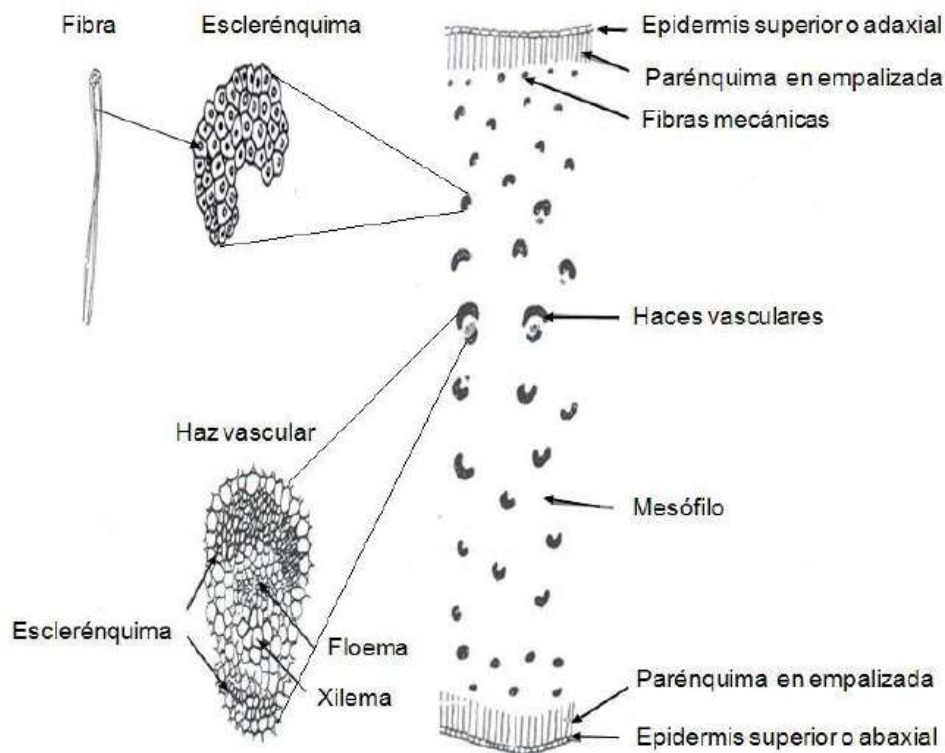


Figura 1.7 Corte transversal de la hoja de Agave mostrando su composición histológica.

### 1.4.3 Componentes químicos de la fibra de maguey

Como la mayoría de las fibras vegetales, las fibras de agave están compuestas principalmente por celulosa (40-80%), lignina (5-25%), hemicelulosa (10%) y cenizas, cuya descripción detallada se presenta a continuación: [16]

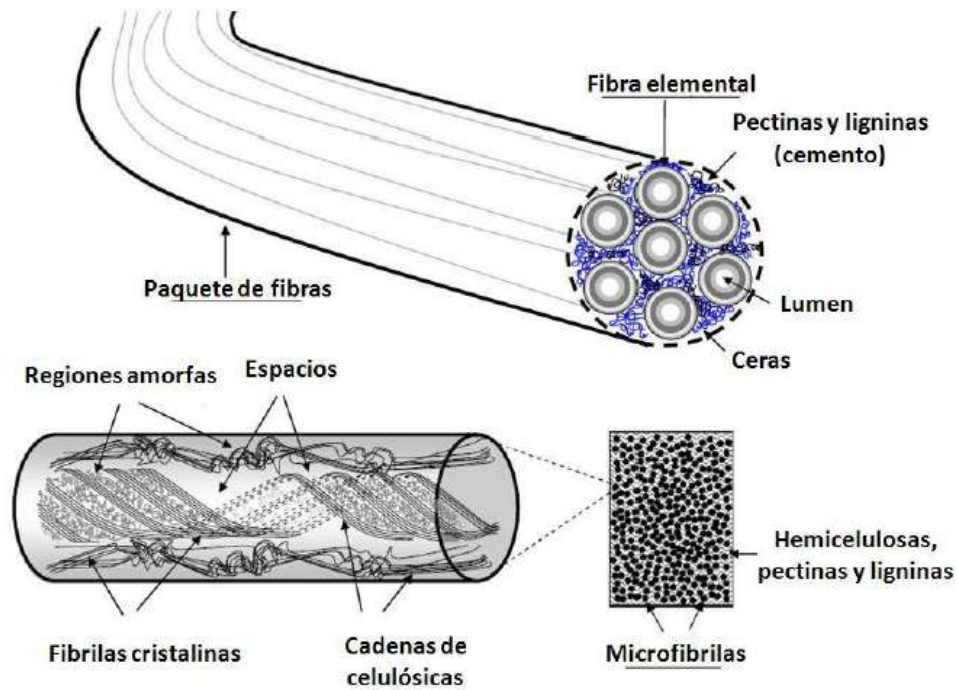


Figura 1.8 Diagrama esquemático de la estructura de una fibra.

Las cadenas celulósicas y hemicelulósicas, se encuentran unidas entre sí en el seno de los filamentos celulósicos constituyentes de las fibrillas elementales mediante fuerzas atractivas internas a través de los grupos funcionales hidroxilo de las macromoléculas de celulosa y las hemicelulósas, como se observa en la Figura 1.9.

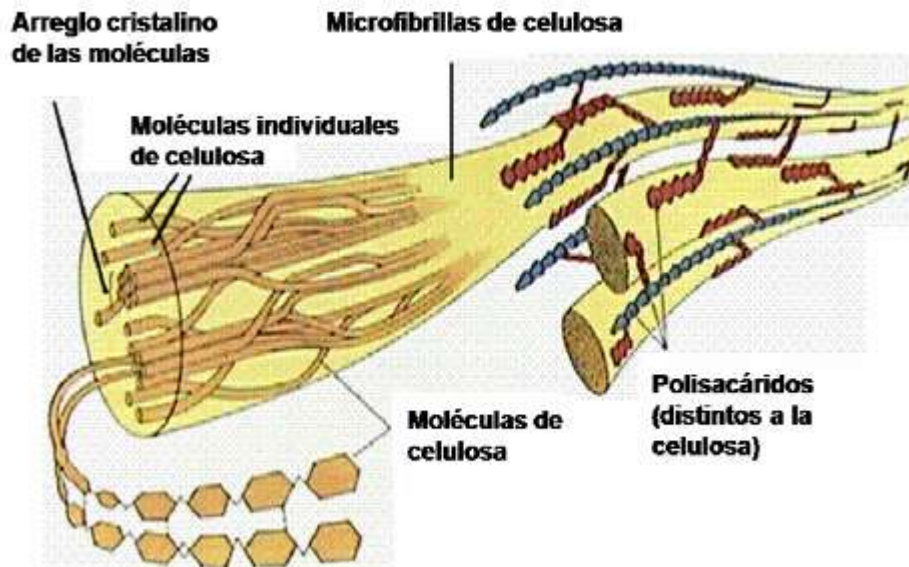


Figura 1.9 Microfibrilla de celulosa.

### Composición química de la celulosa

La celulosa, es un polímero natural que consta de unidades de D-glucosa enlazadas por uniones de 1,4'-6-D-glicosídicas. Este homopolisacárido lineal presenta un ordenamiento en el que sus oxidrilos generan fuertes uniones intramoleculares adquiriendo propiedades cristalinas.

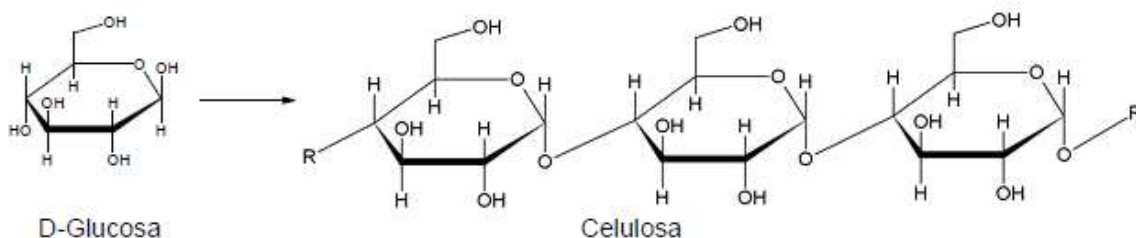


Figura 1.10 Estructura de la celulosa.

Las fibras de celulosa son extremadamente resistentes a esfuerzos de tracción, debido a que sus cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, que dan origen a microfibras (rodeadas de ligninas y hemicelulosas) altamente estructuradas.

A pesar de tener muchos hidroxilos libres, la celulosa es poco soluble en agua y prácticamente insoluble en la mayoría de los disolventes polares debido a que estos grupos no se hidratan por estar actuando entre sí.

### Composición química de la hemicelulosa

La hemicelulosa está constituida por diferentes unidades de monosacáridos como pentosas, hexosas y ácidos urónicos (Figura 1.11), enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas.

Químicamente la hemicelulosa difiere de la celulosa en tres aspectos, en primer lugar, contienen varias unidades diferentes de carbohidratos, mientras que celulosa contiene sólo unidades de glucosa; en segundo lugar, presentan una cadena polimérica ramificada que da lugar a regiones amorfas, mientras que la celulosa es un polímero lineal y en tercer lugar, el grado de polimerización de la celulosa es de 10 a 100 veces mayor que el de la hemicelulosa. Es de naturaleza hidrofílica, soluble en álcali y fácilmente hidroliza en ácidos.

