

90



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**“PROPUESTA DE RECICLADO DE PLASTICOS
DE USO AUTOMOTRIZ”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

A R E A M E C A N I C A

P R E S E N T A N :

ANDRES DE TUONI FRAGA

JAVIER MACIEL ENRIQUEZ

ALEJANDRO SUAREZ HERRERA

DIRECTOR DE TESIS: ING. UBALDO EDUARDO MARQUEZ A.



MEXICO, D. F.

2000

25/12/00



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A Gabriel, tú sabes que esta Tesis también es tuya. Gracias por tu amistad.

Alejandro y Andrés

A mis padres: Vinicio y Magdalena por su ejemplo y su amor.

A mis hermanos: Aldo, Sergio, Ana Velia y Petra.

A mis abuelos: Santiago y Malena.

A mis nonos Aldo y Licia.

A María Fernanda con todo mi amor y cariño, Gracias por todo chiquita.

Andrés

A mis pápas: José Ma. y Margarita
por su apoyo y confianza incondicional.

A mis hermanos:
Pepe y Margarina

A Janneth con cariño
Y a tí Julio por tu amistad .

Alex

Agradecemos a todo el Departamento de Capacitación de General Motors de México por su ayuda en la elaboración de este trabajo.

Agradecemos a Miguel, Esteban y Miguel Angel por su ayuda, apoyo y amistad.

INDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1.1
Capítulo 2. PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	2.1
2.1 Historia de los plásticos dentro de la industria automotriz	2.1
2.1.1 Panorama general	2.1
2.1.2 Consumo de plásticos en la industria del transporte en E.U. en 1977	2.4
2.2 Estado actual y tendencias de los plásticos en la industria automotriz	2.11
2.2.1 Reducción en el consumo de algunos materiales por causa de reciclaje	2.13
2.2.2 Competencia entre las defensas de olefinas termoplásticas con las de poliuretano en E.U.	2.16
2.2.3 Competencia entre algunos plásticos y el aluminio para ser usados en los interiores de los autos	2.19
2.3 El automóvil en el país	2.22
2.3.1 Producción nacional de automóviles	2.22
2.3.2 Accidentes automovilísticos en el país	2.24
2.4 Plásticos de ingeniería	2.27
2.4.1 Fundamentos de la ciencia y tecnología de polímeros	2.32
2.4.2 Categorías de polímeros	2.34
2.5 Plásticos de uso automotriz	2.36
2.5.1 Polímeros termoplásticos	2.36
2.5.2 Polímeros termoestables	2.41

Capítulo 3. PROCESOS DE MANUFACTURA	3.1
3.1 Clasificación y características generales de los procesos de manufactura para plásticos	3.1
3.2 Procesos de manufactura para termoplásticos	3.3
3.3 Procesos de manufactura para termofijos	3.10
Capítulo 4. PROPUESTAS DE PROCESOS DE MANUFACTURA PARA EL RECICLADO DE PLÁSTICOS	4.1
4.1 Necesidad de reciclado	4.1
4.1.1 Necesidades económicas	4.2
4.1.2 Necesidades ecológicas	4.3
4.2 Reciclado de materiales utilizados en la industria automotriz	4.5
4.2.1 Reciclado de metales	4.5
4.2.2 Reciclado de vidrio automotriz	4.7
4.2.3 Reciclado de plásticos	4.8
4.3 Procesos de reciclado de plásticos	4.10
4.3.1 Métodos de separación de los plásticos	4.14
4.3.2 Algunos métodos de reciclaje de plásticos	4.20
Capítulo 5. ANÁLISIS DEL PROCESO DE RECICLADO MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.	5.1
5.1 Proceso de obtención y reciclaje del plástico usado en las pruebas	5.2
5.1.1 Condiciones del proceso de inyección de las mezclas	5.5
5.2 Ensayos realizados al material reciclado	5.6
5.2.1 Ensayos de tracción	5.7
5.2.2 Ensayos de dureza	5.9

5.2.3 Ensayos de impacto	5.10
5.3 Resultados	5.11
5.3.1 Reportes de los ensayos de tracción	5.11
5.3.2 Reportes de los ensayos de dureza	5.28
5.3.3 Reportes de los ensayos de impactos	5.31
5.4 Análisis de Resultados	5.32
Capítulo 6. CONCLUSIONES	6.1
Capítulo 7. ANEXOS	7.1
7.1 Aplicaciones y desventajas de los plásticos automotrices	7.1
7.2 Características de algunos termoplásticos representativos	7.2
7.3 Desarrollo de los materiales avanzados	7.4
7.4 Distribución actual del mercado de los plásticos	7.5
7.5 Propiedades para la manufactura de algunos polímeros termofijos	7.6
7.6 Propiedades para la manufactura de algunos polímeros termoplásticos	7.7
7.7 Fuentes de tablas, gráficas y figuras	7.8
Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA	8.1

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
ABS	Acilonitrilo-Butadieno-Estireno
Al	Aluminio
As	Arsénico
ASTM	American Standard Test Materials
Bar	Bares
CA	Carbonatos
CFRP	Fibras de carbono
Cu	Cobre
c/p	Con pigmento
DAP	Dialyftalato
GFRP	Fibras de grafito
HDPE, PEAD	Poliétileno de alta densidad
HP	Caballos de potencia
Hz	Hertz
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
KN	Kilo Newtons
LDPE, PEBD	Poliétileno de baja densidad
Li	Litio
MPa	Mega Pascales
PA	Poliámidas
PAN	Poliacilonitrilo
PC	Policarbonatos
PE	Poliétileno
PET	Poliétilen-terefalato
PMMA	Polimetilmetacrilato
PNB	Producto Nacional Bruto
POM	Polióximetileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
Pts/seg	Puntos por segundo
PUR	Poliuretano
PVC	Cloruro de Polivinilo
RIM	Moldeo por reacción-inyección
RPM	Revoluciones por minuto
RRIM	Reinforced reaction injection molding
SRIM	Structural Reaction injection molding
Stdv (σ)	Desviación estándar
s/p	Sin pigmento
TPO	Olefinas termoplásticas

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz, sin duda alguna, es una de las industrias más importantes del mundo, si no es que la más importante. Esta industria produce anualmente millones de automóviles y emplea a millones de personas tanto de manera directa como indirecta.

Esta industria emplea para la elaboración de sus productos una gran diversidad de materias primas, entre las cuales se encuentran los metales, el vidrio y los polímeros, siendo estos últimos utilizados cada vez en mayores cantidades.

Debido a este aumento en el uso de materiales plásticos es que toma mayor importancia el reciclaje de este tipo de material en la industria automotriz. Este interés en el reciclaje se debe a razones tanto económicas como de carácter ecológico.

Dado que el plástico va perdiendo sus propiedades originales en el proceso de reciclado es necesario analizar dichos procesos para poder asegurar que un plástico reciclado pueda cumplir con una cierta aplicación después de su recuperación.

Es de gran importancia entonces analizar las propiedades de los plásticos reciclados para compararlas con las propiedades de los plásticos de primera mano y así reasignarles una nueva aplicación industrial de acuerdo a estas propiedades.

En este trabajo se propone la recuperación del material utilizado en las defensas o facias automotrices y un análisis basado en el comportamiento de sus propiedades. Esto se realizó utilizando tres diferentes mezclas en porcentaje y dos grupos de estudio de acuerdo a la presencia o ausencia de pigmento en la mezcla. Con este análisis se propuso determinar el índice de cambio en las propiedades de las diferentes mezclas reciclado-virgen para determinar su posible reuso.

En el capítulo II se hace una investigación de las características e importancia de los plásticos dentro de la industria, en especial la automotriz, así como el desarrollo de este mercado (el automotriz) a nivel nacional e internacional, con el fin de determinar cómo ha aumentado a través de los años el uso de los plásticos en la industria automotriz.

Dentro del capítulo III se analiza, como preámbulo al reciclaje de los plásticos, los procesos de manufactura de éstos en general, tanto de los termofijos como de los termoplásticos.

En el capítulo IV se revisará, de lo general a lo particular, el reciclaje de los materiales utilizados en la industria automotriz, finalizando con la descripción de los procesos de reciclaje de los plásticos.

El capítulo V contiene el procedimiento experimental que se siguió para determinar las propiedades de las diferentes mezclas, así como el análisis de los resultados de éste con el fin de determinar, como se mencionaba anteriormente, el cambio que presentan las propiedades de las mezclas de plásticos reciclados.

Finalmente, en el capítulo VI se presentan las conclusiones del trabajo en base al análisis de los resultados del capítulo anterior.

Lo que se pretende en el siguiente trabajo, es hacer un análisis de la potencialidad del reciclado de plásticos que se usan en la industria automotriz para otros usos donde se demanden menores propiedades.

CAPÍTULO II

*PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA
AUTOMOTRIZ*

II. PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Para poder analizar el papel que desempeñan actualmente los plásticos dentro de la industria del automóvil se tiene que hacer una revisión de cómo se ha desarrollado ésta. Asimismo, también se debe analizar cómo se ha desarrollado la industria del plástico dentro del ámbito automotriz. Además, será necesario analizar el futuro de los plásticos en esta área para hacer ver la fuerte interrelación que existe entre estas dos importantes industrias.

2.1 HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS DENTRO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

En la actualidad no se pueden imaginar muchas de las actividades de la vida sin el uso de los plásticos, dada la gran gama de aplicaciones de estos materiales en Ingeniería. Es por eso que se considera importante hacer una referencia al pasado para poder entender el presente de los plásticos en la industria automotriz.

2.1.1 PANORAMA GENERAL.

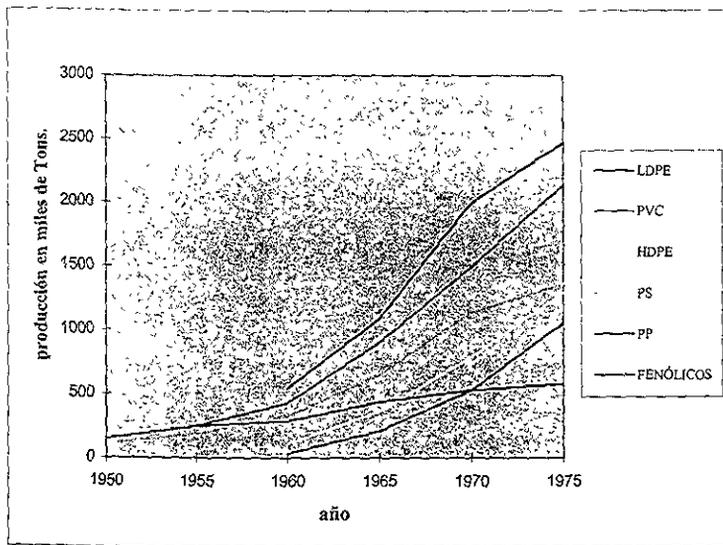
Ya en la década de los setentas se decía que el mejor cliente de la industria química orgánica era el sector de materiales plásticos y resinas. A ellos se vendían

no solamente monómeros para la fabricación de plásticos sino también, aunque en menor cantidad, los aditivos (plastificantes, estabilizadores, antioxidantes, etc.) necesarios para la formulación de los plásticos.

Así, las cifras que se mostrarán en este capítulo no incluyen fibras, elastómeros, recubrimientos, adhesivos, ni los productos asociados con ellos, como los productos químicos para el tratamiento de textiles.

En Estados Unidos, en 1977, el sector de los plásticos compró aproximadamente 4.7 millones de dólares en productos químicos orgánicos industriales y vendió aproximadamente 12.3 mil millones de dólares en plásticos y resinas, listos para la fabricación. En las ventas se incluyeron aproximadamente 600 millones de dólares en plastificantes cuya materia prima procede del sector de la química orgánica.

El crecimiento de la producción de plásticos en los Estados Unidos excedió considerablemente el crecimiento del PNB de ese país. De 1967 a 1976 el crecimiento anual fue del 16.9%. El consumo de plásticos per cápita fue de 32 kilogramos en 1966 y de 67 kilogramos una década después, como se muestra en la gráfica 2.1.



GRÁFICA 2.1 Producción de plásticos en E.U. desde 1950 hasta 1975

Sabemos que el plástico se produce en grandes cantidades, pero ¿Quién consume los plásticos? Dada la cantidad de plásticos disponible y su versatilidad significa que se venden a muchos niveles económicos. No obstante, es posible identificar 5 sectores que consumían entre sí más de la mitad de los plásticos que se producían en los Estados Unidos. Estos aparecen en la tabla que a continuación se presenta:

TABLA 2.1 Principales sectores consumidores de plásticos (E.U. 1977).

Aplicación	Millones de kg.	%
Empaque	3495	22.0
Edificios y construcciones	2860	18.0
Transporte	1110	7.0
Muebles	555	3.5
Aparatos domésticos	400	2.5
Otros mercados	7460	47.0
TOTAL	15875	100.0

2.1.2 CONSUMO DE PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA DEL TRANSPORTE EN LOS ESTADOS UNIDOS EN 1977.

Podemos citar como referencia válida el consumo de plásticos en la industria del transporte en los Estados Unidos en la segunda mitad de la década de los setentas, ya que en esta época se da el gran "bum" de la era del plástico. En ese país la industria del transporte consumió plásticos casi exclusivamente para vehículos de pasajeros. La fibra de vidrio abarcó tan sólo una pequeña sección del mercado de las carrocerías y en 1977 se consumieron aproximadamente 136 millones de kilogramos por año.

