

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE RECICLABILIDAD DE LAS BOLSAS
BIODEGRADABLES

EDWIN ESCOBAR VÉLEZ
PEDRO JOSÉ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2008

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE RECICLABILIDAD DE LAS BOLSAS
BIODEGRADABLES

EDWIN ESCOBAR VÉLEZ
PEDRO JOSÉ MARTÍNEZ

Proyecto de grado presentado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Asesor: Luis Alberto García
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2008

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Ricardo Posada, quien nos colaboró con todo lo relacionado a la etapa de pruebas y ensayos del proyecto.

Al Ingeniero Luis Alberto García, nuestro asesor, quien nos aportó su amplio conocimiento en el tema y nos orientó durante todo el proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
1. OBJETIVOS	9
1.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2. ALCANCE Y PRODUCTOS	10
3. DEFINICIÓN CONCRETA DEL PROBLEMA	11
3.1 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN DENTRO DE LA CARRERA Y EL MEDIO	12
4. METODOLOGÍA	13
5. ESTADO DEL ARTE	15
6. MATERIALES DE EMPAQUES FLEXIBLES PLÁSTICOS	16
6.1. QUÍMICA DE LOS PLÁSTICOS	16
6.2 POLIETILENO	24
6.2.1 Bolsas de polietileno	27
6.3 POLIPROPILENO	29
6.3.1 Bolsas de polipropileno	30
7. PROCESOS PARA EL RECICLADO DE UNA BOLSA	32
7.1 SEPARACIÓN	34
7.2 PROCESO DE AGLUTINADO	35
7.3 PROCESO DE PELLETIZADO	38
8. CARACTERIZACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	40
8.1 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	41
8.2 CARACTERIZACIÓN TÉRMICA	41
9. PROBLEMAS AMBIENTALES DE LAS BOLSAS PLÁSTICAS	43
9.1 PROPUESTAS Y MEDIDAS PARA REEMPLAZAR LAS BOLSAS COMUNES	45
10. CLASIFICACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES	46
10.1 La neobolsa	46

10.2 Plásticos hechos a partir de almidón	46
10.3 Plásticos foto-degradables	47
10.4 Plásticos con poliésteres alifáticos	47
11. PLÁSTICOS BIODEGRADABLES EN MEDELLÍN	52
12. ÍNDICE DE FLUIDEZ	55
12.1 RELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE FLUIDEZ Y DENSIDAD	56
13. PRUEBAS Y ENSAYOS	60
14. RESULTADOS	66
15. ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
16. CONCLUSIONES	74
17. RECOMENDACIONES	774
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXO A	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Certificados y sellos de calidad	48
Tabla 2. Comparación biodegradable contra oxo-biodegradable	50
Tabla 3. Grandes superficies y tipos de bolsas que emplean	52
Tabla 4. Relación entre índice de fluidez y densidad.	57
Tabla 5. Índice de fluidez requerido para algunos procesos	59
Tabla 6: Material recopilado para la prueba	61
Tabla 7: Muestras desarrolladas para pruebas de laboratorio	61
Tabla 8. Resultados de las pruebas MFI para cada una de las muestras	66
Tabla 9. Vector independiente y dependiente ingresado al código	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Síntesis de la formación de un polímero	17
Figura 2. Tipos de cadenas formadas por los polímeros	19
Figura 3. Esquema división de los plásticos	20
Figura 4. Tipos de enlaces entre moléculas	21
Figura 5. Formas estructurales del etileno y polietileno	25
Figura 6. Cadenas formadas por el HDPE y LDPE	26
Figura 7. Símbolos para identificación de materiales termoplásticos.	30
Figura 8. Ciclo de reciclabilidad de una bolsa plástica.	32
Figura 9. Máquina aglutinadora	36
Figura 10. Vista interior maquina aglutinadora	36
Figura 11. Muestra 1 de material aglutinado	37
Figura 12. Muestra 2 de material aglutinado	37
Figura 13. Esquema de caracterización	42
Figura 14. Empaques utilizados por los grandes almacenes	54
Figura 15. Esquema densidad vs índice de fluidez	59
Figura 16. Pasos requeridos para evaluar las muestras	60
Figura 17: Fotografías material aglutinado y su mezcla	64
Figura 18. Índice de fluidez obtenido para las muestras de laboratorio	69
Figura 19. Función lineal	71
Figura 20. Función exponencial	71
Figura 21. Función potencial	72
Figura 22. Código Matlab para encontrar función de interpolación.	73

INTRODUCCIÓN

La presente investigación esta enfocada a la problemática que actualmente se presenta en cuanto a la reciclabilidad de las bolsas plásticas y el nuevo concepto de bolsa biodegradable que se viene fortaleciendo día a día.

Se hace pensando en definir si el proceso usado en el reciclado de plástico también puede ser utilizado en bolsas biodegradables garantizando que nuevos productos conformados a partir de materiales reciclados tengan propiedades semejantes a la de un producto con material virgen.

A partir de muestras y ensayos de laboratorio se llegara la conclusión si los procesos utilizados se pueden o no utilizar para cualquier tipo de bolsa plástica y si afectan las propiedades del producto incluso cuando se hacen mezclas de diferentes tipos de bolsas.

Actualmente la limitación más notoria es la falta de información sobre el tema ya que este es relativamente nuevo y los desarrollos logrados aun siguen sin ser publicados.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Definir los procesos que se deben utilizar para el reciclado de bolsas ecológicas y el tipo de maquinaria que debe intervenir en ellos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las bolsas ecológicas.
- Definir si el tipo de proceso utilizado actualmente para el reciclado es el adecuado para las bolsas biodegradables.
- Precisar si el tipo de maquinaria utilizado en nuestros días en el reciclado puede ser usado para las bolsas biodegradables.
- Comprobar que las bolsas realmente son biodegradables.

2. ALCANCE Y PRODUCTOS

Hacer una caracterización y clasificación de los materiales utilizados para la fabricación de bolsas ecológicas identificando completamente el tipo de producto, de esta manera se podrán evaluar los procesos que se tienen para su reciclaje y definir si alguno de estos se adapta a las condiciones del producto de lo contrario establecer cuál es el apropiado para su reutilización.

Para las bolsas biodegradables que tienen como destino final el relleno sanitario establecer tiempos de degradación y técnicas que aceleren el tiempo de vida después de ser utilizadas.

No solo tendremos en cuenta los procesos implementados actualmente sino que tipo de tecnologías vienen naciendo en el mundo que mejoran estos procesos, a su vez elegir el tipo de maquinaria más acorde para descomposición o reutilización de estos residuos.

Producir soluciones que puedan ser aplicadas fácilmente a los actuales procesos, o nuevos procesos que faciliten la recuperación o descomposición de las bolsas biodegradables.

3. DEFINICIÓN CONCRETA DEL PROBLEMA

La tendencia ecologista que día a día toma más auge se apodera de los productos de uso diario para darle más cabida en el consumidor final.

Las bolsas plásticas por años han sido un problema difícil de afrontar en cuanto a la parte de disposición final, su destino ha sido rellenos sanitarios y pocas veces se incluyen dentro de productos reutilizables. Actualmente la mayor cantidad de desechos que terminan en estos rellenos están representados por los empaques de todos los bienes consumibles que utilizan las personas en su diario vivir.

A pesar de implementarse la cultura del reciclaje en varias partes del mundo y en nuestra ciudad, promoviendo así la reutilización de estos compuestos poliméricos, de los cuales están conformados la gran mayoría de los empaques, siguen siendo un dolor de cabeza ya que estos no son biodegradables.

Recientemente, para solucionar este problema ecológico tan preocupante, se han visto en el mercado bolsas ecológicas o biodegradables, aun no conocemos que tipo de procesos, maquinaria y materias primas son utilizadas, solo sabemos que al final de su utilización podrán ser devueltas al ambiente degradándose en unos 18 meses, sin embargo muchas confusiones se producen al comprobar que estos empaques son realmente ecológicos puesto que se siguen utilizando los mismos métodos de reciclaje a sabiendas que no son el producto convencional que estábamos acostumbrados a reutilizar o desechar.

3.1 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN DENTRO DE LA CARRERA Y EL MEDIO

Dentro del proyecto entra a jugar un papel importante la Ingeniería Mecánica, ya que evaluaremos no solo los procesos de producción y reciclaje de bolsas plásticas biodegradables, sino la maquinaria utilizada para tales fines, de allí buscamos optimizarlos en el caso que sean los mismos empleados en la actualidad y de no serlo así, diseñar el proceso con la maquinaria que se adapte a las condiciones de las bolsas anteriormente mencionadas.

En cuanto a la solución del problema es un aporte vital no solo para las empresas fabricantes y recicladoras de bolsas biodegradables sino también para los consumidores de las mismas puesto que técnicamente se siguen usando los mismos procesos de recuperación de materias primas para la elaboración de nuevos productos, sin tener en cuenta que existen nuevas tecnologías que facilitan su recuperación, sin embargo muchas de estas no pasan a un proceso de reciclaje y son enviadas a los rellenos sanitarios contando con un rápido degradamiento que con ayuda de maquinaria y procesos acordes podemos disminuir mucho mas.

4. METODOLOGÍA

Para desarrollar este proyecto de grado se usó una metodología muy sencilla. Esta metodología consiste principalmente en tres etapas.

En la primera etapa se recolecta toda la información disponible en el medio sobre todos los temas relacionados, o que pueden servir como base teórica para el trabajo.

Entre estos temas a tratar el tema de las bolsas biodegradables es uno de los mas importantes. Ya que este tema es algo nuevo en el medio, casi el 100% de esta información es encontrada en Internet, teniendo en cuenta que esta información es consultada en fuentes de información confiables. Sólo fueron consultadas páginas reconocidas como la del Exito, Carrefour, EPI los cuales son los creadores del aditivo TDPA, Symphony Enviromental comercializadores del aditivo d2w, en resumen paginas en las cuales se puede consultar información confiable y las cuales se encuentran dentro de la bibliografía del trabajo.

Esta primera etapa se realiza durante todo el proyecto, desde el inicio hasta el final. La búsqueda de información es fundamental, basados en esta se analizaran los resultados obtenidos en la segunda etapa, y también basados en esta y en los conocimientos adquiridos en toda la carrera se sacaran las conclusiones.

En la segunda etapa se realiza todo lo relacionado con las pruebas y ensayos requeridos para lograr los objetivos. Se consiguen los materiales necesarios, se buscan las empresas en las cuales se realizaran los procesos requeridos por el proyecto. También se busca el laboratorio para la prueba MFI (*melt flow index*). Lo mas complicado de esta etapa fue la búsqueda del laboratorio, por que estas pruebas son realizadas por muy pocas instituciones en la ciudad.

En la tercera etapa, teniendo una base teórica y unos resultados de laboratorio, se analizan los resultados de estos y se sacan las conclusiones respectivas.

5. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años el constante desarrollo de nuevas tecnologías han impulsado el sector de los polímeros principalmente el sector productor de bolsas plásticas, sin embargo tales adelantos son reservados por cada de productor como secreto, para así potenciar la venta de sus productos.

Muchas asociaciones publican avances de proyectos en curso pero con resultados parciales y hasta críticas sobre la veracidad de si las bolsas biodegradables son en verdad o no degradables. En www.plastivida.com.ar se pueden encontrar varios artículos en contra de estas bolsas

A lo largo de este documento tendremos información extraída de otros textos que han servido de base para enfocar los objetivos que finalmente se espera cumplir.

Empresas multinacionales como EPI son líderes en la investigación de productos y materias primas relacionadas con el mundo del empaque, obteniendo resultados positivos y consolidándose como la empresa número 1 en la producción de aditivos para procesos plásticos que dan forma a productos biodegradables.

En Colombia grupos de investigación de varias universidades van en camino a un estudio más detallado de los procesos de fabricación y descomposición o biodegradabilidad de productos que actualmente se ven en el mercado.

En el proceso de verificación de productos biodegradables es un poco complejo, la aprobación va de cuenta de laboratorios internacionales los cuales otorgan los certificados del producto sometido a pruebas de laboratorio y debe cumplir con normas como la ASTM D6954-04.

6. MATERIALES DE EMPAQUES FLEXIBLES PLÁSTICOS

6.1. QUÍMICA DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos son compuestos químicos orgánicos. Es orgánico porque esta constituido fundamentalmente por carbono e hidrogeno.

Los plásticos vienen del petróleo, luego de la destilación fraccionada de éste se obtienen hidrocarburos que se diferencian entre si por su punto de ebullición.

Luego de un proceso que se le hace a estos destilados se obtienen los monómeros que son las moléculas usadas para la producción de plásticos. Entre estos monómeros podemos encontrar el etileno, cloruro de vinilo y estireno.

