

Compósitos de Madera Plástica

Luis Cervantes Alberto Ortega Rolando Garza

5 de diciembre de 2006

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivo	1
2. Polietilentereftalato	2
2.1. Síntesis del PET	2
2.2. Procesado	3
2.3. Reprocesado Industrial de Botellas de PET	4
2.3.1. Reprocesado	5
2.3.2. Diseño Hacia Arriba	6
2.4. Propiedades Físicas y Químicas	7
2.5. Procesos de Reciclaje del PET	9
2.5.1. Aplicaciones Alternas de el Reciclado de PET Proveniente del Postconsumo	10
3. Madera	11
3.1. Componentes de la Pared Celular	11
3.1.1. La Celulosa	11
3.1.2. Las Hemicelulosas	13
3.1.3. La Lignina	14
3.1.4. Componentes extraíbles de la madera	15
3.1.5. Componentes inorgánicos de la madera	15
4. Materiales Adicionales	16
4.1. Polipropileno	16
4.1.1. Propiedades Mecánicas y Químicas	17
4.2. Polietileno de Alta Densidad	19
4.2.1. Propiedades Físicas y Mecánicas	19
4.2.2. Relaciones estructurales	19
5. Material y Equipo Utilizado	21
5.1. 2006/02/13	21
5.1.1. Premezclado y Consistencia	21
5.1.2. Procesado de las Corridas Experimentales	21
5.1.3. Trituración del Material	22
5.1.4. Maquinado de Probetas	22
5.2. Pruebas Mecánicas	22
6. Diseño de Experimentos	25

7. Pruebas Mecánicas	27
7.1. Elongación Antes de Ruptura	27
7.1.1. Gráfico	28
7.2. Módulo de Tensión	29
7.2.1. Gráfico	30
8. Observaciones	31
8.1. Corridas Experimentales Previas a Nivel Laboratorio	31
8.2. Corridas Experimentales en el Mezclador	32
8.3. Corridas Experimentales de Extrusión	32
8.4. Prensado de Placas	33
8.4.1. Prensa Caliente	33
8.5. Maquinado de Probetas	34
8.6. Pruebas Mecánicas	34
9. Sugerencias	35
9.1. Proceso de Extrusión	35
9.2. Prensado y Maquinado de Placas	35
10. Conclusiones	36
A. Inauguran en México primera planta para reciclado de PET grado Alimenticio de América Latina	38

Resumen

El creciente uso de materiales plásticos en la vida cotidiana han generado iniciativas para el aprovechamiento de los mismos mediante su reprocesado. El polietilentereftalato es el material más utilizado hoy en día en una inmensa diversidad de aplicaciones: contenedores de refrescos siendo una de las más comunes en México. Se decidió hacer una investigación acerca del reprocesado del polietilentereftalato junto con aserrín, siendo este un deshecho fácilmente adquirible, formando así compósitos de madera plástica.

Se llevaron a cabo investigaciones que detallan condiciones de operación, así como los efectos que tienen esas condiciones sobre los compósitos formados. Se concluyó que a un 30% de contenido de aserrín había un apreciable incremento favorable en las propiedades de módulo de tensión de las sustancias, lo que implica una mayor resistencia y por lo tanto rigidez.

Capítulo 1

Introducción:

El problema con los plásticos es que el acento debe ponerse en cómo generar cada vez menos residuos, de cualquier índole.

Existen diversos tipos de reducciones de residuos, pero el principal es uno conocido como: *reducción en la fuente*. Esto se refiere directamente al diseño y a la etapa productiva de los productos, principalmente envases, antes de ser consumidos. Es una manera de concebir los productos con un nuevo criterio ambiental; generar menos residuos.

En el caso de estos últimos residuos, la reducción en la fuente es responsabilidad de la industria petroquímica (fabricante de los diferentes tipos de plásticos); sin embargo, el enfoque de este estudio es hacia la industria transformadora (que toma esos plásticos para fabricar los diferentes productos finales).

En este caso, se busca reducir la generación de residuos mediante el aprovechamiento de recursos como el *PET_{Reciclado}* y el aserrín, produciendo así compósitos de madera plástica.

1.1. Objetivo

Promover la investigación en nuestra sociedad y crear un compromiso tanto con nuestro entorno, el medio ambiente, como con el desarrollo en nuevas ideas con base en materiales que nos rodean. Dar un valor agregado a materiales de post consumo, con el soporte de la ciencia y de la tecnología que se tiene en nuestro país.

Capítulo 2

Polietilentereftalato

El PET (PoliEtilenoTereftalato) es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros, y otros.

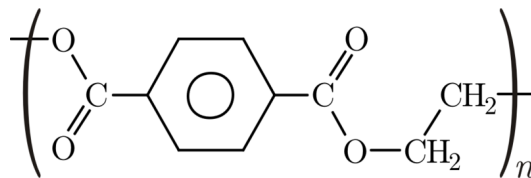


Figura 2.1: Representación de una cadena de polietilentereftalato de grado de polimerización n .

El PET se desarrolló primero para uso de fibras sintéticas por la British Calico Printers en 1941. Los derechos de patente se vendieron entonces a DuPont e ICI que a su vez vendieron los derechos regionales a muchas otras compañías.

Aunque originalmente se produjo para fibras, el PET empezó a ser usado como películas para empaquetar a mediados de los años sesenta, y en los inicios de los setentas, la técnica para expandir botellas orientadas biaxialmente se desarrolló comercialmente.

Las Botellas hoy día, representan el uso más significativo de resinas de PET.

Hacer una botella de PET empieza desde las materias primas: etileno y paraxileno. Los derivados de estas dos sustancias (glycol de etileno y ácido tereftálico) se hacen reaccionar para obtener la resina PET.

2.1. Síntesis del PET

Los poliésteres pueden sintetizarse de dos formas. El primer método es una reacción directa de un diácido con un diol. Para producir el PET, el ácido terftálico reacciona con el etilen glicol según se muestra debajo.

Esta reacción es una reacción típica de esterificación Fisher en la cual un ácido reacciona con un alcohol siguiendo el mecanismo usual de la reacción. El hecho de que cada molécula sea disfuncional produce un polímero por la reacción.

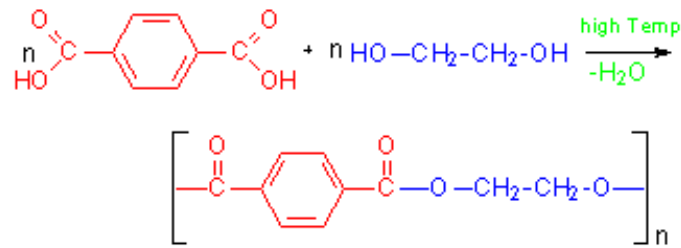


Figura 2.2: Síntesis de PET a partir de ácido tereftálico y etilen glicol.

La otra síntesis del PET implica un intercambio éster de un diéster y un diol. Esta es una reacción de transesterificación en el cual un éster se transforma en otro. La síntesis del PET por este método es la reacción de tereftalato de dimetilo con el etilen glicol como sigue:

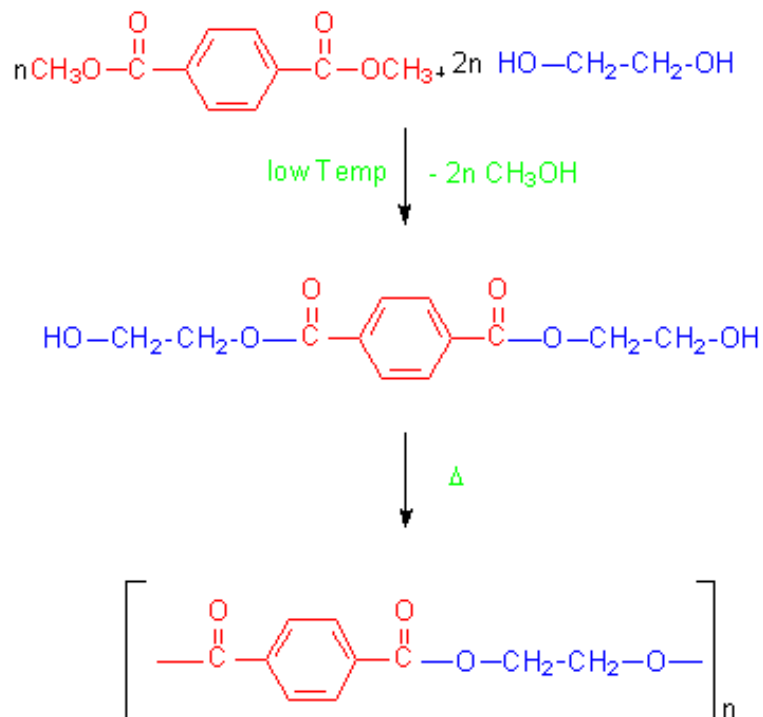


Figura 2.3: Síntesis de PET a partir de tereftalato de dimetilo y etilen glicol.