El plástico que se consumía en mayores volúmenes era la espuma de poliuretano (227 millones de kilogramos al año) y se empleaba principalmente para acojinamiento y tapicería (Figura 2.1), también se usaban como materiales para fabricar defensas de tipo elastomérico y microcelular. Después del poliuretano seguía el polipropileno (más de 136 millones de kilogramos al año), que se empleaba en decoraciones de interiores y cajas para acumuladores, seguido por el cloruro de polivinilo (aproximadamente 132 millones de kilogramos al año), para tapicería, como aislante eléctrico, y para copolímero ABS (aproximadamente 73 millones de kilogramos al año), ya que era y sigue siendo un plástico muy versátil para trabajos de ingeniería (Ver tabla 2.2).

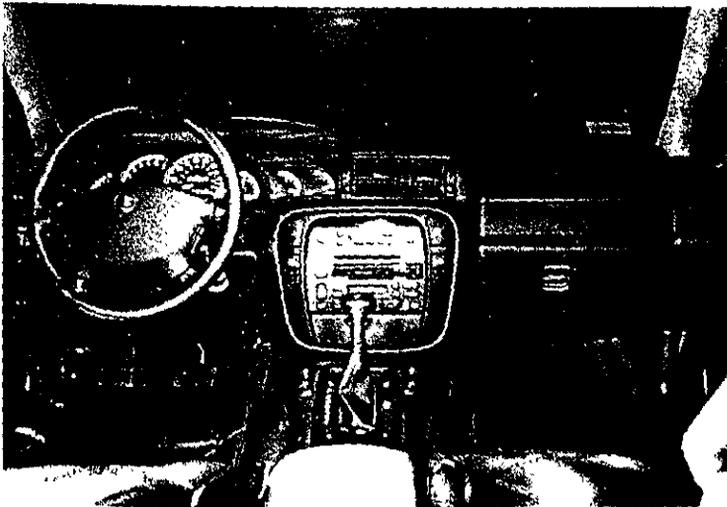


FIGURA 2.1 Uso de los polímeros (PVC, PUR, PP) en el interior de un automóvil

La espuma flexible de poliuretano para vestiduras constituía aproximadamente la mitad de los plásticos que se empleaban en la fabricación de asientos de automóviles.

TABLA 2.2 Principales termoplásticos usados en la construcción de autos en E.U. (1977).

PLÁSTICO	CONSUMO (millones de kg/año)	APLICACIONES
Polipropileno	136	Decoraciones de interiores, cajas para acumuladores
PVC	132	tapicería, aislante eléctrico

Con respecto a los elastómeros, la industria química vendió 316 millones de dólares de negro de humo en 1976, correspondiente al 93% de la producción de la industria del negro de humo, y la parte restante se empleó para tintas de imprenta, recubrimientos, plásticos y papel. Además, el 40% de la producción total de negro de humo, se empleó para neumáticos de automóviles, 35% para otras aplicaciones automotrices como mangueras y 18% para hules de tipo industrial como bandas transportadoras. (Figura 2.2)

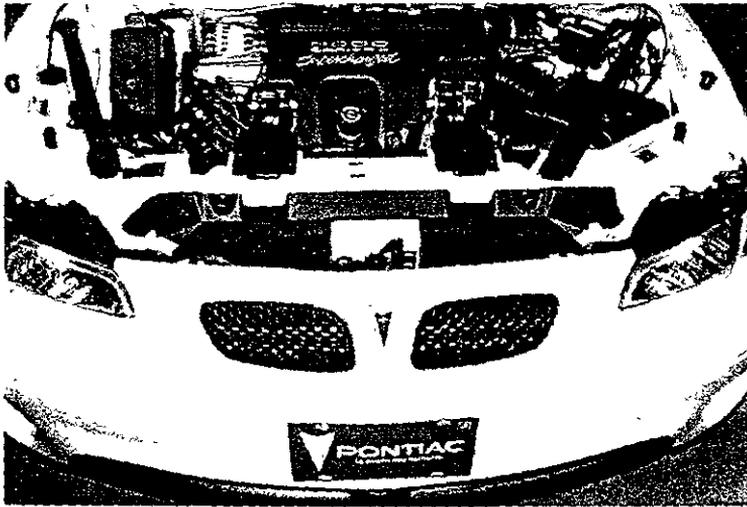


FIGURA 2.2 Consumo de plásticos en el interior del cofre

Los productos de la industria de los elastómeros se clasifican en 4 categorías: neumáticos y tubos internos, mangueras y bandas, calzado de hule y hule regenerado, y productos diversos. Al sector de neumáticos y tubería interna, corresponde el 67% de las ventas finales de la industria química. Como una parte de mangueras, bandas y diversos productos de hule también se emplea en automóviles, puede decirse que las aplicaciones automotrices dominaban entonces el mercado del hule.

Por otra parte, sabemos que los polímeros se emplean en muchas industrias y que pueden llegar a sustituir metales porque tienen gran resistencia y una densidad mucho menor. Esto implica no sólo que cuestan menos por centímetro cúbico, sino

que las estructuras que con ellos se fabrican pueden tener resistencia igual a la de los metales, pero menor peso, esto es, tienen una mayor resistencia específica. Hace tiempo que estas propiedades han sido aprovechadas por las industrias aeronáutica y espacial y la industria automotriz las empezó a aplicar para lograr menor peso y mayor eficiencia del combustible en la década mencionada. En la figura 2.3, se muestran algunas aplicaciones de los productos químicos y plásticos en el automóvil moderno. Los polímeros han substituido a la madera por tener mayor estabilidad dimensional y resistencia a los microorganismos. Asimismo, los polímeros pueden reemplazar al vidrio por tener mayor resistencia al impacto.

NOTA: Para ver la distribución actual del consumo de plásticos, ver anexo 7.4

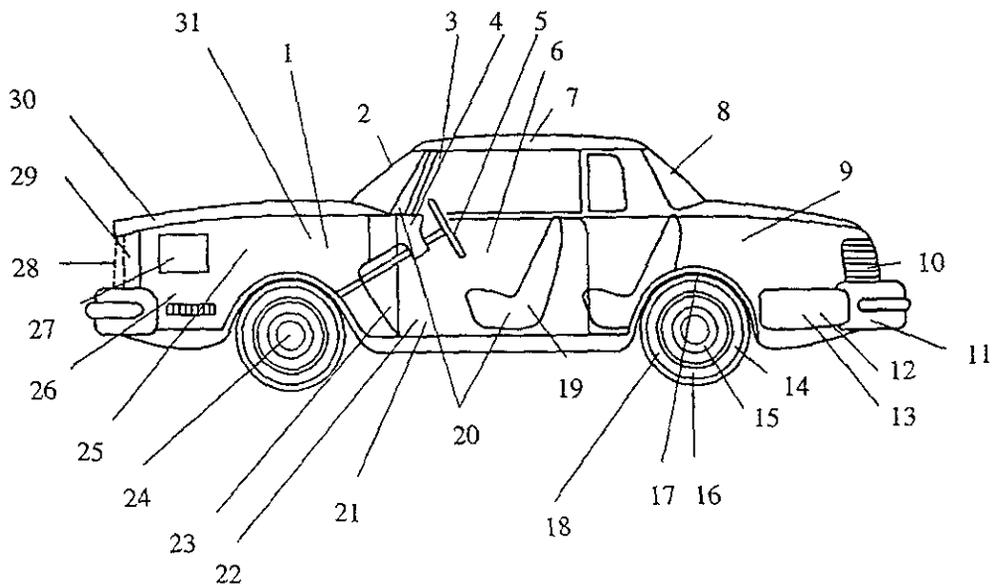


FIGURA 2.3 Plásticos y productos químicos usados en un automóvil moderno.

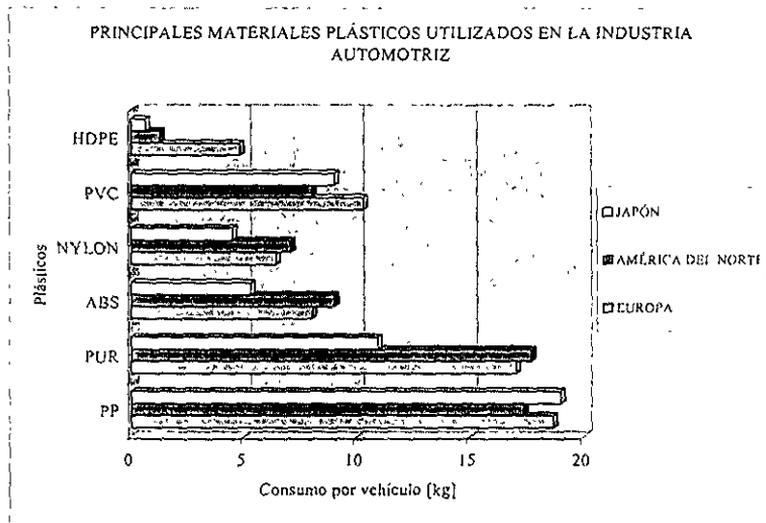
NOTA.

1. Tapa del distribuidor y otras partes eléctricas de fenolformaldehído.
2. Vidrio de seguridad de polivinil butírico.
3. Selladores para ventanas y puertas de hule de butadieno-estireno.
4. Ventanas y lentes del tablero de instrumentos de SAN. Compartimientos para instrumentos de fenolformaldehído.
5. Volante de acetato - butirato de celulosa.
6. Recubrimiento interior de cloruro de polivinilo, paneles laterales de polipropileno.
7. Techo de cloruro de polivinilo, adhesivo de vinilplastisol.
8. Selladores de las ventanas de poliuretano, polisulfuro.
9. Forro de cloruro de polivinilo para la cajuela y adhesivo de vinilplastisol.
10. Calaveras de polimetacrilato de metilo o de policarbonato.
11. Poliuretano termoplástico o hule de etileno - propileno para absorber impactos.
12. Aditivos de la gasolina.
13. Tanque de gasolina de polietileno con enlaces cruzados o de polipropileno.
14. Caras blancas de hule de etileno - propileno.
15. Balatas y discos de fenolformaldehído y nitrilo
16. Cuerdas de las llantas de nylon.
17. Absorbedores de impacto de hule butílico.
18. Hule de butadieno-estireno, hule natural, hule butílico, hule butadiénico.
19. Cubiertas de los asientos de nylon o de cloruro de polivinilo.
20. Tapicería y acojinamiento con espuma flexible de poliuretano.
21. Alfombra de nylon.
22. Tapetes para el suelo de cloruro de polivinilo o de hule de butadieno-estireno.
23. Pedal del acelerador de polipropileno.
24. Grasas químicas.
25. Formulación del aceite lubricante.
26. Mangueras y bandas del ventilador de hule de butadieno-estireno.
27. Caja de la batería de polipropileno.
28. Rejilla y nichos para los faros delanteros de ABS
29. Anticongelante de etilenglicol.
30. Paneles interno y externo del cofre unidos con cloruro de polivinilo.
31. Alambre aislado con cloruro de polivinilo.

De lo anterior, podemos apreciar la importancia que tienen los plásticos desde hace tiempo en todas las áreas y en especial en la Industria Automotriz.

2.2 ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS DE LOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

La industria automotriz continúa siendo una de las más fértiles en el uso de materiales plásticos así como en su manufactura. El uso de plásticos en automóviles se está incrementando constantemente en la mayoría de las regiones del mundo y para 1993 totalizaba cerca de los 4000 millones de kilogramos en América del Norte, Europa y Japón. En la gráfica 2.2 se muestra el consumo de plásticos por automóvil.



GRÁFICA 2.2 Principales materiales plásticos utilizados en la industria automotriz

Desde 1993 el consumo de materiales plásticos en aplicaciones automotrices ha aumentado alrededor de un 3-4 %. Esto quiere decir que para 1999, según

estimaciones, el consumo de plásticos en la industria automotriz (E. U., Europa y Japón) fue de aproximadamente 5 000 millones de kilogramos.

Vale la pena mencionar que esta cantidad de plásticos sólo es un porcentaje del plástico que se produce a nivel mundial. Y resulta interesante analizar la distribución del mercado de los plásticos en Estados Unidos por ser éste el mercado mas grande del mundo, y así poder definir el papel de la industria automotriz para el mercado de los plásticos. En la tabla 2.3 se observa la distribución del mercado para el período comprendido entre 1994 y 1998, donde se puede ver que el mercado automotriz ocupa el tercer lugar en el consumo de plásticos.

TABLA 2.3 Principales sectores consumidores de plásticos en millones de kg. (E. U.)

Sector	1994	1995	1996	1997	1998	% de 1998
Transporte	1,721	1,776	1,798	1,861	1,949	5.0
Empaque	8,868	8,770	9,648	9,873	10,162	26.2
Edificios y construcciones	6,675	6,496	7,348	8,219	7,764	20.0
Muebles	1,414	1,451	1,577	1,688	1,812	4.6
Eléctrico / Electrónico	1,508	1,345	1,422	1,429	1,433	3.7
Otros mercados	11,928	12,455	13,926	14,449	15,676	40.4
TOTAL	32,114	32,293	35,719	37,519	38,796	100

Sin embargo, comparando con la distribución del mercado para ese mismo país pero para el año 1977 (Tabla 2.1) vemos que, aunque la cantidad de plástico

consumido ha aumentado, el porcentaje que representa dentro del mercado del plástico disminuyó del 7% en 1977 al 5% en 1998.