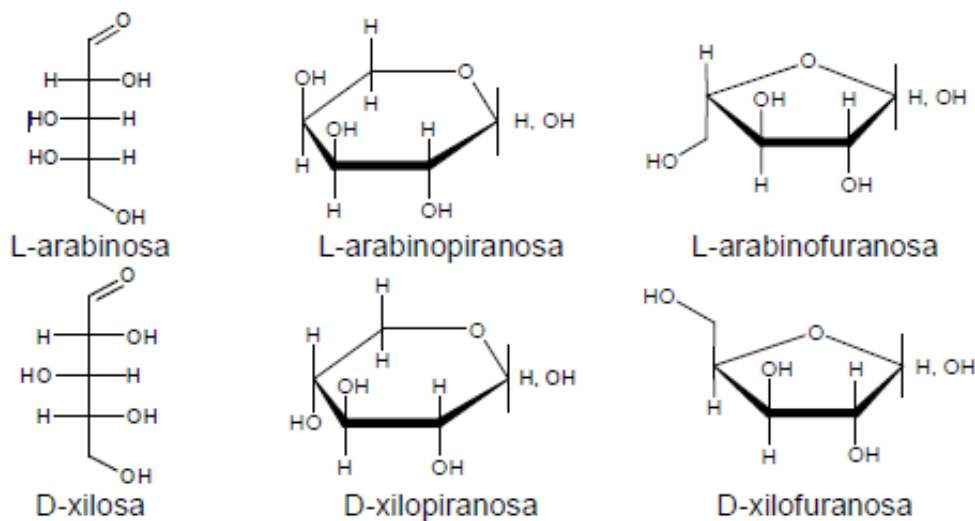


Figura 1.11 Carbohidratos que forman la hemicelulosa

### Composición química de la lignina

La lignina (Figura 1.12) es un polímero constituido a base de unidades fenilpropánicas, el cual presenta diferencias estructurales básicas. La unión entre las unidades básicas se realiza predominantemente a través de enlaces éter, alquil-arílicos, y en menor proporción por enlaces carbonocarbono alquil-arilo, siendo mucho menos abundantes las uniones de ambos tipos alquil-alquílicas y aril-arílicas. Con respecto a la ordenación de las unidades estructurales en la macromolécula de lignina, la mayoría de los investigadores han venido sosteniendo la idea de una distribución al azar. [23]

Por su naturaleza química no es hidrolizable por ácidos o álcalis, pero fácil de oxidar.

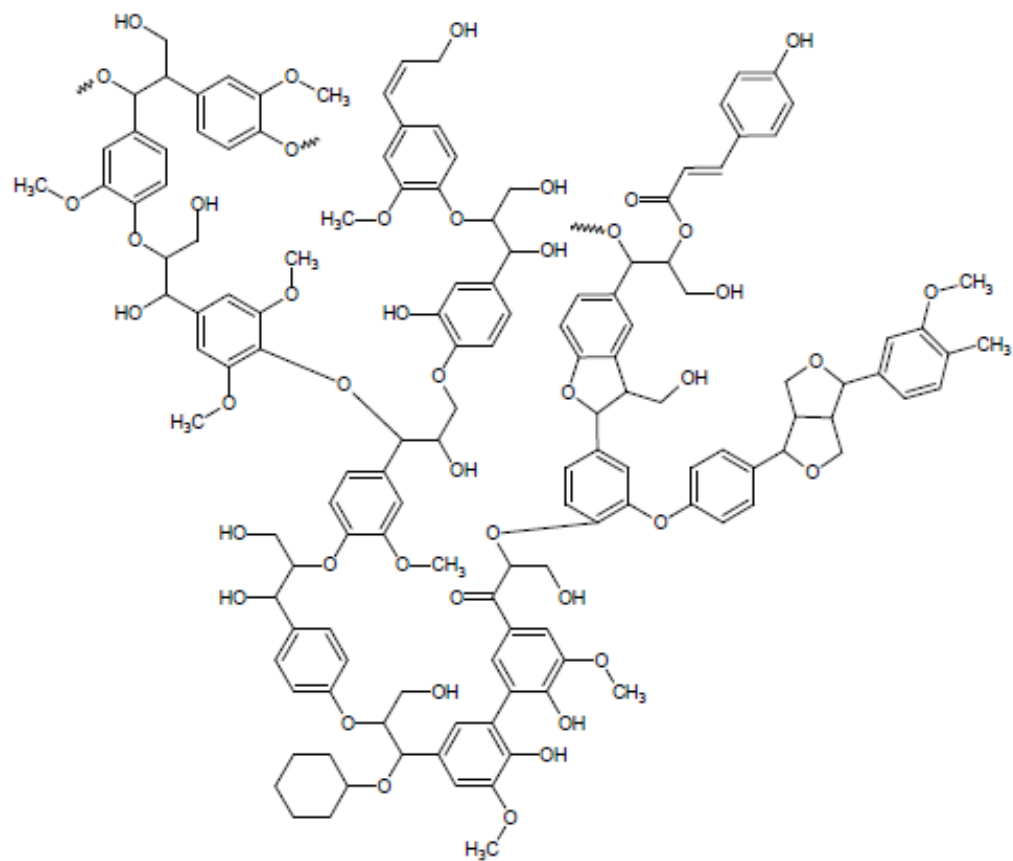


Figura 1.12 Estructura base de la lignina.



## **CAPITULO 2**

### **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### 2.1 Preparación de la fibra de maguey

#### Desarrollo experimental:

1. Se corta una parte de la penca de maguey y se somete a cocción.
2. Posteriormente se deshidrata y se corta en pedazos pequeños.
3. Finalmente se tritura hasta convertirlo en polvo.

Tabla 2.1. Material para la obtención de la fibra:

Material	Soluciones
Soporte universal con pinzas y nuez	Agua
Mechero bunsen	
Olla	
Mortero con pistilo	

### 2.2 Preparación de las muestras de PP de desecho.

#### Desarrollo experimental:

1. Se lavan los recipientes de PP de desecho.
2. Con acetona se retira la pintura de la etiqueta para tener solo el termoplástico.
3. Se corta en pedazos y se raya para obtener partículas más pequeñas.

Tabla 2.2. Material para la obtención del PP de desecho:

Material	Soluciones
Tijeras	Agua
Rayador	Acetona

### 2.3 Elaboración de las probetas de PP de desecho – fibra de maguey

1. Se coloca en un vaso de precipitado el PP molido, 20% de fibra de maguey y peróxido de benzoilo.
2. Esta mezcla se calienta a baño maría a una temperatura aproximadamente entre 65 – 70°C durante 5 minutos.

3. Después la mezcla obtenida se pasa a los moldes (ver Anexo A), se introducen en la mufla a una temperatura entre 190 – 200°C y se van compactando.
4. Cuando se haya compactado y fundido bien la mezcla, se retira de la mufla y se deja enfriar.
5. Se hace lo mismo con el 25 y 30% de fibra de maguey.

Tabla 2.3. Material para la elaboración de las probetas.

Material	Equipo	Soluciones
Vasos de precipitado	Balanza analítica	Peróxido de benzoilo, 99% J.T. Baker Chemical Co.
Vidrios de reloj	Mufla	
Pipetas graduadas	Parrilla de calentamiento	
Espátula		
Termómetro		

#### 2.4 Preparación de las probetas para la prueba de compresión.

1. Se desmoldan las probetas y posteriormente se lijan las bases para tener un mejor resultado de compresión.
2. Con ayuda de un vernier se mide el diámetro y la altura de cada probeta.

Tabla 2.4 Códigos de identificación de las probetas:

N° de probeta	% fibra de maguey	Código
1	20	FMCO20
2	25	FMCO25
3	30	FMCO30



### **2.5 Realización de las pruebas mecánicas.**

Para la realización de la prueba mecánica se pidió apoyo al Laboratorio de Ensayos Mecánicos en el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) de la FES-Cuautitlán.



Figura 2.1 Máquina de compresión INSTRON 600DX, SATEC SERIES

El equipo funciona mediante un programa llamado PARTNER el cual es un software de ensayo para materiales. A este programa se le dan las instrucciones para realizar la prueba de compresión adecuada de acuerdo a la norma ASTM E-895.

#### **Procedimiento para la medición de la prueba de compresión.**

1. Se selecciona el tipo de prueba que se le harán a las probetas.

2. Se proporcionan los datos de las probetas (tipo de material, diámetro, longitud, etc.).
3. Se selecciona la velocidad de carga que se le aplicará a las probetas (0.5 kg/seg.)
4. Se dan indicaciones para que se detenga la prueba cuando la probeta se rompa, es ahí cuando termina la prueba.
5. Finalmente se retira la probeta.

Automáticamente la máquina calcula el esfuerzo aplicado a la probeta y nos proporciona un grafico de *Esfuerzo vs Deformación*.



## **CAPITULO 3**

# **RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente apartado se presentan los resultados de caracterización mecánica, composición molecular y térmica de las probetas que se obtuvieron en la sección anterior.