2.2. Procesado

La resina, en forma de cilindros pequeños llamados pellets, son fundidos e inyectados en un molde para hacer una preforma. La preforma, una clase de tubote ensayo, más corto que la botella que será, pero con las paredes más

gruesas, se sopla y amolda entonces. Durante la fase de soplado-moldura, el aire a alta presión es soplado en la preforma permitiéndole tomar la forma exacta del molde en el que fue introducido. El producto final es una botella transparente, fuerte y ligera.

2.3. Reprocesado Industrial de Botellas de PET

Es la fuerza del material la que contribuye para hacer del PET el éxito que es. De hecho, las bebidas suaves carbonatadas pueden generar presión dentro de la botella que alcanza los 6 bar. Tan alta presión es permitida sin embargo en la botella gracias a la alineación de macro-moléculas (cristalización) ocurriendo ambos durante el proceso de hilado de la resina y el soplado-moldeado, la presión no es capaz de deformar la botella, ni de hacerla explotar.

A lo largo de los años, la industria ha asumido las preocupaciones medioambientales cada vez más, disminuyendo la cantidad de material crudo necesitado para la fabricación de botellas significativamente. Hoy día, un recipiente de PET de 1.5 litros es manufacturado con sólo 35 gramos de material.

Prácticamente, el ciclo de vida de una botella hecha a base de PET se puede ver como:



Figura 2.4: Un esquema representativo de el ciclo de vida de el PET.

Las razones principales que mantienen el éxito de los recipientes de PET son que, gracias a la estructura molecular del material, es irrompible. Lo que es más, el empaquetamiento con PET es ligero, transparente y resellable.

Otra ventaja del material reside en sus propiedades físicas que permiten gran libertad en el diseño de empaques.

2.3.1. Reprocesado

Los recipientes son 100 % reciclables. Sin embargo, no sólo es su calidad de reciclabilidad que lo hace amistoso medioambientalmente. Siendo el envase sumamente ligero, también ayuda a disminuir la formación de desechos de empaque al mismo tiempo que reduce la emisión de contaminantes durante su transporte. Además, dado que se requiere menos combustible durante su transporte, también ayuda a la conservación de la energía.

Estos recipientes se usan para toda clase de bebidas: como cerveza y jugos de fruta que son sensibles a la luz. De hecho el sabor de los jugos y la cerveza pueden degradarse si la luz UV penetra las paredes del recipiente. El PET puede acomodarse a las necesidades del gusto de jugos de fruta, gracias a una barrera funcional que puede insertarse dentro de las paredes de la botella. Esto es lo que se llama “botellas de barrera” en el argot del PET.

Para dar nacimiento a un nuevo producto, deben coleccionarse los recipientes usados por encima de todo. Hoy día, la mayor parte de las ciudades europeas y americanas ha puesto en lugar un esquema de la colección para recuperar los artículos reciclables.

El segundo paso en recuperar es enviar el material a una planta dónde los materiales son separados según su naturaleza. Las botellas recuperadas entonces son perforadas y embaladas y enviadas a un reclamador. El reclamador, es una fábrica que transforma las botellas en hojuelas de PET, el material crudo es la base de los productos reciclados. La primera cosa que el reclamador tiene que hacer es desembalar los bultos. Para asegurarse que el producto final será tan puro como sea posible, las botellas desembaladas se ordenan una vez más después se pre-lavan y las convierten en hojuelas. Las hojuelas se lavan, secan, se almacenan y se venden. Cuando las hojuelas se venden entra en acción el verdadero proceso de reciclado: se funden las hojuelas, se obtiene el material, y entonces es fabricado un nuevo producto.

La tecnología URCC (utilizada en la planta IMER de Toluca)¹ es un proceso que consiste de una combinación de métodos mecánicos convencionales y de reciclaje químico.

Primero el material proporcionado a la planta consiste en botellas de PET de bebidas, ordenadas por color. Las botellas se proporcionan en forma de balas comprimidas, cada bala contiene entre 3,000 y 5,000 botellas. A cada bala se le da una identidad electrónica para facilitar el rastreo en el flujo de material así como el almacenamiento y control automático del material.

Después las balas son cargadas en una banda transportadora y desempaquetada para librar las botellas que se dan a una de dos desfibradoras. El material se hace tiras, en un estado seco, después es reducido a un tamaño unificado granular. El material resultante es una mezcla de PET, etiquetas y cierres que deben separarse.

¹Ver artículo en el Apéndice A

El plástico y las etiquetas del papel son removidas del flujo por un proceso de soplado aéreo. Cualquiera etiqueta adherida al PET con pegamento es removido enseguida por un lavado intensivo. En la siguiente fase las tapas (los cierres) y el PET son separados usando la diferencia en sus densidades.

El PET limpio y granulado es ahora cubierto con sosa cáustica y pasa a través de un tambor giratorio (algunos miden hasta 26 metros de largo y 3 metros de diámetro) a una temperatura alta. Para evitar la avería de la cadena del polímero de PET que ocurre cuándo el material mojado se sujeta a temperaturas altas, los materiales tienen que ser secados cuando entran al tambor.

El PET y la sosa cáustica son calentados y sufren una reacción de fase-sólida en la que la superficie exterior son los gránulos de PET con impurezas, se producen glycol de etileno y ácido tereftálico como subproductos. Cualquier contaminación que este adherida a la superficie, como pegamento de la etiqueta o sus remanentes son removidos con la capa exterior de PET. Los últimos remanentes son removidos del material al final de esta fase del proceso por una combinación de temperatura controlada y aire soplado.

El proceso total dura varias horas al final de las cuales el resultado es una mezcla de la fase sólida de una sal y los gránulos de PET limpios. El PET y la sal son ahora separados por una filtración mecánica, mientras que cualquier remanente de sal es removido con el lavado. Finalmente cualquier partícula metálica diminuta es removida por un separador de metal.

Para asegurar un nivel de calidad consistente el material se prueba continuamente a intervalos regulares. Esto incluye una comprobación de la especificación conforme al proceso y normas de contacto con comida (Resina PET con grado Alimenticio).

2.3.2. Diseño Hacia Arriba: Envase de PET

El objetivo principal de un plan de diseño hacia arriba es habilitar que los varios materiales usados en un empaque puedan ser ordenados usando la diferencia de densidad eficazmente. La diferencia de densidad, es un criterio importante para la recuperación eficaz y económica del procesamiento, es basado en la clasificación por hidro-ciclones y procedimientos de flotación.

Las pautas del plan de apoyos de Petcore son las siguientes (para asegurar la reciclabilidad del envase):

- **Tapas o sellos:** Se recomiendan los plásticos (PP/RDPE), el aluminio no se recomienda. LDPE también es aceptable como material del cierre para recipientes usados para las bebidas no-carbonatadas. La pigmentación debe ser ligera guardar densidades debajo de 1 para ayudar en la separación por flotación o en la fase del hidro-ciclón. También es preferible que no tenga contacto con aluminio para prevenir una contaminación del material.
- **Mangas y sellos:** Los sellos de tapa deben ser incluidos como una característica integral en el diseño de la botella. Las mangas o sellos pueden volverse contaminantes si no son retiradas de la botella antes o durante procesar. PVC y materiales con densidad mayor que 1 deben ser evitados escrupulosamente.

- **Color:** El PET no coloreado (sin pigmentar) tiene el valor más alto y la proporción de recuperación más alta, y también la variedad más amplia de mercados finales. En la actualidad, las botellas opacas o coloreadas tienen poco valor de recuperación y se ven como contaminantes por la mayoría de los reclamadores. Deben evitarse las botellas opacas y pigmentadas. El color debe ser preferentemente restringido a las etiquetas.
- **Etiquetas adhesivas:** Las etiquetas de PP, OPP o de polietileno se prefieren. El papel es aceptable como un material secundario pero aumenta la contaminación debido a la fibra lleve encima. Los metalizados, barnizados y etiquetas laqueadas se vuelven contaminantes y es indeseable. Las etiquetas de PS son aceptables si son de material de bajo-densidad que se separa fácilmente flotación en el proceso. La impresión Fuerte o intensa debe evitarse ya que esto aumenta la densidad y previene la separación. Las etiquetas no deben despedazarse o deslaminarse en el proceso de lavado. Algunos sistemas de decoloración no deben “sangrar” (decolorarse) así que deben evitar el pigmento con metales. Deben minimizarse los adhesivos usados y preferentemente deben ser solubles en agua o dispersible a temperaturas de 60 a 80°C.
- **Decoración:** Actualmente toda impresión y decoración directa contamina el PET recuperado y decolora el material a recuperar.
- **Recubrimientos multi-capas:** Las multi-capas o capas de diferente material no siempre son totalmente compatibles con las tecnologías de recuperación y pueden reducir la recuperabilidad de las botellas. De hecho, esos materiales pueden ser difíciles de separar. (Se acepta que los más nuevos recipientes y recipientes para los volúmenes sensibles de oxígenos pueden ser multi-capa y requieran una atención adicional por consiguiente durante las funciones de la recuperación).
- **Ayudas de transportación, agarraderas, bases de copa y otras:** Ninguna agarradera se prefiere, pero las hechas de HDPE, PP o el PET son aceptables. La soldadura debe evitarse. Si ataduras se pegan estas deben poderse separar en detergente o una solución cáustica en agua caliente (a 60 a 80°C). Los adhesivos deben ser solubles en agua, o dispersibles a los 60-80°C. Sus áreas de uso deben minimizarse.