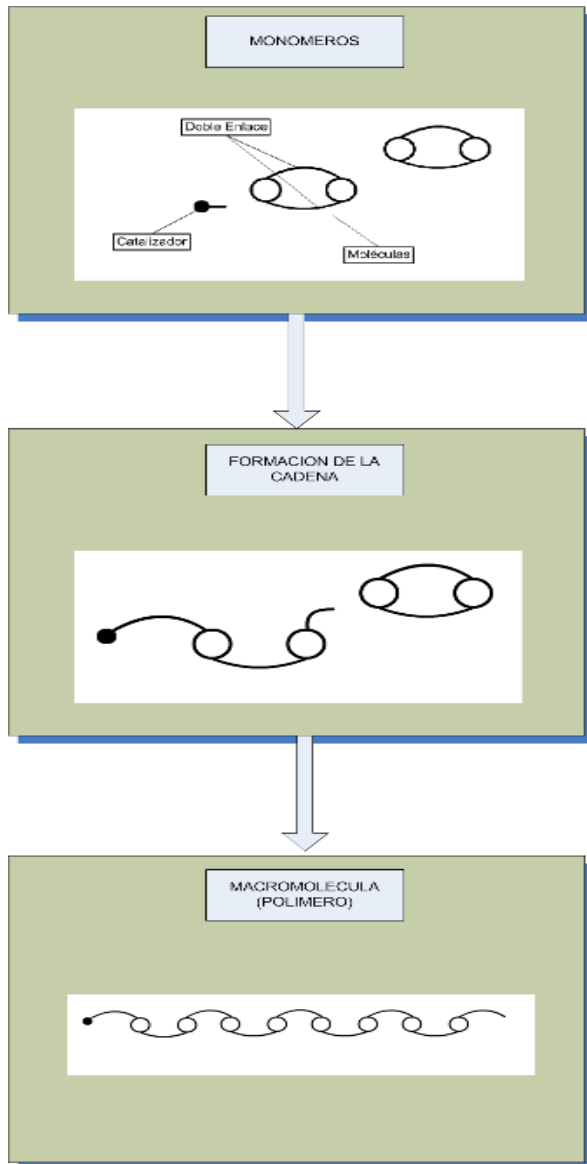
Los monómeros son usados en reacciones donde varias de estas moléculas, de constitución similar, se unen en una macromolécula por medio de reacciones, para este trabajo solo interesa la reacción de polimerización. Estas moléculas requieren de dobles enlaces para poder reaccionar. El calor y los catalizadores se encargan de abrir estos dobles enlaces, permitiendo de esta manera la unión entre las moléculas.

En la figura 1 se ve claramente como es el proceso de polimerización.

La otra reacción para la formación de polímeros es la policondensación, en la cual reaccionan dos tipos distintos de componentes, moléculas que no tienen constitución similar.

Ya que el objeto de este estudio es el polietileno, el cual se encuentra en el grupo de los termoplásticos y estos son formados a través de poliadición, no se hará más detalle de la policondensación.

Figura 1. Síntesis de la formación de un polímero



Schwarz, 2002, p. 27

Los plásticos pueden clasificarse de diferentes maneras. Pueden clasificarse según el monómero base, pueden ser naturales o sintéticos.

Según su comportamiento ante la temperatura, en termoplásticos y termoestables.

Según la reacción de síntesis, polímeros de adición, y polímeros de condensación. Según su estructura molecular en amorfos, semicristalinos y cristalizables.

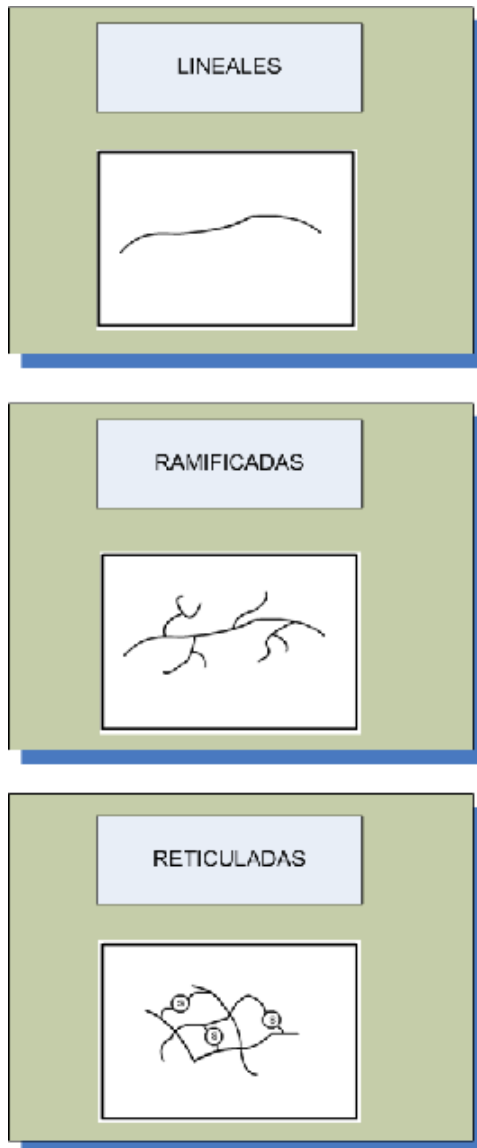
En este trabajo serán clasificados según el tipo de cadenas que formen sus macromoléculas.

Un aspecto muy importante que puede definir unas u otras características del producto es el tipo de cadenas en la estructura molecular del plástico. Los plásticos se dividen en reticulados y no reticulados. Esto depende del tipo de cadena que formen en su estructura molecular. Existen 3 tipos de cadena para los materiales plásticos. Dos de estos tipos se encuentran en los no reticulados, el otro es característico de los reticulados.

Los plásticos se dividen en reticulados y no reticulados, esto depende del tipo de cadena que formen en su estructura molecular. Existen 3 tipos de cadena para los materiales plásticos, dos de estos se encuentran en los no reticulados, el otro es característico de los reticulados.

Como se dijo, los tipos de cadenas que forman los plásticos son 3. La primera son las lineales, las cuales tienen muy pequeñas y pocas ramificaciones, este tipo de cadenas es muy difícil de encontrarla sola; Otro tipo de cadenas es la ramificada y por último están las enlazadas o reticuladas. En la figura 2 se ven los tres tipos de cadenas.

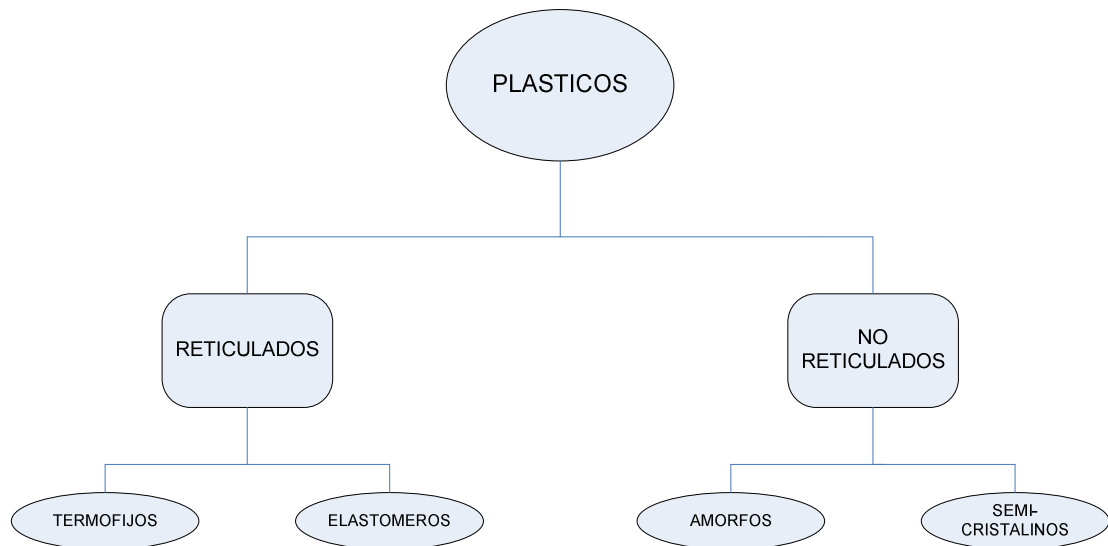
Figura 2. Tipos de cadenas formadas por los polímeros



Naranjo, 1993, p. 1.15

En la figura figura 3 se puede entender mejor la clasificación de los plásticos.

Figura 3. Esquema división de los plásticos



Schwarz, 2008

Los plásticos reticulados no pueden ser reciclados, es decir, fundir para volver a usar el material en un nuevo proceso, ya que sus moléculas no fluyen entre sí por estar reticuladas, tienen una deformación diferente a la de los no reticulados. Los reticulados pueden ser reciclados de diferente manera siendo utilizados como refuerzos.

Los termofijos están representados por resinas epoxi, poliuretano, entre otros; y los elastómeros vienen representados por todos los cauchos sintéticos.

Los plásticos no reticulados son los llamados termoplásticos, estos tienen la característica por su tipo de cadena, que no es una cadena reticulada, además pueden ser reciclados ya que sus moléculas sí fluyen entre sí.

Los termoplásticos amorfos tienen cadenas ramificadas, mientras que los semicristalinos tienen cadenas lineales.

Entre los plásticos amorfos encontramos:

PS

ABS

SAN

PC

Entre los plásticos semicristalinos encontramos:

PE

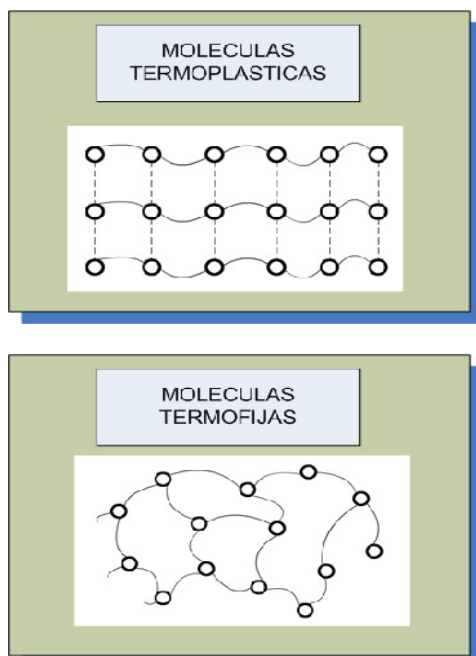
PP

PVC

PA

Para entender mejor la diferencia entre termoplásticos y termofijos analizaremos la figura 4.

Figura 4. Tipos de enlaces entre moléculas



Schwarz, 2002, p. 35

En la figura 4, se puede ver como las moléculas de los termoplásticos utilizan dentro de la cadena un enlace químico, mientras los enlaces entre las cadenas son enlaces intermoleculares. A estos dos tipos de enlaces se le llaman valencias y valencias secundarias respectivamente, siendo estas enlaces firmes de los átomos entre sí.

Las valencias secundarias son enlaces menos fuertes que los anteriores y actúan entre las cadenas moleculares para mantenerlas unidas, estos enlaces son resultado de las fuerzas de atracción electrostáticas, estas se van rompiendo con la acción de la temperatura, esto permite que las cadenas moleculares queden libres y se puedan mover. Entre las fuerzas de valencias secundarias que podemos encontrar, están:

- Fuerzas de dispersión
- Fuerzas dipolares
- Fuerzas de inducción
- Fuerzas de puentes de hidrogeno

Las diferentes estructuras que forman las macromoléculas pueden explicar muchas de las propiedades básicas de los plásticos. Entre estas propiedades podemos encontrar la resistencia mecánica, la elongación, dureza, permeabilidad gaseosa, solubilidad, capacidad de hinchamiento, entre otras.

También muchas de las propiedades térmicas están determinadas en gran parte por las fuerzas de unión entre las macromoléculas.

Además del enlace usado para que las moléculas se unan, también existen las

formas de ordenamiento. La forma en que estas cadenas moleculares se agrupan depende principalmente de la constitución química de la cadena molecular.

Las cadenas de los termofijos no pueden aproximarse demasiado y por lo tanto no se pueden agrupar regularmente, mientras que los termoplásticos amorfos, parecen un pedazo de algodón o un plato de espaguetis.

Para los termoplásticos semicristalinos sus moléculas, que presentan una estructura química y una geometría regular, pueden formar cristales en algunas zonas. Un cristal es un agrupamiento de ciertas partes de varias cadenas, paralelas. Los termoplásticos semicristalinos presentan un color blancuzco.

La orientación de las cadenas macromoleculares es otro factor que produce un comportamiento diferente en las propiedades mecánicas. Esta orientación de las cadenas ocurre en el procesamiento de los termoplásticos, ya que las valencias secundarias entre las cadenas se rompen por ser mucho más débiles que las valencias principales.

La orientación no es buena ni mala, depende del artículo que se desee producir. Para algunos es importante buscar una fuerte orientación molecular, pero para otros artículos esta orientación no es deseada, por ejemplo para artículos inyectados de alta calidad.

Por último, la longitud de cadena también produce comportamientos distintos en las propiedades mecánicas. La unidad de medida para la longitud de cadena es el grado medio de polimerización o la masa molecular media¹.

¹ SCHWARZ, Otto. Ciencia de los plásticos. Montevideo: 2002. p. 43.

Para diferentes longitudes se tendrán diferentes propiedades y comportamientos durante el procesamiento de dos polímeros de igual grado medio de polimerización.

Con el aumento del tamaño de las cadenas moleculares se obtienen mejores propiedades mecánicas y térmicas.

Comercialmente se producen diferentes tipos de un mismo termoplástico, diferenciados por lo largo de la cadena. Con este tamaño de la cadena también cambia su fluidez cuando están fundidos.

Para inyección son usados los termoplásticos de alto índice de fluidez, para que puedan pasar por todos los caminos del molde por largos y estrechos que estos sean.

Para extrusión son usados termoplásticos de bajo índice de fluidez, ya que la masa fundida debe estar el menor tiempo posible al aire libre sin chorrear.

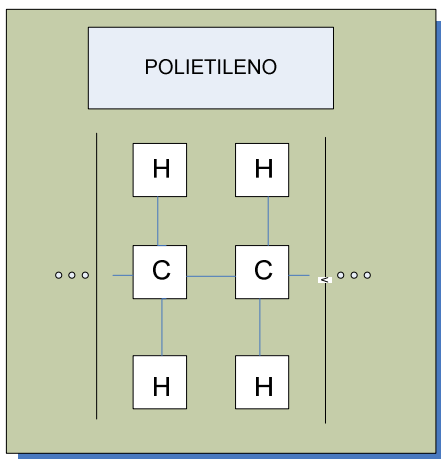
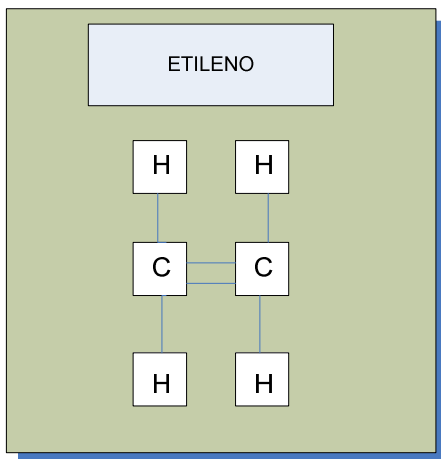
6.2 POLIETILENO

El polietileno pertenece a los termoplásticos parcialmente cristalinos. Su fabricación está basada en la polimerización a partir de etileno gaseoso con presión y temperatura controladas.