#### 3.1 Análisis de la prueba mecánica de compresión. (Ver Anexo B)

En el presente capítulo analizaremos los resultados de la prueba mecánica de compresión aplicada a las probetas de PP de deshecho y fibra de maguey. El propósito de aplicar la prueba de compresión a las probetas es para determinar la resistencia de este nuevo material y poder darle un uso posterior.

Probeta	% PP de deshecho	% Fibra de maguey	Carga máxima (kg)
FMCO20	80	20	348
FMCO25	75	25	398
FMCO30	70	30	398

Tabla 3.1 Composición de las probetas y carga máxima soportada.



Figura 3.1 Probetas de PP de deshecho y fibra de maguey.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

Los valores de esfuerzo vs deformación se calculan a partir de las siguientes ecuaciones:

El esfuerzo se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo, kg/cm}^2$$

$$F = \text{Carga, kg}$$

$$A_0 = \text{Área, cm}^2$$

Y para la deformación tenemos:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Donde:

$$\varepsilon = \text{Deformación}$$

$$\Delta l = \text{Cambio después de aplicar una fuerza}$$

$$l_0 = \text{Distancia inicial}$$

Para la deformación unitaria se tiene que:

$$\text{deformación unitaria} = \frac{\varepsilon}{A_0}$$

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1.1 Resultados y análisis para la probeta FMCO20.



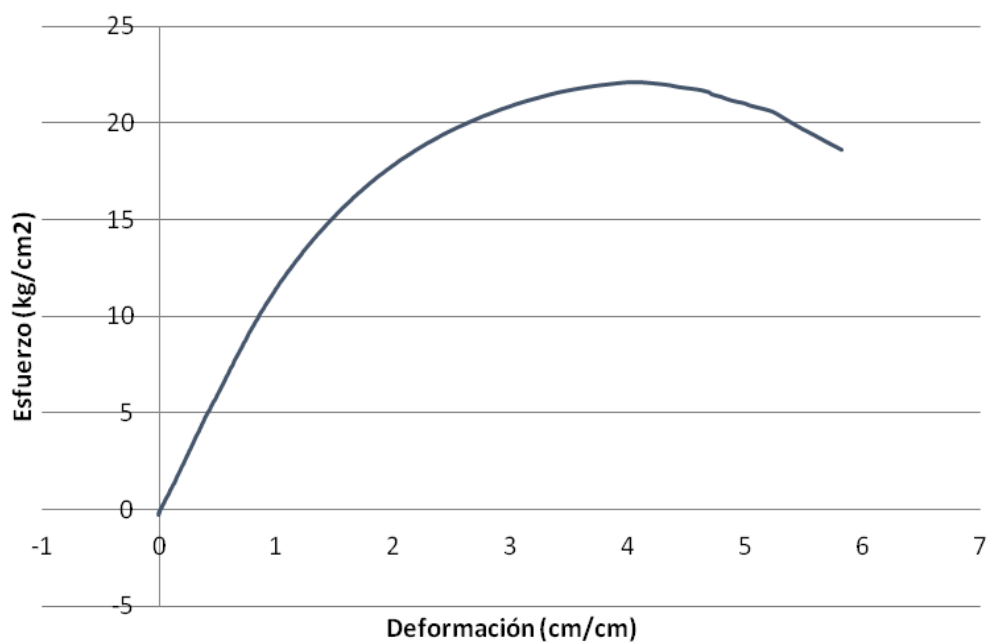
Figura 3.2 Probeta antes y después de aplicar el ensayo de compresión.

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Diámetro	14.16 mm
Área	15.7476 cm <sup>2</sup>
Carga en el punto de rotura	299 kg
Módulo de Young	65.0454 kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	2.2099 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo en el punto de rotura	1.8987 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo máximo	22.09 kg/cm <sup>2</sup>
Punto máximo carga	348.0 kg

Tabla 3.2 Resultados del ensayo para la probeta FMCO20.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---



Gráfica 3.1 Curva Esfuerzo-Deformación de la probeta FMCO20.

En la Gráfica 3.1, vemos que desde el inicio de la curva el material presenta una buena elasticidad. La probeta se deforma hasta un máximo de 348 kg y posteriormente llega al punto de rotura. El esfuerzo máximo de compresión para esta probeta fue de 22.09 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1.2 Resultados y análisis para la probeta FMCO25.



Figura 3.3 Probeta antes y después de aplicar el ensayo de compresión.

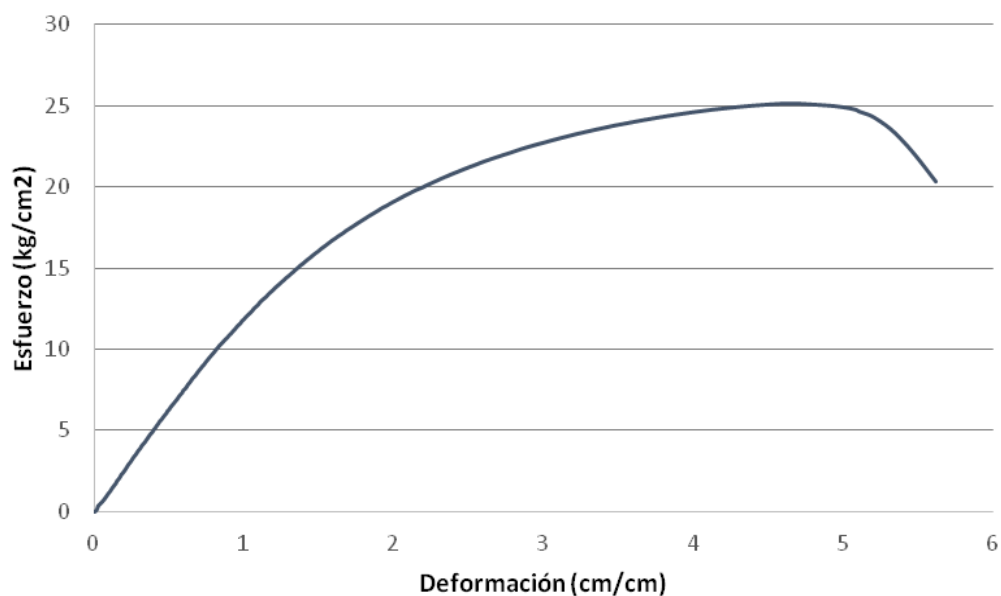
CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Diámetro	14.20 mm
Área	15.8367 cm <sup>2</sup>
Carga en el punto de rotura	348 kg
Módulo de Young	78.9904 kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	2.5131 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo en el punto de rotura	2.1974 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo máximo	25.13 kg/cm <sup>2</sup>
Punto máximo carga	398 kg

Tabla 3.3 Resultados del ensayo para la probeta FMCO25.



### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---



Gráfica 3.2 Curva Esfuerzo-Deformación de la probeta FMCO25.

En la Gráfica 3.2, se observa una buena elasticidad del material. La probeta se deforma hasta un máximo de 398 kg y posteriormente llega al punto de rotura. El esfuerzo máximo de compresión para esta probeta fue de 25.13 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1.3 Resultados y análisis para la probeta FMCO30.