2.4. Propiedades Físicas y Químicas

Propiedades físicas²

- Densidad (g/cm^3) Amorfo: 1.33 - 1.34
- Densidad (g/cm^3) Semicristalino: 1.45 - 1.51
- Absorción de agua - equilibrio (%) ;0.7
- Absorción de agua - en 24 horas (%) 0.1

²Estas propiedades son de material virgen.

- Índice refractivo 1.58 - 1.64
- Índice de oxígeno límite (%) 21
- Resistencia a la radiación buena

Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tracción hasta la deformación (MPa) 59
- Resistencia a la tracción hasta la rotura (MPa) No rompe
- Alargamiento hasta la rotura No rompe
- Módulo de elasticidad en tracción (MPa) 2,420
- Resistencia a la flexión (MPa) 86
- Resistencia al impacto Charpy No rompe
- Dureza Rockwell, escala M/R 111
- Dureza a la presión de la bola 117
- Relación de Poisson 0.37 - 0.44 (oriented)

Propiedades ópticas

- Transmisión de Luz (%) 89
- Refracción 1,576

Características Generales del PET

- Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química.
- Buenas propiedades térmicas.
- Muy buena barrera a CO_2 , aceptable barrera a O_2 y vapor de H_2O (agua).
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Totalmente reciclable.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

2.5. Procesos de Reciclaje del PET

Un ejemplo de posibles métodos para reciclado de botellas elaboradas con PET se describe en las siguientes figuras, mismos que contribuyen en gran escala a la reducción del volumen de la basura, convirtiéndose en una oportunidad para la creación de negocios de alta rentabilidad en el reciclado de plásticos.

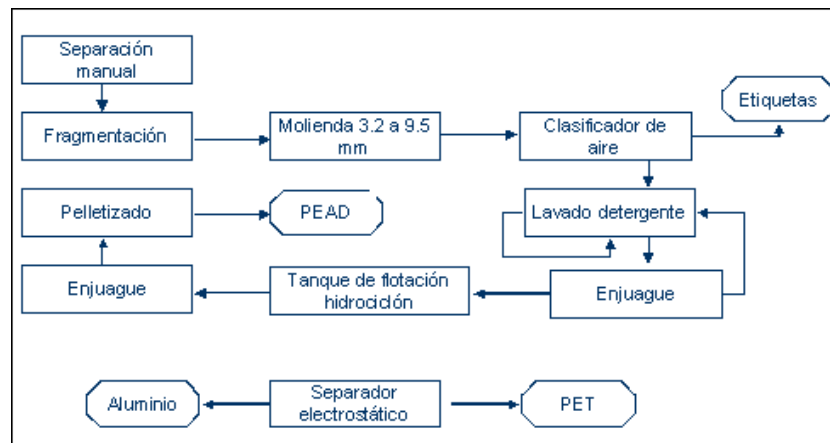


Figura 2.5: Proceso de reciclado de botellas de PET.

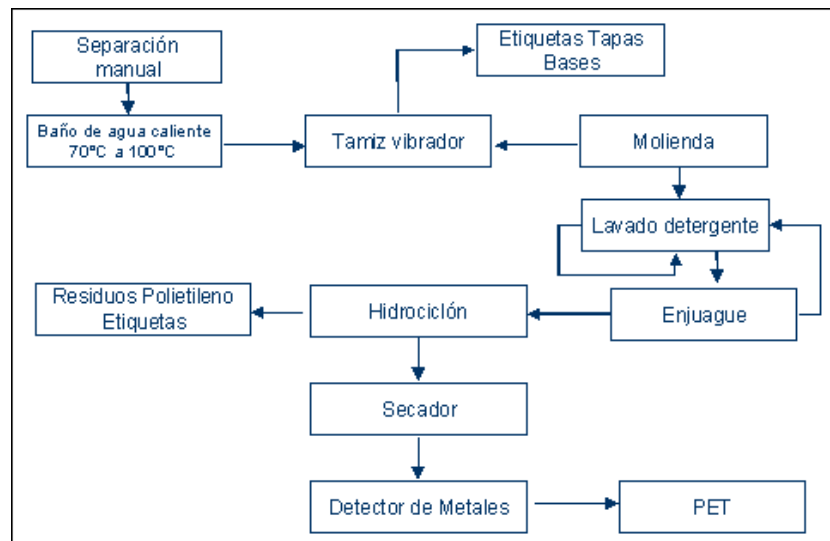


Figura 2.6: Proceso REKO para el reciclado de botellas de PET.

2.5.1. Aplicaciones Alternas de el Reciclado de PET Proveniente del Postconsumo

Es un nuevo material con características físicas muy similares a las de la madera natural, resultado del reciclaje de plásticos de desecho industrial, domiciliario y comercial. Esta compuesta básicamente de una mezcla hecha con las poliolefinas (polipropileno, polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad y algunos contaminantes como el aluminio presentes en varios envases).

Capítulo 3

Madera: Composición Física y Química

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosas) y ligninas, que están presente en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad, y las sustancias minerales. La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere para las maderas de coníferas y latifolias, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas.

La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol, en la madera de la albura y duramen, en dirección radial y longitudinal. Los parámetros edafoclimáticos influyen en la composición química, así, se presentan diferencias entre maderas que provienen de zonas templadas con las que provienen de zonas tropicales.

3.1. Componentes de la Pared Celular

3.1.1. La Celulosa

La celulosa es el homopolisacárido que se encuentra en mayor proporción en la madera, es una estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo (Marx- Figini, M., 1964), siendo el principal componente de la pared celular.

La celulosa consiste en unidades de anhidro - β - D(+) glucopiranososa en conformación C1 , unidos por enlaces glicosídicos β -1-4, por lo que se puede describir como un polímero lineal de glucanos. La unidad estructural de la celulosa es la celobiosa (disacárido) con una longitud de 1.03nm.

El grado de polimerización es del orden de los 15,000, lo que equivale a una masa molar en el orden de los 2.3 millones. Debido al tipo de enlace (β -1-4) la molécula de celulosa tiene una forma lineal, estabilizada por la formación de numerosos puentes de hidrógeno intracadenales e intercadenales. Entre 40 y 70 moléculas se encuentran agrupadas en fibrillas elementales de un espesor

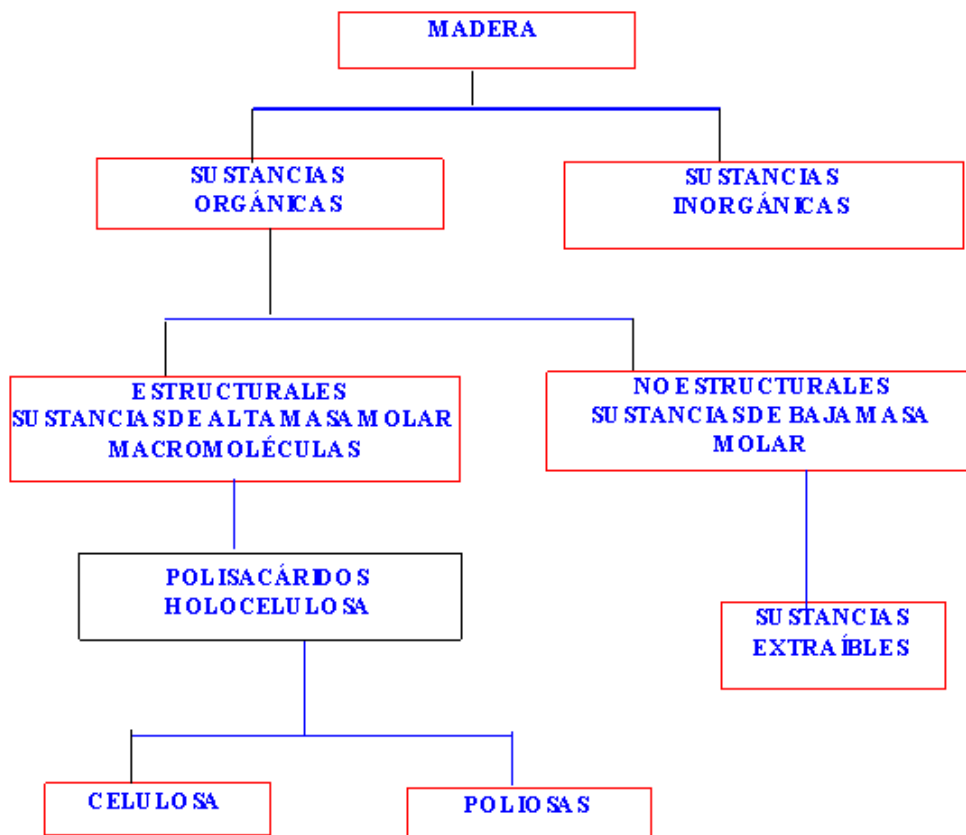


Figura 3.1: Desgloce de la composición de la madera.

de 3.5 y 7.5 nm y una longitud de varios μm . En ellas las moléculas de celulosa están orientadas longitudinalmente formando un agregado cristalino fuertemente ordenado, en el que todas las moléculas presentan la misma polaridad, lo que indica que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla. En estos agregados las moléculas de celulosa no están unidas covalentemente, estabilizándose su estructura solamente por puentes de hidrógeno ($C_3 - C_6$) y ($C_2 - C_5$), que aunque muy débiles individualmente, su elevado número hace de la fibra de celulosa una estructura muy firme y poco sensible a la degradación.