Si se polimeriza bajo alta presión, se obtienen moléculas ramificadas, produciendo polietileno con baja densidad; pero si en cambio se polimeriza con baja presión, se puede llegar a polimerizar a presión atmosférica con ayuda de catalizadores especiales y se obtiene una estructura molecular lineal, produciendo un polietileno con mayor densidad.

En la Figura 5, se pueden ver las formulas estructurales del etileno y del polietileno.

Figura 5. Formas estructurales del etileno y polietileno



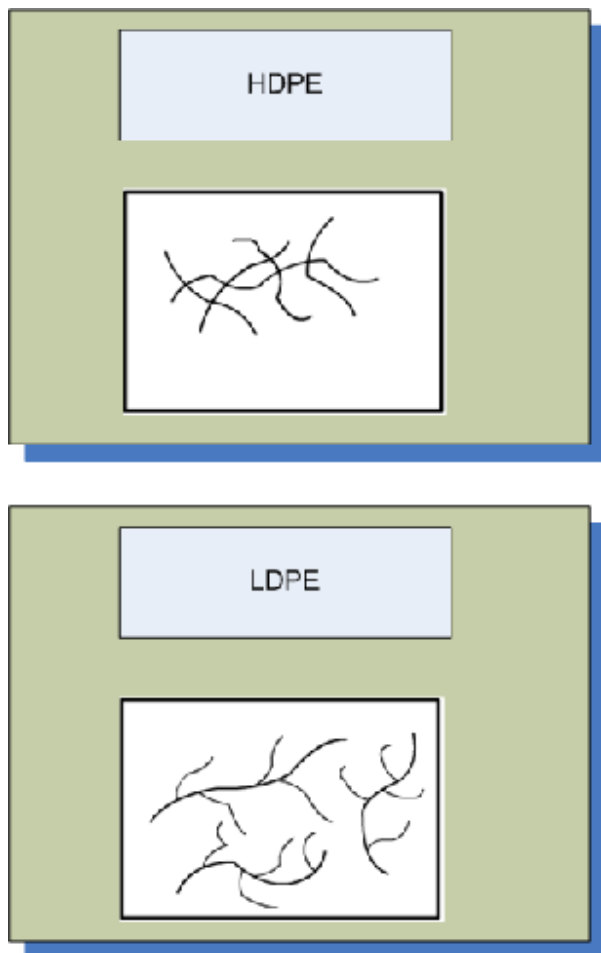
Schwarz, 2002, p. 63

A pesar de que los polietilenos hacen parte de los plásticos semicristalinos, podemos encontrar un polietileno de alta densidad (HDPE) con cadenas lineales, mientras un polietileno de baja densidad (LDPE) tendrá cadenas ramificadas. El primero es más compacto y menos transparente, mientras que el segundo es

menos compacto y más transparente.

Estas dos propiedades se pueden ver mejor en la figura 6

Figura 6. Cadenas formadas por el HDPE y LDPE



Schwarz, 2002, p. 38

En esta figura se ve claramente por que el HDPE es más compacto que el LDPE, sus cadenas lineales se juntan mas, mientras en el LDPE sus cadenas ramificadas no las dejan juntarse tanto. De igual manera se puede apreciar la propiedad de transparencia entre uno y otro.

Como se dijo anteriormente el polietileno tiene muchas ventajas frente a otros termoplásticos, lo que lo hace idóneo para la elaboración de bolsas plásticas ya que es flexible, es inerte, por esto es muy adecuado para empaques usados en la industria del alimento

Se puede incrementar su estabilidad ante el calor al agregarle antioxidantes, mejorar las propiedades de barrera ante la humedad, las propiedades ópticas y la sellabilidad.

Tipos de polietileno:

- Alta densidad (HDPE)
- Polietilenos modificados
- Muy baja densidad (VLDPE)
- Lineal de baja densidad (LLDPE)
- Ultra alto peso molecular (UHMWPE)
- Baja densidad (LDPE)
- Entre otros

6.2.1 Bolsas de polietileno

El Polietileno es un polímero termoplástico que por el procedimiento de extrusión soplado se transforma en una película flexible y de reducido espesor, la cual desempeña un papel dominante dentro del campo del envase principalmente en la fabricación de bolsas plásticas.

Las características fundamentales que han dado origen a su desarrollo son principalmente su elevada resistencia mecánica, buena transparencia y facilidad de procesado. Todo este conjunto, unido a su bajo costo, hace de este material una de las mejores alternativas para fines de embalaje.

Dentro del campo de los polietilenos y dependiendo de las condiciones de polimerización, obtenemos dos tipos perfectamente definidos: el polietileno de baja densidad y el de alta densidad.

La película de polietileno de baja densidad es un material transparente, fácilmente sellable por calor, con propiedades como fácil impresión y con una película resistente al agua.

Su campo de aplicación es muy amplio, bien transformado en bolsas y sobres o aprovechando su correcta maquinabilidad y termo-sellabilidad para trabajar en máquinas automáticas de envasado.

El film retráctil se obtiene bajo unas condiciones predeterminadas del proceso de extrusión y tiene la propiedad de cambiar de dimensiones cuando se le somete a la acción del calor.

Con una película de estas características se pueden almacenar uno o varios objetos, de tal forma que por efecto de la temperatura la película se contrae adaptándose a la forma del producto.

El polietileno de alta densidad es un material plástico que se denomina como lámina parecida al papel, puesta que es de una contextura más gruesa y más rígida que el de baja densidad.

Esta película reúne las propiedades del polietileno como impermeabilidad al vapor

de agua, características mecánicas elevadas, soldabilidad por calor y las del papel como elevada rigidez, superficie mate, buena capacidad de plegado y de impresión.

Por otra parte, por sus propiedades de rigidez y plegado lo hacen adecuado para trabajar en máquinas automáticas de envasado con formación de pliegues y su impermeabilidad ayudan a que se pueda esterilizar acoplándose así a usos médicos.

6.3 POLIPROPILENO

Es un material termoplástico por lo tanto, posee la capacidad de fundirse a una determinada temperatura (150°C), pudiendo ser moldeado y enfriado posteriormente para obtener la forma del producto deseado.

En la industria se usa el proceso de extrusión-soplado para la fabricación de películas que luego son selladas dando forma a las bolsas plásticas.

El polipropileno no es soluble en agua, es resistente al agua hirviendo, por lo que se puede emplear en artículos esterilizables, resiste temperaturas de hasta 140 °C, sin temor a la deformación. Por su impermeabilidad al vapor de agua se utiliza también como material de embalaje donde sus ventajas son aprovechadas al máximo.

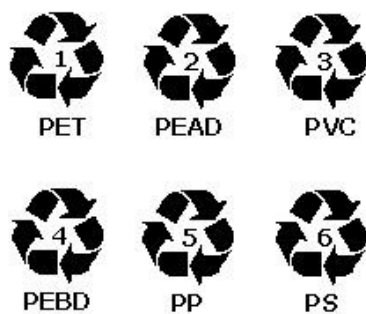
Debido a su naturaleza apolar, el polipropileno posee una gran resistencia a los agentes químicos.

Posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos existentes, sumado a esto su alargamiento a la ruptura es una de las más altas, es más duro que el polietileno y por eso es utilizado para empaques.

Tiene una temperatura de fusión superior a la del polietileno y es un buen aislante

eléctrico. Puede utilizarse casi en cualquier proceso de transformación pues tiene un buen rango de índices de fluidez. En la producción de película soplada este material esta en continuo crecimiento por sus favorables características y su bajo precio.

Figura 7. Símbolos para identificación de materiales termoplásticos.



1. PET (Polietileno Tereftalato)
2. PEAD (Polietileno de Alta Densidad)
3. PVC (Poli - Cloruro de Vinilo)
4. PEBD (Polietileno de Baja Densidad)
5. PP (Polipropileno)
6. PS (Poliestireno)
7. OTROS

Disponible en: <<http://quimicos3.blogspot.com>>.

6.3.1 Bolsas de polipropileno

El polipropileno es sin duda uno de los polímeros con mayor opción de futuro. Este hecho se ve justificado al creciente mercado que ha ido ganando en diversos sectores en los que cada día encuentra nuevas aplicaciones.

La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.90 y 0.93 gr/cm³. Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros como las bolsas plásticas y empaques de película delgada.

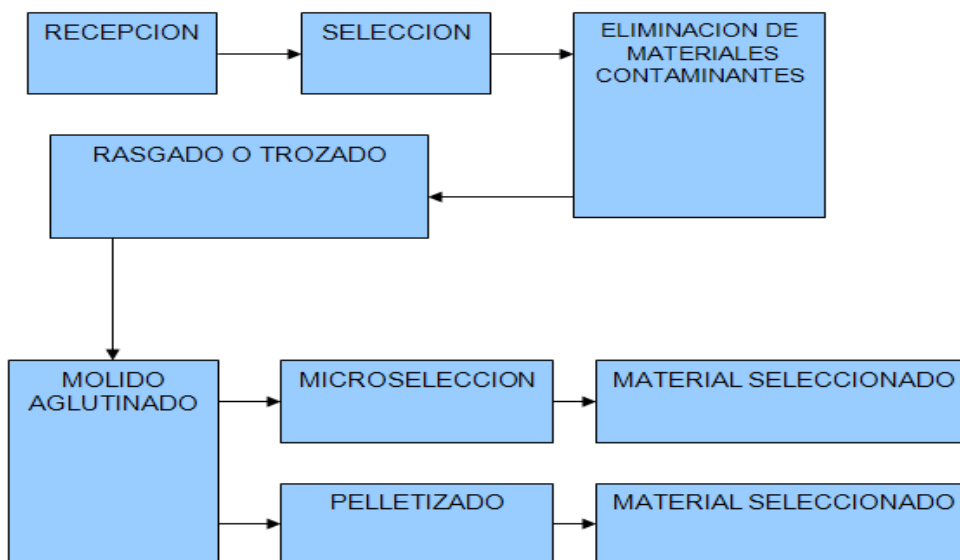
Las características predominantes de este ventajoso polímero se enuncian a

continuación:

- 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.
- Tiene buena resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse.
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto no presenta mucha humedad.
- El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).

7. PROCESOS PARA EL RECICLADO DE UNA BOLSA

Figura 8. Ciclo de reciclabilidad de una bolsa plástica.



Disponible en: <<http://www.plastivida.com.ar>>

En los últimos años, en la ciudad, la disposición de residuos sólidos viene siendo objeto de programas de educación liderados por la alcaldía para su manejo integral. Estas campañas hacen mucho énfasis en la separación en la fuente. La idea es que la comunidad conozca por medio de una educación informal el impacto de los residuos en la ciudad, y los beneficios que traería la separación en la fuente. El esquema general del proceso de los residuos es el siguiente. Luego de la generación del residuo, si este no va a ser reutilizado se procede a hacer una separación y almacenamiento en la fuente. Este esquema aplica para todos los generadores de residuos sólidos, tanto para hogares, como para el comercio, las empresas y las instituciones, colegios, universidades, hospitales, entre otros. En general se podría decir que la separación de estos residuos se divide en 3 categorías. La primera de las categorías esta representada por los residuos

sólidos convencionales, en esta categoría encontramos residuos sólidos reciclables y no reciclables. Dentro de la categoría de los reciclables se encuentran la mayoría de los plásticos. Casi el 90% de los plásticos es reciclable.

La segunda categoría esta conformada por los residuos sólidos peligrosos. Dentro de los residuos peligrosos encontramos las baterías, los celulares, aceites quemados, plaguicidas y los desechos hospitalarios. Estos residuos están regulados por el decreto 4741 del año 2005.

La última categoría es la de residuos sólidos especiales. En este grupo encontramos los residuos que por sus características no pueden ser dispuestos de manera convencional. Entre estos residuos encontramos los colchones, escombros, mesas, sillas, entre otros.

Luego de la separación y almacenamiento en la fuente se procede a la recolección y transporte por parte del ente encargado. El encargado de esta recolección y transporte para residuos sólidos convencionales es la empresa de aseo del municipio.

Después de esto se procede a tratar el residuo según su naturaleza. Los 4 tipos de tratamientos existentes en la ciudad son: reciclaje, compostaje, lombricultivo e incineración. De este proceso obtenemos unos residuos desechados y se procede con su disposición final.

La disposición final de los residuos sólidos esta legislada en el país por medio del decreto 838 del 2005 que modifica el decreto 1713 del 2002.

Para este estudio, las fases importantes de la disposición de residuos sólidos se encuentran en la separación de residuos y en el reciclaje.

7.1 SEPARACIÓN

Todo proceso de reciclado empieza en el punto donde la bolsa ya no es utilizada por el usuario y este se dispone a desecharla. Una bolsa plástica de compras tiene una vida útil de unos 20 minutos en promedio. Al momento de desechar estas bolsas el primer paso del proceso de reciclado es la separación de esta.

Al igual que existen 4 tipos de generadores de residuos sólidos, existen 4 calidades de estos residuos. Está el residuo comercial, el institucional, el industrial y el domestico. Estos residuos son llamados también, residuos postindustriales.

Los residuos industriales se encuentran en el ciclo primario, por imperfectos, rebabas, entre otros desechos que se producen en la elaboración de bienes. Para el caso de la industria de empaques flexibles, las bolsas que salgan con algún imperfecto pueden ser aprovechadas nuevamente dentro del proceso de producción.