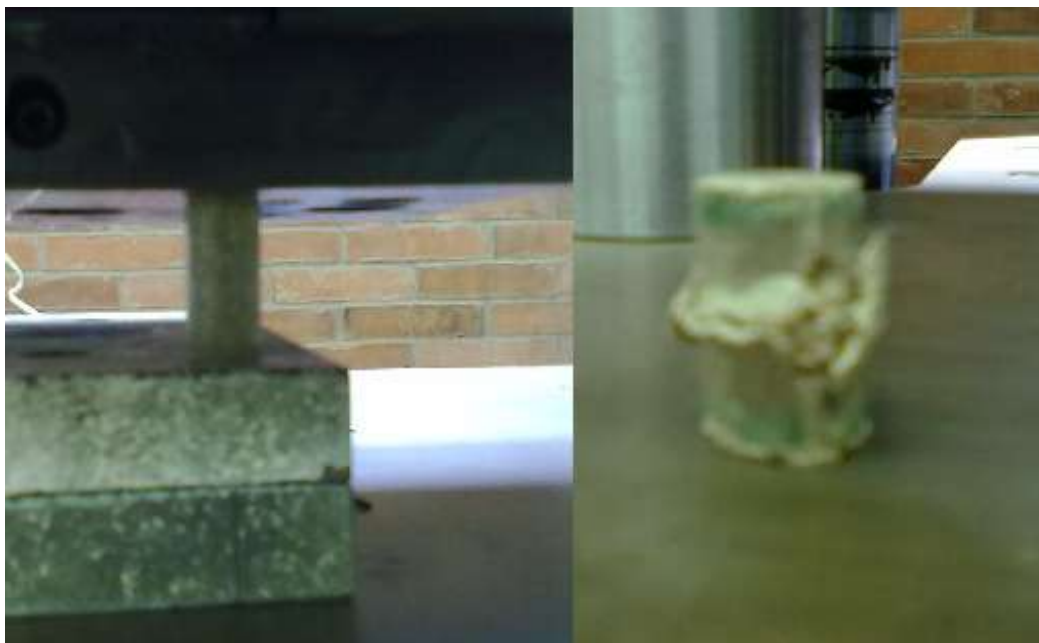


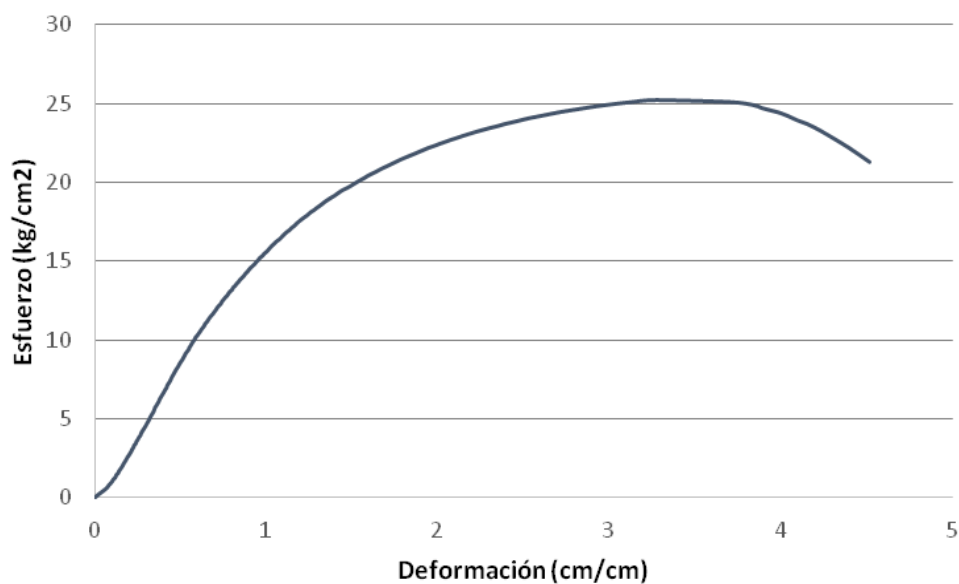
Figura 3.4 Probeta antes y después de aplicar el ensayo de compresión.

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Diámetro	14.17 mm
Área	15.7699 cm <sup>2</sup>
Carga en el punto de rotura	350 kg
Módulo de Young	99.5492 kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	2.5238 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo en el punto de rotura	2.2194 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo máximo	25.23 kg/cm <sup>2</sup>
Punto máximo carga	398.0 kg

Tabla 3.4 Resultados del ensayo para la probeta FMCO30.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---



Gráfica 3.3 Curva Esfuerzo-Deformación de la probeta FMCO30.

Para la Gráfica 3.3 se observa un buen comportamiento elástico. Y al igual que la probeta FCO25 presenta buena resistencia a la compresión deformándose hasta un máximo de 398 kg para posteriormente llegar al punto de rotura. El esfuerzo máximo de compresión para esta probeta fue de 25.23 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.2 Análisis de espectroscopia infrarrojo por Transformada de Fourier FT – IR. (Ver Anexo C)

En este capítulo analizaremos e interpretaremos los espectros FT – IR obtenidos de cada una de las probetas obtenidas.

En la Figura 3.5 se muestra el equipo FT – IR, el cual se utilizó para el análisis de las muestras.



Figura 3.5 Equipo “PERKIN ELMER FT-IR, Spectrometer, Spectrum RX I”.

Para facilitar la interpretación de los espectros estos se dividieron en tres regiones para analizar cada banda característica de los grupos funcionales que contenían las muestras obtenidas. Para ello tenemos en la Tabla 3.5 los diferentes códigos y colores para cada espectro IR.

Color del espectro IR	Código	Observaciones
Verde	FMCO	Muestra de fibra de maguey
Negro	PP desecho	Muestra de polipropileno de desecho
Morado	FMCO20	Muestra con el 20% de fibra de maguey.
Rojo	FMCO25	Muestra con el 25% de fibra de maguey.
Azul	FMCO30	Muestra con el 30% de fibra de maguey.

Tabla 3.5 Códigos de identificación de los espectros FT – IR.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

En la Figura 3.6 vemos el espectro en color morado, que es nuestra muestra **FMCO20** así como también están el espectro del PP desecho en color negro y la FMCO en verde. En la región 1 tenemos una banda ancha localizada en  $3334.71 \text{ cm}^{-1}$  esta se debe a la tensión del hidrogeno del grupo OH, los cuales están presentes en la celulosa y la hemicelulosa de la fibra de maguey (Ver Anexo D).

En la región 2 se observan tres picos muy notables alrededor de  $2900 \text{ cm}^{-1}$  estas señales son debido a la tensión de C-H, también se observan señales muy marcadas alrededor de  $1600 \text{ cm}^{-1}$ ; ambas señales también están presentes en la hemicelulosa de la fibra.

En la región 3 se observan señales alrededor de  $1400 \text{ cm}^{-1}$  debido a la presencia de grupos metoxilo ( $\text{CH}_3 - \text{O} - \phi$ ) presentes en la lignina que también forma parte de la estructura de la fibra de maguey.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

■ FMCO20 ■ PP DESECHO ■ FMCO

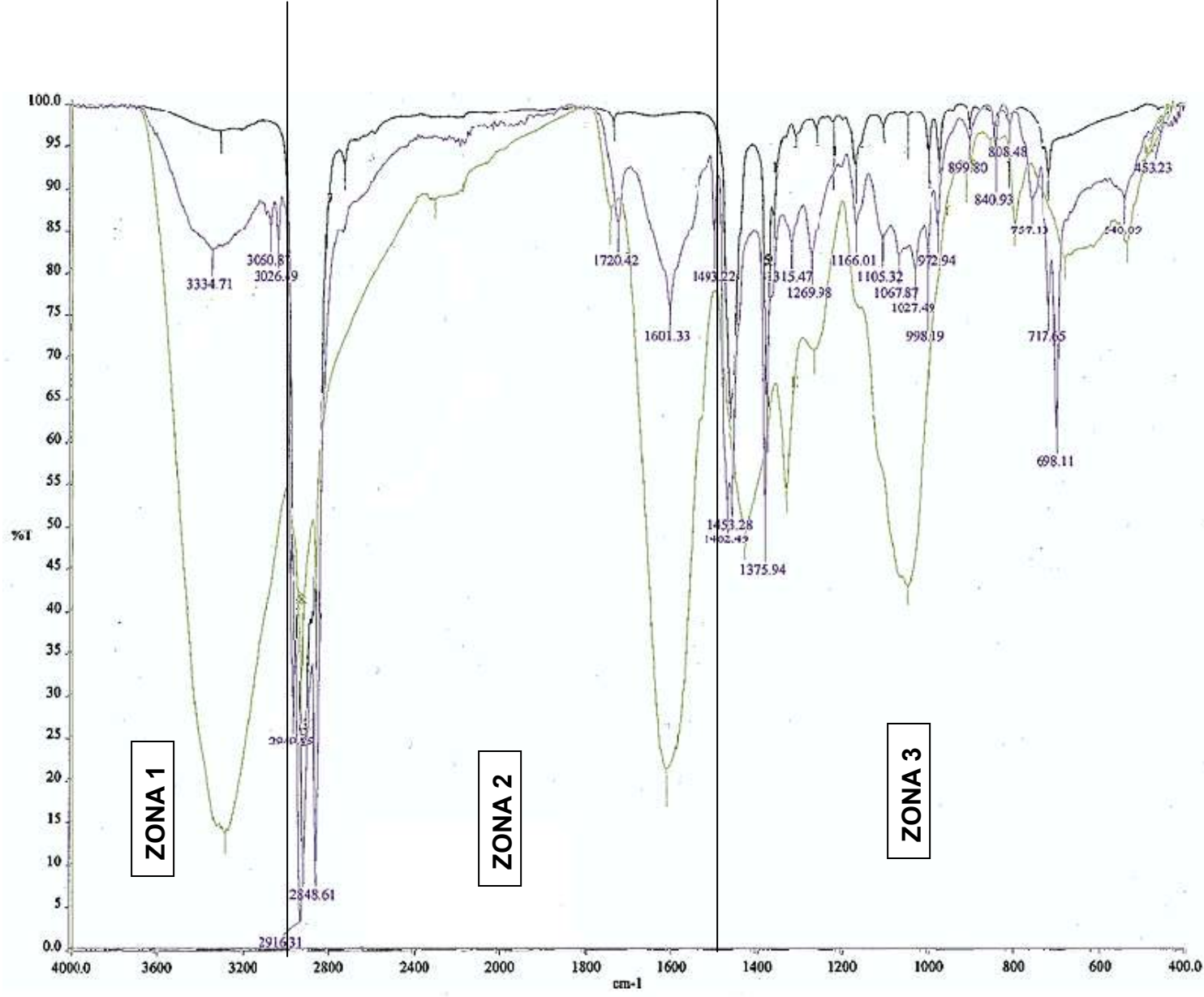


Figura 3.6 Espectro infrarrojo de la muestra FMCO20.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tipos de vibración	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
O-H	3334.71
=CH <sub>2</sub> , tensión	3060.87
=CH <sub>2</sub>	3026.49
-CH <sub>3</sub> , tensión	2949.85
-CH <sub>3</sub> , tensión	2916.31
-CH <sub>3</sub> , tensión	2848.61
C=O	1720.42
C=C	1601.33
φ (aromático)	1453.28

Tabla 3.6 Grupos funcionales más sobresalientes en el espectro IR de la FMCO20

En la Figura 3.7 vemos el espectro en color rojo, que es nuestra muestra **FMCO25** y al igual que en la anterior también están el espectro del PP desecho en color negro y la FMCO en verde. En la región 1 tenemos una banda ancha localizada en 3333.89 cm<sup>-1</sup> esta se debe a la tensión del hidrogeno del grupo OH, los cuales están presentes en la celulosa y la hemicelulosa de la fibra de maguey.