Entre los principales factores que influyen en el uso de plástico en los automóviles se encuentran las regulaciones gubernamentales; éstas incluyen temas como el ahorro de combustible, control de emisiones y reciclaje, entre otras.

Probablemente muchas de las regulaciones existentes, y otras que pudieran aplicarse en el futuro, aumentarán el consumo de plásticos en vehículos, mientras que algunas podrán tener un efecto negativo. Por ejemplo, preocupa el hecho de que la posibilidad de reciclar los plásticos pueda, eventualmente, bajar la tasa de crecimiento en la cantidad de plásticos utilizados en los coches, especialmente en los países europeos.

2.2.1 REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DE ALGUNOS MATERIALES POR CAUSA DEL RECICLAJE.

Numerosos tipos de materiales plásticos son usados actualmente para aplicaciones automotrices, como se observa en la tabla 2.4.

TABLA 2.4 Aplicaciones y desventajas de los plásticos automotrices.

MATERIAL	APLICACIONES	DESVENTAJAS
Polipropileno	La mayoría de los componentes interiores, los ductos del aire acondicionado, las cubiertas bajo el cofre, contenedores de baterías, componentes del escape, defensas, molduras, partes del radiador, rejillas del aire.	En el interior: Problemas con raspaduras y adhesión.
Poliétileno de Alta Densidad	Tanques de combustible.	Bajo el cofre: Insuficiente resistencia a las altas temperaturas.
PVC	Instrumentos y panel de la puerta, pieles, asientos, viseras, molduras y mangueras.	Exterior: Dificultad para los procesos de pintado.
ABS	Páneles de instrumentos y de las puertas, accesorios interiores.	Una desventaja es la permeabilidad de la gasolina a través de las paredes del tanque. El reciclaje tiende a reducir su uso de este plástico.
Nylon 6,6	Componentes eléctricos y electrónicos, las cubiertas debajo del cofre, líneas de combustible y de frenos, materiales barrera permeable, conectores, componentes del escape, cubiertas de las llantas, corazas de espejos.	Absorben la humedad. Competencia con el polipropileno. Reducción en los tipos de nylon, especialmente el nylon 6-6. Se necesitan nylons que resistan las altas temperaturas.
Poliésteres Termoplásticos (PBT y PET)	Soportes de los motores, componentes eléctricos y electrónicos, conectores y cubiertas.	Competencia con los nylons.
Poliuretano	Espuma para asientos, tableros y viseras.	Reciclaje.
Poliésteres Termofijos	Páneles exteriores, cubierta de válvulas.	Reciclaje.

En el futuro los automóviles, probablemente, utilizarán menos variedad de plásticos. Esta tendencia a reducir la diversidad de los materiales plásticos es una buena solución y es un resultado directo de los requerimientos para el consumo posterior de materiales reciclados, el cual enfatiza el uso de pocas familias de materiales.

En el futuro la Industria Manufacturera se concentrará, principalmente, en cuatro familias clave de resinas para sus aplicaciones de plásticos: Poliolefinas, Poliamidas, Poliuretanos y Estirenos. Esto hará que disminuya el uso de algunos materiales plásticos que actualmente son muy utilizados. Por ejemplo, el Cloruro de Poliviniloinilo (PVC) es uno de los cinco plásticos más utilizados para aplicaciones automotrices. Pero en un futuro, el uso del PVC es incierto; como sea, mientras exista presión de grupos ambientalistas que aseguran que este material contamina los residuos del automóvil con cloro.

Caso contrario es el del Polipropileno, presentado en varias formas (relleno, sin relleno, reforzado) que es el más usado en la industria automotriz. Su consumo parece incrementarse, como resultado de las nuevas leyes de requerimiento para reciclaje, y también por las reducciones de costo y peso que ofrece. Las nuevas tecnologías, también pueden contribuir al crecimiento del uso del polipropileno en el futuro. Por ejemplo, los fabricantes están desarrollando actualmente técnicas de construcción para estructuras de tipo sandwich de un solo material. Estos procesos pueden, eventualmente, dar lugar a los paneles de instrumentos, así como de puertas que se basan en polipropileno ligero. Estas partes pueden estar formadas por una estructura de tipo sandwich reforzado o substratos de polipropileno virgen, una espuma de malla cruzada de polipropileno, y una cubierta de olefina termoplástica (TPO).

2.2.2. COMPETENCIA ENTRE LAS DEFENSAS DE OLEFINAS TERMOPLÁSTICAS CON LAS DE POLIURETANO EN E.U.

Existe una gran competencia entre diferentes materiales para ganar el mercado automotriz para lo que se refiere a defensas, por ejemplo, el mayor cambio de poliuretano a TPO está tomando lugar en E.U. (como se ve en la gráfica 2.3).

Tradicionalmente, tanto los fabricantes japoneses como los europeos han usado las TPO para las defensas en mayor proporción que los fabricantes norteamericanos, quienes se han resistido al uso de las TPO, principalmente, por sus problemas de adhesión de pinturas (que es un problema común en todas las poliolefinas). Como sea, las TPO, con sus capacidades de moldeo en distintos colores, bajo peso, y su relativo bajo costo y facilidad de reciclaje, está equilibrando la captura del mercado de las defensas en América del Norte y en Europa



GRÁFICA 2.3 Materiales usados en defensas en E.U.

Otro factor importante que afecta el cambio a las olefinas termoplásticas (TPO) han sido los potenciales ahorros con las defensas de TPO, especialmente si no se pintan. En contraste, una defensa de Poliuretano debe ser siempre pintada. El proceso de pintado aumenta en 60% el costo de producción de la defensa (Figura 2.4). Muchos tipos de TPO están sacando del mercado al PVC en lo que se refiere a las molduras, por las mismas razones que se expusieron anteriormente para lo que se refería a las defensas.

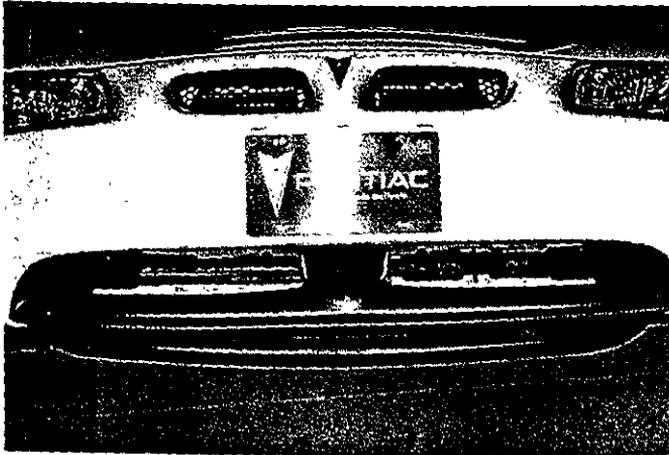


FIGURA 2.4 Uso de los polímeros en defensas

Otra muy buena oportunidad para los plásticos en la industria automotriz se encuentra en el mercado de los aditamentos exteriores como los alcrones, tanto verticales como horizontales.

En Europa y en Estados Unidos los plásticos ya dominan esta área, pero en Japón el acero todavía no es desplazado por los productos plásticos. Sin embargo, aspectos como la reducción de peso y la flexibilidad amplían la posibilidad de ganar este mercado asiático.

Por más de una década, se han tratado de incorporar las poliolefinas a las partes exteriores de los automóviles, pero la poca resistencia a altas temperaturas y su bajo esfuerzo mecánico no ha permitido que se usen en dichas aplicaciones.

2.2.3 COMPETENCIA ENTRE ALGUNOS PLÁSTICOS Y EL ALUMINIO PARA SER USADOS EN LOS INTERIORES DE LOS AUTOS.

A pesar de lo prometedor que es el uso de los plásticos en la parte exterior del automóvil todavía es el interior en donde se ocupan más de la mitad de los plásticos (60 - 70%). Es muy fuerte la competencia entre diferentes plásticos para muchas aplicaciones en los interiores. Sin embargo, recientemente han sido utilizadas en E.U. piezas fundidas de magnesio para construir las estructuras de los paneles de instrumentos. Las ventajas del magnesio colado, han sido la reducción en el peso gracias al magnesio, su alta relación entre rigidez y peso, que aunado a la posibilidad de reciclar el metal y las técnicas de moldeo para materiales de fundición, han representado un duro revés para los plásticos en dichas aplicaciones.

Pese a lo anterior, los materiales que más comúnmente se emplean para las estructuras de los paneles de instrumentos en Europa y Japón, son los compuestos de Polipropileno. En Estados Unidos una variedad de materiales como el SMA, ABS, PC/ABS, PC y otros están luchando por el mercado de las estructuras de los paneles de instrumentos (actualmente se usa Polipropileno en los paneles de modelos japoneses hechos en Estados Unidos). Sin embargo, el polipropileno tiene un potencial considerable para expandirse en ese mercado en los Estados Unidos. De hecho, este apartado representa la mejor oportunidad de crecimiento para los compuestos de polipropileno americanos después de las defensas.

Los fabricantes de poliuretanos reforzados de baja densidad (SRIM Y RRIM) han enfocado su atención en los componentes interiores del automóvil, como los paneles de instrumentos y de las puertas. En estas aplicaciones, los poliuretanos ofrecen un substancial ahorro de peso como resultado de densidades tan bajas como (6.4 a 9.6 kg/m³). Además los procesos de manufactura de poliuretanos utilizan herramientas de aluminio fundido que son baratas, bajas presiones de conformado (0.689 MPa), y ofrecen una considerable reducción en la cantidad de materiales (es uno de los aspectos que se describieron en un principio). También ofrecen ventajas en la construcción de piezas de un solo material. Es posible que la manufactura de los elementos estructurales en los paneles de las puertas con poliuretano reforzado

(por el método SRIM, ver capítulo III) sea menos costosa y más competitiva que el proceso usado para fabricar las mismas partes con polipropileno o con aluminio.

En el futuro, los paneles de las puertas podrán, sin embargo, utilizar polímeros termoplásticos y termofijos basados en madera, ya que son más baratos. No obstante, cabe decir que esas preparaciones, hechas a base de madera tienen limitaciones en cuanto a la flexibilidad de diseño. Además, encontramos que tanto el polipropileno como el ABS tienen grandes oportunidades en lo que refiere a los interiores de la puerta (ofrecen menores costos y pesos). Otros candidatos para ser utilizados en esta área son los poliuretanos de baja densidad.

Para estas mismas aplicaciones, las espumas de PVC y de PVC/ABS tienen otras posibilidades, dado que son decorativas, aunque tienen problemas para ser recicladas, lo que le abre este campo a las cubiertas de PP.

De todo lo anterior se puede concluir que se está presentando una competencia muy fuerte para acaparar los mercados de cada una de las aplicaciones dentro de la industria automotriz, competencia que está logrando que se presente una tendencia a reducir a solo unos cuantos el número de plásticos utilizados (ver anexo 7.3). De la misma manera, observamos que las presiones de los ambientalistas, como

las de los gobiernos, pueden cambiar la tendencia a utilizar determinados materiales, por lo que el futuro de algunos plásticos en la industria automotriz no es seguro.

2.3 EL AUTOMÓVIL EN EL PAÍS.

Para señalar la razón de la tesis se tiene que analizar el alcance del mercado que abarca el reciclaje de los plásticos de uso automotriz aquí en el país. Para ello es necesario analizar dos aspectos importantes: la producción de automóviles a nivel nacional y la cantidad de accidentes automovilísticos que hay en el país en un cierto periodo de tiempo. El primer análisis dará una idea de la cantidad de plástico que se encontrará en posibilidad de reciclarse en un futuro, mientras que el segundo dará una idea del plástico que posiblemente se encuentre actualmente acumulado en los deshuesaderos, y que podemos utilizar en estos momentos.

2.3.1 PRODUCCIÓN NACIONAL DE AUTOMOVILES.

Para tener una idea de la cantidad de plástico que está en uso actualmente en los automóviles, y que podrá ser usada en el futuro, presentamos los datos de la producción anual de automóviles que según el INEGI desde 1991 hasta 1998 ha sido la siguiente:

TABLA 2.5 Producción automotriz en México según mercado y tipo de vehículo 1991-1998 (unidades)

MERCADO Y TIPO DE VEHÍCULO	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Total	997546	1090358	1086024	1131033	937812	1221838	1365355	1462707
Mercado Nacional	632192	699308	592830	556002	159134	250964	380925	483949
Automóviles	378558	429069	389503	352975	102573	163651	262986	355332
Camiones	216875	225681	167086	164784	48750	74882	88732	91077
Camiones Pesados	13032	19778	15505	14101	3354	5897	11221	18783
Tractocamiones y segmento construcción / otros	8681	7052	5796	7095	844	1955	5904	11578
Autobuses Integrales	2168	2089	3239	1015	315	636	1045	1608
Chasis para pasaje	4569	6107	6860	7928	650	1529	5362	5571
Tractores Agrícolas	8309	9532	4841	8104	2618	2414	5675	ND
Mercado Internacional	365354	391050	493194	575031	778678	970874	984430	978758
Automóviles para exportación	341826	347116	445587	503588	596739	634031	593097	597577
Camiones para exportación	23528	43934	47607	71443	181939	336843	391333	381181

Según los datos presentados en la tabla anterior, se encuentran en circulación aproximadamente tres millones setecientos cincuenta mil automóviles (3 750 000 autos) fabricados entre 1991 y 1998. Este dato, aunado a los datos vistos anteriormente sobre los principales plásticos utilizados en los automóviles para 1993 (aproximadamente 60 kg/vehículo), da como resultado que se tienen circulando 225,000 toneladas de plástico en las calles y carreteras de México, lo que representa una muy alta cantidad de materia prima para el reciclado de este material.