Residuos generados por el comercio, instituciones, residencias e industrias que son producidos por que el producto ya fue usado se encuentran en el ciclo secundario y son llamados residuos post consumo.

Los residuos plásticos deben ser clasificados según la resina, el color y el proceso usado para la producción del bien que ha sido desechado. Entre los residuos que podemos encontrar, los cuales en su elaboración fue usado un proceso de extrusión, están: bolsas, perfiles, mangueras, entre otros.

Luego de la clasificación y separación del residuo se procede a la molienda o al aglutinado del material. Para el caso de empaques flexibles, bolsas, se aglutina.

7.2 PROCESO DE AGLUTINADO

Este es un proceso muy empírico, del cual no se encuentra fácilmente una información técnica. En resumen, el aglutinado de las bolsas consiste en compactar estas, formando lo que llaman en el medio “crispeta”.

Antes de entrar al aglutinado la bolsa debe pasar por un proceso de lavado si es requerido.

La aglutinadora tiene forma de una licuadora grande. Está compuesta por un cilindro o barril, el cual en su fondo tiene unas cuchillas que son impulsadas por un motor. La fricción que se genera entre el plástico y la cuchilla, igualmente entre el mismo plástico y también entre el plástico y el cilindro, producen calor. Este calor es el que produce que las bolsas se contraigan, se compacten y formen el aglutinado, las “crispetas”.

A continuación en las figuras 9 y 10, se ven respectivamente 2 fotos de la aglutinadora que se uso para las pruebas del trabajo y 2 fotos del material aglutinado que se obtuvo luego del proceso. En la figura 11 se puede ver el material aglutinado de las bolsas biodegradables. En la figura 12 se ve el material aglutinado de las bolsas sintéticas sin el aditivo que las convierte en bolsas biodegradables.

Figura 9. Máquina aglutinadora



Martinez, 2008

Figura 10. Vista interior maquina aglutinadora



Martínez, 2008

Figura 11. Muestra 1 de material aglutinado



Martínez, 2008

Figura 12. Muestra 2 de material aglutinado



Martínez, 2008

7.3 PROCESO DE PELLETIZADO

En esta fase del proceso de reciclado mecánico el plástico se encuentra granulado, limpio y seco.

En el caso de las bolsas, el plástico tiene la forma que se ve en las figuras 11 y 12. Con esta forma el material puede ser introducido en un cilindro de extrusión para ser pelletizado. Para esto se requiere fundir el material, éste fluye a través de un tornillo el cual obliga a pasar el plástico por un orificio. Este dado tiene un orificio que le da la forma requerida al producto. La forma requerida para pelletizar es un cilindro, la extrusión es un proceso continuo, por lo tanto se obtiene un cilindro continuo que luego de enfriarse se corta en pedazos más pequeños llamados pellets.

Existen muchos tipos de extrusoras, que pueden llegar a tener 1 o 2 tornillos, para el proceso de pelletizado utilizado en el reciclaje de bolsas plásticas sólo es necesaria una extrusora con 1 tornillo.

Se debe tener en cuenta que si las bolsas contienen tinta, representada en logos y otros, puede ser necesaria una extrusora con desgasificador, para que al momento de la evaporación de las tintas por el calor producido, la extrusora pueda evacuar estos gases, de lo contrario se pueden presentar daños en la maquina o en el material.

Es importante controlar en este proceso la velocidad tanto del tornillo y la velocidad de enfriamiento con el fin de no afectar la cristalinidad del producto o el índice de fluidez debido al cizallamiento producido al interior del producto.

Velocidades de enfriamiento muy altas dan colores que tienden a amarillo en plásticos con mucha transparencia debido al tiempo que tardan las cadenas y

enlaces de estas en organizarse.

Los principales factores a tener en cuenta son la temperatura final del pellet, es importante enfriar con aire para crear una capa en el exterior y evitar un choque térmico al enfriar el pellet en agua.

Velocidades del tornillo muy altas generan grandes fuerzas de cizalla rompiendo las cadenas y enlaces moleculares afectando la viscosidad del plástico en estado fundido, esto se ve reflejado en índices de fluidez altos y por ende estos materiales no son aptos para procesos de extrusión-soplado proceso por el cual son elaboradas las bolsas plásticas.

Procesos de pelletizado óptimos deben controlar estos dos parámetros con el fin de garantizar un producto reutilizable en condiciones favorables para la industria.

Después de todo este proceso de reciclaje y teniendo el material en pellets, este se puede reutilizar en un proceso productivo.

El uso que se le puede dar al material que proviene de bolsas recicladas es muy amplio. Se pueden utilizar para la producción de casi cualquier pieza y objeto elaborado a partir de plásticos reciclados. Entre sus aplicaciones se encuentra la producción de mangueras, estibas, tapas de alcantarillado, entre muchas otras.

8. CARACTERIZACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Cuando se trata de caracterizar una persona o cosa se hace referencia a la determinación de las características únicas que tiene un ser u objeto, que lo diferencia de todos los demás. Si este concepto lo utilizamos en la caracterización de una bolsa biodegradable, haría referencia a la determinación de las propiedades que tiene este polímero del que está hecho la bolsa.

La caracterización de un plástico o la determinación de las propiedades de este tienen un gran uso para conocer su comportamiento tanto en la fabricación de cada uno de los productos como el comportamiento del producto en sí.

Conociendo el comportamiento en la fabricación se pueden generar fichas técnicas de cada uno de los materiales lo cual desencadena en unas mejores técnicas de fabricación.

Las propiedades de un material polimérico se pueden dividir en cuatro grupos importantes.

- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas
- Propiedades químicas
- Propiedades térmicas

Existen varias técnicas que nos permiten conocer casi todas las propiedades de un plástico, estos son los llamados ensayos de caracterización.

8.1 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los más usados y los más conocidos son los ensayos de tracción, flexión, compresión, con los cuales se pueden conocer los esfuerzos y las deformaciones de determinado plástico.

Para conocer la cantidad de energía que es capaz de absorber al recibir un golpe se utilizan ensayos de impacto tales como el izod, el charpy, entre otros.

También se puede conocer la dureza a través de diversos métodos como el durómetro o el método Rockwell.

8.2 CARACTERIZACIÓN TÉRMICA

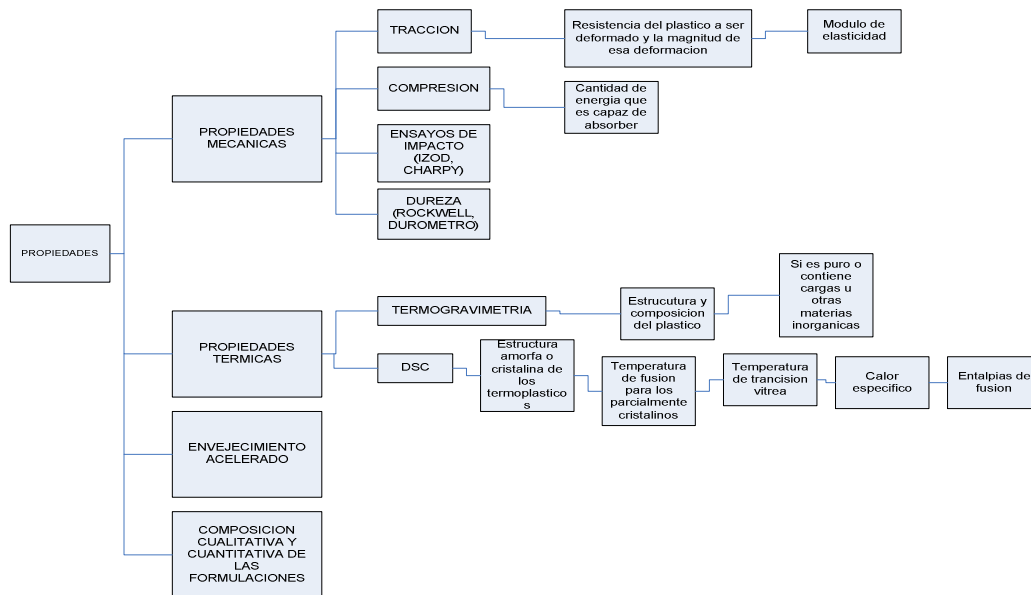
Esta es una de las caracterizaciones más importantes ya que la temperatura influye en la mayoría de las propiedades de los plásticos. Con esta caracterización se puede llegar a entender muy bien la estructura y composición del plástico.

Existen algunos métodos como el de termo gravimetría que nos permite saber si el material es puro o contiene cargas.

El índice de fluidez es una medida indirecta del peso molecular del polímero en estado fundido.

En el siguiente esquema podemos ver resumidas estas caracterizaciones:

Figura 13. Esquema de caracterización



Disponible en:

<http://www.unizar.es/actividades_fq/identificacion_plasticos/documentos/caracteriza_plasticos.pdf>

De todas estas propiedades, para este proyecto la que más importa es el índice de fluidez, ya que este se puede asociar al degradamiento del plástico.

9. PROBLEMAS AMBIENTALES DE LAS BOLSAS PLÁSTICAS

Existe un continuo movimiento a nivel mundial que pretende prohibir el uso de bolsas plásticas, debido a los graves problemas que causan al medio ambiente. Países como Irlanda, Australia, Bangladesh, Italia, Sudáfrica, Taiwán y China están atacando este asunto y las acciones empiezan a agitarse en los Estados Unidos, nuestro país no escapa a esto y día a día se trabaja por aprobar leyes que involucren el uso desmedido de bolsas plásticas.

Los críticos de las bolsas dicen que ellas agotan los recursos naturales, consumen energía para su manufactura, crean basura, asfixian especies marinas y aumentan la cantidad de rellenos sanitarios, tal despilfarro de los recursos tienen en aprietos a las empresas productoras, entidades estatales y organizaciones que trabajan en pro del medio ambiente.

Algunos de los antecedentes que afectan el medio ambiente se mencionan a continuación

- Su elaboración produce contaminantes que contribuyen al calentamiento global.
- Se requiere un alto consumo de petróleo para su producción (37 millones de barriles de petróleo representa el consumo anual de bolsas de supermercado solo en China).
- Las tintas serigráficas con que se imprimen contienen residuos metálicos altamente tóxicos los cuales se depositan en los suelos contaminando finalmente las aguas subterráneas.
- Demoran más de 500 años en degradarse completamente y retrasan el ciclo de biodegradabilidad de desechos que si lo hacen, debido a que impiden la entrada

de microorganismos que descomponen los desechos orgánicos, en vertederos de la ciudad se extrajeron residuos con más de 20 años en perfecto estado pues el proceso normal de descomposición se vi afectado por este tipo de empaques plásticos.

- Según la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos, en el mundo se consumen cada año entre 500 y 1.000 millones de millones de bolsas plásticas. Menos del 1 por ciento de tales bolsas se recicla, porque resulta más costoso reciclar una bolsa usada que producir una nueva.
- Los procesos fisicoquímicos requeridos para reciclar una tonelada de bolsas cuestan 4.000 dólares aproximadamente y las materias primas que se recuperan se venden en insignificantes 32 dólares.
- Su presencia reduce la eficiencia de los vertederos municipales, retardando y hasta bloqueando el proceso de compostaje de la basura orgánica.
- La obstrucción de redes de descarga de aguas lluvias requieren trabajos y horas hombres que se podrían evitar, además todos estos desechos van directo a contaminar los afluentes.
- Las bolsas completas, trozos y fragmentos milimétricos son consumidos por organismos acuícolas, aéreos y terrestres, además contaminan las aguas subterráneas pues estas macropartículas se filtran fácilmente en el suelo después de una degradación parcial.
- El efecto sobre los animales puede ser catastrófico. Se han identificado cerca de 200 diferentes especies, sobre todo marinas, que las confunden con sus alimentos.
- Las lista de países que ya han prohibido las bolsas aludidas marcha en acelerado aumento. San Francisco figura como la primera ciudad en

proscribir las en los Estados Unidos. Oakland y Boston están considerando abolirlas totalmente.

9.1 PROPUESTAS Y MEDIDAS PARA REEMPLAZAR LAS BOLSAS COMUNES

- Impuesto al consumo de bolsas de supermercado, en varios países se ha implementado, en Irlanda el consumo de bolsas redujo en un 90%.
- Concientizar los fabricantes y distribuidores a recibir de vuelta y reciclar en forma segura las bolsas desechadas y otros envases plásticos, contribuyendo así a bajar el nivel de contaminación y de productos plásticos que paran en los vertederos de basura.
- Impulsar campañas en las grandes empresas que fomenten el uso de bolsas no plásticas.
- Usar bolsas de productos naturales donde su ciclo de vida es más corto, empaques de base de glucosa, fécula de papa y almidón están dentro de las opciones más viables, a su vez bolsas textiles de lana, cartón, cuero y paja,
- Avanzar en el diseño e implantación de sistemas integrados de gestión (SIG) de RSU en todo el país, que contemple la totalidad del problema de los residuos en forma organizada a nivel nacional y de forma sostenible, como fuente generadora de recursos y que a su vez evite el continuo crecimiento de vertimiento de residuos plásticos en los rellenos sanitarios.
- Promover, por parte de los municipios y la industria, la separación en origen de los residuos para facilitar el proceso de reciclado, comprometiéndose a hacer una recolección responsable y ordenada de los mismos.

10. CLASIFICACIÓN DE BOLSAS BIODEGRADABLES

El primero viene representado por los llamados materiales plásticos biodegradables o hidro-biodegradables, el segundo grupo esta representado por materiales plásticos llamados degradables, totalmente degradables u oxo-biodegradables, que son plásticos que al ser combinados en su proceso de elaboración con ciertos aditivos se pueden degradar en el ambiente.

En el primer grupo, estos plásticos, sólo se degradan en un ambiente biológicamente activo. Estos también están representados por varios tipos de plásticos biodegradables. Una breve descripción de algunos de ellos aparece a continuación.