La estructura cristalina de la celulosa de la madera ha sido estudiada por análisis de Difracción de Rayos X y métodos basados en absorción de luz Infrarroja polarizada. Mediante los espectros Infrarrojo de la celulosa se puede obtener información sobre los cambios estructurales de la celulosa oxidada, u obtenida por diferentes métodos.

La celulosa presenta un alto grado de cristalinidad, pero no es 100% cristalina, dependiendo de la materia prima de donde proviene. La presencia de hemicelulosas en la celulosa de las maderas parece causar disturbios en la cristalinidad. Cuanto más cristalina es la celulosa mayor es su densidad.

La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad

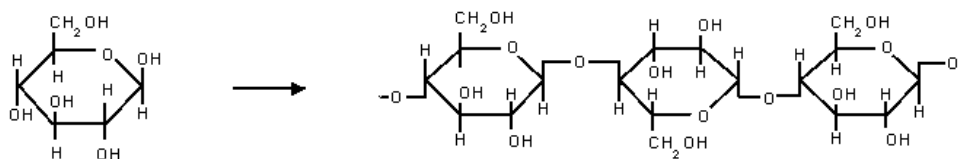


Figura 3.2: La celulosa, un polisacárido.

de puentes de hidrógeno, hecho que además explica por qué la celulosa no es soluble en los sistemas de solventes usuales. Ella es la responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las maderas por constituir el material de sostén del árbol, dándole resistencia y tenacidad.

Los análisis térmicos realizados a la celulosa en muchos casos han sido relacionados con el empleo de la madera y los materiales celulósicos, con fines energéticos y como una materia prima importante en la Industria Química de los Derivados.

3.1.2. Las Hemicelulosas

Las poliosas o hemicelulosas son heteropolisacáridos de alta masa molar, que se encuentran constituidos por diferentes unidades de monosacáridos: pentosas, hexosas y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas. Pueden ser clasificadas como pentosanos y hexosanos, aunque también se clasifican en dependencia de su origen, su composición estructural y solubilidad en álcalis.

Las maderas están conformadas por azúcares neutros de seis átomos de carbono: glucosa, manosa, galactosa y de cinco átomos de carbono: la xilosa y arabinosa. Algunas poliosas contienen adicionalmente ácido urónico. Se pueden encontrar los mananos, glucomananos, glucanos, xiloglucanos, ramnoglactouronanos, y en los xilanos encontramos los arabinoxilanos y O-acetil-4-O-metilglucuronoxilano. Las hemicelulosas se encuentran asociadas con la celulosa mediante fuertes interacciones polisacárido - polisacárido. El contenido de poliosas varía radialmente en la madera aumentando hacia el centro y variado en su composición de azúcares. El tipo y contenido de hemicelulosas presentes en la madera varía con la especie, la edad, parte del árbol, y en muchas especies su regularidad está relacionada con criterios taxonómicos.

Las hemicelulosas son importantes en la madera y su localización cobra singular significación, pues todas las células contienen de 50-60% de carbohidratos a excepción de las células del parénquima de las latifolias que pueden llegar a poseer hasta 80% de O-acetil-4-O-metilglucuronoxilano.

Se conoce que las hemicelulosas se encuentran a lo largo de toda la pared celular, desde la lámina media, hasta la capa S3 de la pared secundaria. Las hemicelulosas presentes en estas paredes son: β (1-3), β (1-4) glucanos, calosa β (1-3), que normalmente se encuentran en pequeñas cantidades y se acumulan como respuesta a una lesión o durante la deformación de las placas cribosas en el floema.

La función de las hemicelulosas en la madera parece ser de intermediario entre la celulosa y la lignina, tal vez facilitando la incrustación de las microfibrillas. Probablemente no exista enlace químico alguno entre las hemicelulosas

y la celulosa, mas suficiente adhesión mutua que es fortalecida por los puentes de hidrógeno y las fuerzas de Van der Walls.

Las hemicelulosas son importantes en la fabricación de pulpa ya que aumenta su rendimiento y aumentan la resistencia del papel. Algunas, como los arabinogalactanos después de separados pueden constituir un subproducto de la fabricación de celulosa, y ser utilizadas como tensoactivo en la industria de tintas.

3.1.3. La Lignina

La lignina es una macromolécula componente de la madera, de naturaleza polímera especial, formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes parahidroxicinámicos (alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico), en reacción catalizada por enzimas vía radicales libres. Las unidades de fenil propano (C_9) se unen por enlaces C-O-C y C-C, presentando en su estructura grupos hidroxilos, carbonilos, metoxilos y carboxilos.

Las ligninas son fracciones no carbohidratadas de la madera libre de extraíbles, extremadamente complejas y difíciles de caracterizar. Constituyen un polímero aromático, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida definidamente. Las ligninas de la madera se clasifican en lignina de madera de coníferas, lignina de madera de latifolias.

La madera de coníferas presenta ligninas del tipo G-H con 85-90% de unidades aromáticas de guayacil mientras que la madera de las latifolias presenta ligninas del tipo G-S en razón de 1:5 aproximadamente.

Poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén. Su composición depende de muchos factores, entre ellos, el método utilizado para aislarlas, la especie que se estudie, la edad, parte del árbol, condiciones ambientales en que se ha desarrollado el árbol, etc.

Esta sustancia amorfa es localizada como componente de la lámina media y también en la pared secundaria. Durante el desarrollo de la célula, la lignina es incorporada como último componente de la pared celular interpenetrando las fibrillas y fortaleciendo la pared celular.

La separación de la lignina conlleva una degradación de su estructura por lo que resulta difícil obtener una lignina idéntica a la que se encuentra en la madera (lignina nativa) aunque la separación cuidadosa de la lignina se considera representativa de la lignina total en la madera.

La lignina no puede ser descrita como una simple combinación de uno o varios monómeros o uno o varios tipos de cadenas como es el caso de la celulosa. Su estructura es rígida como modelo material. Sakakibara, K., (1980), describió un modelo para la lignina de maderas blandas. Este demuestra una sección con 28 unidades de C_9 con elementos estructurales alternativos avalados por datos analíticos.

El más reciente modelo de lignina es el expresado por Glasser, W.G. (1981). Este modelo comprende 94 unidades correspondiendo a la masa molar total de más de 17,000 y es basado en un amplio rango de determinaciones analíticas.

3.1.4. Componentes extraíbles de la madera

Existen numerosos compuestos que pueden tener gran influencia en las propiedades y calidad de la madera, aunque ellos contribuyan sólo en algún porcentaje en la masa total de la madera. A este grupo de compuestos se les denomina comúnmente sustancias extraíbles de la madera. Los componentes químicos aquí presentes son de diferentes clases y pueden ser divididos a su vez, y de forma más simple en componentes orgánicos y componentes inorgánicos, siendo estos últimos en los que se puede encontrar ciertos iones metálicos que son esenciales para el normal desarrollo del árbol. Entre los compuestos orgánicos se pueden encontrar hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos, y compuestos nitrogenados.

3.1.5. Componentes inorgánicos de la madera

Los componentes inorgánicos o sustancias minerales, varían en el árbol en dependencia de la parte que se estudie: Altos contenidos pueden encontrarse en las hojas, ramas, corteza, raíces, por lo que es común encontrar diferencias entre las maderas de latifolias y las de coníferas; diferencias existen entre la madera joven y la tardía.

Capítulo 4

Materiales Adicionales: Polímeros Utilizados en la Formulación

4.1. Polipropileno

El polipropileno, puede categorizarse ampliamente como homopolímero, o como copolímero.

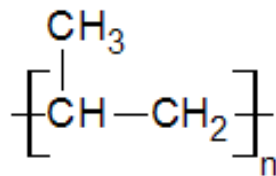


Figura 4.1: Polipropileno.

El homopolímero polipropileno tiene una dureza y una resistencia térmica superiores a las del polietileno de alta densidad, pero una resistencia al impacto inferior y se vuelve quebradizo por debajo de 0°C. Las Aplicaciones para los homopolímeros se dan en envolturas de aparatos eléctricos, embalajes, estuches de cintas, fibras, monofilamentos, tapaderas de refrescos. Como copolímero, posee otro monómero oleofino, generalmente etileno, para el impacto mejorado u otras propiedades, por lo tanto las calidades copoliméricas son preferidas para aplicaciones que exponen a condiciones de frío/invierno. Además tienden a ser más difíciles de fabricar, pero la nueva tecnología se ha ido encargando de que esto desaparezca y no se convierta en un gran problema. Para los copolímeros las aplicaciones se dan en tubos, casco de barcos, asientos y piezas para el automóvil, por ejemplo, cofres de baterías y parachoques aunque estos últimos suelen ser fabricados con polipropilenos modificados con elastómeros como se dijo anteriormente.