En la región 2 se observan tres picos muy notables alrededor de 2900 cm<sup>-1</sup> estas señales son debido a la tensión de C-H, también se observan señales muy marcadas alrededor de 1600 cm<sup>-1</sup>; ambas señales también están presentes en la hemicelulosa de la fibra.

En a región 3 se observan señales alrededor de 1400 cm<sup>-1</sup> debido a la presencia de grupos metoxilo (CH<sub>3</sub> – O – φ) presentes en la lignina que también forma parte de la estructura de la fibra de maguey.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

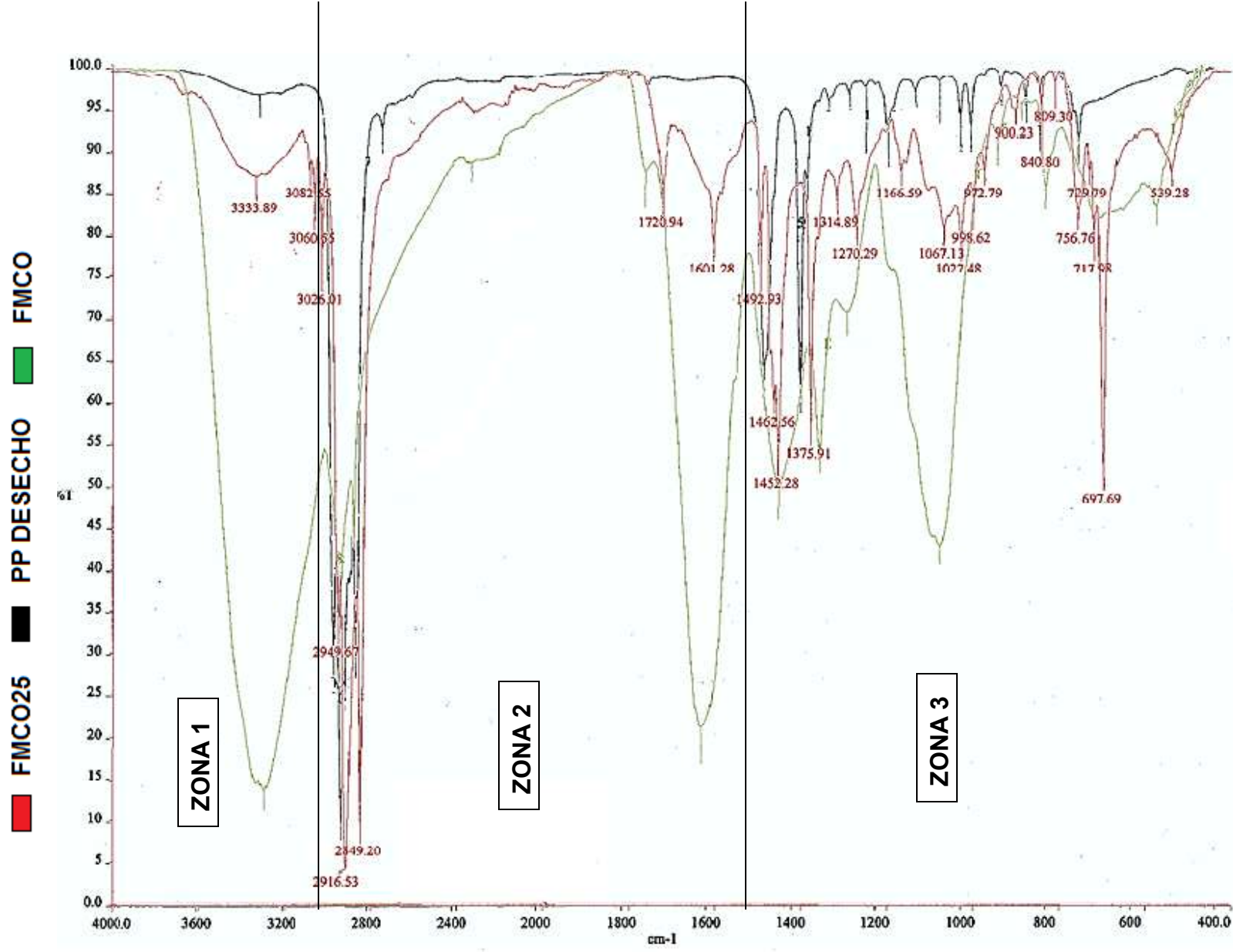


Figura 3.7 Espectro infrarrojo de la muestra FMCO25.



### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tipos de vibración	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
O-H	3333.89
=CH <sub>2</sub> , tensión	3082.55
=CH <sub>2</sub> , tensión	3060.55
=CH <sub>2</sub>	3026.01
-CH <sub>3</sub> , tensión	2949.67
-CH <sub>3</sub> , tensión	2916.53
-CH <sub>3</sub> , tensión	2849.20
C=O	1720.94
C=C	1601.28
φ (aromático)	1452.28

Tabla 3.7 Grupos funcionales más sobresalientes en el espectro IR de la FMCO25

En la Figura 3.8 vemos el espectro en color azul que es nuestra muestra **FMCO30**, el espectro del PP desecho en color negro y la FMCO en verde. En la región 1 tenemos una banda ancha localizada en 3414.62 cm<sup>-1</sup> esta se debe a la tensión del hidrogeno del grupo OH, los cuales están presentes en la celulosa y la hemicelulosa de la fibra de maguey.

En la región 2 se observan tres picos muy notables alrededor de 2900 cm<sup>-1</sup> estas señales son debido a la tensión de C-H, también se observan señales muy marcadas alrededor de 1600 cm<sup>-1</sup>; ambas señales también están presentes en la hemicelulosa de la fibra.

En a región 3 se observan señales alrededor de 1400 cm<sup>-1</sup> debido a la presencia de grupos metoxilo (CH<sub>3</sub> – O – φ) presentes en la lignina que también forma parte de la estructura de la fibra de maguey.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

■ FMCO30 ■ PP DESECHO ■ FMCO

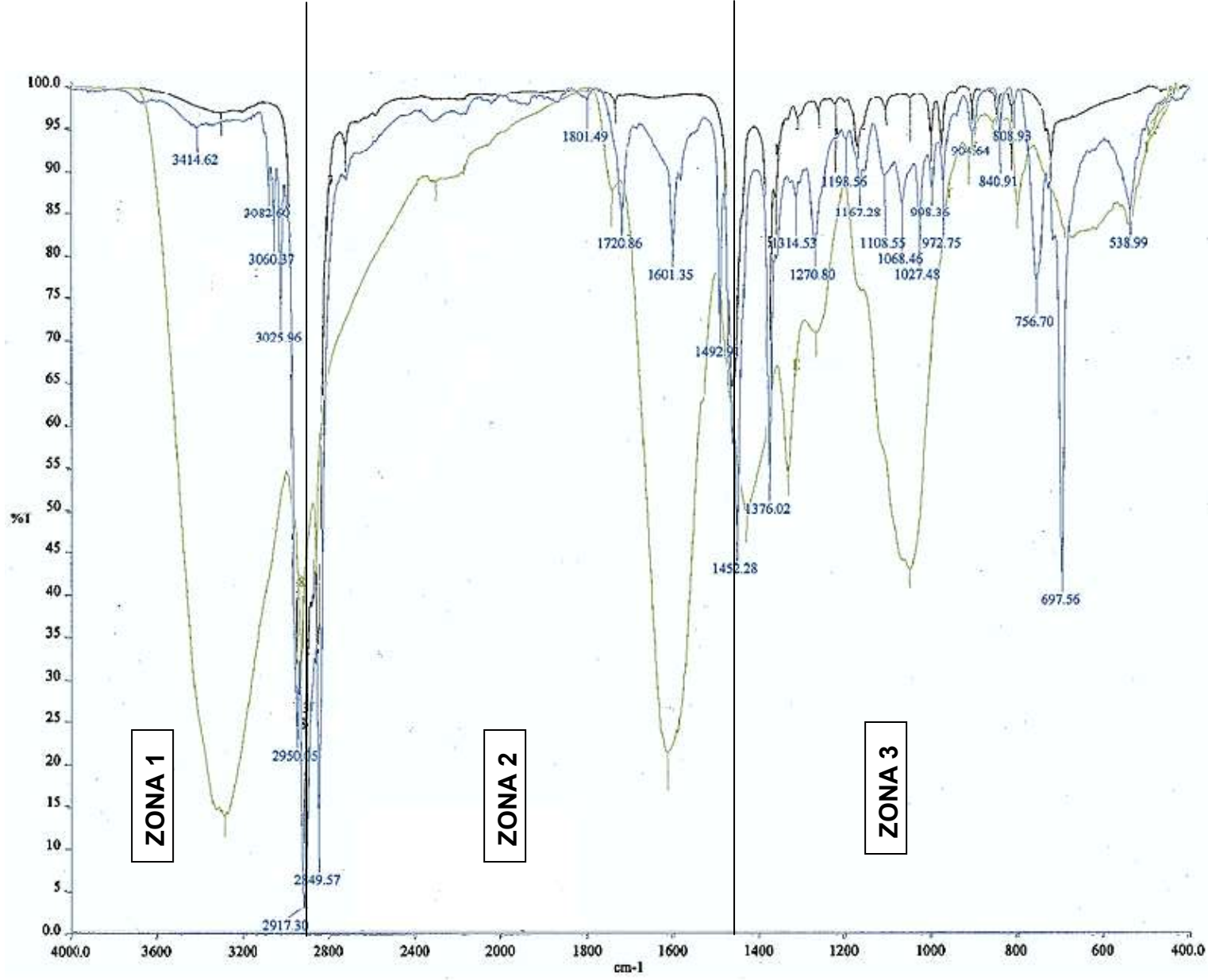


Figura 3.8 Espectro infrarrojo de la muestra FMCO30.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