10.1 La neobolsa

Este plástico biodegradable fue inventado por franceses. En síntesis es una bolsa de polietileno la cual tiene una composición química que hace que ésta se biodegrade en unos 3 años.

10.2 Plásticos hechos a partir de almidón

Estos plásticos pueden ser producidos a partir del almidón que es un derivado que puede ser extraído del maíz o la yuca. La creación de este tipo de plástico es de origen italiano. Estos plásticos se degradan por un proceso llamado hidrodegradación. Este proceso requiere de un ambiente microbiano muy activo, y solo se empieza cuando las condiciones son óptimas. Además de este problema, este proceso muchas veces no degrada completamente el plástico dejando partículas remanentes de plástico que son perjudiciales. Con este proceso se emite dióxido de carbono. Otro de los grandes problemas con estos empaques plásticos es el coste de producción que supera 3 veces a la producción de empaques de polietileno.

Otra de las grandes preocupaciones con este tipo de plástico es el uso de alimentos para la producción de bienes no consumibles, esto causa un aumento en el precio de los alimentos.

10.3 Plásticos foto-degradables

Estos solo se degradaran en presencia de la luz solar, lo cual representa un gran problema cuando estos plásticos llegan a un relleno sanitario.

10.4 Plásticos con poliésteres alifáticos

Igual que los plásticos producidos a partir de almidón, requieren de un ambiente microbiano muy activo.

Cada uno de estos plásticos tiene un precio y un uso muy diferente.

En el segundo grupo encontramos las bolsas oxo-biodegradables. Este tipo de bolsas son biodegradables gracias a la combinación de ciertos aditivos durante su elaboración. Pueden ser elaboradas a partir de polietileno, igual que la gran mayoría de bolsas. Estos aditivos pueden degradar casi todos los plásticos flexibles y se usan los mismos procesos productivos en su elaboración.

La degradación por medio de estos aditivos consta de dos etapas, en la primera etapa el plástico reacciona con el oxígeno fragmentándose en pequeñas porciones las cuales tienen la capacidad de absorber agua. Luego en presencia del oxígeno y la humedad se proporciona un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos. Esta primera etapa se inicia según la vida útil programada en la producción del bien, por lo tanto en teoría, el producto en ese momento es desechado, y al ser sometido a la exposición de cualquiera de los siguientes factores, calor, luz solar o estrés mecánico inicia esta etapa.

En la segunda etapa los microorganismos desarrollados en la primera comienzan

a digerir las moléculas de los materiales oxidados ya que estas se vuelven lo suficientemente pequeñas. En esta etapa se producen dióxido de carbono, agua y biomasa, de esta manera el plástico queda totalmente degradado y devuelto al ambiente.

Esta tecnología fue desarrollada entre los años 70 y 80, pero sólo a finales de los 90 la empresa Symphony Environmental la empieza a comercializar con el nombre d2w™. Según esta empresa los materiales producidos con este aditivo pueden ser programados durante su producción para que se degraden en un lapso de tiempo que está entre 60 días y 6 años, después de fabricados. Los aditivos de esta empresa se encuentran protegidos por patentes internacionales y secreto comercial, por lo tanto es muy complicado conocer su composición química. La empresa cuenta con certificados y sellos de calidad, a continuación se presenta una tabla con estos certificados.

Tabla 1. Certificados y sellos de calidad

CERTIFICADOS Y SELLOS DE CALIDAD	
CERTIFICADOS DE CALIDAD	ISO
	HACCP
	BPM
CERTIFICADOS DE VALIDACION TECNOLOGICA	RAPRA TECHNOLOGY
CERTIFICADOS DE SEGURIDAD AMBIENTAL	DIN V 54900-3
SEGURIDAD PARA EL CONTACTO CON ALIMENTOS	FDA CAPITULO 21 SECCION 177.1520

Disponible en: <<http://www.degradable.com.co>>

Los certificados de validación de tecnología han demostrado la degradación y estabilidad de los polímeros. Los certificados de seguridad ambiental probaron que los aditivos no hacen ningún daño al ambiente, esto incluye el recurso más propenso a la contaminación de éstos, el suelo. En cuanto a la seguridad para el contacto con alimentos, los aditivos cumplen con los requisitos exigidos por las entidades encargadas de esto en países europeos, del reino unido y las de Estados Unidos.

Algunos de los siguientes datos internacionales están siendo usados en las campañas publicitarias de la empresa para promover sus aditivos:

- Un 56% de la basura plástica es de empaques usados, y de estos $\frac{3}{4}$ partes son de uso domestico.²
- En el mundo se consumen 1 millón de bolsas plásticas por minuto. Estas bolsas son muy contaminantes tanto en las ciudades como en los campos.
- Más del 50% de los residuos encontrados en el mar están compuestos de alguna forma de plástico.
- Un 90% de los empaques plásticos, 6 meses después de ser comprados, se convierten en basura.
- Más del 80% de los plásticos es usado una vez y luego desechado.

Estos y muchos datos más intentan mostrar al consumidor que el problema del plástico es muy grave.

Los aditivos comercializados por esta empresa son usados para la elaboración de las bolsas de los supermercados Consumo.

² http://www.todoenplastico.com/noticias/noticia.asp?id_noticia=119

Otro gran representante en el mundo de estos aditivos es la empresa EPI, la cual produce y comercializa estos aditivos con el nombre de TDPA, aditivos plásticos totalmente degradables. Los aditivos de esta empresa son los usados para la elaboración de las bolsas Exito, Pomona, Ley; también están siendo usados por la empresa productora de empaques flexibles, Plásticos Correa. Para usar los aditivos de esta empresa es necesario cumplir con unos estándares impuestos por EPI, con los cuales se asegura que las bolsas son completamente biodegradables. Para esto se deben enviar unas muestras a Canadá de los plásticos producidos con los aditivos, donde se les hacen unas pruebas de biodegradabilidad según la norma ASTM D6954-04, esta norma es una guía estándar que fue desarrollada con el propósito de verificar la degradación de los plásticos en el ambiente, en dos etapas, oxidación y biodegradación.

Con las opciones anteriores se puede ver que los plásticos oxo-biodegradables son una gran opción para un material tan usado en bienes producidos en masa y en tan diferentes aplicaciones. La mayor demanda de plásticos procesados se encuentra en el sector de empaques, siendo el mayor consumidor final el empaque de alimentos, seguido por la industria farmacéutica y de cosméticos.

En la tabla 2 se encuentran algunas de las ventajas de los plásticos oxo-biodegradables frente a los biodegradables.

Tabla 2. Comparación biodegradable contra oxo-biodegradable

VENTAJAS	
BIODEGRADABLE	OXO-BIODEGRADABLE
Desvío de alimentos para la producción de plásticos lo que ocasiona desequilibrios macroeconómicos.	La materia prima es un subproducto de la producción de combustibles .
No posee todas las propiedades del plástico tradicional.	Posee todas las propiedades del plástico tradicional.
La mayoría no son reciclables y si lo son requieren de un proceso de clasificación especial.	Son totalmente reutilizables y reciclables.
Para su degradación requieren de un ambiente biológicamente activo.	Para su degradación requieren aire y cualquiera de los siguientes factores: calor, luz solar, estrés mecánico.
Su degradación produce metano.	Su degradación produce dióxido de carbono, agua y biomasa.

Disponible en:

<<http://www.proplax.com/biblioteca/comunicado%20envases%20oxo-biodegradables.pdf>>

Estas y muchas otras ventajas las hacen muy atractivas para un mercado creciente y que además cada día se vuelve más exigente y consiente de la contaminación ambiental, por lo cual cada día más crecerá el mercado de productos que sean amigables con el ambiente, que contaminen lo menor posible o que no contaminen.

11. PLÁSTICOS BIODEGRADABLES EN MEDELLÍN

Este proyecto está enfocado para las bolsas plásticas usadas en los grandes supermercados o almacenes de cadena en la ciudad de Medellín. Para conocer qué tipo de bolsas plásticas están siendo usadas en el medio se realizó una investigación telefónica de los más grandes supermercados. Teniendo esta información se tomaron muestras de las bolsas que le conciernen a este trabajo. En la tabla 3 se muestra la investigación realizada.

Tabla 3. Grandes superficies y tipos de bolsas que emplean

NOMBRE	BIODEGRADABLE		ADITIVO
	SI	NO	
EXITO	X		TDPA
CARREFOUR		X	
CONSUMO	X		d2w
BOOM		X	
EURO		X	
CARULLA	X		TDPA
MERCADOS MADRID		X	
POMONA	X		TDPA
OLIMPICA		X	
LEY	X		TDPA
EL BARATILLO		X	

Martínez, 2008

Muchos de los supermercados ubicados en la plaza minorista no utilizan bolsas biodegradables.

A pesar de que telefónicamente se dijo que Carulla usa bolsas biodegradables, al tomar la muestra de esta bolsa no se encuentra ninguno de los sellos que proveen

las comercializadoras de estos aditivos y además no se encuentra ningún aviso, como en las demás bolsas biodegradables, de que estas lo sean.

El baratillo pertenece al municipio de Envigado, pero se podría decir que es el supermercado más grande de este municipio, por esto se agrego en la investigación, además informaron que se encontraban investigando para implementar el uso de estas bolsas biodegradables, y que en unos dos meses entrarían a utilizarlas.

El caso de Carrefour es diferente, a pesar de no usar bolsas biodegradables, este supermercado implementó el uso de bolsas de tela reutilizables. Su campaña está basada en un análisis del ciclo de vida completo del producto. Este análisis evalúa en cada etapa de la vida del producto el impacto ambiental producido. Por lo tanto desde la extracción de los recursos necesarios para la elaboración del bien, hasta su posterior disposición final, las bolsas plásticas impactan mucho más al ambiente que las bolsas de tela reutilizables. La tendencia de varios países del mundo es en esa dirección, bolsas reutilizables. Esta empresa ha venido trabajando en este aspecto en otros países en donde se encuentra presente, lo cual ha arrojado resultados positivos en países como Francia, Bélgica y España.

Con estas bolsas reutilizables el grupo Carrefour ha logrado reducir en un 50% la distribución de bolsas plásticas desechables. En Colombia distribuyen unas 100 millones de bolsas plásticas al año.

En Colombia esta empresa no distribuye las bolsas biodegradables pues argumentan que la degradación de estas solo se logra en condiciones controladas las cuales no están presentes en los rellenos sanitarios; adicionalmente estas bolsas no cumplen con las normas de biodegradabilidad y compostabilidad de la unión europea.

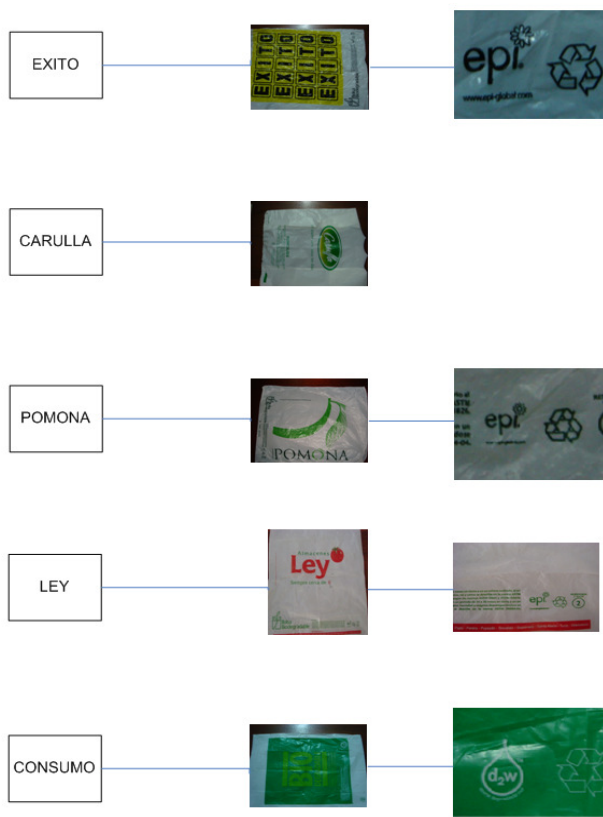
A pesar de estos argumentos, a partir de junio del año 2008 en los supermercados

de España se comenzaron a distribuir bolsas biodegradables producidas a partir de almidón, y estarán disponibles en las cajas de pago por un precio de 0,05 euros. Paralelamente también ofrecen las bolsas reutilizables.

Las bolsas reutilizables de Carrefour son las únicas que cuentan con el apoyo del ministerio de ambiente, el cual sostiene que es la mejor de las opciones en cuanto a empaques en supermercados, sin dejar de reconocer que son mejores las bolsas biodegradables que las bolsas plásticas tradicionales.

La figura 14 muestra fotos de las bolsas biodegradables de la investigación.

Figura 14. Empaques utilizados por los grandes almacenes



Martínez, 2008

12. ÍNDICE DE FLUIDEZ

Este nos habla acerca de la deformación y fluidez de un polímero. La prueba usada para hallar este índice de fluidez se mide en gr./10min, con presión y temperatura constantes. La temperatura se debe encontrar por encima de su temperatura de transición vítrea, en la cual el polímero deja de ser rígido.

La norma que rige esta prueba es la ASTM D1238 o también existe la ISO 1133, las cuales son muy similares.

En esta prueba se pretende hacer pasar cierta cantidad de material a través de un orificio con un diámetro conocido, haciendo uso de la fuerza de gravedad y un peso el cual provoca una presión sobre el material. Esta presión también debe ser conocida y constante como se dijo anteriormente.

Para esta prueba, la fluidez del polímero es función de la presión utilizada, el diámetro del orificio usado, y la viscosidad del material.

Este índice es muy importante para cualquier proceso de transformación de piezas termoplásticas.

Este índice puede darnos una medida de la degradación que ha sufrido el material como resultado de los procesos a los que ha sido sometido.

El índice de fluidez es una medida indirecta de la masa molecular y de la procesabilidad de los termoplásticos.