También cabe destacar que en esta familia se encuentra el polipropileno

isotáctico, el cual posee semicristalinidad y se fabrica por polimerización, mientras que el polipropileno atáctico, apenas tiende a ser cristalino dado que carece de ordenamiento espacial.

En su estructura, al pasar del polietileno, al polipropileno, la sustitución de un grupo de metilo cada dos átomos de carbono de la cadena polimétrica principal, restringe la rotación de las otras cadenas, produciendo así un material más duro y menos flexible. Es blanco, semiopaco, elaborado en una amplia variedad de calidades y modificaciones. Por pertenecer al grupo metilo, sus cadenas aumentan la temperatura de transición vítrea, y por ello el polipropileno tiene temperaturas de fusión y de deformación por calor, mayores a las del polietileno.

Por pertenecer, como se dijo anteriormente al grupo de los termoplásticos, el polipropileno posee la capacidad de fundirse a una temperatura determinada, además posee un comportamiento visco elástico que proporciona ante los ensayos de tracción, compresión, flexión y torsión, resultados satisfactorios. Es un material desarrollado también, bajo el manejo de un excelente control de calidad, brindando así una plena seguridad de uso en sus diferentes aplicaciones. Es un polímero, además obtenido por la polimerización de propeno en presencia de catalizadores y en determinadas condiciones de presión y temperatura.

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

4.1.1. Propiedades Mecánicas y Químicas

Propiedades Físicas

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

Propiedades Mecánicas

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

Propiedades Eléctricas

- La resistencia transversal es superior a 1016 Ω cm.

- Por presentar buena polaridad, su factor de perdidas es bajo.
- Tiene muy buena rigidez dieléctrica.

Propiedades Químicas

- Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos.
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto no presenta mucha humedad.
- Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales.
- El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).

Así mismo, el polipropileno es el tercer plástico más importante desde el punto de vista de las ventas y es uno de los de más bajo costo puesto que pueden sinterizarse de materiales petroquímicos que a su vez son más económicos. Es un material parcialmente cristalino, con una cristalinidad del 65% aproximadamente y con una entalpía, en estado fluido de unos 110j/g. Tiene además, un buen equilibrio de propiedades interesantes para producir muchos productos manufacturados, no se oxida, ni se deteriora, reduce la permeabilidad, tiene alta resistencia a los ambientes alcalinos y ácidos, posee buena tenacidad. Por todo esto, el polipropileno es considerado uno de los plásticos más competitivos hoy en día. Los diferentes procesos que se le pueden aplicar al polipropileno, son fundamentalmente inyección, extrusión, moldeo por soplado y calandrado. Es apto para el termo conformado y conformado en frío.

Dentro de las ventajas del polipropileno, se encuentra por ejemplo el hecho de no requerir mano de obra especializada, el tener menor tiempo de montaje y fácil manipuleo, es totalmente anticorrosivo, tiene vida útil ilimitada, se adapta a sistemas tradicionales, no forma sarro y no requiere protección especial.

Un segmento importante del mercado es el sector de envasado de productos alimenticios y de artículos de lujo con películas transparentes y opacas, con estas últimas se envuelven y envasan sobre todo, tabletas de chocolate y galletas, para todo esto, se utilizan películas del mismo material, y el crecimiento de estas en el mercado, se estima de un 8 a un 10% a escala mundial, a causa de las numerosas posibilidades de aplicación, el elevado potencial de sustitución y la buena compatibilidad con el medio ambiente.

Por eso es tenido en cuenta hoy en día más que todo para ser utilizado a nivel automotriz, ya que sus ventajas, como lo es su peso reducido, precio, facilidad de conformación y muchas otras mencionadas anteriormente, es seguramente lo que más ha influido en la notable influencia del polipropileno en los automóviles de nuestros tiempos.

El polipropileno es uno de los materiales que con el paso del tiempo lo único que va a hacer será incrementar su necesidad de uso en el mercado, porque ahora es el que marca la parada desplazando a muchos de los materiales utilizados con anterioridad, además tiene la capacidad de competir muy efectivamente con el poliestireno, y el poliéster, en un futuro predecible, donde se asuma que se cumplan todos los requisitos que este debe tener para hacerlo.

Sus usos, las ventajas y la aplicabilidad que ofrece, lo describen y lo catalogan, frente a otros materiales como el celofán, cloruro de polivinilo, entre otros, uno de los más ventajosos debido más que todo a la poca densidad que presenta. Además sus propiedades se mejoran e incrementan gracias a los altos puntos de fusión que presenta, y por ende a la gran resistencia que presenta ante las altas temperaturas a las que es sometido para garantizar la mejora del material y del producto en sí.

4.2. Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

PEAD (en inglés conocido como *HDPE*); su densidad es igual o menor a 0.941 g/cm^3 . Tiene un bajo nivel de ramificaciones, por lo cual su densidad es alta, las fuerzas intermoleculares son altas también. La producción de un buen PEAD depende de la selección del catalizador, algunos de los catalizadores modernos incluyen los de Ziegler-Natta, cuyo desarrollo culminó con el Premio Nobel.

4.2.1. Propiedades Físicas y Mecánicas

-Resistente a las bajas temperaturas; -Alta resistencia a la tensión, compresión, tracción; -Baja densidad en comparación con metales u otros materiales; -Impermeable; -Inerte (al contenido), baja reactividad; -No tóxico -Poca estabilidad dimensional, creep

4.2.2. Relación entre la estructura y las propiedades del polietileno

Tres propiedades moleculares básicas: densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular son las que afectan a la mayoría de las propiedades esenciales en el uso de polietileno para obtener productos de buena calidad. Pequeñas variaciones en la estructura molecular pueden mejorar o afectar algunas de estas propiedades considerablemente. Las propiedades eléctricas de las resinas de polietileno, por otra parte, son poco afectadas por estos tres factores moleculares básicos (ya que la composición química de los diversos polietilenos es idéntica; esto es, $(CH_2)_n$).

Efectos producidos por variaciones en la densidad

Una clasificación general basada en tres clases distintas de densidad es ahora generalmente aceptada en la industria.

Baja densidad	0.910 a 0.925 g/cm ³
Mediana densidad	0.926 a 0.940 g/cm ³
Alta densidad	0.941 a 0.965 gr/cm ³

Los polietilenos más densos son lógicamente más pesados, pero aún los artículos fabricados con los polietilenos de alta densidad flotarán en agua. Esta es una ventaja para el moldeador pues le permitirá obtener más volumen por cada kilogramo de polietileno que usando cualquier otro plástico.

Densidad	0.915-0.918	0.924	0.929-0.938
Punto de ablandamiento		más elevado	máximo
Resist. al estiramiento		más elevada	máxima
Resist. a la tracción	máxima	más elevada	
Elongación en rotura	máxima	más elevada	
Rigidez		más elevada	máxima
Resist. a la contracción	máxima	más elevada	
Resist. a la deformación	máxima	más elevada	
Resist. al impacto	máxima	más elevada	
Resist. a la desgarradura		máxima	máxima
Resist. a la fragilidad a bajas temperaturas	máxima	más elevada	
Resist. al cuarteo bajo tensiones ambientales	máxima	más elevada	
Impermeabilidad a gases y líquidos		más elevada	máxima
Resist. a la absorción de grasas y aceites		más elevada	máxima
Transparencia		más elevada	máxima
Ausencia de opacidad		más elevada	máxima
Brillo		más elevado	máximo
Tiraje		más elevado	máximo
Resist. a la desgarradura en caliente		más elevada	máxima
Resist. al pegado entre sí y al molde		más elevada	máxima
Ciclo de inyección		menor	más corto

Figura 4.2: Correlación entre densidades y propiedades del polietileno.

Capítulo 5

Material y Equipo Utilizado en los Trabajos de Procesado y Maquinado

Es de suma importancia el registro de materiales y equipo a lo largo de este trabajo, luego de que una posible réplica del mismo será de gran importancia en el futuro, luego de que la empresa deseara sacar el producto a nivel industrial. Así pues, un registro de todo aquel soporte técnico en el trayecto del desarrollo del proyecto es el que se detalla a continuación:

5.1. LUNES 13 de febrero 2006

5.1.1. Premezclado y Consistencia

Antes de poder pasara a realizar cada una de las corridas experimentales, unas cuantas de ellas se hicieron dentro de un mezclador tipo Brawender, el cual se nos proporcionó en el CIQA (Centro de Investigación y Química Aplicada), en donde el objetivo fue el percibir la consistencia que se iba a tener a lo largo del extrusor el tipo de compósito a formularse.

5.1.2. Procesado de las Corridas Experimentales

Maquinaria

Para llevar a cabo cada una de las corridas experimentales (compósitos con matriz polimérica de PET post consumo) se utilizó la extrusora de doble tornillo, con una configuración (L/D)= 40, en donde se contaba con dos secciones de venteo y una configuración de tornillo como se muestra a continuación:

Como se puede apreciar en la configuración del tornillo se muestra la sección de alimentación, seguida de la sección de premezclado y mezclado, y por último la sección de traslado del material en estado fundido hacia el dado.