Tipos de vibración	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )
O-H	3414.62
=CH <sub>2</sub> , tensión	3082.60
=CH <sub>2</sub> , tensión	3060.37
=CH <sub>2</sub>	3025.96
-CH <sub>3</sub> , tensión	2950.05
-CH <sub>3</sub> , tensión	2917.30
-CH <sub>3</sub> , tensión	2849.57
-CO-Cl	1801.49
C=O	1720.86
C=C	1601.35
φ (aromático)	1452.28

Tabla 3.8 Grupos funcionales más sobresalientes en el espectro IR de la FMCO30

Vemos que la apariencia de los espectros fue mejorando al aumentarle la cantidad de fibra y se observa que los grupos funcionales cada vez se notaban más.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

#### 3.3 Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido DSC. (Ver Anexo E)

Se realizó el análisis térmico para cada muestra y ver su comportamiento ante la temperatura. Para ello aplicamos la técnica de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC por sus siglas en inglés).



Figura 3.9 Equipo DSC 1/700/1694 Mettler Toledo

En las siguientes Gráficas se observan los casos en que tenemos una reacción exotérmica en las cuales podemos ver los puntos de fusión de las muestras obtenidas.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

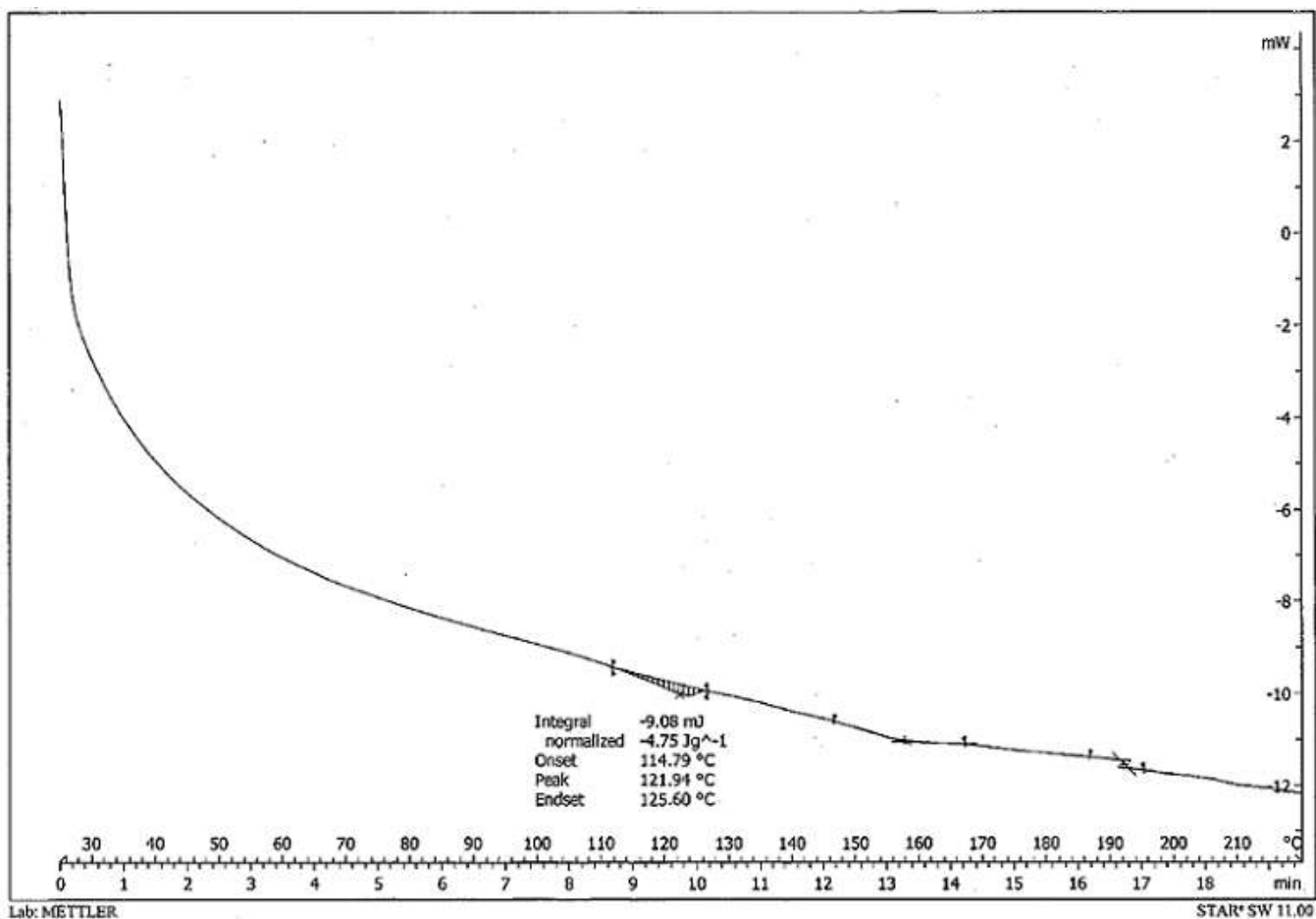


Gráfico 3.4 Curva térmica de DSC para FMCO20

En la Gráfica 3.4 que corresponde a la probeta con 20% de fibra observamos una reacción exotérmica y tenemos la temperatura de fusión de nuestro compuesto en 121.94 °C.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

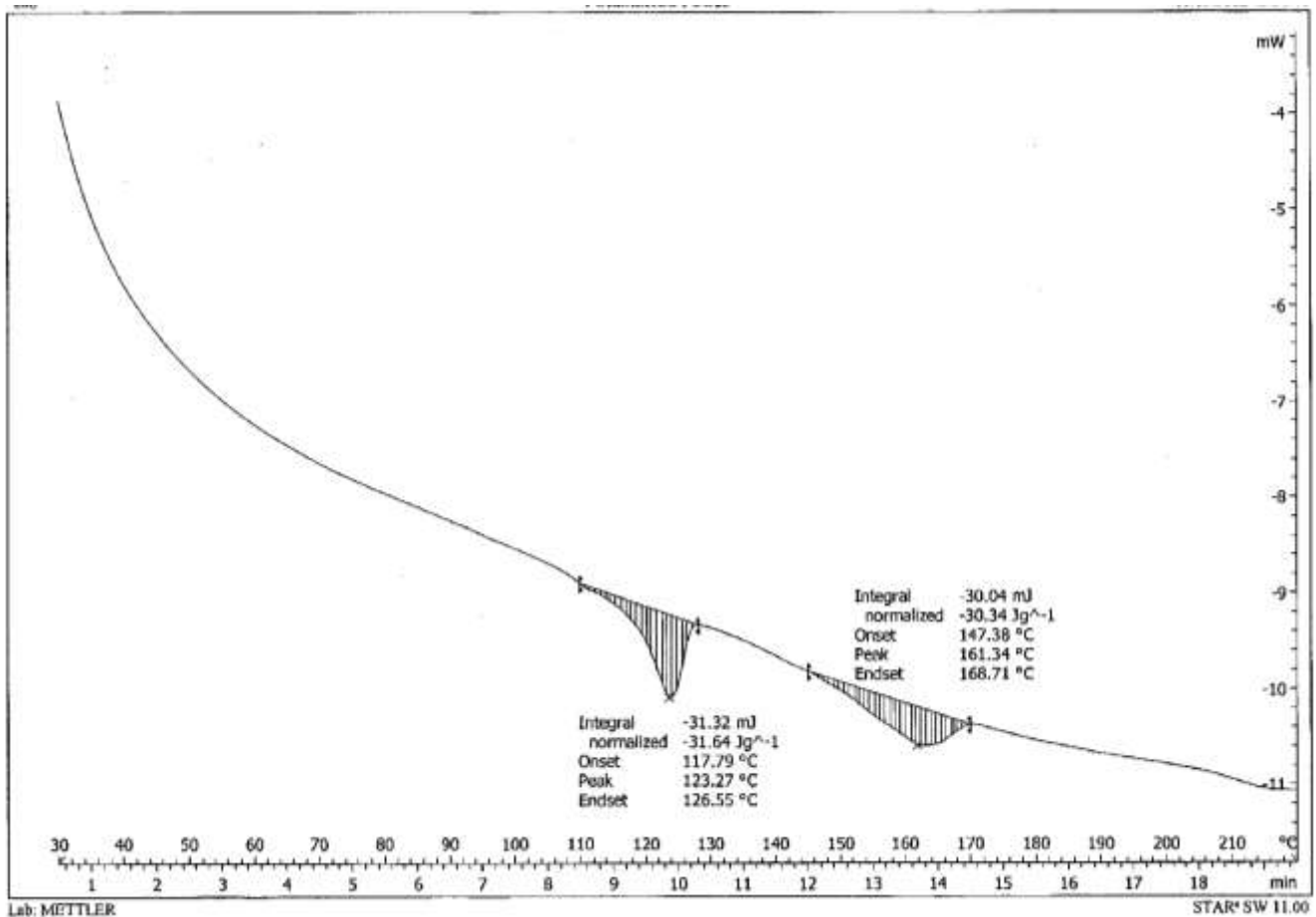


Grafico 3.5 Curva térmica de DSC para FMCO25

En la Grafica 3.5 que corresponde a la probeta con el 25% de fibra vemos que presenta dos puntos de fusión uno en 123.27°C y el otro en 161.34°C. Al aumentar la cantidad de fibra la muestra presenta bajos puntos de fusión lo cual no nos permite observar una mejora en sus propiedades térmicas.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