2.3.2 ACCIDENTES AUTOMIVILISTICOS EN EL PAIS.

La industria del automóvil se ha encontrado con el problema de que con el aumento en el número de automóviles circulantes aumenta también la cantidad de accidentes automovilísticos, lo que por consecuencia nos lleva a un problema de aumento proporcional de partes automotrices que no son utilizadas y se encuentran en el olvido. Así es como actualmente se tiene la necesidad de darle un uso a dichas partes.

Es por esto, que se necesita hacer un estudio de los datos que se tienen acerca de los accidentes dentro de nuestro país. Esto dará una idea más clara del volumen de material que se encuentra disponible para ver si es factible el reciclaje de sus partes plásticas, así como también determinar el tipo de procesos que se pueden utilizar.

A continuación se muestra la tabla 2.6 y 2.7 de la cantidad de accidentes en el país.

TABLA 2.6 Relación de accidentes en zona urbana.

ACCIDENTES EN ZONA URBANA a/						
PERIODO	TOTAL	COLISION CON OTRO VEHICULO b/	COLISION CON PEATON c/	COLISION CON ANIMAL d/	ACCIDENTE CON UN SOLO VEHICULO e/	OTRO TIPO DE ACCIDENTE f/
1980	3 343	780	1 587	4	754	218
1981	3 505	883	1 738	3	687	194
1982	3 328	931	1 507	1	699	190
1983	2 941	723	1 356	6	663	193
1984	2 854	685	1 371	4	594	200
1985	2 988	717	1 433	6	621	211
1986	3 088	654	1 440	2	712	280
1987	3 111	822	1 403	2	635	249
1988	3 012	720	1 412	4	641	235
1989	2 911	835	1 249	1	625	201
1990	2 923	975	1 294	6	458	190
1991	2 679	1 085	1 080	1	271	242
1992	2 602	1 101	811	2	569	119
1993	2 961	1 476	807	1	559	118
1994	2 606	747	937	4	714	204

TABLA 2.7 Relación de accidentes en zona rural.

ACCIDENTES EN ZONA RURAL a/						
PERIODO	TOTAL	COLISIÓN CON OTRO VEHICULO b/	COLISION CON PEATON c/	COLISION CON ANIMAL d/	ACCIDENTE DE UN SOLO VEHICULO e/	OTRO TIPO DE ACCIDENTES f/
1980	2 822	1 206	562	18	885	151
1981	3 120	1 271	611	14	1 059	165
1982	3 247	1 303	619	22	1 151	152
1983	2 916	1 106	619	41	1 017	133
1984	2 954	1 131	656	32	985	150
1985	3 042	1 087	585	45	1 193	132
1986	2 958	1 102	612	41	1 064	139
1987	3 189	1 101	650	39	1 239	160
1988	3 035	1 106	626	36	1 121	146
1989	3 063	1 282	554	9	1 093	125
1990	5 093	2 005	1 066	125	1 162	735
1991	5 344	1 845	1 268	147	1 481	603
1992	5 108	1 763	1 262	140	1 416	577
1993	5 432	ND	ND	ND	ND	ND
1994	4 802	ND	ND	ND	ND	ND

NOTA:

a/ Se refiere a todo accidente de tránsito en el cual una o más personas fallecen en el lugar del evento.

b/ Se considera el choque entre dos o más vehículos, ya sea de frente, lateral o por alcance.

c/ Atropellamiento de una o más personas por un vehículo a motor.

d/ Atropellamiento de cualquier ser viviente del género animal por vehículo a motor.

e/ Se considera todo accidente de un solo vehículo a motor que sufra percance en carretera, ya sea por salida de la cinta asfáltica, por volcadura, incendio o colisión con objetos fijos.

f/ Colisión con ferrocarril, caída de objetos al vehículo estando estacionado, caída de pasajeros con otro vehículo a motor, colisión con bicicleta o triciclo, con otro vehículo sin motor, carros de mano, de tracción animal y no especificados.

Según los datos que se presentan en las tablas, en el periodo comprendido entre 1990 y 1995 hubo un total de 39,550 accidentes, lo que nos abre la posibilidad de encontrar tirados en deshuesaderos aproximadamente 2400 toneladas de plástico en posibilidad de reciclarse.

Como se observa en las tablas anteriores, existe una gran cantidad de automóviles que se desechan por causa de accidentes, ya sea en zonas urbanas o en zonas rurales. Aunque dentro de las mismas se pueden ver las diferencias en magnitud y en los tipos de accidentes, todos ellos en muchos casos nos llevan a una pérdida total del vehículo y por consiguiente se cae en el problema de acumulación de autopartes sin que se les de un uso real, acumulación de material que según nuestros cálculos es lo suficientemente considerable como para analizar diferentes métodos para reciclar dicho material.

2.4 PLÁSTICOS DE INGENIERÍA.

La palabra se deriva del griego *poly*, que significa muchos, y *meros* que significa parte. Un polímero es un compuesto que consiste de moléculas de cadena larga y cada molécula está hecha por unidades repetidas conectadas entre sí. Pueden haber cientos, e incluso miles, de unidades en una sola molécula polimérica. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono y por lo tanto son considerados

como químicos orgánicos. Como sea, el grupo también incluye un cierto número de polímeros inorgánicos.

Con excepción del caucho natural, casi todos los materiales poliméricos usados en ingeniería son sintéticos; es decir, están hechos mediante síntesis químicas. Y serán de los que se tratarán en este trabajo.

Los polímeros pueden ser clasificados en plásticos y hules. Como materiales de ingeniería, son relativamente nuevos comparados con los metales y los cerámicos, y datan de mediados del siglo XIX. Con el propósito de considerar los polímeros como objeto técnico será apropiado clasificarlos en las siguientes categorías:

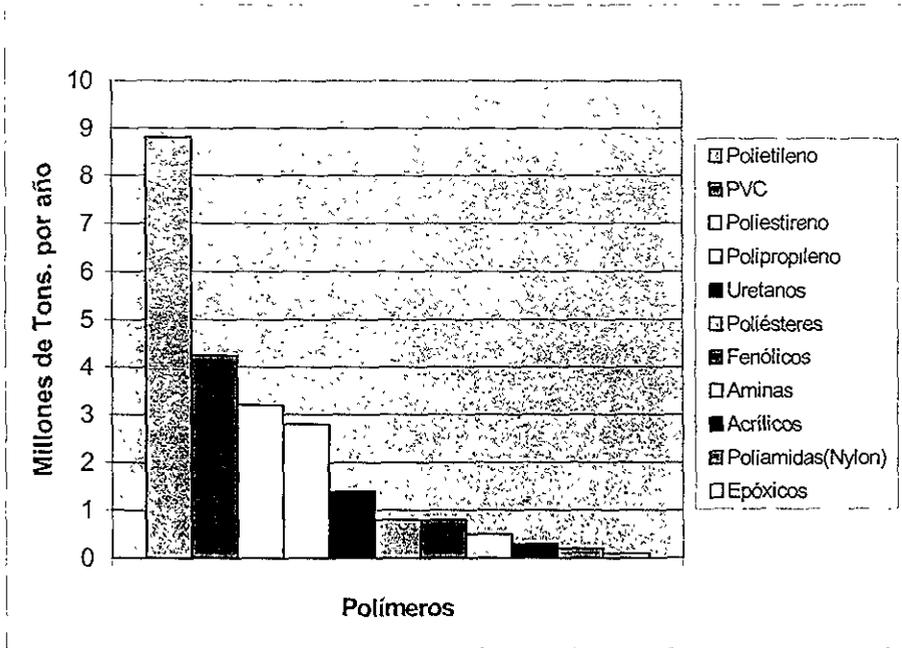
1. Polímeros termoplásticos o simplemente termoplásticos, como son llamados usualmente; son materiales sólidos a temperatura ambiente pero se vuelven líquidos viscosos cuando se calientan a temperaturas de algunos cientos de grados centígrados. Esta característica les permite ser manufacturados fácil y económicamente. Ellos pueden ser sujetos a los procesos de calentamiento y enfriamiento repetidamente sin que se presente una degradación significativa del polímero.

2. Polímeros termofijos o termoestables; no pueden tolerar los ciclos de calentamiento repetido, a diferencia de los termoplásticos. Cuando son calentados

inicialmente, ellos se reblandecen y fluyen para ser moldeados; las elevadas temperaturas también les producen una reacción química que endurece el material al punto de un tener un sólido difícil de fusionar. Si son recalentados, los polímeros termofijos, se degradan y se queman en lugar de reblandecerse.

3. Elastómeros; Estos son los cauchos. Los elastómeros son polímeros que presentan una gran flexibilidad elástica cuando son sujetos a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. El área transversal de algunos elastómeros puede ser reducida hasta con un factor de diez y aún así recuperar completamente su forma original. Por sus propiedades son muy diferentes a los termoestables, ellos comparten una estructura molecular similar, la cual es diferente de los termoplásticos.

Los termoplásticos son los más importantes, comercialmente hablando, y constituyen alrededor del 70% del tonelaje de todos los polímeros sintéticos producidos. Los termoestables y los elastómeros comparten el 30% restante a partes iguales (ver gráfica 2.4). Los polímeros termoplásticos comunes son: el polietileno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polipropileno, el poliestireno y el nylon. Como ejemplos de los polímeros termofijos tenemos: los fenólicos, los epóxicos y algunos policistirenos. El ejemplo más común de elastómeros es el caucho natural (vulcanizado); aunque, cabe decir que el tonelaje producido de los cauchos sintéticos exceden el tonelaje del caucho natural.



GRÁFICA 2.4 Consumo Anual Típico de Diferentes Polímeros en los Estados Unidos

El aumento en las aplicaciones de los polímeros sintéticos es realmente impresionante. Algunas de las razones por las que son importantes comercial y tecnológicamente los polímeros pueden ser las siguientes:

- Los plásticos pueden ser conformados y moldeados en geometrías muy complejas, usualmente sin necesidad de un procesamiento posterior. Ellos son muy compatibles con el procesado de diversas formas.
- Los plásticos poseen una atractiva lista de propiedades para muchas aplicaciones en ingeniería donde el esfuerzo no es un factor: (1) baja densidad en comparación a los metales y a los cerámicos; (2) una muy buena relación resistencia-peso para algunos polímeros; (3) una muy alta resistencia a la corrosión; y (4) baja conductividad térmica y eléctrica.
- Hablando de volúmenes, los polímeros son económicamente competitivos con los metales.
- Volumétricamente hablando, los polímeros generalmente requieren de menos energía para ser producidos que los metales. Esto, generalmente, es cierto debido a que las temperaturas de procesado son mucho más bajas que las de los metales.
- Algunos plásticos son translúcidos y/o transparentes, lo que los hace competitivos con el vidrio en algunas aplicaciones.
- Los polímeros son ampliamente usados como parte de los materiales compuestos.

Sin embargo, no todas son ventajas, los polímeros en general tienen las siguientes limitantes: (1) baja resistencia en relación con los metales y los cerámicos; (2) bajos módulos de elasticidad, es decir, baja flexibilidad; (3) las temperaturas de servicio están limitadas (a sólo algunos cientos de grados centígrados debido al reblandecimiento de los termoplásticos), así como la degradación en los termoestables; (4) algunos polímeros se degradan cuando son sujetos a la luz del sol y otras formas de radiación; y (5) los plásticos presentan propiedades viscoelásticas, que puede ser una limitación distintiva en las aplicaciones carga-resistencia.

2.4.1 FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS.

Los polímeros son sintetizados por la unión de muchas moléculas pequeñas, las cuales forman una gran molécula llamada macromolécula, ésta posee una estructura similar a la de una cadena. Las pequeñas unidades, llamadas monómeros, son generalmente moléculas no saturadas, como el etileno. Los átomos en estas moléculas están unidas por enlaces covalentes y cuando son unidas para formar un polímero el mismo enlace covalente mantiene unida la cadena. Entonces, cada macromolécula es caracterizada por un fuerte enlace primario.

La masa de un material polimérico consiste de muchas macromoléculas; podemos utilizar la analogía de un platón lleno de espagueti, esto es utilizado para visualizar la interrelación que se tiene para mantener unida dicha masa, pero el enlace atómico es más significativo. El enlace entre las macromoléculas en la masa está dado por enlaces de Van der Waals y otros tipos de enlaces secundarios. Entonces, el material polimérico agregado se mantiene unido por fuerzas que son sustancialmente más débiles, en comparación con los enlaces primarios, manteniendo la molécula unida. Esto explica porqué los plásticos, en general, no son necesariamente tan fuertes como los metales o cerámicos.