Para determinar el índice de fluidez se aplica el siguiente procedimiento:

- Se coge una pequeña muestra de polímero, entre unos 4 y 5 gramos. Este material es introducido en el viscosímetro, el cual se podría decir que es una extrusora en miniatura.
- Se debe tener cuidado al introducir el material, acomodándolo apropiadamente para evitar que se formen bolsas de aire.
- Se introduce el pistón el cual presionara el material para que pase a través del orificio.
- Se debe precalentar la muestra, para nuestro caso, el polietileno, se precalienta 5 minutos a 190 grados centígrados.
- Por último se pesa, con la mayor precisión posible, la muestra que paso a través del orificio, que está alrededor de los 2 mm de espesor y el índice de fluidez se expresa en gramos de polímero/10 minutos. Un índice de fluidez alto significa una capacidad de fluir fácilmente y un bajo grado de polimerización.

12.1 RELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE FLUIDEZ Y DENSIDAD

La radiación solar puede ocasionar una fragilidad en el polietileno. Con el aumento del peso molecular podemos contrarrestar esta fragilidad, ya que aumenta la resistencia a la radiación UV y a la intemperie. En principio toda la resistencia química del polietileno aumenta con la densidad.

La relación que existe entre el índice de fluidez y la densidad se analizara a continuación.

A menor índice de fluidez, mejoran las propiedades mecánicas en general para el proceso de extrusión-película tubular es necesario materias primas con índices de fluidez bajos, esto depende en gran parte de la longitud de las cadenas macromoleculares y por ende de su peso molecular.

Por otro lado, la densidad tiene relación directa con la rigidez. Al aumentar la densidad, la rigidez aumenta casi linealmente. También la densidad presenta una relación indirecta con propiedades como la resistencia al impacto, la cual disminuye linealmente con el aumento de la densidad. En la tabla 4 se muestra la relación entre el índice de fluidez y la densidad.

Tabla 4. Relación entre índice de fluidez y densidad.

		INDICE DE FLUIDEZ					
		CONSTANTE	AUMENTO	DISMINUCIÓN			
DENSIDAD	AUMENTO	↑	Barrera, Dureza, Resistencia a la tensión, Resistencia química	↑	Brillo de la superficie	↑	Rigidez, resistencia a la fluidez, resistencia al calor
	DISMINUCIÓN	↑	Flexibilidad, Elongación	↓	Claridad, Encogimiento de molde	↑	Tenacidad, Resistencia al fisuramiento por esfuerzos

Correa, 1993, p. 2-26

Estas variaciones regularmente se pueden aplicar para todos los tipos de polietileno.

El índice de fluidez está relacionado con el peso molecular, el grado de polimerización y la longitud de la cadena. El índice de fluidez también se relaciona con las cargas térmicas que ha sufrido el material, las cargas térmicas se podrían definir como los procesos sufridos por el material en los cuales se ha usado temperatura de fusión.

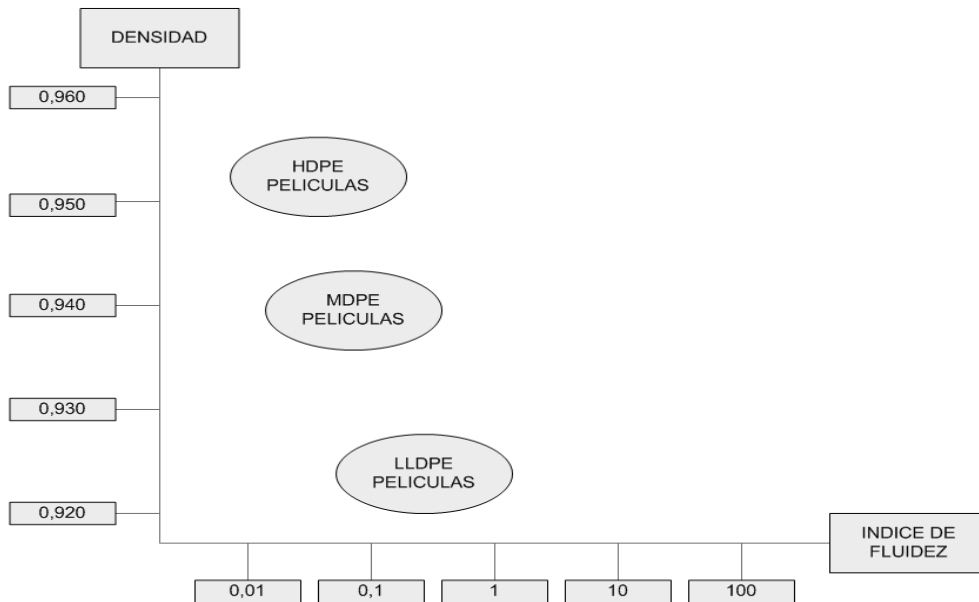
En resumen si el material se funde y se moldea varias veces sus propiedades físicas cambian gradualmente y el material se degrada.

Las velocidades de cizalla también afectan el índice de fluidez, en este ensayo las velocidades de cizalla son bajas debido a que se utilizó una extrusora de laboratorio a pequeña escala, por lo tanto el índice de fluidez experimental puede tomarse como una aproximación de referencia de la reología.

Cada proceso que interviene en el conformado del producto como en el reciclado del mismo, afecta el índice de fluidez al deteriorar los enlaces; aumentos significativos en esta medición, indican que pueden haberse roto estas cadenas, viéndose afectados por ende las propiedades mecánicas del producto final.

El proceso que se elija para la producción de un bien, a partir de polietileno depende de su índice de fluidez y su densidad. En la figura 15 se puede ver para la producción de películas, que es lo concerniente a este trabajo, según su índice de fluidez y densidad que tipo de polietileno se debe utilizar.

Figura 15. Esquema densidad vs índice de fluidez



Correa, 1993, p. 2-21

Para cada proceso se requiere un índice de fluidez diferente, en la tabla 5 se muestra para el polietileno, el índice de fluidez requerido para algunos procesos.

Tabla 5. Índice de fluidez requerido para algunos procesos

MFI PARA ALGUNOS PROCESOS	
PROCESO	MFI
ROTOMOLDEO	0,5-1,0
SOPLADO	1,0-2,0
EXTRUSION	2,0-5,0
INYECCION	7,0-3,0

Martínez, 2007

13. PRUEBAS Y ENSAYOS

Teniendo claro que el objetivo principal es conocer la reciclabilidad de las bolsas biodegradables, se realizarán unas pruebas de laboratorio (índice de fluidez), con las cuales se espera obtener una información valiosa para el análisis de este objetivo. Las pruebas de índice de fluidez fueron realizadas en el laboratorio de materiales de la universidad de Antioquia.

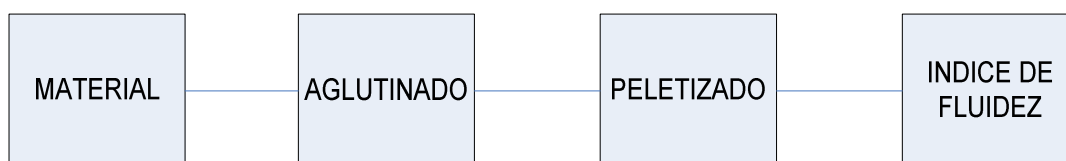
El material utilizado para estas pruebas, fue un material recolectado de un proceso industrial de elaboración de bolsas plásticas.

La empresa proveedora de este material fue plásticos Correa S.A. dedicados a la elaboración de empaques flexibles.

Este ensayo de índice de fluidez le fue aplicado a 5 muestras de material, conformado de diferentes formas.

El siguiente esquema muestra los pasos que se realizaron para el desarrollo de esta actividad.

Figura 16. Pasos requeridos para evaluar las muestras



Martínez, 2008

Según este esquema podemos clasificar la actividad en 4 etapas.

En la primera etapa, buscar el material, se consigue éste en la empresa que se

mencionó anteriormente, en la tabla 6 se muestran las cantidades obtenidas de material.

Tabla 6: Material recopilado para la prueba

MATERIAL OBTENIDO (en kilos)	
BIODEGRADABLE	NO BIODEGRADABLE
30	14

Martínez, 2008

A pesar de que la prueba de índice de fluidez no necesita más de 50 gramos, eran necesarias estas cantidades para el proceso de aglutinado y pelletizado.

De este material se sacaron 4 muestras para las pruebas, la tabla 7 muestra las proporciones de cada una de las muestras. Las muestras biodegradables de la tabla 7 son kilos de bolsas compuestas de polietileno y mezcladas con el aditivo TDPA en una proporción que oscila entre el 1% y 3%.

Tabla 7: Muestras desarrolladas para pruebas de laboratorio

MUESTRAS		
MUESTRA	BIODEGRADABLE	NO BIODEGRADABLE
1	14	0
2	5	5
3	3	7
4	8	2

Martínez, 2008

La muestra 1 se realiza con el fin de conocer el índice de fluidez de material reciclado totalmente biodegradable. Esto no se presenta en el medio. Se presentan combinaciones de bolsas biodegradables y bolsas sin aditivo, pero es importante para el proyecto y la investigación, conocer este índice de fluidez, de esta manera se tendrá un panorama más amplio.

El material conseguido, son bolsas que fueron rechazadas en el proceso de fabricación por algún motivo.

Luego de conseguir y clasificar el material en grupos para las pruebas, se procede a la aglutinación de las bolsas.

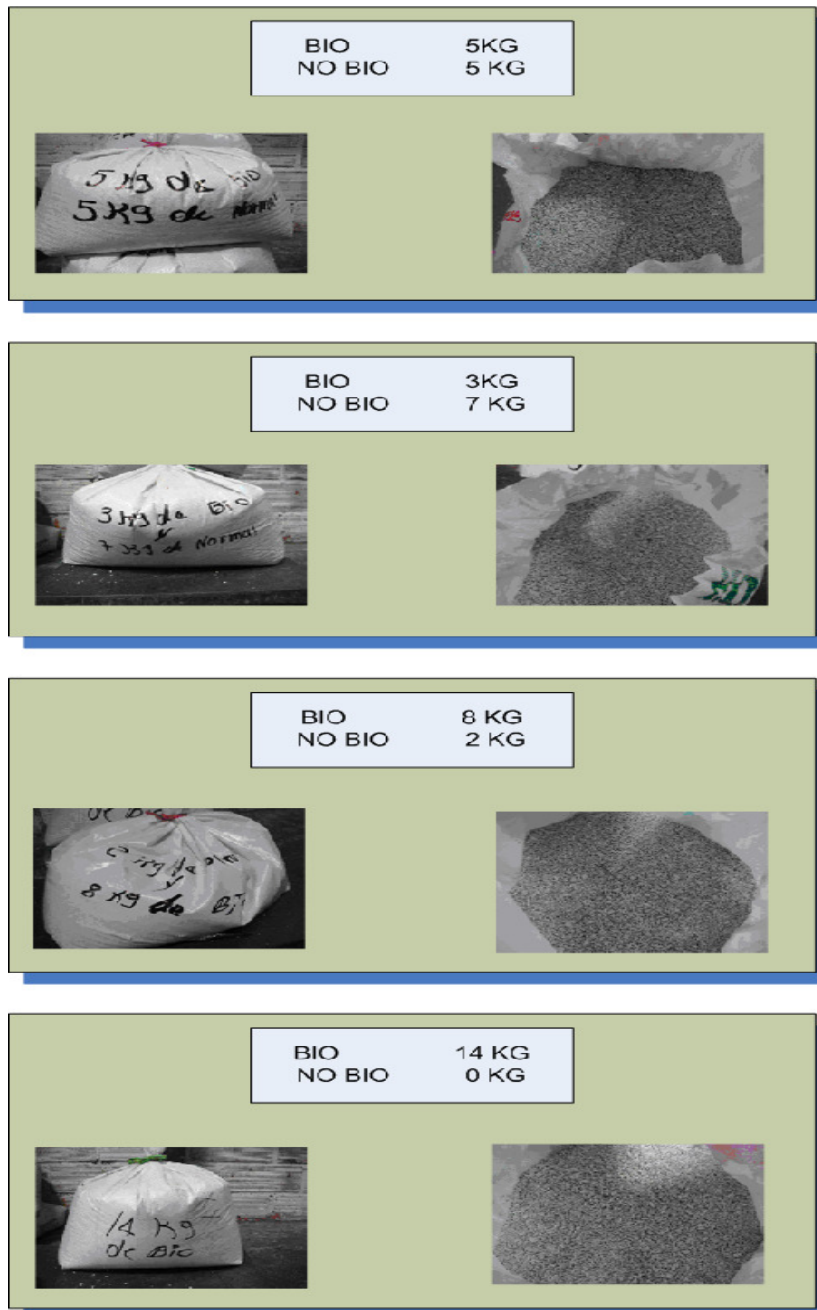
La segunda etapa es el aglutinado, en este proceso las bolsas separadas en grupos son aglutinadas en la empresa Condurriego Ltda; esta empresa se dedica a la elaboración de mangueras a partir de plástico reciclado, este plástico proviene de diferentes fuentes, entre ellas bolsas plásticas desechadas. Por lo tanto tienen todo el equipo para aglutinar, moler y acondicionar el plástico desechado que compran y el equipo para extruir las mangueras; en otras palabras tienen todos los equipos necesarios, desde que llega el plástico desechado, hasta la elaboración de las mangueras.

La aglutinadora usada es la que se puede ver en las figuras 9 y 10.

El costo en el mercado del proceso de aglutinación está entre los \$300 y \$500 el kilo más IVA.

A continuación se muestra el material aglutinado de cada una de las muestras.

Figura 17: Fotografías material aglutinado y su mezcla



Martínez, 2008

Tercera etapa, pelletizado. En esta etapa el material ya se encuentra aglomerado y puede procesarse en una extrusora para la producción de pellets.