Figura 5.1: Mezclador tipo Brawender utilizado.

5.1.3. Trituración del Material

Tanto el PET a utilizarse como las muestras obtenidas en cada una de las corridas experimentales, el material salía de la máquina como una especie de lengua, debido al perfil recto que se tenía como dado en la extrusora. Pro tal motivo, y con el fin de poder tener un mejor manejo del material compuesto, se trituro en la máquina de molienda que se muestra a continuación:

5.1.4. Maquinado de Probetas

Para poder llevar a cabo las pruebas mecánicas de cada uno de los compósitos, se tuvieron que maquinar una serie de placas, sujetas a la norma ASTM Standard, con el fin de poder hacer las probetas que a su vez serían usadas para llevar a cabo las pruebas mecánicas en la máquina universal.

Dentro del maquinado de placas, se utilizó placas de 3 mm de ancho, en donde por un lapso se dejó en la prensa caliente como se muestra en la siguiente figura:

Así mismo, al sacar la placa de la prensa caliente se pasaba a la prensa de enfriamiento, en donde a su vez pasaba por un lapso de tiempo.

5.2. Pruebas Mecánicas

Dentro del maquinado de las probetas, se utilizaron cortadores especiales dentro de las instalaciones del CIQA (Centro de Investigación y Química Aplicada).

Para las pruebas mecánicas se hizo uso de la máquina universal proporcionada por el CIQA, en donde con cierto cuidado, se fueron haciendo cada una de las pruebas mecánicas de los compósitos obtenidos, posteriormente maquinados y probeteados.

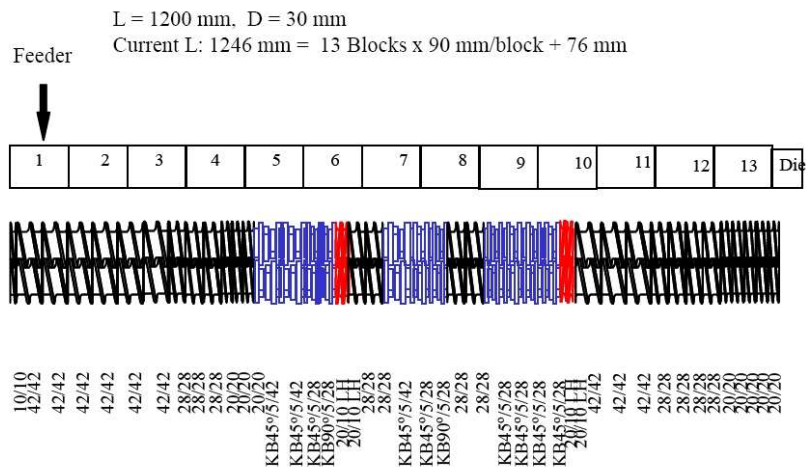


Figura 5.2: Configuración utilizada de el tornillo para el proceso de extrusión.



Figura 5.3: Muestra el prensado de material ubicado dentro de las placas metálicas.



Figura 5.4: Equipo utilizado para hacer cortes burdos en las placas.



Figura 5.5: Equipo utilizado para raspar el material de manera que se adecuara al molde de la ASTM.



Figura 5.6: Equipo utilizado para llevar a cabo las pruebas de tensión.

Capítulo 6

Diseño de Experimentos

Primeramente, el planteamiento del diseño de experimentos se hizo con base a:

1. Tipo de matriz polimérica a utilizarse a lo largo del diseño (Polietilente-reftalato).
2. Porcentajes de aserrín a utilizarse, con base a la bibliografía, en cada una de las corridas.
3. La posible presencia de otro tipo de resinas poliméricas como lo son el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP).

Por otro lado, se realizaron un total de 18 mezclas, en donde se fue variando la cantidad de aserrín en el compósito, en donde se empezó con la corrida con puro PET post consumo, después se le fue agregando cantidades diferentes de aserrín, al 5 %, 10 %, 20 %, 30 % y 40 %.

Después se hicieron las mezclas de PET con el resto de las resinas presentes en un envase de plástico post consumo, donde las resinas poliméricas fueron el polipropileno (PP) y el polietileno de alta densidad (PEHD). La forma en la cual se agregaron dichos plásticos fue con base al porcentaje que existe en una botella de plástico de refresco, donde normalmente la tapadera está hecha a base de polipropileno, y la etiqueta, o en dado caso el envase, está hecho de polietileno de alta densidad.

Por otro lado, las cantidades especificadas de alrededor de 900 gramos de material, fue con base a la alimentación y procesado de la máquina de mezclado (extrusor de doble tornillo).

No de muestra	PET+Otro plástico (%)	Aserrin (%)	Peso total
1	95%(1.14 kg)	5%(,06 kg)	1.2 kg
2	95%(570 gr)	5%(30 gr)	600 gr
3	95%(1.14kg) PET+HDPE	5%(,06 kg)	1.2 kg
4	60%(375 gr)	40%(250 gr)	625 gr
5	70%(584 gr)	30%(250 gr)	834 gr
6	70%(560 gr) PET+HDPE	30%(240 gr)	800 gr
7	80%(640 gr) PET+HDPE	20%(160 gr)	800 gr
8	90%(720 gr) PET+HDPE	10%(80 gr)	800 gr
9	50%(400 gr) PET+HDPE	50%(400 gr)	800 gr
10	100%(800 gr)	0%	800 gr
11	PET(90%)+HDPE(10%) 720 gr + 80 gr	0%	800 gr
12	PET(90%)+PP(10%) 720 gr + 80 gr	0%	800 gr
13	95%(760 gr) PET+PP	5%(40 gr)	800 gr
14	90%(720 gr) PET+PP	10%(80 gr)	800 gr
15	80%(640 gr) PET+PP	20%(160 gr)	800 gr
16	70%(560 gr) PET+PP	30%(240 gr)	800 gr
17	60%(480 gr) PET+PP	40%(320 gr)	800 gr
18	50%(400 gr) PET+PP	50%(400 gr)	800 gr

Figura 6.1: Diseño de Experimentos propuesto.

Capítulo 7

Pruebas Mecánicas

Estos son los resultados obtenidos durante

7.1. Elongación Antes de Ruptura

Compuesto	Elong. Ruptura (%)						
	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
PET	0.92	0.67			0.42	0.36	
	1.69	0.71			0.54	0.4	
	1.15	0.51			0.61	0.37	
	0.88	0.78			0.33	0.33	
	1.58	0.46			0.58	0.42	
	1	0.47				0.18	
PET+PEAD	1.27	0.64	0.41	0.31	0.34		0.39
	1.16	0.74	0.38	0.52	0.39		0.4
	0.75	0.47	0.35	0.69	0.49		0.48
	0.49	0.71	0.27	0.6	0.4		0.38
	1.21	0.48		0.49	0.48		0.32
	1.05	0.54		0.46			
PET+PP	1.37	0.48		0.37	0.53	0.31	0.12
	1.56	0.48		0.38	0.43	0.23	0.36
	1.73	0.21		0.38	0.45	0.07	0.25
	1.34	0.53		0.19	0.51	0.34	0.23
	1.65	0.25		0.22	0.47	0.31	0.27
	0.99			0.4	0.48	0.29	0.38

Compuesto	Promedio de Elong. Ruptura (%)						
	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
PET	1.2	0.6			0.5	0.34	
PET+PEAD	0.99	0.6	0.35	0.51	0.42		0.39
PET+PP	1.44	0.39		0.32	0.48	0.26	0.27

Figura 7.1: Datos de la elongación antes de la ruptura.

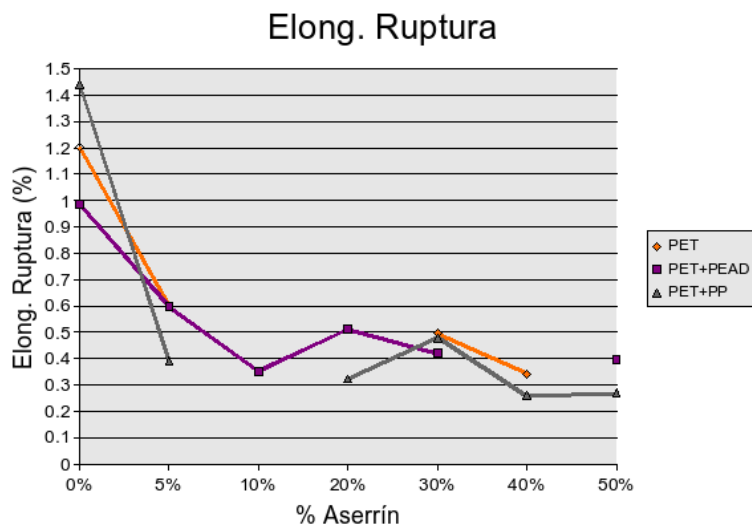


Figura 7.2: Gráfico de la elongación antes de la ruptura.

7.1.1. Gráfico

Se puede concluir con seguridad¹ que las propiedades mecánicas de los compósitos no siguen una tendencia lineal, respecto de la concentración de aserrín. Sin embargo, es apreciable que a determinados porcentajes, hay un notorio repunte en dicha propiedad.