Cuando un polímero termoplástico es calentado, éste se ablanda. La energía calorífica causa que las macromoléculas sean excitadas térmicamente con movimiento relativo con respecto a las de junto dentro de la masa polimérica. El material comienza a semejarse a un líquido viscoso, dado que la viscosidad decrece (la fluidez se incrementa) con el aumento de temperatura.

Polimerización. La polimerización es el proceso por el cual se unen pequeñas moléculas para crear macromoléculas. Conforme aumenta el tamaño del polímero, se incrementa el punto de fusión o de reblandecimiento y el polímero se hace más resistente y rígido. Mas adelante se mencionaran los diferentes mecanismos de polimerización.

Los polímeros son ligeros, resistentes a la corrosión y aislantes eléctricos, pero tienen relativamente baja resistencia a la tracción y no son adecuados para uso a temperaturas altas. Los polímeros se emplean en numerosas aplicaciones, que incluyen juguetes, artículos para el hogar, artículos estructurales y decorativos, recubrimientos, pinturas, adhesivos, neumáticos, empaques y muchas otras.

2.4.2 CATEGORÍAS DE LOS POLÍMEROS.

Los polímeros se pueden clasificar de diferentes maneras:

- * **Mecanismos de polimerización.** a) Los polímeros por adición se producen uniéndose covalentemente las moléculas, formando cadenas que pueden tener miles de elementos moleculares en su longitud, formando generalmente una estructura lineal. b) Los polímeros por condensación son producidos cuando se unen dos o más tipos de moléculas mediante una reacción química que libera un producto colateral, como el agua, formando generalmente una estructura de red.

- * **Estructura del polímero.** a) Los polímeros lineales forman cadenas largas que contienen miles de moléculas. Estas cadenas pueden ser formadas por una reacción de adición o de condensación. b) Los polímeros de red son estructuras

reticulares tridimensionales producidas mediante un proceso de enlaces cruzados que implica una reacción de adición o de condensación.

* **Comportamiento del polímero.** El método más comúnmente usado para describir los polímeros es a través de su comportamiento cuando son calentados. Los polímeros termoplásticos, como lo indica el nombre, se comportan de manera plástica a elevadas temperaturas. Más aún, la naturaleza de su enlace no se modifica radicalmente cuando la temperatura se eleva. Por ejemplo, los polímeros termoplásticos, como ya se mencionó, pueden ser conformados a temperaturas elevadas, enfriados y después recalentados o reconformados, sin afectar el comportamiento del polímero. Los polímeros termoplásticos son lineales.

Como también se había mencionado, los polímeros termoestables son polímeros de red formados por una reacción de condensación. Estos polímeros no pueden ser procesados después de que han sido conformados, debido a que parte de las moléculas (producto secundario de la reacción de condensación) ha salido del material.

Los elastómeros (cauchos o hules) tienen un comportamiento intermedio pero, lo más importante, es que tienen la capacidad de deformarse elásticamente en alto grado sin cambiar permanentemente su forma.

2.5 PLÁSTICOS DE USO AUTOMOTRIZ.

Los productos termoplásticos, como ya se dijo, pueden ser extruidos y moldeados en forma de fibras, películas y hojas; usados como materiales para empaque; o con ellos fabricar pinturas y barnices. Estos procesos se discutirán en el siguiente capítulo, en lo que resta de éste se hablará de las principales familias de plásticos, usadas en la industria automotriz.

2.5.1 POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS.

Los más importantes polímeros termoplásticos son:

* ACETATOS: Es el nombre popular que se les da a los polioximetilenos, un polímero de ingeniería preparado del formaldehído, con propiedades como alta rigidez, resistencia al esfuerzo, dureza y resistencia al desgaste. Además, éste tiene alto punto de fusión y baja absorción a la humedad y es insoluble a la mayoría de los solventes comunes a temperatura ambiente. Con esta combinación de propiedades las resinas acéticas son competitivas con algunos metales, como por ejemplo, el bronce y el zinc. En la industria automotriz son sustitutos en piezas tales como manijas de puertas, carcazas de bombas y otros; aplicaciones de hardware y componentes de maquinaria. (ver anexo 7.2)

* **ACRÍLICOS:** Los acrílicos son polímeros derivados del ácido acrílico y sus compuestos se originan de éste. El termoplástico más importante dentro de los acrílicos es el polimetilmetacrilato (PMMA); plexiglass es el nombre comercial de éste. Es un polímero lineal y amorfo. Esto produce la propiedad de ser excelentemente transparente, lo cual lo hace competitivo con el vidrio en aplicaciones ópticas. Como ejemplos se incluyen los lentes automotrices, las micras y las calaveras, instrumentos ópticos y ventanas para aviones. Esto es una ventaja cuando es comparado con el vidrio ya que éste tiene menor resistencia al impacto. Otro uso importante de los acrílicos es en fibras para textiles; el poliacrilonitrilo (PAN) es un ejemplo de otra familia conocida como Orlon (Du Pont) y Acrilan (Monsanto). (ver anexo 7.2)

* **ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS):** Es un plástico que tiene diversas aplicaciones de ingeniería ya que tiene una excelente combinación de propiedades mecánicas. El ABS es un copolímero formado de tres monómeros, siendo uno de éstos el copolímero duro, acrilonitrilo-estireno, y el otro es el copolímero butadieno-estireno, el cual es elástico. El nombre del plástico es derivado de los tres primeros monómeros, que pueden ser mezclados en varias proporciones. Las aplicaciones típicas incluyen componentes para automóviles, aparatos electrodomésticos, máquinas de oficina, tuberías y empaques. (ver anexo 7.2).

* POLIAMIDAS: Es una importante familia de polímeros que se forma de la amida característica (CO-NH), que ya agregada durante la polimerización, es llamada poliamida (PA). Los más importantes miembros de la familia de las PA son los nylons, dentro de los cuales se destacan dos grados principales; el nylon-6 y el nylon-6,6 (los números son códigos que indican el número de átomos de carbono en el monómero). En la tabla anexa se listan las propiedades del nylon-6,6 de Du Pont. Las propiedades del nylon-6, desarrollado en Alemania, son similares. El nylon es resistente, tiene una elasticidad alta, duro, resistente a la abrasión y autolubricante. Este conserva buenas propiedades mecánicas, incluso a temperaturas cercanas a los 250 °F (125 °C). Una desventaja es que absorbe el agua, proceso en el cual sus propiedades disminuyen. La mayor parte de sus aplicaciones (cerca del 90 %) son en fibras para alfombra, aparatos mecánicos y cuerdas de neumáticos. El resto (10 %) es en componenetes ingenieriles; el nylon es comúnmente un sustituto en rodamientos metálicos, poleas y partes similares donde el esfuerzo y baja fricción son necesarios. En los automóviles se utiliza en los tanques de los radiadores, en las aspas de los ventiladores, etc.

Un segundo grupo de poliamidas son las aramidias (poliamidas aromáticas), como el Kevlar, el cual está ganando importancia como una fibra para reforzar a los

plásticos. La razón del interés en el Kevlar es que el esfuerzo es similar al acero y con un peso del 20 % del mismo. (ver anexo 7.2).

* POLICARBONATO (PC): Se denota por sus excelentes propiedades mecánicas, las cuales incluyen alta dureza y buena resistencia al esfuerzo cortante. Este es uno de los mejores termoplásticos con alta resistencia a la temperatura; éste puede ser utilizado a temperaturas alrededor de los 250 °F (125 °C). Además, es transparente y resistente al fuego. Las aplicaciones incluyen partes moldeadas de máquinas, cubiertas de máquinas de oficina, impulsores de bombas y cascos de seguridad. También es usado en lugar del vidrio en aplicaciones como en ventanas y parabrisas (ver anexo 7.2).

* POLIÉSTERES: Los Poliésteres son una familia de polímeros que se forman del éster característico (CO-O). Estos pueden ser termoplásticos o termofijos, dependiendo de las condiciones en que la adición ocurra.

Sobre los Poliésteres termoplásticos un ejemplo representativo es el polietileno-tereftalato (PET). Este puede ser amorfo o parcialmente cristalino (sobre el 30%), dependiendo de cómo es enfriado después de la formación. El enfriamiento rápido favorece el estado amorfo que es altamente transparente.

Algunas aplicaciones importantes incluyen los envases de refrescos, películas fotográficas y cintas magnéticas de grabación. Además el PET es usado en fibras textiles. Las fibras de poliéster tienen baja absorción de humedad y buena recuperación a la deformación (resilencia), ambas lo hacen ideal para prendas "lávese y úsese", éstas resisten el arrugamiento. Las fibras PET son algunas veces combinadas con algodón o lana. Algunos nombres comunes de las fibras de poliéster son el Dacron (Du Pont), Fortrel (Celanese) y Kodel (Eastman Kodak). (ver anexo 7.2).

* POLIETILENO (PE): Fue el primer plástico en sintetizarse en los años 30's y en nuestros días se cuenta como uno de los más grandes volúmenes de plásticos. Las características que hacen al PE atractivo como un material de ingeniería son su bajo costo, el hecho de ser inactivo químicamente y de fácil procesamiento. El polietileno está disponible en muchos grados, los más comunes son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno de alta densidad (HDPE). El grado de baja densidad es un polímero de alta ramificación con baja cristalinidad y densidad. Como aplicaciones se incluyen hojas, películas y aislante eléctrico. El HDPE contiene una estructura más lineal, con alta cristalinidad y densidad. Estas diferencias hacen al HDPE rígido y duro lo que hace que tenga una alta temperatura de fusión. El HDPE es usado para hacer botellas, tubos y anaqueles. Ambos grados pueden ser procesados con casi todos los métodos de manufactura. (ver anexo 7.2).

* POLIPROPILENO (PP): Es el plástico que se utiliza mayormente en la inyección por moldeo desde su introducción en los años 50's. Es el plástico más ligero y su relación esfuerzo contra peso es alta. El PP es frecuentemente comparado con el HDPE porque muchas de sus propiedades son similares. El alto punto de fusión del PP lo excluye de algunas aplicaciones, por ejemplo, componentes que deben ser sinterizados. Otras aplicaciones son las partes automotrices (como las defensas y paneles de instrumentos), anaqueles y fibras para alfombras que son moldeadas por inyección (ver anexos 7.2 y 7.4).

2.5.2 POLÍMEROS TERMOESTABLES (TE)

Se distinguen por su alto grado de enlaces y su estructura tridimensional, que es lo que los hace ser termoestables. La parte formada (por ejemplo, la cubierta del switch eléctrico o el mango de las ollas) vienen de una gran macromolécula. Los termoestables son siempre amorfos y no tienen una temperatura de transición vítrea.

En general los termofijos tienen, con respecto a los termoplásticos: (1) un módulo de rigidez dos o tres veces más alto; (2) no poseen ductilidad (son quebradizos); (3) son menos solubles en los solventes comunes; (4) son capaces de

tener servicios rudos a altas temperaturas; y (5) no son capaces de ser remanufacturados porque se degradan.

Las diferencias de las propiedades de los plásticos TE son atribuidas a sus enlaces cruzados que los hacen estables cuando se aumenta la temperatura, por su estructura tridimensional y de enlaces covalentes en la molécula.

A continuación, se analizarán algunos de los plásticos termoestables más utilizados en la industria automotriz.

* POLIÉSTERES: Contienen la característica de la unión éster, pueden ser termofijos o termoplásticos. Los poliésteres termofijos son usados grandemente en plásticos reforzados (compuestos) para fabricar grandes piezas como son tubos, tanques, cascos de barcos, partes estructurales automotrices y paneles de construcción. Estos también pueden ser usados en varios procesos de moldeo para producir partes pequeñas. La síntesis del polímero principal se da en la reacción de un ácido o un anhídrido, como el anhídrido maléico, con un glicol, como el etilenglicol. Esto produce un poliéster no saturado con un peso molecular bajo (PM es de 1000 a 3000). Este ingrediente es mezclado con un monómero capaz de polimerizarse y obtener un enlace cruzado con el poliéster. El estireno es comúnmente usado para este propósito en porciones del 30 al 50%. Un tercer

componente, llamado inhibidor, es adicionado para prevenir enlaces cruzados prematuros. Esta mezcla forma el sistema resina-poliéster; éste es suministrado por el fabricante. Los poliésteres son curados por calor (sistemas activados por temperatura) o agregándole un catalizador a la resina polimérica (sistemas activados por catálisis). El curado se hace al mismo tiempo que la fabricación (moldeo u otras formas de proceso) y resulta en un enlace cruzado en el polímero.

Una importante clase de poliésteres son las resinas “alkid” (que combinan las palabras *alcohol* y *acid* en inglés). Ellos son usados primordialmente como base de pinturas, como barnices y lacas. El moldeo de compuestos “alkid” es también factible, pero sus aplicaciones son limitadas.

* POLIURETANOS: Aquí se incluye una gran familia de polímeros. Todos se caracterizan por tener al grupo uretano en su estructura. La química de los poliuretanos es compleja. La característica principal es la reacción del polioliol, cuyas moléculas contienen grupos hidroxil (OH), como el butilen-eter-glicol, y un isocianato, como el difenil-metano-disocianato ($C_{15}H_{10}O_2N_2$).