Inicialmente, esta etapa sería realizada en una empresa cercana a Concurriegos, finalmente se hizo en la Universidad de Antioquia. Allí prestan el servicio de pelletizado, pero en cantidades pequeñas, lo cual era ideal para este proyecto ya que la cantidad final necesaria de material no sobrepasaba los 50 gramos.

El costo en el mercado de pelletizar material, se encuentra entre los \$450 y \$600 el kilo. Estos precios no toman en cuenta los de la Universidad de Antioquia, ya que no hace parte de un proceso productivo, allí pelletizar 100 gramos cuesta \$20.000.

Cuarta etapa, índice de fluidez. Como se dijo anteriormente, la norma que rige estas pruebas es la ASTM D1238; esta prueba se realizó en la Universidad de Antioquia, en el laboratorio de polímeros, que pertenece al departamento de Ingeniería de materiales.

Se realizó una prueba de índice de fluidez para cada una de las 4 muestras anteriores, mas, una muestra adicional de polietileno 100% no biodegradable. Este material también fue conseguido en la empresa plásticos Correa, la cual ya había sometido este material al proceso de aglutinado y pelletizado, encontrándose en similares condiciones a las otras 4 muestras.

Los resultados de estas pruebas se encuentran en el anexo A.

En el medio, estas pruebas no son fáciles de conseguir, además de la Universidad de Antioquia, el instituto del plástico ubicado en la Universidad Eafit, también presta este servicio.

Se intento averiguar en otras empresas, pero estas no prestan este servicio.

14. RESULTADOS

La tabla 8 muestra los resultados obtenidos de la prueba MFI realizada en los laboratorios de la Universidad de Antioquia.

Tabla 8. Resultados de las pruebas MFI para cada una de las muestras

RESULTADOS PRUEBAS MFI			
MUESTRA	BIODEGRADABLE	NO BIODEGRADABLE	INDICE DE FLUIDEZ
5	0%	100%	
3	30%	70%	0,142
2	50%	50%	0,190
4	80%	20%	0,185
1	100%	0%	0,200

Martínez, 2008

Los resultados se obtuvieron según la norma ASTM D1238. Los parámetros usados según esta son los siguientes:

- Peso usado para la prueba, teniendo en cuenta el tipo de polímero, 2,16 kg.
- Temperatura usada, también teniendo en cuenta el tipo de polímero, 190 grados centígrados.

Estos parámetros fueron usados para todas las muestras, exceptuando la muestra 5, la cual con los parámetros estandarizados no fluyó. Por lo tanto se modificó el

peso usado para que la muestra fluyera; esto quiere decir que el índice de fluidez mostrado en la tabla 8 fue hallado con parámetros diferentes a los requeridos por la norma. El parámetro diferente para esta muestra fue el peso. La muestra fluyó con un peso de 3,8 kg dando como resultado un índice de fluidez de 0,340. Por esta razón debe ser descartado este dato.

15. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizando los resultados de la tabla 8, se puede ver que al aumentar el material biodegradable en la mezcla, el índice de fluidez aumenta también; el aumento de este no es muy significativo, pero se podría decir que de un índice de fluidez muy cercano a cero, no existen índices de fluidez cero, para la mezcla donde el material biodegradable es 0, pasa a un índice de fluidez de 0,2 donde el material biodegradable es el 100%.

Este incremento en el índice de fluidez, pensado en función de procesos para la elaboración de productos, no es muy significativo si se ven los datos de la tabla 5 donde se muestran los índices de fluidez requeridos para algunos procesos con el polietileno. El rango de índice de fluidez requerido para trabajar el polietileno con estos procesos, se encuentra entre valores muy cercanos a cero y hasta 10. El primero es usado para el rotomoldeo, el último usado para inyección. Este rango de índices de fluidez abarca los procesos más comunes en la fabricación de productos con polietileno ya sea con o sin material biodegradable.

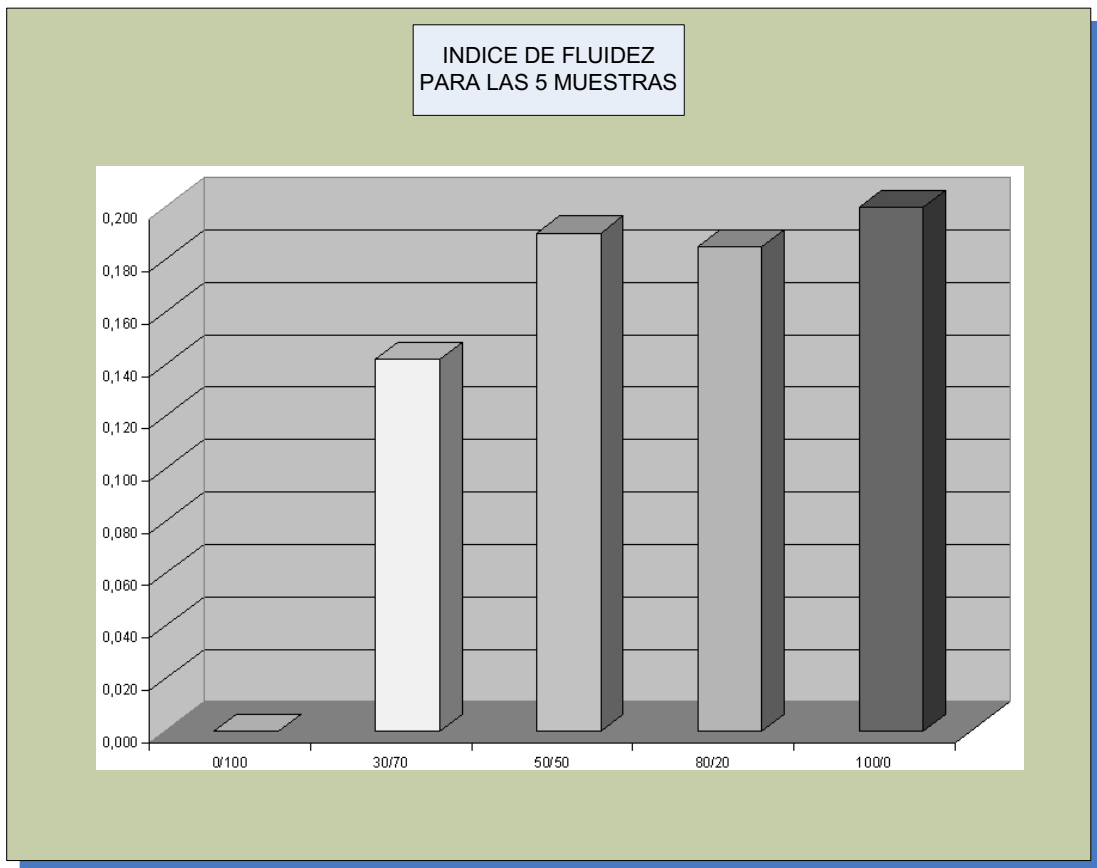
A pesar de que este incremento no es mucho, en función de los procesos, nos indica que al combinar material con aditivos que lo convierten en material oxo-biodegradable, y material sin estos aditivos, la mezcla resultante se encuentra más degradada, a medida que el porcentaje de material oxo-biodegradable aumenta.

Con el incremento del índice de fluidez, también existe pérdida de peso molecular. Con esta pérdida de peso molecular se pierden propiedades físicas y mecánicas del material.

En la figura 18 se puede ver como aumenta el índice de fluidez a medida que la cantidad de material biodegradable aumenta en la muestra.

En la mezcla 80/20 el incremento que se venía presentando en todas las muestras, toma un valor diferente, esto puede ser causado por diferentes motivos; pero en general se podría decir que a medida que aumenta la concentración de material biodegradable dentro de la mezcla, el índice de fluidez aumenta; concluyendo con esto, que el aumento es lineal.

Figura 18. Índice de fluidez obtenido para las muestras de laboratorio



Martínez, 2008

A continuación, se buscara la función que mejor se acomode a estos 5 datos. Para hallar esta función se usara el programa Matlab, con un código realizado en los primeros semestres de la carrera.

Este código se muestra en la figura 22.

Para hallar esta función, es necesario tener un vector de datos independientes, el cual será llamado en el código como "xe". También es necesario tener un vector de datos dependientes, en el código estos seran llamados "ye".

Los datos ingresados en el código son mostrados en la tabla 9.

Tabla 9. Vector independiente y dependiente ingresado al código

DATOS INGRESADOS EN EL CODIGO									
Vector datos independientes					Vector datos dependientes				
xe					ye				
0.000001	30	50	80	100	0.000001	0.142	0.190	0.185	0.200

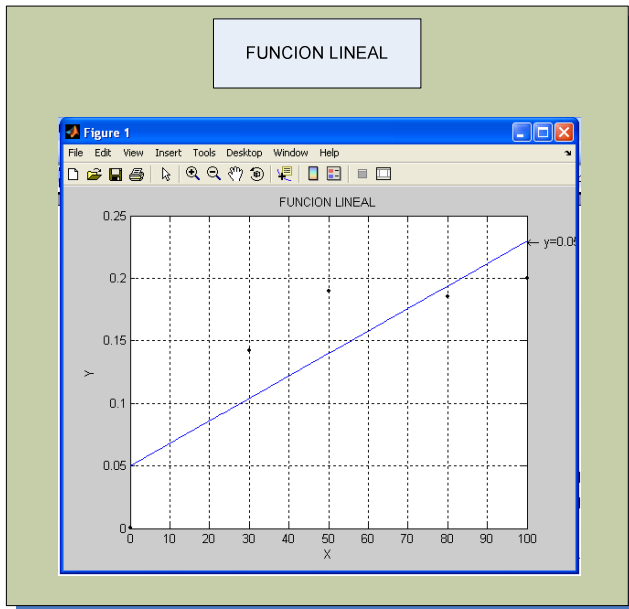
Martínez, 2008

Para efectos de cálculo, el primer termino del vector independiente y el dependiente es cercano a cero, pero no es cero; esto para evitar dentro del código la división por cero.

La mejor función que se ajusta a estos datos experimentales es la potencial.

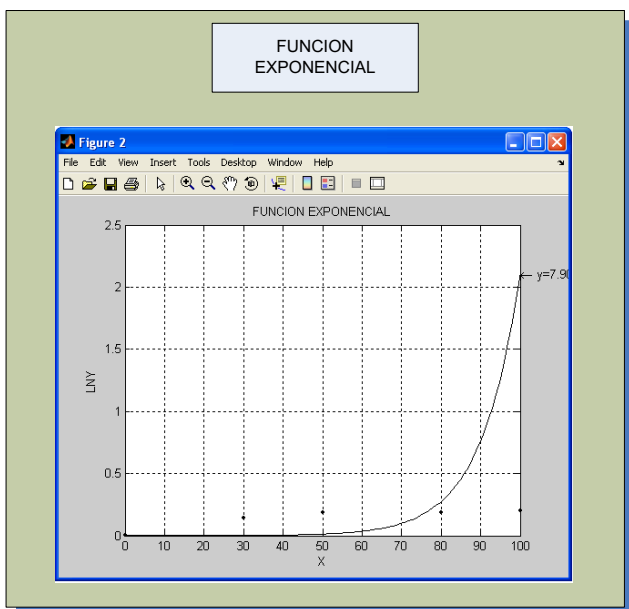
A continuación, se muestran las graficas de las funciones lineal, exponencial y potencial.

Figura 19. Función lineal



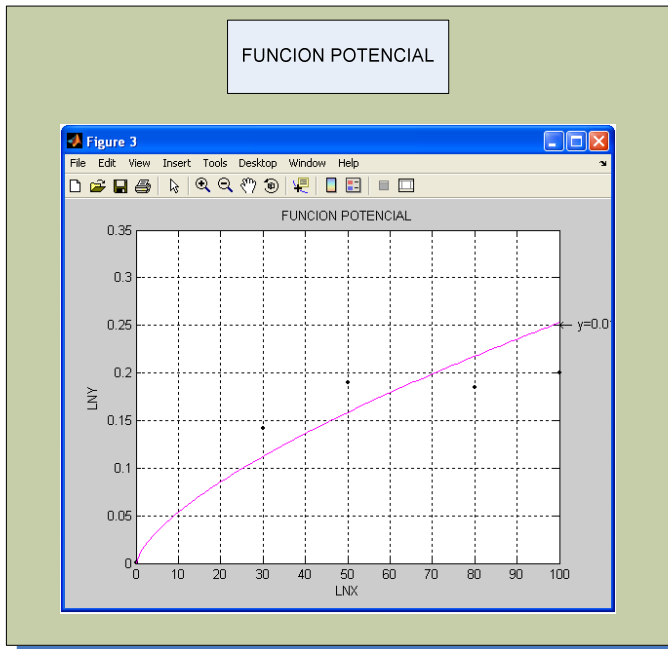
Martínez, 2008

Figura 20. Función exponencial



Martínez, 2008

Figura 21. Función potencial



Martínez, 2008

La función encontrada es:

$$Y = 0.011332 * X^{0.67426}$$

El error para esta función es de 0.0057

A pesar de que la función es la que mejor se acomoda a los datos, no se puede usar para hallar índices de fluidez.

Figura 22. Código Matlab para encontrar función de interpolación.