¹Algunas probetas fueron imposibles de analizar debido a la porosidad, y por lo tanto fragilidad, de las mismas

7.2. Módulo de Tensión

Compuesto	Modulo (lbf/pulg ²)						
	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
PET	389,203	145,519			290,710	646,593	
	378,475	82,240			587,842	509,113	
	388,788	165,115			357,927	529,441	
	399,080	134,291			583,292	376,675	
	369,097	225,569			380,940	645,912	
	183,472				564,364		
PET+PEAD	348,817	279,971	322,991	196,418	428,566		150,501
	341,397	281,652	239,101	169,835	374,397		157,540
	350,029	171,338	264,447	195,894	433,519		144,519
	291,072	107,484	231,360	181,252	415,454		173,462
	334,017	259,995		232,558	229,524		206,813
	344,646	335,189		236,699			
PET+PP	325,182	174,768		111,250	299,167	111,250	265,160
	310,476	207,632		112,306	325,895	112,306	323,905
	347,815	164,550		86,625	350,572	86,625	388,245
	293,021	171,139		204,539	390,138	204,539	441,123
	287,390	190,854		200,901	252,685	200,901	509,789
	308,117		154,271	338,096	154,271	464,035	

Compuesto	Promedio de Modulo (lbf/pulg ²)						
	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
PET	384,929	156,034			440,142	545,350	
PET+PEAD	334,996	239,272	264,475	202,109	376,292		166,567
PET+PP	312,000	181,789		144,982	326,092	144,982	398,710

Figura 7.3: Datos obtenidos de los módulos de tensión.

7.2.1. Gráfico



Figura 7.4: Gráfico de los módulos de tensión.

Se puede apreciar que a concentraciones de aserrín intermedias, las propiedades de resistencia de las maderas plásticas no difieren tanto de los compósitos puramente plásticos. Habrá que tomar a consideración que estos materiales no fueron lavados, ni purificados, en ningún momento; lo que deja a especular que es muy posible que las propiedades de los materiales se vean mejoradas una vez que algún proceso de lavado del PET sea implementado.

Capítulo 8

Observaciones

Dentro del apartado de observaciones a lo largo del proceso de experimentaciones, el equipo de investigación se dio a la tarea de dividir dicha sección en los siguientes segmentos u apartados:

8.1. Corridas Experimentales Previas a Nivel Laboratorio

Dentro de las corridas experimentales previas hechas a nivel laboratorio, las mezclas se hicieron en vasos de precipitado, tomando en cuenta la presencia del oxígeno y de las altas temperaturas de trabajo ($T=250-270$ C), la madera podría provocar algún tipo de combustión, ya que su punto de ignición es de alrededor 240-250 C. Por tal motivo se empezó haciendo las corridas en una atmósfera de nitrógeno, sin embargo, al ver el comportamiento del mezclado y del aserrín sin la presencia de la atmósfera de nitrógeno, se notó que no se presentaba ningún tipo de puntos negros en la mezcla. Sin embargo, al estar mezclado bajo un periodo extenso de mezclado, el compuesto ya presentaba puntos negros en él.

Por otro lado, al hacer las corridas de bajo porcentaje de aserrín, presentaban un bajo nivel de shear, esto quiere decir, que al quererlos mezclar, se necesitaba muy poca fuerza para poder tener un mezclado homogéneo en poco tiempo. Así mismo, las mezclas con porcentaje de aserrín mayor, presentaban un shear muy alto, ya que se necesitaba de tiempo y fuerza para poder conseguir un mezclado homogéneo en el compuesto en estado fundido.

La presencia de humos era evidente, luego de incrementar el porcentaje de aserrín, el desprendimiento de gases era visible y muy notorio. A primera instancia, se cree que son completamente provocados por volátiles del aserrín, ya que se tenía el olor esencial a madera quemándose.

El PET que se utilizó en todas las corridas experimentales a nivel laboratorio fue sometido a un ciclo de secado en una estufa a 100 C por un periodo de 1 hora. Debido a que el PET es inmaterial altamente higroscópico, al sacarlo de la estufa se notó claramente de la pérdida de humedad por parte del material, ya que se tenían las hojuelas en estado retorcido.

8.2. Corridas Experimentales en el Mezclador Tipo Brawender

Dentro de las corridas experimentales hechas en el mezclador tipo BRAWENDER se tuvieron una serie de especificaciones de la máquina y del proceso.

Primeramente, la máquina estuvo operando a lo largo de todo el periodo de experimentación a 60 revoluciones por minuto. Dicha especificación del torque fue establecida con base al material que se iba a utilizar dentro de la cámara de mezclado.

Entre cada corrida experimental, la cámara de mezclado debía ser completamente limpiada, luego de tener altas temperaturas (hasta $T=280$ C), el material que se quedaba en pequeñas zonas de la cámara de mezclado, sufría degradación, y esto conlleva a que se arrastre dicho material degradado con la siguiente corrida experimental.

El tiempo que se dejó cada corrida experimental dentro de la cámara de mezclado fue el siguiente:

Con base al software que viene integrado al sistema de mezclado, se hicieron las primeras mezclas con PET post consumo, y se consiguió el tiempo de mezclado, esto quiero decir, el tiempo en el cual se tiene la mezcla homogénea y estable. Se obtuvo un tiempo dentro de la máquina de mezclado de 4 minutos, tomando el tiempo de que se tarda en alimentar la cámara.

Para hacer el mezclado de PET, aserrín, PP/HDPE, se debe tener cierto orden con base a la temperatura de fusión y propiedad de cada una de las sustancias involucradas. Esto quiere decir, que primeramente se debe agregar el PET, se espera el tiempo de 4 minutos de mezclado y homogeneidad del mismo. Después se agrega el aserrín de forma ágil, con el fin de evitar un tiempo de residencia largo del material. Y por último, se agrega el PP o el HDPE, ya que con el calor que tiene el PET, el PP o el HDPE tienden a fundirse en menos de 1 minuto, periodo en el cual se obtiene el mezclado homogéneo.

Al abrir la cámara de mezclado, se debe tener cierta rapidez para poder retirar, principalmente, el material en estado fundido que se retiene en los dos torques.

8.3. Corridas Experimentales Hechas en la Máquina de Extrusión

Dentro de las corridas experimentales hechas en la máquina de extrusión se tuvieron observaciones de suma importancia para una futura mejora.

Por un lado, las corridas experimentales hechas con mayor porcentaje de aserrín, se tenía que tener cierto cuidado en las zonas de venteo del extrusor. Por un lado, el material empezaba a salir, en cantidades muy pequeñas, por dichas zonas. Así mismo, la presencia de volátiles fue a considerarse. Las corridas que presentaban en mayor presencia fueron al ir aumentando el porcentaje de aserrín.

Sin embargo, el tener corridas experimentales con mayor cantidad de aserrín ayudaba por completo a poder purgar de forma eficaz el cilindro y los 2 tornillos del extrusor.

Las temperaturas que se utilizaron en la máquina de extrusión se explicaron anteriormente en las fichas técnicas. El extrusor contaba con 5 zonas de calentamiento, con un dado rectangular.

El PET que se utilizó en todas las corridas experimentales hechas en el extrusor fue de spot consumo, en donde el material presentaba restos de tierra, otro tipo de polímeros como es el caso de pedazos de etiquetas, hasta la presencia de olor caramelazo a lo largo del proceso de extrusión.

Así pues, para poder llevar el control entre cada corrida experimental y no tener ningún tipo de problema con la cuestión de tomo de muestras de mezclas de diferentes corridas, la secuencia que se siguió fue primeramente al terminar la corrida experimental en el extrusor, se alimentaba la siguiente, mas sin embargo, para la toma de muestra de dicha corrida y no tener contaminada la muestra, se dejo correr aproximadamente 20 segundos de material, ya que puede ser que el material que sale de la extrusora sea de una corrida anterior.

8.4. Prensado de Placas

Dentro del prensado de placas se tuvo aspectos de suma importancia a lo largo del proceso. Primeramente el material fue completamente triturado en la molienda, la cual era limpiada perfectamente entre cada corrida experimental molida. Posteriormente, se preparan las dos prensas:

8.4.1. Prensa Caliente

Para la prensa caliente se sostuvo una temperatura de 518 F en todas las corridas experimentales. Al tener caliente la placa de metal de 3 mm (espesor), se alimentaba con el material triturado, pero el poner el material directamente a la placa y dejarlo en la prensa causaba problemas. Se pegaba el material en la placa, lo que provocaba una disminución de material en la placa.

Se utilizó papel aluminio como una especie de forro de toda la placa metálica, con el fin de poder evitar la adherencia del material fundido en la placa metálica.



Figura 8.1: Placa metálica cubierta con aluminio para evitar la adhesión del material fundido a la misma.

En ocasiones se tuvo ciertos problemas con el maquinado de placas de corridas experimentales con mayor porcentaje de aserrín. Este tipo de problemas era el desprendimiento de vapores a presión justo al término del ciclo de prensado.