A través de las variaciones en la química del material, como por ejemplo: los enlaces cruzados y los procesos, los poliuretanos pueden ser termoplásticos, termofijos o materiales elastómeros. Los dos últimos son los de mayor importancia

comercial. La mayor aplicación son las espumas de poliuretano, éstas oscilan entre elastómeros y plásticos rígidos, estos últimos tienen mayor cantidad de enlaces cruzados. Las espumas rígidas son usadas como material de relleno en paneles de construcción y paredes de refrigeración. En este tipo de aplicaciones, este material provee una excelente capacidad de aislamiento térmico, añade rigidez a la estructura, además de que no absorbe humedad en cantidades significativas. Muchas pinturas, barnices y materiales de recubrimiento similares están basados en sistemas de uretano.

* **ELASTÓMEROS:** Los elastómeros son polímeros que son capaces de tener una gran deformación elástica cuando son sujetos a un esfuerzo relativamente bajo. Algunos elastómeros pueden tener deformaciones del 500% o más, y aún así regresan a su estado original. Popularmente se les conoce como “hules”. Podemos dividir los hules en dos categorías: (1) caucho natural, derivado de plantas orgánicas específicas y, (2) polímeros sintéticos, generados por procesos de polimerización similares para los polímeros termoplásticos y termofijos.

CAPÍTULO III

PROCESOS DE MANUFACTURA

III. PROCESOS DE MANUFACTURA

Antes de analizar los procesos de reciclaje del plástico se tienen que analizar los procesos de manufactura para así darse una idea sobre el cómo se pueden procesar y si es posible reprocesar algunos de los plásticos usados en los automóviles. Es en este capítulo en el que se analizarán los procesos de manufactura para termoplásticos así como también para los termofijos. Ya teniendo como base la información de este capítulo se podrán analizar los procesos de reciclado en el siguiente.

3.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA PARA PLÁSTICOS.

Los plásticos pueden ser conformados de diversas formas para dar lugar a una gran variedad de productos, tales como partes moldeadas, secciones extruidas, películas, hojas, aislantes, etc. En suma, los plásticos son la materia prima más importante para otros materiales, tales como pinturas y barnices, así como adhesivos y varios materiales compuestos de matriz polimérica.

La importancia comercial y tecnológica de estos procesos de conformado se deriva del crecimiento en el uso de los materiales plásticos. Las aplicaciones de los plásticos se han incrementado mucho más rápido que las de los metales y los

cerámicos durante los últimos cincuenta años. Además, muchas de las partes que anteriormente se fabricaban con metales o con vidrios, actualmente se manufacturan con materiales plásticos o materiales compuestos con matriz polimérica. Actualmente el volumen total (en m³) de los plásticos fabricados excede al de los metales, aunque el tonelaje de los metales es mayor dada la alta densidad de éstos últimos. Existen varias razones por las cuales los procesos de conformado de plástico son importantes y a continuación mencionamos algunas de éstas:

- La diversidad de procesos de conformado y la facilidad con que éstos se llevan a cabo permiten una casi ilimitada variedad de formas y geometrías en los productos finales.
- Muchas partes plásticas son formadas por moldeo, el cual es un proceso que permite fabricar piezas de diversas formas y tamaños.
- Aunque se requiere de altas temperaturas para conformar a los plásticos, la energía requerida es menor que la utilizada en los metales, porque la temperatura de procesamiento es mucho más baja para los plásticos.
- Dado que los procesos de conformado de plásticos son operaciones de un solo paso, la cantidad de material desperdiciado es substancialmente más baja que la materia de deshecho que se obtiene al procesar metales.

- No siempre se requieren procesos de recubrimiento ornamental como pudiera ser el pintado, lo que reduce los costos de producción.

Los métodos existentes para fabricar plásticos dependen en su mayoría del tipo de plástico que se trate; por ejemplo, éstos varían si se trata de un termoplástico o de un termoestable.

Se utiliza una gran diversidad de técnicas para darle forma a los polímeros termoplásticos. En éstas el polímero se calienta a una temperatura que permite que el plástico fluya. Entonces el polímero es forzado a entrar a un molde a través de un dado o boquilla y se forma así la geometría deseada.

Para los polímeros termoestables existen pocos métodos para conformarlos, dadas las características que se mencionaron en el capítulo anterior.

Dentro de este capítulo se discuten los diferentes parámetros que intervienen en cada uno de los procesos de conformado de plásticos. Ver anexos 7.5 y 7.6.

3.2 PROCESOS DE MANUFACTURA PARA TERMOPLÁSTICOS.

Para conformar los materiales termoplásticos existe una gran diversidad de técnicas para lograr que el plástico fluya y lograr así su conformado dependiendo de

las características de la pieza que se desee fabricar. El plástico es calentado a una temperatura cercana o superior a la temperatura de fusión de modo que éste fluya; el plástico es entonces inyectado dentro de un molde o forzado a pasar dentro o a través de un dado o boquilla para lograr la forma que se requiere.

A continuación se señalan los diversos métodos utilizados en la actualidad para el conformado de los materiales termoplásticos:

- **Extrusión:** Por extrusión de plásticos se entiende el estirado continuo o periódico de artículos perfilados de longitud ilimitada o limitada, a través de un dado de sección determinada. El órgano fundamental de trabajo de una extrusionadora puede ser un husillo, pistón o disco. Según la clase de dispositivo, suelen clasificarse en extrusoras de pistón, de husillo, sin husillo (de disco e hidrodinámicas) y combinadas (disco y husillo). Es un mecanismo por medio del cual un tornillo fuerza el termoplástico caliente a través de un dado abierto o boquilla para producir formas sólidas, películas, hojas, tubos, y aún bolsas plásticas. Los parámetros principales de una extrusionadora de husillo son: el diámetro del husillo, la relación de longitud / diámetro, y la velocidad de giro del husillo (Figura 3.1). La extrusión puede ser utilizada también para recubrir alambres y cables. Un tipo particular de extrusión es el llamado hilado el cual puede producir filamentos y fibrillas. El termoplástico es forzado a pasar a través

de una boquilla o dado que contiene muchos pequeños agujeros (como se ve en la Figura 3.2). El dado, llamado hilador, puede girar y producir una fibra o cordón.

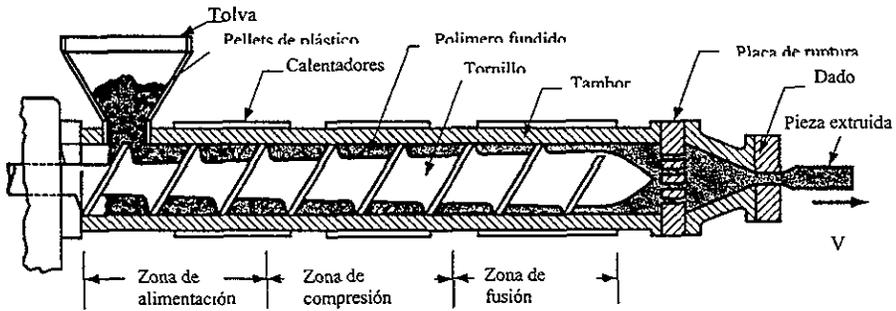


FIGURA 3.1 Diagrama del equipo utilizado en el proceso de extrusión

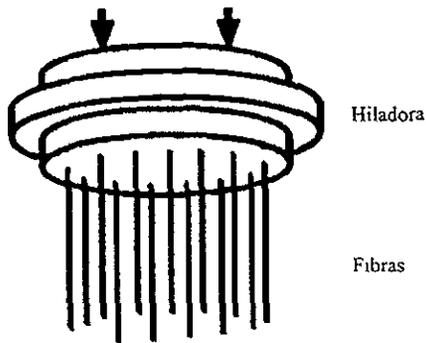


FIGURA 3.2 Proceso de hilado

- **Moldeo por soplado:** Los procedimientos más usados en la preparación del material plástico para la definitiva operación del soplado son: a) Obtención por extrusión de una pieza tubular en caliente; b) Preparación de una pieza en bruto por inyección en molde; c) Obtención de una pieza por inyección y moldeo del cuello del artículo; d) preparación de una pieza en bruto por medio de plancha sobre una forma y calentando; e) Moldeado por inyección de dos mitades de un artículo hueco seguido de un encolado o soldadura. El método de mayor aplicación es el soplado de artículos huecos obtenidos por extrusión. El aire a presión se inyecta a través de un mandril, una boquilla o unos canales especiales. (Figura 3.3) En algunos casos el soplado se efectúa por medio del gas que se desprende al calentar unas pastillas colocadas previamente en la pieza en bruto, o bien por medio de agentes líquidos que al mismo tiempo aceleran el proceso de enfriamiento del artículo. Estos tipos de procesos se utilizan para las botellas plásticas, recipientes y muchas otras formas huecas.

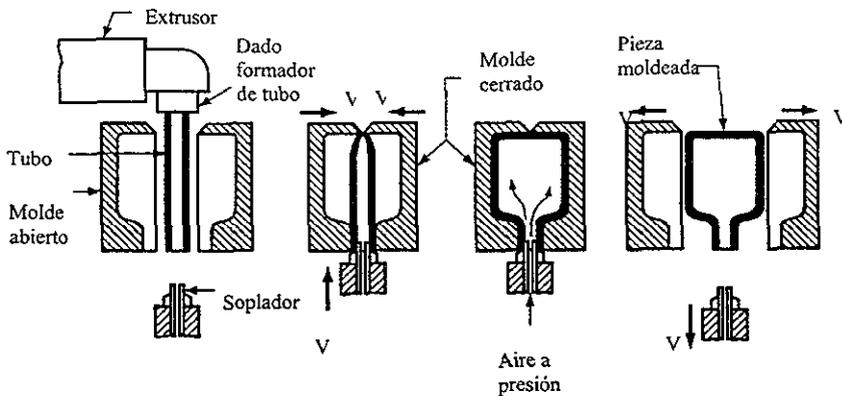


FIGURA 3.3 Proceso de moldeo por soplado, de izquierda a derecha: extrusión del tubo de plástico; cierre del molde y sellado del tubo con el molde por un lado y el soplador del otro; se infla el tubo y toma la forma del molde; se abre el molde y se remueve la pieza.

- **Moldeo por inyección:** Los termoplásticos que son calentados por encima de la temperatura de fusión son forzados dentro de un molde cerrado para producir una figura moldeada predeterminada. Un émbolo o un tornillo sinfín, aplica la presión necesaria para forzar al polímero dentro del molde (Figura 3.4). Los parámetros fundamentales en el proceso de inyección son: temperatura y cantidad de material que admite el cilindro de inyección, presión y velocidad de inyección, duración del ciclo, temperatura del molde, rendimiento térmico del cilindro de inyección (y plastificación), índice de pérdidas de presión en el cilindro de inyección y capacidad plastificadora de la máquina.

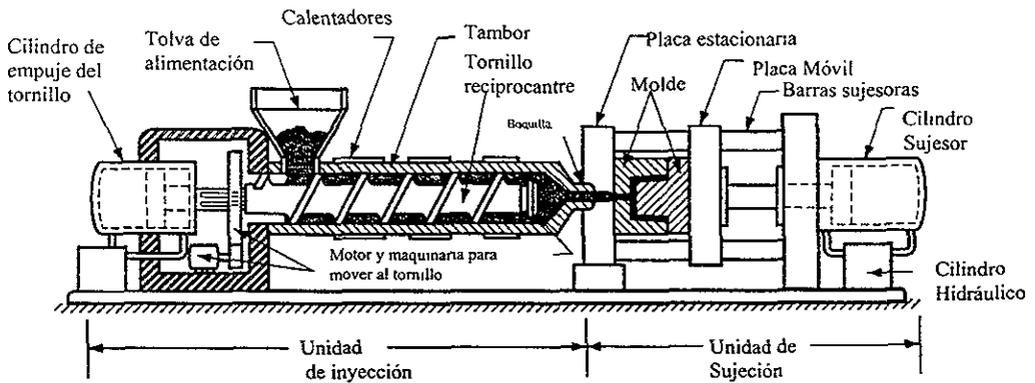


FIGURA 3.4 Proceso de moldeo por inyección, vista general del equipo utilizado.

- **Conformado al vacío:** Las láminas termoplásticas calentadas dentro de la región plástica se colocan sobre un molde o patrón conectado a un sistema de vacío. Las pequeñas rendijas en el molde o patrón permiten que el vacío tire de la hoja caliente sobre el patrón (Figura 3.5).