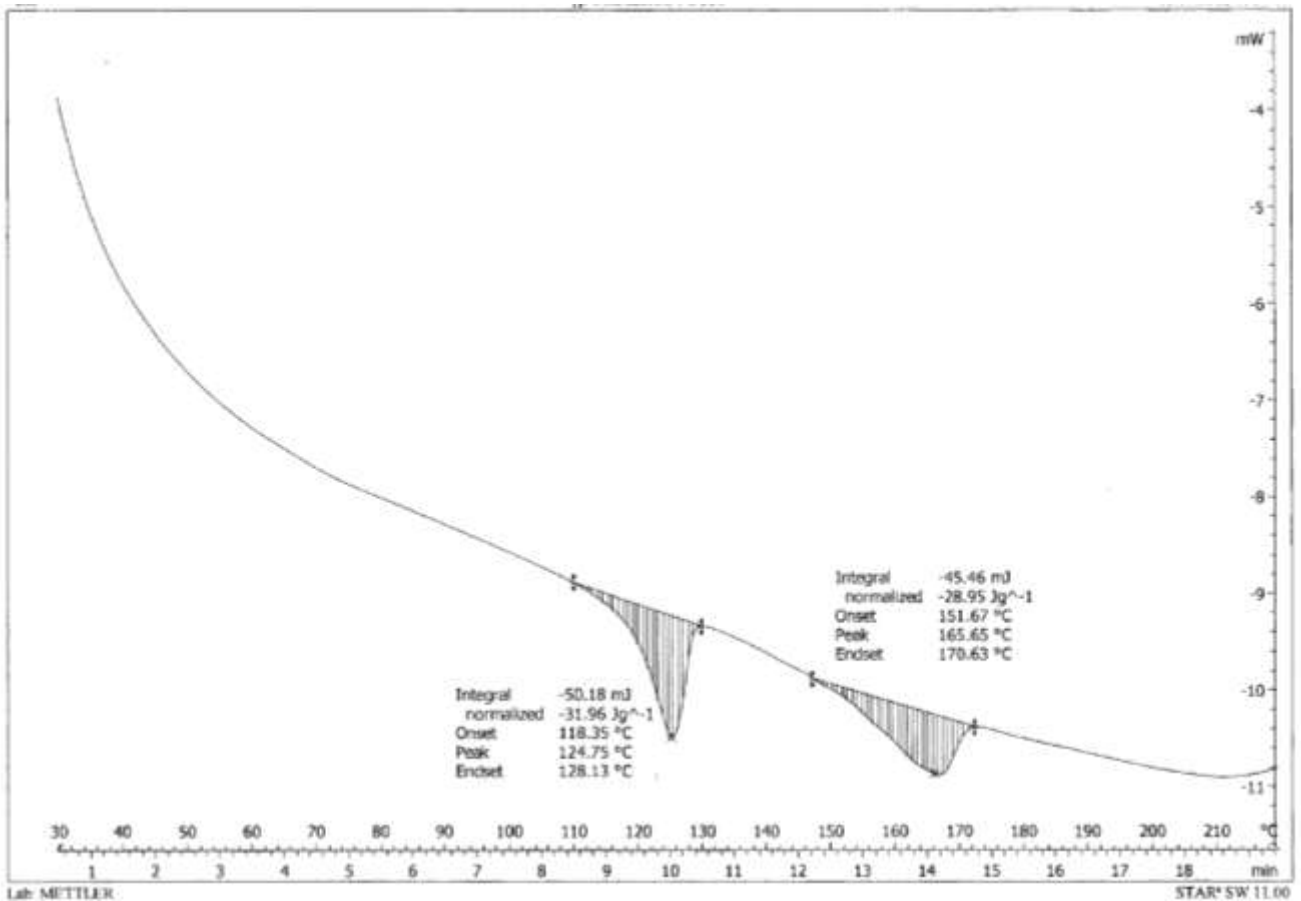


Grafico 3.6 Curva térmica de DSC para FMCO30

En la Grafica 3.6 observamos dos puntos de fusión uno en 124.75°C y el otro en 165.65°C, este comportamiento se debe al aumento de fibra ya que a esta última probeta se le agregó el 30% de fibra.

Observando las tres gráficas podemos decir que la adición de la fibra de maguey al polipropileno no resultó favorable en su comportamiento térmico, por lo tanto no hubo mejoras en estas propiedades térmicas esto se debe a que la fibra no soporta altas temperaturas así como también al tamaño de partículas de la fibra ya que no eran uniformes.

Cabe señalar que la adición de una fibra natural a algún polímero sintético es favorable para degradarlo.

El objetivo general de este trabajo fue elaborar un material de polipropileno de desecho reforzándolo con fibra de maguey (agave salmiana), se logró obtener exitosamente este nuevo material el cual al aplicarle el análisis mecánico a nuestras muestras éstas mostraron un comportamiento aceptable, ya que el aumento de fibra de maguey al polipropileno de desecho mejoró sus propiedades mecánicas alcanzando una carga máxima de 398 kg, esto en la muestra con el 30% de fibra adicionada. Cabe mencionar que debido a que el PP es reciclado sus propiedades no son las mismas que de una muestra de PP virgen es por eso que los datos arrojados están por debajo de los reportados en la literatura; esto debido a la degradación que el PP puede tener al momento de ser procesado y a la adición de aditivos agregados en su proceso.

La adición de fibra natural a un material plástico mejora sus propiedades mecánicas pero no sus propiedades térmicas, ya que la adición de fibra al polipropileno afectó su punto de fusión haciendo que este haya disminuido. Por lo tanto nuestro material compuesto no soporta altas temperaturas.

Debido a la buena carga soportada por la muestra se puede utilizar como material para la fabricación de tarimas para el uso industrial, contenedores de basura, mesas, sillas, etc.

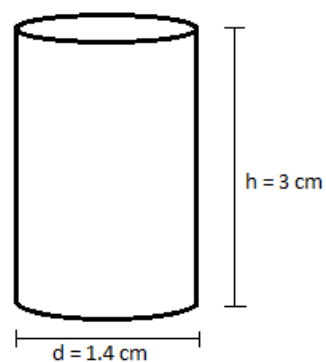


## ANEXO A

### Moldes para las probetas

Los moldes se hicieron de un material resistente a altas temperaturas como lo es el cobre. Se compro un tubo de cobre de  $\frac{1}{2}$ " (aprox.) de diámetro y se cortó en pedazos de 3 cm de largo aproximadamente; así fue como se obtuvieron los moldes para la obtención de las probetas de PP y fibra de maguey.

Figura A. Representación de los moldes hechos de tubo de cobre para muestras de ensayo.

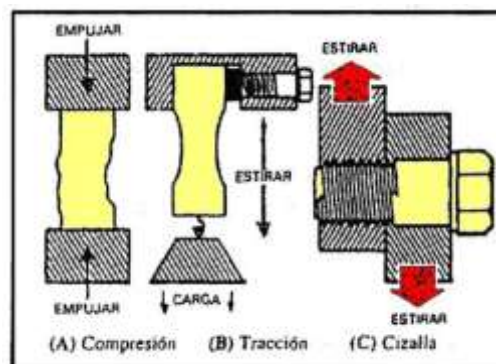


## ANEXO B

### Pruebas mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material describen el modo en que este responde a la aplicación de una fuerza o carga. Solamente se pueden ejercer tres tipos de fuerzas mecánicas que afecten a los materiales: compresión, tensión y cizalla. En la Figura B se muestra la acción esas tres fuerzas:

Figura B. Tipos de tensión en materiales.



Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por separado o combinadas. Las pruebas de tracción, compresión y cizalla sirven sola para medir una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas simultáneas. [17]

En general, el *esfuerzo* se define como una fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica. La *deformación unitaria* se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud.

Al describir el esfuerzo y la deformación unitaria, es útil imaginar que el esfuerzo es la causa y la deformación unitaria es el efecto. En muchas aplicaciones sujetas a cargas dinámicas, intervienen esfuerzos de tensión o de compresión. Los esfuerzos constantes o de cizallamiento, se suelen encontrar en el procesamiento de materiales en técnicas como la extrusión de polímeros. [18]

### **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo que un material rígido puede resistir bajo compresión longitudinal. No es necesario el esfuerzo en el punto de rotura, pero es de significación en materiales que quebrantan bajo una cierta carga. La unidad es fuerza por unidad de área de sección transversal inicial, expresada como Pa.