Se tuvo que trabajar con cuidado para evitar cualquier tipo de problema con dichos vapores.

Varias placas presentaban una serie de burbujas en la superficie del material. Justamente entre mayor porcentaje de aserrín, era menor la presencia de burbujas en la placa maquinada. De hecho, las placas que tenían del 30 % de aserrín hasta el 50 % de aserrín no presentaron ningún tipo de burbujas. Así mismo, la placa maquinado con puro PET post-consumo, tampoco presentó algún tipo de burbuja en la superficie.

En corridas con menor porcentaje de aserrín, se tuvieron que utilizar mayor cantidad de material en la placa metálica, luego de que las corridas que contienen mayor cantidad de aserrín presentan una menor densidad, un mayor volumen debido a la madera, lo que con lleva a utilizar diferentes cantidades de material (por encima de los 100 gramos) en el maquinado de placas.

8.5. Maquinado de Probetas

Para el maquinado de probetas se tuvieron aspectos muy considerables sujetos a la producción de volátiles a lo largo de procesado del compósito. Por un lado, de cada placa maquinada se obtuvieron 6 barras rectangulares, las cuales se enviaban a la cortadora, en donde se les daba la forma de probeta. Para el corte de probeta se tenía que tener cierto cuidado con el tiempo de cortado, luego de que el motor sujeto a la máquina se podría sobrecalentar y a fallar.

Las placas que presentaban las burbujas en la superficie, aquellas placas con menor porcentaje de aserrín, se notaba que eran burbujas grandes, huecos dentro de la placa. Estos huecos en ocasiones provocaban un mal corte en la probeta.

8.6. Pruebas Mecánicas

Varias fueron las observaciones, de suma importancia para el proyecto, que se dieron a lo largo del proceso de pruebas mecánicas de las corridas experimentales.

Capítulo 9

Observaciones y Sugerencias

9.1. Proceso de Extrusión

Tomando en cuenta el problema de generación de volátiles dentro del proceso de extrusión con las corridas experimentales que utilizan mayor cantidad de porcentaje de aserrín, se recomienda que la configuración del tornillo propuesto en el proceso de extrusión sea más corto. Esto quiere decir, que en vez de que se tengan las dos zonas de venteo que se tuvieron originalmente, se reduzca a una sola zona de venteo. Esto es muy sencillo, ya que se cierra por completo la 2ª zona de venteo que se encuentra en la parte superior del extrusor. Se contempla que al hacer este tipo de cambios, se reduzca la configuración del doble tornillo, y se le de muy poco tiempo de generación de volátiles en el proceso de extrusión al material compuesto.

Por otro lado, se cree que se tiene una zona muy larga de mezclado, la cual también se puede reducir, con el fin de poder reducir el tiempo de residencia del material a lo largo del extrusor.

9.2. Prensado y Maquinado de Placas

Se han tenido diferentes problemas al haber maquinado las placas. El principal de ellos es la presencia de porosidades en el material compuesto como se ha mencionado anteriormente. Lo que se sugiere posteriormente es lo antes mencionado en la reducción en la configuración del tornillo utilizado en el proceso de extrusión, junto con la reducción de 2 a 1 zona de venteo. Todo esto con el fin de poder reducir volátiles en el proceso.

Por otro lado, se tiene el problema de las propiedades físico-químicas del material polimérico matriz, el polietilentereftalato (PET), el cual es sumamente higroscópico, tiende a retener la humedad. Así mismo, con el fin de poder evitar las porosidades que aparecen en las placas maquinadas, se recomienda fuertemente que el material polimérico sea secado con anticipación a una temperatura no mayor a los $T = 110\text{ C}$ por un periodo de 3 a 4 horas en una estufa.

Capítulo 10

Conclusiones

La investigación y pruebas realizadas nos han llevado a concluir que, efectivamente, es técnicamente factible la realización de compósitos útiles de polietilentereftalato y madera. Es importante resaltar que los compósitos preparados son “en sucio”, lo que significa que existe la latente posibilidad de incrementar las propiedades de los compósitos resultantes al implementar un proceso de purificación de los materiales a reprocesar.

Visualmente, se puede apreciar la presencia de orificios en los compósitos a determinadas concentraciones. En particular, la placa que tuvo peor desempeño fue el compósito preparado a partir de polietilentereftalato y polipropileno con 10% de aserrín.



Figura 10.1: La fragilidad de algunas placas se debía a la porosidad.

Por otra parte, las mezclas que se vieron menos afectadas por factores como la humedad y las impurezas fueron aquellas conteniendo un 30% de aserrín.

En todos los casos, se notó una mejoría de las propiedades de módulo de los compósitos conteniendo un 30% de aserrín respecto de sus propiedades con un 0% de aserrín.

Sin embargo, será necesario preparar compósitos a partir de material seco y limpio, debido a que es evidente que el material se ve afectado al formar pequeñas burbujas durante su procesado.

Bibliografía

- [1] *Composites From Recycled Wood and Plastics.*
John A. Youngquist, et al.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1994/young94a.pdf>,
1994.
- [2] *Lignocellulosic-Plastic Composites from Recycled Materials*
George E. Myers, et al.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1992/young92a.pdf>
- [3] *Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene-wood flour composites*
Kristiina Oksman, et al.

Apéndice A

Inauguran en México primera planta para reciclado de PET grado Alimenticio de América Latina

Inauguran en México primera planta para reciclado de PET grado Alimenticio de América Latina

Coca-Cola de México, Coca-Cola FEMSA y ALPLA, invirtieron 20 millones de dólares para su construcción. La planta reciclará 25,000 toneladas de Pet cada año, lo que ayudará a duplicar lo que actualmente se recicla en México.

Toluca, Estado de México, a 13 de julio de 2005.- La planta de reciclado de PET “botella a botella” con mayor capacidad en América Latina y la primera en su tipo en México fue oficialmente puesta en marcha hoy, con lo que se duplicará la cantidad de este material que anualmente se recicla en el país.

“Lo que vemos hoy aquí es un primer paso, uno de los muchos que conjuntamente iniciativa privada y autoridades, debemos dar a fin de crecer. Esperamos sinceramente que la puesta en operación de esta planta aliente a otros a trabajar en colaboración para hacer la diferencia en nuestras comunidades”, afirmó Neville Isdell, Chairman of the Board de The Coca-Cola Company, durante el acto inaugural, encabezado por el Secretario del Medio Ambiente, José Luis Luege.

Esta importante obra es resultado de la unión de esfuerzos de Coca-Cola de México, Coca-Cola FEMSA y ALPLA -uno de los principales proveedores de botellas PET- quienes formaron la Industria Mexicana de Reciclaje (IMER). El proyecto requirió la inversión de 20 millones de dólares para construir una planta capaz de garantizar los más altos estándares de calidad y pureza, para que el PET reciclado pueda reutilizarse en la producción de nuevas botellas. La construcción de esta planta no sólo contribuirá a que se duplique la cantidad de PET que se recicla actualmente en México, sino que permitirá el desarrollo de un mercado local estable, al cerrar virtuosamente el círculo del reaprovechamiento. Además generará unos 3,000 empleos, directos e indirectos, dentro de toda la cadena productiva de acopio y reciclaje.

La ceremonia, también contó con la presencia de José Antonio Fernández Carbajal, Presidente del Consejo de Administración y Director General de FEMSA, y de Helmut Scheffknecht, Chief Executive Officer de ALPLA. “Además de nuestro compromiso para conducir nuestros negocios de manera que se proteja y preserve el medio ambiente, IMER representa una semilla para que otras industrias sigan este camino”, señaló José Antonio Fernández Carbajal. La innovadora tecnología utilizada por la planta fue desarrollada por United Resources Recovery Corporation (URRC), que dirige el empresario de origen mexicano Carlos Gutiérrez. A la fecha, existen sólo 4 países que cuentan con una planta de reciclaje de PET grado alimenticio que utiliza esta tecnología: Suiza, Alemania, Estados Unidos y México. Este proceso es lo suficientemente robusto para garantizar que el material reciclado cuente con la pureza y calidad que equivale a la del material virgen, y lo hace a través de un proceso químico que permite la descontaminación de las hojuelas y la eliminación de PVC.

Al ser la primera y más grande con esta tecnología en América Latina, con una capacidad de 25,000 toneladas anuales, esta planta convierte a México en uno de los países pioneros en el desarrollo de este tipo de procedimientos para el cuidado del medio ambiente. Las plantas de reciclaje que actualmente existen en el país procesan y convierten el PET en productos como tapetes, prendas de vestir y rellenos. A partir de ahora y gracias a la tecnología utilizada por IMER, la única con el aval de la Secretaría de Salud de México, el material producido por esta planta se utilizará nuevamente en envases. Gradualmente, todas las botellas PET que utiliza Coca-Cola Femsa en sus productos contendrán un porcentaje de material reciclado. Coca-Cola de México, Coca-Cola FEMSA y ALPLA llevaron a cabo todos los estudios necesarios para garantizar la eficacia y desempeño del novedoso proceso, así como para asegurar que la tecnología cumple con las más estrictas exigencias de las autoridades correspondientes en México, Estados Unidos y la Unión Europea.