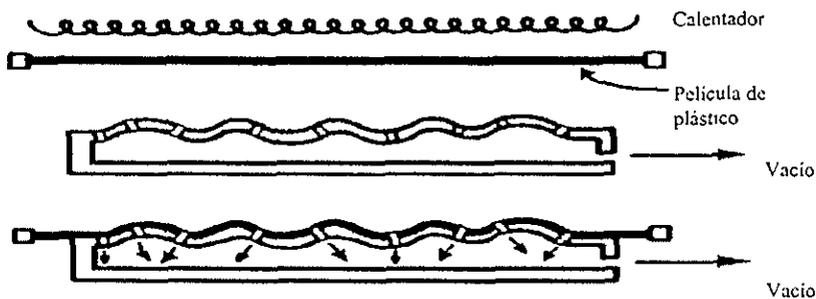


FIGURA 3.5 Diagrama general del proceso de conformado al vacío

- **Calandrado:** En una calandra se vierte el plástico fundido entre un grupo de rodillos con una pequeña abertura. Los rodillos generan una delgada capa o película de plástico. Es un proceso especial para la manufactura de grandes volúmenes y productos de alta calidad, principalmente películas y hojas de PVC. Los rangos de espesor varían desde 0.3 a 1 mm durante el calandrado y debajo de 0.5 mm después del estirado. El Polipropileno, Polietileno modificado, ABS y otros termoplásticos pueden ser también calandrados (Figura 3.6). De todas las líneas mundiales de calandrado, alrededor del 80% se especializa en la producción de PVC rígido y flexible. Un área muy importante es el calandrado de películas, enfatizando el tratamiento de superficies tales como el doble encerado o películas troqueladas, realzando las propiedades físicas de la película estirada.

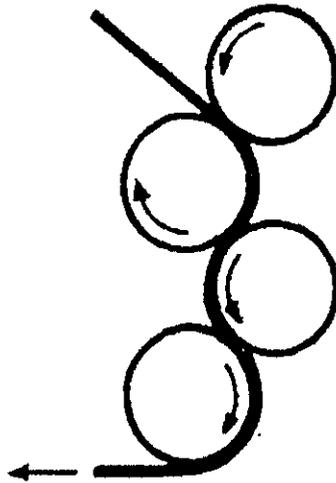


FIGURA 3.6 Proceso de calandrado

- **Trefilado y laminado:** Estos procesos producen fibras o modifican las formas de las extrusiones, además de producir las dimensiones finales, estos procesos causan recristalización y una orientación preferencial de las cadenas en los termoplásticos.

3.3 PROCESOS DE MANUFACTURA PARA TERMOFIJOS:

- **Moldeo por inyección:** Utiliza un tornillo o pistón para alimentar el polímero a través de un barril caliente (49-127°C) para disminuir su viscosidad, seguido de una inyección dentro de un molde caliente (149-232°C). Una vez que el material llena el molde, éste se retiene bajo presión mientras que ocurre la reacción química que forma las ligas cruzadas y con ello se endurece al polímero. La parte endurecida puede ser expulsada desde el molde mientras que a elevadas temperaturas no se puede reformar o refundir. Los principales polímeros utilizados con este proceso (en orden de su volumen de uso) son: fenólicos, masas de poliésteres compuestos, melaminas, epoxi, urea, vinilester, dialyftalato (DAP).

Termoplásticos y termofijos muestran una disminución de viscosidad cuando son calentados. Sin embargo, los materiales termofijos incrementan su viscosidad con el tiempo y la temperatura por la reacción química que se lleva a cabo en sus ligas. La combinación de estos efectos resulta en una forma de "U" en la curva de

viscosidad contra tiempo y temperatura. Este es el objetivo del moldeo de inyección de termofijos al operar dentro de la región de mínima viscosidad, esto minimiza el daño de las fibras en el polímero.

La inyección del material dentro del molde es hecha por la rotación del tornillo y la utilización de dispositivos hidráulicos para incrementar la velocidad. Estos flujos pueden requerir presiones de material arriba de 28,000 psi con llenado de cavidad en 0.5 seg.

Una vez que la cavidad es llenada, las presiones de inyección son reducidas hasta mantener presiones de alrededor de 5,000 a 10,000 psi. Esta presión se mantiene sobre el material aproximadamente de 5 a 10 segundos., después de lo cual la presión es liberada hasta que inicia la plastificación.

El material es retenido en el molde caliente hasta que se vuelve rígido y entonces las mordazas se abren hasta que la pieza es expulsada. La pieza puede no estar totalmente curada y algo flexible durante la expulsión, y el curado final ocurre en 1 ó 2 minutos. Después de la expulsión, el ciclo total para el moldeo por inyección de termofijos maneja rangos de 10 a 120 segundos., dependiendo del espesor de la pieza y del tipo de material.

- **Moldeo por compresión:** El moldeo por compresión es un proceso antiguo y actualmente es utilizado para los plásticos termofijos. El proceso consiste en la carga con la cantidad exacta del compuesto que se va a moldear en el fondo de una mitad del molde. Posteriormente se juntan las dos partes para comprimir la carga, forzando el flujo y conformado de la forma de la cavidad; enseguida se calienta la carga por medio de un molde caliente para polimerizar y curar el material para solidificar la pieza, finalmente se abre el molde y se remueve la pieza de la cavidad.

La carga inicial que se va a comprimir en el molde se puede encontrar en diversas formas, como pueden ser pellets, material preformado o material líquido. La cantidad del polímero debe estar controlada para obtener consistencia en los productos moldeados. El calentamiento de la carga al momento de vaciarlo en el molde reducirá el tiempo del ciclo.

Los materiales que se fabrican por este método incluyen, fenólicos, melaminas, urea, epoxis, uretanos. El molde y las diferentes partes se mantienen a temperaturas apropiadas para que se cure rápido el material (138 a 193 °C), dependiendo de las características del material, diseño del molde y de la geometría de la pieza.

- **Moldeo por transferencia:** En este método el polímero es calentado bajo presión. En el caso de los polímeros termoplásticos éstos se calientan en un intercambiador. Después de fundido, el polímero es inyectado en un molde adyacente (Figura 3.7). Este proceso combina elementos tanto del moldeo por compresión como del moldeo por inyección y permite que algunas ventajas del moldeo por inyección sean usadas en los polímeros termofijos.

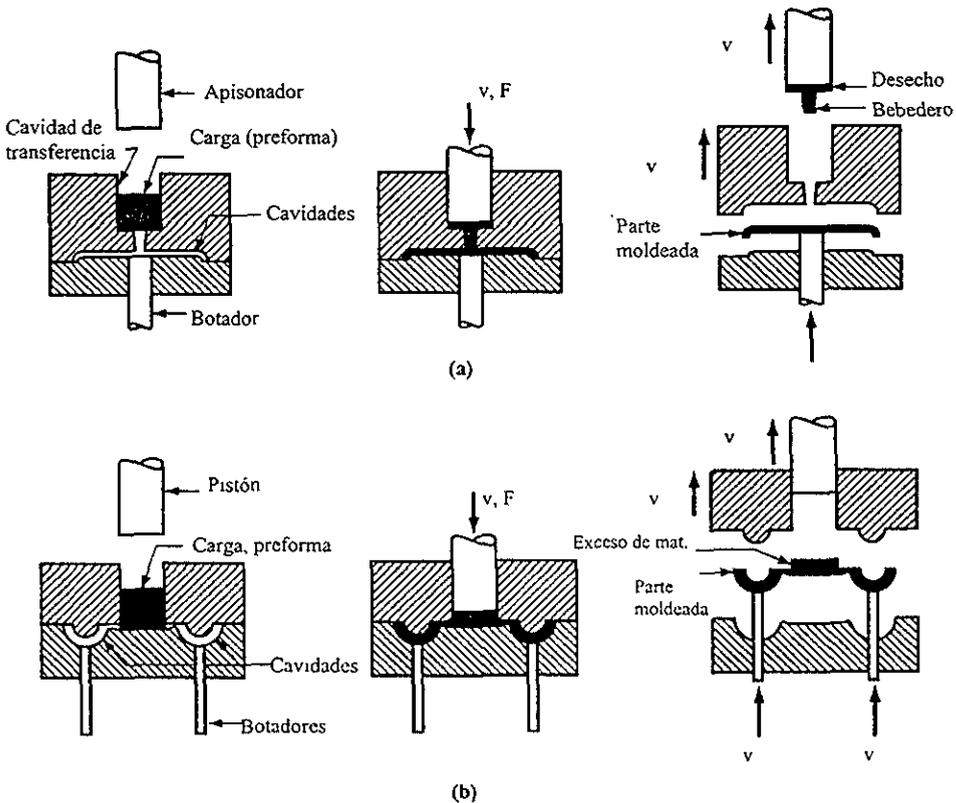


FIGURA 3.7 Conformado por transferencia; (a) por cavidad, (b) por pistón.

- **Moldeo por reacción - inyección (Reaction Injection Molding, RIM).** En este tipo de mecanismo de manufactura se mezclan dos ingredientes líquidos altamente reactivos, la mezcla se inyecta inmediatamente a un molde donde ocurren las reacciones de solidificación (Figura 3.8). Con este proceso se fabrican los uretanos, los epóxicos y los formaldehidos, entre otros plásticos termoestables. El sistema RIM se desarrolló en un principio con el poliuretano para producir grandes componentes automotrices como defensas, spoilers, y las gomas de las defensas. Este tipo de piezas siguen siendo la mayor aplicación de este método. En este proceso las cantidades exactas de cada uno de los ingredientes líquidos son bombeados desde tanques de almacenamiento separados entre sí hasta una cabeza bombeadora. Los ingredientes son mezclados e inyectados rápidamente en un molde a presiones relativamente bajas, es aquí donde ocurren el curado y la polimerización. Un tiempo-ciclo típico puede ser de dos minutos. Además se puede decir que el equipo de un procesos RIM es menor al de un sistema de inyección convencional y que las presiones de cierre de molde necesarias para este caso son menores que para el otro.

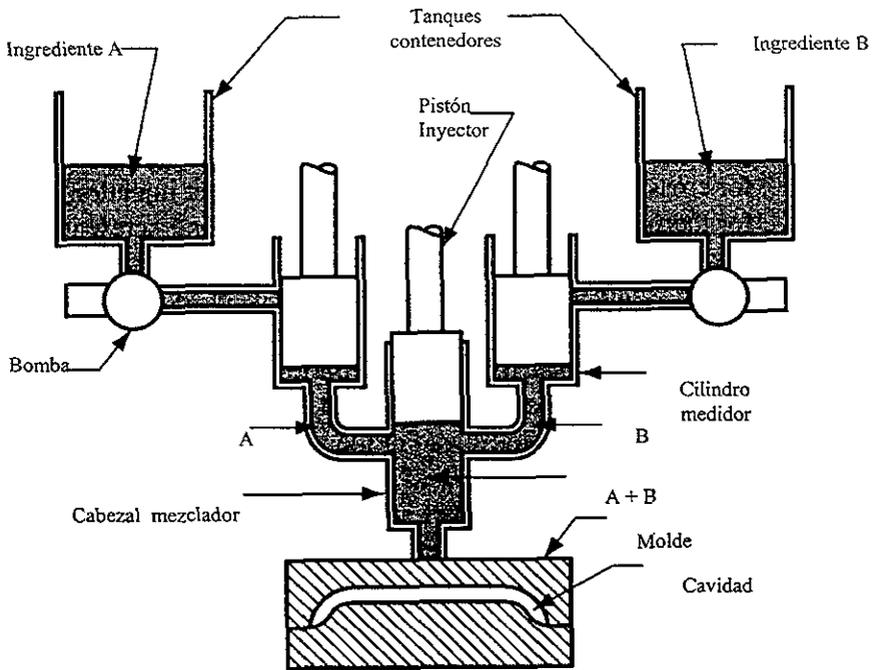


FIGURA 3.8 Proceso de moldeo por reacción – inyección.

- **Moldeo por rotación.** Este es un proceso para producir piezas huecas o productos sin costuras de todos tamaños y formas. Tradicionalmente se ha usado para materiales termoplásticos, pero también se realiza el moldeo rotacional de polietilenos con ligas cruzadas y algunos materiales termofijos. El proceso básico es simple; un polímero líquido o en forma de pellet es colocado en un molde, el molde es calentado mientras empieza a girar con respecto a dos ejes perpendiculares simultáneamente, y después es enfriado. Durante la primera parte de la etapa de calentamiento, cuando se moldea en forma de pellet's, una piel

porosa se forma en la superficie del molde. Este se funde gradualmente conforme avanza el ciclo en una capa de espesor homogéneo. Cuando se usa material líquido, este fluye y cubre la superficie del molde solo cuando se alcanza la temperatura de flujo de la resina, instante en el cual el flujo se detiene. El molde se introduce dentro de una estación enfriadora donde el enfriamiento es llevado a cabo con aire forzado y/o agua atomizada. Es entonces colocado en una zona de trabajo donde el molde se abre, la parte terminada es removida, y el molde es recargado para el siguiente ciclo.

El sistema de rotomoldeo más comúnmente usado utiliza una rotación horizontal que generalmente es llamado carrusel. Este sistema normalmente tiene tres brazos en los cuales los moldes son montados.

CAPÍTULO IV

*PROPUESTAS DE PROCESOS DE
MANUFACTURA PARA EL
RECICLADO DE PLÁSTICOS*

IV. PROPUESTAS DE PROCESOS DE MANUFACTURA PARA EL RECICLADO DE PLÁSTICOS.

Una vez vistos los procesos de manufactura para plásticos se tiene una idea mas clara del cómo pueden ser los procesos de reciclaje, ya que en éstos los plásticos vuelven a ser conformados en sus distintas presentaciones (películas, tubos, preformas, etc) para así ser utilizados de nuevo dentro de las diversas industrias.