El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

La resistencia a la compresión de todos los materiales siempre es mayor que a la tracción. Se realiza preparando probetas normalizadas que se someten a compresión en un dispositivo para ensayo de compresión o una máquina universal de ensayos. [17]

## **ANEXO C**

### **Espectroscopía Infrarroja (IR)**

Es una técnica analítica instrumental que permite conocer los principales grupos funcionales de la estructura molecular de un compuesto o investigar la composición molecular de una muestra. Esta información se obtiene a partir del espectro de absorción de dicho compuesto al haberlo sometido a la acción de la radiación infrarroja en el espectrofotómetro.

Este tipo de espectroscopía se fundamenta en la absorción de la radiación IR por las moléculas en vibración. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se de

una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja. Pueden distinguirse dos categorías básicas de vibraciones: de tensión y de flexión.

El espectro obtenido se puede dividir en tres regiones para facilitar su interpretación.

Región 1. Va desde 4000 a 3000  $\text{cm}^{-1}$ , en esta región aparecen grupos funcionales compuestos por heteroátomos unidos a Hidrogeno (alcoholes, fenoles, ácidos carboxílicos, aminas, amidas) y carbonos con doble o triple enlace.

Región 2. Va desde 3000 a 1500  $\text{cm}^{-1}$ , aquí podemos encontrar bandas de grupos funcionales varios, como carbonos con triple enlace (alquinos, nitrilos), aromaticidad (anillos bencénicos o compuestos heteroatómicos, aromáticos), grupo carbonilo, grupo nitro ( $\text{NO}_2$ ) y otros.

Región 3. Va desde 1500 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , también llamada *huella dactilar*, ya que aquí aparecen bandas muy específicas de ciertos grupos funcionales pero además aparecen bandas pertenecientes a cierto tipo de interacción intra e intermolecular característica de cada molécula distintas para todos los compuestos por lo que puede considerarse como huellas digitales.

## **ANEXO D**

### **Espectro infrarrojo de una muestra de fibra**

En el siguiente espectro IR se muestran las señales de los grupos funcionales de la celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en la fibra de una muestra de caña, cabe mencionar que todas las fibras naturales están compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. [21]

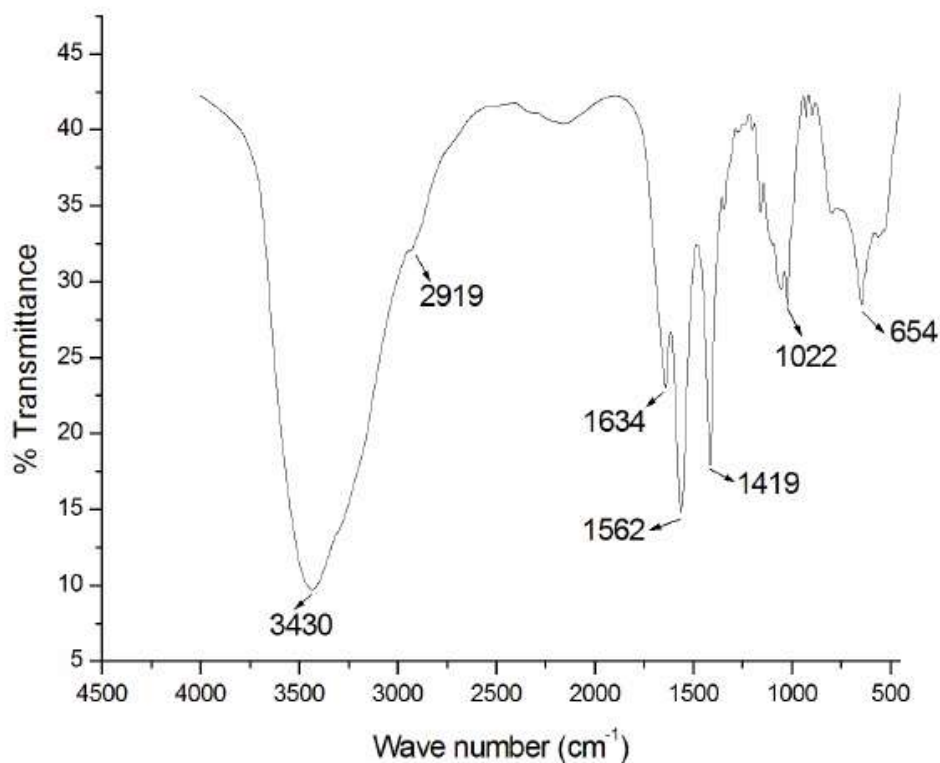


Figura D. Espectro IR de una muestra de fibra de caña.

## **ANEXO E**

### **Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)**

Los métodos de análisis termogravimétrico y en particular la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), son los principales métodos utilizados en estos estudios ya que proporcionan datos útiles tanto para la identificación como para la caracterización de las especies contenidas en las muestras a analizar.

Este método detecta cambios de entalpía que tienen lugar en una muestra cuando es calentada o enfriada a determinadas condiciones. La DSC mantiene a la muestra (M) y a la referencia (R) a la misma temperatura. La cantidad de calor que hay que suministrar a M o a R para mantener idénticas sus temperaturas se mide en forma continua en todo el intervalo de temperaturas. Este registro de flujo de calor da una medida de cantidad de energía absorbida o desprendida en una determinada transición, y por lo tanto suministra una medida calorimétrica directa.

Con esta técnica es posible determinar la temperatura a la cual se producen algunos procesos experimentados por sustancias, como transiciones de fase y reacciones químicas, o eventos exotérmicos o endotérmicos.

1. R. J. Balam-Cocom, S. Duarte-Aranda y G. Ganché-Escamilla, (2006). Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la piña de henequén y polipropileno. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 5, Supl. 1, 39-44.
2. Zhou, X. P., Li, R. K. Y., Xie, X.L. y Tjong, S.C. (2003). Reinforcement of polypropylene using sisal fibers grafted with poly (methyl methacrylate). *Journal of Applied Polymer Science* 88, 1055-1064.
3. R. J. Sanjuan-Raygoza y C. F. Jasso-Gastinel, (2009). Efecto de la fibra de agave de desecho en el reforzamiento de polipropileno virgen o reciclado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 8, No. 3, 319-327.
4. Twardowski, T., Introduction to Nanocomposite Materials: Properties, Processing, Characterization. Ed. Destech Publications, inc. USA, 2007.
5. De Saja, J., Materiales. Estructura, Propiedades y Aplicaciones. Ed. Thomson. México, 2005.
6. Sanjay K. Chattopadhyay, R. K. Khandal, Ramagopal Uppaluri, Alope K. Ghoshal (2010). Bamboo fiber reinforced polypropylene composites and their mechanical, thermal, and morphological properties. *Journal of Applied Polymer Science* 119, 1619-1626.
7. Sanjay K. Chattopadhyay, Sanjay Singh, Nilay Pramanik, et.al. (2011). Biodegradability studies on natural fibers reinforced polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 121, 2226-2232.
8. Xiaosui Chen, Sheng Zhang, Guozhi Xu, Xinjun Zhu, et.al. (2012). Mechanical, flammability, and crystallization behavior of polypropylene composites reinforced by aramid fibers. *Journal of Applied Polymer Science* 125, 1166-1175.
9. Yeng-Fong Shih, Po-Wei Chen, Chin-San Wu, et.al. (2012). Recycled-disposable-chopstick-fiber-reinforced polypropylene green composites. *Journal of Applied Polymer Science* 123, 3046-3053.
10. Qi Xu, Yihua Cui, Xinxin Wang, Zhongzhen Xia, et.al. (2010). Moisture absorption properties of wood-fiber-reinforced recycled polypropylene matrix composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology* 16, 50-57.
11. Enciclopedia del plástico. Instituto Mexicano del Plástico Industrial, S.C. (IMPI). Capítulo IV, México 1997.

12. Industria del plástico. Richardson y Lokensgard. Ed. Paranif. España, 2000, pp 13-15.
13. <http://www.reforestamosmexico.org/blog/especie-semanal/maguey-pulquero> (Junio 2012)
14. <http://www.sinembargo.mx/10-12-2011/91854> (Diciembre 2013)
15. <http://todoproductividad.blogspot.mx/2012/04/reciclaje-de-plasticos-envases-de.html> (Julio 2014)
16. Carolina Gumeta Chávez, Estudio del secado convectivo y de la extracción de celulosa a través del proceso organosolv a partir de Agave atrovirens Karw, Instituto Politécnico Nacional, México 2009.
17. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/06/propiedades-mecanicas.html> (Agosto 2014)
18. Askeland, Donald R., Phulé, Pradeep P. Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 4ª edición. Ed. Thomson, México 2006.
19. Rubin Irving I., Materiales Plásticos, Propiedades y Aplicaciones., Ed. Limusa, México 1999, pp. 93-128.
20. <http://revistaaidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/8/d.htm> (Octubre 2014)
21. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2123/1/10777030.2010.pdf> (Octubre 2014)
22. Vargas R. Yolanda M. et. al. Caracterización de Materiales, Nanomateriales y Catalizadores. FES-Cuautitlán, UNAM. 2014.
23. Hector Mauricio Espitia Sibaja. Aislamiento de nanofibras de Celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación de reforzamiento de polímeros termoplásticos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia 2010.