**CODIGO DE MATLAB
PARA HALLAR
FUNCION**

```

clc
xe=input('Ingrese el vector de datos independientes
(x): ')
ye=input('Ingrese el vector de datos dependientes (y):
')
n=length(xe);
p=length(ye);
if n~=p
    fprintf('algunos de los valores de x no tienen
correspondiente y')
else
    % Calculos por regresion lineal
    xy=xe.*ye;
    XY=sum(xy);
    X=sum(xe);
    Y=sum(ye);
    X2=xe.^2;
    X21=sum(X2);
    b=((n*XY)-(X*Y))/(n*X21-X^2);
    a=(Y)-b*(X)/n;
    j=a+b.*xe;
    erl=(ye-j).^2;
    ERL=sum(erl);
    % Calculos para funcion exponencial
    lnYe=log(ye);
    slnYe=sum(lnYe);
    xlnYe=xe.*lnYe;
    XLNYE=sum(xlnYe);
    m=((n*XLNYE)-(X*slnYe))/(n*X21-(X^2));
    LNA=(slnYe - m*X)/n;
    A=exp(LNA);
    W=A.*exp(m.*xe);
    efe=(ye-W).^2;
    EFE=sum(efe);

    % Calculos para la funcion potencial
    lnxe=log(xe);
    lnxe2=lnxe.^2;
    lnxe21=sum(lnxe2);
    slnxe=sum(lnxe);
    lnxy=lnxe.*lnYe;
    LNXY=sum(lnxy);
    M=((n*LNXY)-(slnxe*slnYe))/(n*lnxe21-(slnxe^2));
    LNR=(slnYe-M*slnxe)/n;
    R=exp(LNR);
    d=R.*xe.^M;
    efp=(ye-d).^2;
    EFP=sum(efp);
    % codigo para las graficas
    precision=100; %Precision de la curva ajustada
    xn=linspace(xe(1),xe(n),precision); %x para la curva
ajustada
    % aproximacion lineal
    flin=a+b*xn;
    figure(1)
    plot(xe,ye,'k.')
    hold on
    plot(xn,flin), title('FUNCION LINEAL'), ...
        xlabel('X'), ylabel('Y')
    label=strcat('leftarrow
y=',num2str(a),'+',num2str(b),'*x');
    text(xe(n),flin(precision),label,'HorizontalAlignment','left
')
    grid
    %Regresion exponencial
    flog=A.*exp(m*xn);
    figure(2)
    plot(xe,ye,'k.')
    hold on
    plot(xn,flog,'k'), title('FUNCION EXPONENCIAL'), ...
        xlabel('X'), ylabel('LNY')
    label=strcat('leftarrow
y=',num2str(A),'*e^{',num2str(m),'*x}');
    text(xe(n),flog(precision),label,'HorizontalAlignment','left
')
    grid
    %Regresion potencial
    fpow=R*xn.^M;
    figure(3)
    plot(xe,ye,'k.')
    hold on
    plot(xn,fpow,'m'), title('FUNCION POTENCIAL'), ...
        xlabel('LNX'), ylabel('LNY')
    label=strcat('leftarrow
y=',num2str(R),'*x^{',num2str(M),'}');
    text(xe(n),fpow(precision),label,'HorizontalAlignment','left
')
    grid
    % Comparar Errores
    disp('La ecuacion por regresion lineal es: ')
    strcat('y=',num2str(a),'+',num2str(b),'*x')
    disp('el error es de: ')
    disp(ERL)
    disp('La ecuacion como funcion exponencial: ')
    strcat('y=',num2str(A),'*e^{',num2str(m),'*x}')
    disp('el error es de: ')
    disp(EFE)
    disp('La ecuacion como funcion potencial: ')
    strcat('y=',num2str(R),'*x^{',num2str(M),'}')
    disp('el error es de: ')
    disp(EFP)

end
ERROR=min([ERL,EFE,EFP]);
switch ERROR
case ERL
    disp('El mejor ajuste es el lineal')
case EFE
    disp('El mejor ajuste es el exponencial')
case EFP
    disp('El mejor ajuste es el potencial')
end
    
```

Martínez, 2005

16. CONCLUSIONES

Los pasos para el reciclado de las bolsas plásticas oxo-biodegradables, son básicamente los mismos que se utilizan actualmente para bolsas no biodegradables. Es importante controlar la cantidad de material biodegradable que se usa en el reciclaje de las bolsas plásticas, ya que como se vio entre mas porcentaje de bolsas oxo-biodegradables se tengan, el índice de fluidez aumenta.

Actualmente, las bolsas biodegradables son mezcladas con las no biodegradables, en los procesos de reciclaje en bajos porcentajes, ya que su introducción al mercado ha sido lenta. Esto no es un indicativo negativo, simplemente el ofrecer al mercado una bolsa biodegradable no es fácil; ya que es necesario someterlas a procesos de certificación, emitidos por entidades especializadas y bajo rigurosas pruebas; estos parámetros no pueden ser cumplidos por cualquier fabricante de bolsas.

Es importante definir correctamente, la velocidad del tornillo extrusor a la hora de elaborar el pelletizado, para evitar deteriorar el material. Esto se debe al rompimiento de las cadenas y enlaces del polímero las cuales se ven afectadas por la fuerza de cizalladura producida en el cabezal del tornillo.

Las bajas velocidades del tornillo, evitan el rompimiento de las cadenas y los enlaces. En los ensayos realizados al material reciclado, tomado como referencia para el estudio del comportamiento de varias mezclas, se usó una extrusora de laboratorio la cual maneja unas velocidades de tornillo muy bajas y por ende tales resultados son comparativos y se convierten en una base para los procesos industriales.

En los ensayos, se nota un pequeño aumento en el índice de fluidez cuando en la

mezcla aumenta el material biodegradable, sin embargo cualquiera de estas mezclas es apta para trabajarse nuevamente en el proceso de película tubular obtenida por soplado, según datos experimentales y posterior producción de una bolsa industrialmente. Se debe tener en cuenta que el material analizado son muestras limpias, residuos postindustriales de fabricación de bolsas, tanto biodegradables como no biodegradables. Debe tenerse en cuenta, que en procesos muy exigentes tales como el rotomoldeo el cual requiere materiales con unos índices de fluidez muy bajos, estos se pueden ver en la tabla 5, es importante, realizar a una muestra de la materia prima, ensayos del índice de fluidez; con el fin de garantizar un proceso estable y un producto final que se adapte a los requerimientos del cliente, asegurando su vida útil.

En el proceso de pelletizado otro parámetro importante es la velocidad de enfriamiento, cuanto menor sea esta, menos ordenadas son las cadenas y enlaces; esto se ve reflejado en dos aspectos, la cristalinidad del producto final y la reducción del índice de fluidez. El choque térmico, producido por el enfriamiento brusco, impide el correcto agrupamiento de tales cadenas, reduciendo notablemente las propiedades mecánicas del polímero.

La maquinaria utilizada es parte de un buen proceso de reciclaje, entre menos expuesto este el material a cambios constantes de temperatura y a prolongados ciclos, mayor será su vida útil como polímero; un correcto pelletizado garantiza un proceso de fabricación sin complicaciones. Es necesario utilizar extrusoras para el pelletizado con desgasificadores, para evitar presencia de material deteriorado en el producto final. Las bolsas plásticas en su mayoría, contienen material impreso y por ende, tintas que se degradan y evaporan a menor temperatura, sin desgasificación; estas tintas que contienen materiales volátiles y disolventes hacen combustión y producen degradación del polímero.

Se puede concluir que el proceso de reciclaje, elaborado con los parámetros

correctos, no afecta el proceso de producción al que se someterá posteriormente; es necesario evaluar las condiciones del material recuperado, con el fin de elegir el proceso que mejor se adapte y así garantizar que el producto elaborado sea viable.

En cuanto a los procesos de producción de bolsas, en el cual se enfoca el proyecto, existen datos sobre el uso, que en promedio se les da a tales empaques; el tiempo de uso no es mayor a cinco minutos y el tiempo en bodega no es mayor a un año, con esto se concluye que tiempos cortos en los ciclos, garantizan que el material recircule al menos 1 vez por el proceso; además mezclado con material virgen (material que no ha sido reprocesado, en otras palabras reutilizado) el contenido de material biodegradable es mínimo.

Se puede observar que el comportamiento de la mezcla de polímeros con aditivos y polímeros sin aditivos depende sin duda de la cantidad de material biodegradable que tenga la mezcla.

El objetivo específico número 4 no se pudo lograr. Técnicamente, dentro del medio, no fue posible comprobar la biodegradabilidad de las bolsas. Este objetivo requería de unas pruebas que no se conseguían dentro de la ciudad.

17. RECOMENDACIONES

A partir de este proyecto de grado se pueden realizar muchas otras actividades en torno al tema de las bolsas oxo-biodegradables. Ya que a pesar de que el índice de fluidez es muy importante para cualquier proceso de transformación, no es el único parámetro a tener en cuenta a la hora de producir una bolsa. Por esta razón se puede decir que este proyecto de grado es un primer paso en el camino. A partir de éste se pueden realizar otras pruebas para soportar mejor la teoría. Entre las pruebas que se pueden realizar a partir de este proyecto se encuentran:

- Pruebas de tensión y de tracción
- Sellabilidad de la bolsa
- Pruebas de impacto
- Dureza

BIBLIOGRAFÍA

A.M.C. "Plásticos degradables". [En línea] Disponible en:
<www.degradable.com.co/plasticos/index>

CARREFOUR "Pagina principal Carrefour" [En línea] Disponible en:
<www.carrefour.es>

D2W "Degradable Plastics" [En línea] Disponible en: <www.degradable.net>

EL EMPAQUE "Empaques que regresan al bio-ciclo natural" [En línea] Disponible en: <www.elempaque.com>

EPI "Oxo-Biodegradable Plastic Additives" [En línea] Disponible en:
<www.epi-global.com>

EUROPEAN BIOPLASTICS "Documento pdf plásticos biodegradables" [En línea] Disponible en: <www.european-bioplastics.org>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos, presentación y referencias bibliografiadas. Sexta actualización Bogota, ICONTEC 2008, 110 p.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ZAPOPAN "Oxo-biodegradación" [En línea] Disponible en: <www.campus.itszapopan.edu.mx>

LAB PLAST "Equipos para pruebas de laboratorio" [En línea] Disponible en: <www.labplast.net/equipos/>

PLASTIVIDA “Biblioteca técnica” [En línea] Disponible en:
<www.plastivida.com.ar>

PROPLAX “Oxo Biodegradables” [En línea] Disponible en:
<<http://www.proplax.com/biblioteca/comunicado%20envases%20oxo-biodegradables.pdf>>

QUIMICOS 3 “Símbolos materiales termoplásticos” [En línea] Disponible en:
<<http://quimicos3.blogspot.com>>

REVISTA IMPACTO AMBIENTAL “Impacto ambiental” [En línea] Disponible en:
<www.iambiental.cl>

RAVE, Roberto. Inyección de plásticos, propiedades de los polímeros. Pedro Martínez. Medellín: EAFIT, Agosto de 2007 (Notas de clase).

SCHWARZ, Otto. Ciencia de los plásticos. Montevideo: Grupo Editorial Costa Nogal. 2002. ISBN 3-8023-1815-3.

SEMINARIO MATERIALES PLÁSTICOS. Materiales plásticos. Medellín. ICIPC. 1993.

SYMPHONY ENVIRONMENTAL “Plástico 100% degradable” [En línea] Disponible en: <www.es.oxibio.net/about/porque%20degradavel>

TODO EN PLÁSTICO “Reciclaje asunto grande para pequeños” [En línea]. Disponible en: <www.todoenplastico.com>

UNIZAR “Identificación Plásticos” [En línea] Disponible en:
<http://www.unizar.es/actividades_fq/identificacion_plasticos/documentos/caracteriza_plasticos.pdf>

ANEXO A



INFORME DE ENSAYOS DE MFI REALIZADOS A CINCO MUESTRAS DE POLIETILENO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES
LABORATORIO DE MATERIALES POLIMÉRICOS
MEDELLIN
2008**

1. LUGAR DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Laboratorio de Polímeros. Bloque 18 – 328. Universidad de Antioquia.
Ciudad Universitaria. Medellín

2. NOMBRE DEL CLIENTE

Responsable: Pedro José Martínez Henao

3. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO

5 muestras de Polietileno identificadas de la siguiente manera:

3.1 MUESTRA DE COLOR NEGRO

3.2 50 BIODEGRADABLE- 50 NORMAL

3.3 30 BIODEGRADABLE -70 NORMAL

3.4 80 BIODEGRADABLE 20 NORMAL

3.5 100 BIODEGRADABLE

4. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS ORDENADOS POR EL CLIENTE

Ensayos de Índice de Fluidez (MFI)

5. MÉTODOS DE ENSAYO

ASTM D 1238: Standard Test Method for Melt for Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer

6. CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura: 190°C

Carga: 2.16Kg

7. EQUIPOS DE ENSAYO

Medidor de Índice de Fluidez, marca Atlas Electric Devices

8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

8.1 MUESTRA DE COLOR NEGRO

MFI (g/10min)	PROMEDIO
0.323	0.340
0.337	
0.360	

8.2 50 BIODEGRADABLE- 50 NORMAL

MFI (g/10min)	PROMEDIO
0,195	0,190
0,180	
0,195	

8.3 30 BIODEGRADABLE -70 NORMAL

MFI (g/10min)	PROMEDIO
0,150	0,142
0,150	
0,127	

8.4 80 BIODEGRADABLE 20 NORMAL

MFI (g/10min)	PROMEDIO
0,188	0,185
0,188	
0,180	

8.5 100 BIODEGRADABLE

MFI (g/10min)	PROMEDIO
0,195	0,200
0,203	
0,203	

9. FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Octubre 30 y 31 de 2008

10. FECHA DE EXPEDICIÓN DEL INFORME

Noviembre 4 de 2008

11. ENSAYOS REALIZADOS POR

Natalia Trinidad zapata Montoya

Monitora del Laboratorio de Materiales Poliméricos

12. RESPONSABLE

Ing. Jairo Andrés Ospina Martínez

Profesor responsable del laboratorio

OBSERVACIÓN

- Este informe sólo hace referencia al material entregado y evaluado, sin embargo, no implica aprobación del producto por parte del Laboratorio.
- La muestra identificada como MUESTRA DE COLOR NEGRO presentó muy baja fluidez. Se realizó el ensayo bajo norma ASTM, y no reportó fluidez, por tal razón se cambió la carga por 3.8 Kg., y con esta carga sí fluyó, el valor que se encuentra reportado en la tabla es para este último valor de carga, y para el valor de otra carga es de no fluidez