En este capítulo se presentarán y se analizarán los diferentes procesos de reciclado y se presentará una metodología general para el reciclado de plástico automotriz. Esto dará pie al posterior análisis de dichos procesos y así poder seleccionar los más convenientes para lo que atañe a este trabajo que son los plásticos utilizados dentro de la industria automotriz nacional.

4.1 NECESIDAD DE RECICLADO.

En la actualidad la cantidad de desperdicios ha aumentado de manera considerable lo cual ha creado un conflicto social, lo que a su vez hace necesario encontrar opciones que ayuden a evitar la acumulación de basura en grandes espacios de terreno, espacios que crean focos de infección y un cinturón de miseria.

Para hacer mas productivos a estos tiraderos de basura es necesario hacer diversos estudios de todos los desechos que se producen y así encontrarles un mejor uso dependiendo del tipo de material de que se trate. En primer lugar se necesita hacer una clasificación entre material orgánico y material inorgánico. El material inorgánico es del que se tratará este trabajo ya que dentro de éste tipo de materiales se encuentran la mayoría de los plásticos (como se mencionó en el capítulo II, la mayoría de los plásticos son sintéticos y por lo tanto, material inorgánico).

Éste tipo de acciones repercuten directamente en las necesidades económicas y ecológicas de nuestro país, como a continuación se menciona.

4.1.1 NECESIDADES ECONÓMICAS

Dentro de la economía de nuestro país es importante provocar un cambio en la manera como la gente maneja su material de desecho, ya que si en vez de tirar a la basura todo lo que ya no nos sirve, se le busca una utilidad a este para evitar pérdidas de materiales que pueden ser utilizados como materia prima para la fabricación de otros productos, se evitarán desperdicios innecesarios y se podrán reducir costos de producción de diversos productos.

Por otra parte, si se logra separar desde el momento en que se genera la basura los distintos tipos de materiales que la forman mediante una clasificación general como es por ejemplo vidrio, papel, plástico, material orgánico, etc. será más fácil reciclar dicho material y darle un enfoque productivo al poder fabricar artículos de materiales reciclados y así disminuir costos de fabricación, con lo que se optimizaría el proceso desde el punto de vista económico.

4.1.2 NECESIDADES ECOLÓGICAS

A causa del aumento desmedido de la población diariamente crece el acumulación de desperdicios en nuestro país. Esto deteriora el equilibrio ecológico pues en ocasiones se contaminan mantos acuíferos así como también se afectan la flora y la fauna del lugar. El índice de crecimiento de la acumulación de desperdicios se puede reducir si éstos se reciclan. Para esto se deben implementar sistemas de reciclaje efectivos y viables para reciclar así cada tipo de material con bajos costos y altas eficiencias.

El impacto ambiental más obvio del reciclaje es la conservación de materiales. Por ejemplo, cuando una fibra secundaria es usada para la manufactura de nuevos productos toma el lugar de la fibra virgen obtenida de los árboles, o cuando el desperdicio de metal ferroso es utilizado en la fabricación de acero; se

evita uso de mineral de hierro que proviene de las minas. Es importante reconocer que existen límites en cuanto al material virgen ahorrado a través del reciclaje (figura 4.1).

Otro beneficio ambiental que se tiene con el reciclaje es la conservación de la energía. Los mayores ahorros de energía se dan cuando, por ejemplo, se manufacturan aluminio y acero con material reciclado en lugar de materias vírgenes.

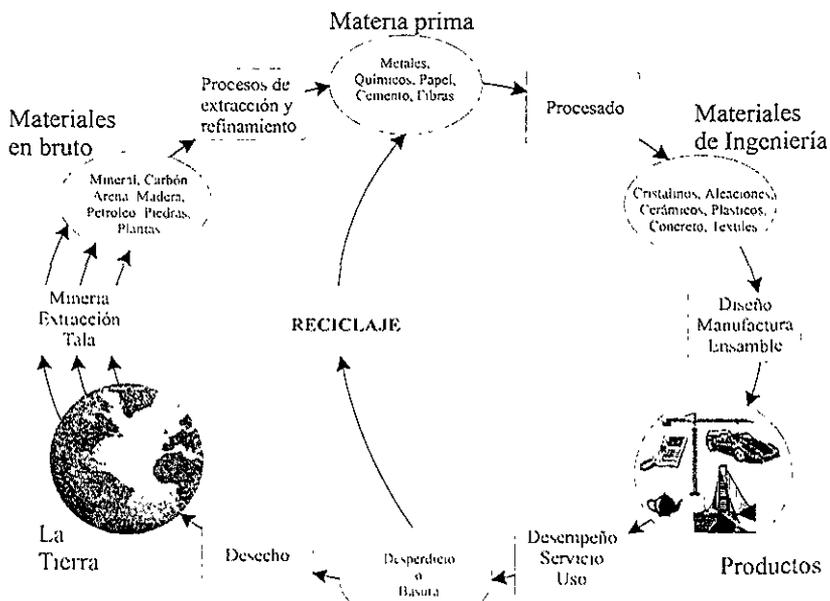


FIGURA 4.1 Ciclo de Vida de los Materiales. Si se reciclan los materiales de desperdicio, entonces se dejará de usar materia prima proveniente de la Tierra.

4.2 RECICLADO DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Dentro de los materiales que se utilizan en la industria automotriz tenemos los cuatro tipos de materiales: los metales, los plásticos, los cerámicos y los materiales compuestos. Antes de realizar un estudio exhaustivo de los procesos de reciclado de los plásticos es importante establecer cuáles son los materiales que se reciclan o que tienen posibilidad de reciclarse dentro de esta industria para así darnos una idea general de los procesos de reciclado.

4.2.1 RECICLADO DE METALES

Refiriéndonos a los metales, uno de gran importancia en la actualidad dentro de la industria del automóvil es el aluminio. Y se considera importante hacer mención de los procedimientos generales que se utilizan para reciclar dicho metal.

Algunos vehículos que principalmente están contruidos de aluminio usan una cantidad significativa de material laminado el cual será sometido a gruesas capas de pintura así como de adhesivos. Mientras algunos de los paneles y las fundiciones de gran tamaño pueden ser removidas y segregadas, el cuerpo principal se podrá separar en diferentes aleaciones de aluminio y otros materiales. El

despintado térmico de las capas de pintura así como de adhesivos después del desfibrado asegurará la completa pirólisis de las cubiertas para evitar el excesivo desperdicio cuando la chatarra pintada sea refundida.

Uno de los sistemas actuales toma la chatarra desfibrada preseleccionada por medio de los métodos mecánicos y magnéticos comunes y la procesa en una tina de lavado (decapado). Esto remueve los componentes orgánicos de las pinturas y adhesivos y la mayoría de los pigmentos de la pintura remanente. La chatarra decapada puede ser entonces seleccionada por medio de un espectroscopio óptico antes del refundido.

Una cama de decapado para chatarra fue desarrollada para dar un decapado eficiente al desperdicio de aluminio que tiene un 50% de material orgánico. Los decapadores térmicos convencionales para aluminio están limitados a chatarra que tienen menos del 10% de material orgánico. El proceso anterior ha mostrado una excelente flexibilidad para diferentes tipos de chatarra que han sido procesados. Diferentes pruebas de decapado alrededor del mundo han dado como resultado una recuperación del 99.5%.

En cuanto al acero, que sigue siendo más utilizado en la industria automotriz, podemos decir que los automóviles son la mayor fuente de chatarra ferrosa.

Aproximadamente 7 millones de automóviles se reciclan anualmente así como camiones, autobuses y motocicletas, de tal manera que el reciclaje automotriz sea la decimosexta industria más grande en los Estados Unidos, y la más grande dentro del ramo del reciclaje. El departamento de transporte de los Estados Unidos calcula que existen 143 millones de automóviles y 44 millones de camiones circulan en ese país. Cerca del 75 % del automóvil puede ser reciclado (este porcentaje sigue aumentando). Históricamente, el material más utilizado en la industria automotriz ha sido metal ferroso, pero actualmente los plásticos están desplazando a los metales.

4.2.2 RECICLADO DE VIDRIO AUTOMOTRIZ

En Italia, al final de la vida de un vehículo el vidrio está siendo colectado en 60 centros de desmantelamiento, y está siendo reciclado para ser usado en botellas de comida. Se presenta entonces una situación especial en el reciclado porque los productos secundarios nuevos tienen características técnicas más bajas que los productos primarios. En la producción de paquetes de vidrio, el vidrio derivado del desperdicio del reciclaje automotriz fluctúa entre 40 y 60 %.

La importancia de esta recuperación tiene que ser vista desde una perspectiva de desarrollo sustentable; esto es, la comparación entre la energía, los costos ecológicos y los beneficios, confirman que el proyecto ofrece posibilidades reales

para usar la recuperación de vidrio en la producción de botellas del mismo material, asegurando que los materiales secundarios en dichos artículos tienen excelente calidad.

El vidrio, extraído de los carros desmantelados, es fraccionado y entonces adicionado a los materiales crudos antes de su fundición. La presencia de pedazos de vidrio produce algunos beneficios indirectos en la eficiencia de la fundición en lo que se refiere a ahorro de energía dependiendo de la pureza de los pedazos de vidrio.

4.2.3 RECICLADO DE PLASTICOS

Algunas compañías norteamericanas constructoras de automóviles le están dando una segunda vida a sus vehículos a través del reciclaje. De hecho algunos artículos comunes en nuestros hogares están encontrando también una nueva vida al integrar parte de ciertas piezas de los automóviles y camiones.

Por ejemplo, las botellas de material plástico de bebidas refrescantes atraviesan el proceso de reciclaje y son convertidas en nuevas parrillas para el equipaje y en las manijas para las puertas. Los teléfonos viejos y las cubiertas de las computadoras también son reciclados y comienzan a integrar las parrillas delanteras. Y los neumáticos usados son transformados para darle forma a los pedales del freno.

Algunos programas de reciclaje de vehículos en Estados Unidos se sustentan en dos estrategias: 1) usar en su fabricación materiales de productos reciclados en los vehículos producidos actualmente; 2) hacer que el propio vehículo sea un producto más reciclable.

Actualmente, en Estados Unidos, el 94% de los autos y camiones viejos son desmantelados y desmenuzados, y el 75% de su contenido por peso (incluyendo el hierro, acero, aluminio y cobre) es reciclado. Así mismo, las compañías están tratando de aprovechar el 25% del automóvil que normalmente no forma parte de la cadena de reciclaje. Es en este porcentaje en donde están incluidos los materiales plásticos, los textiles, el caucho, los adhesivos, pintura, vidrio y los materiales compuestos de nuevo uso.

Cada año en Estados Unidos, cincuenta millones de botellas de refresco se convierten en parte de las parrillas delanteras, parrillas para el equipaje, en el acojinamiento para las puertas. De una manera similar las baterías viejas de material plástico son convertidas en salpicaderas. Las defensas también son susceptibles de convertirse en parte de las luces traseras.

4.3 PROCESOS DE RECICLADO DE PLÁSTICOS

Para poderle dar un nuevo uso a los plásticos que se desechan de los automóviles, primero se tiene que lograr separar los distintos plásticos que conforman dichas partes automotrices. Luego se observan las características de los mismos y así se pueden procesar siguiendo una serie de pasos que se discutirán dentro de este capítulo.

Los plásticos, como ya se ha mencionado, se clasifican en dos grandes grupos: Termoplásticos y Termoestables; ambos susceptibles de ser reciclados de acuerdo con las siguientes situaciones:

Reciclado Primario: En éste tipo de reciclado los residuos plásticos se utilizan para obtener un producto final que tiene la misma aplicación del artículo original del que proceden. Los pedazos pueden reincorporarse en la producción, mezclados con el material plástico virgen siempre que cumplan tres condiciones:

- Buena homogeneidad.
- Limpieza.
- Granulación parecida al material base.

La proporción en que los residuos plásticos se incorporan al material virgen dependerá de lo siguiente:

- Naturaleza del polímero.
- Historia térmica de los residuos.
- Sistema de transformación, usando propiedades exigidas al producto final.

Según la naturaleza y clase de residuo, será necesario realizar operaciones previas de lavado, triturado o cortado y granulado.

Reciclado Secundario: Dentro de este proceso la finalidad es la obtención de nuevos productos. Por el origen de los residuos podemos reciclar materiales plásticos procedentes de diversas fuentes, como por ejemplo:

- Residuos plásticos industriales solos o mezclados.
- Residuos plásticos urbanos.

Estos materiales deben seguir un proceso para su selección y recuperación como el que se mencionó para el reciclado primario. (Figura 4.2)

Reciclado Terciario: En éste tipo de reciclado los residuos plásticos se convierten en productos no plásticos tales como aceites, ceras, grasas, monómeros o simplemente se transforman en energía, como combustible por ejemplo. El reciclado terciario se divide en reciclado energético y reciclado químico. Dentro del reciclado energético entran los procesos de incineración y de pirólisis. En el reciclado químico entran los procesos de hidrólisis y obtención de monómeros o también llamado fraccionamiento (cracking).

Los materiales termoplásticos pueden ser reciclados en las tres situaciones anteriores; en la primera, es recomendable usar de 20% al 30% de material reciclado en material virgen dependiendo del producto final.

Los materiales termoestables pueden ser utilizados al pulverizarlos y añadiéndolos como cargas o rellenos.

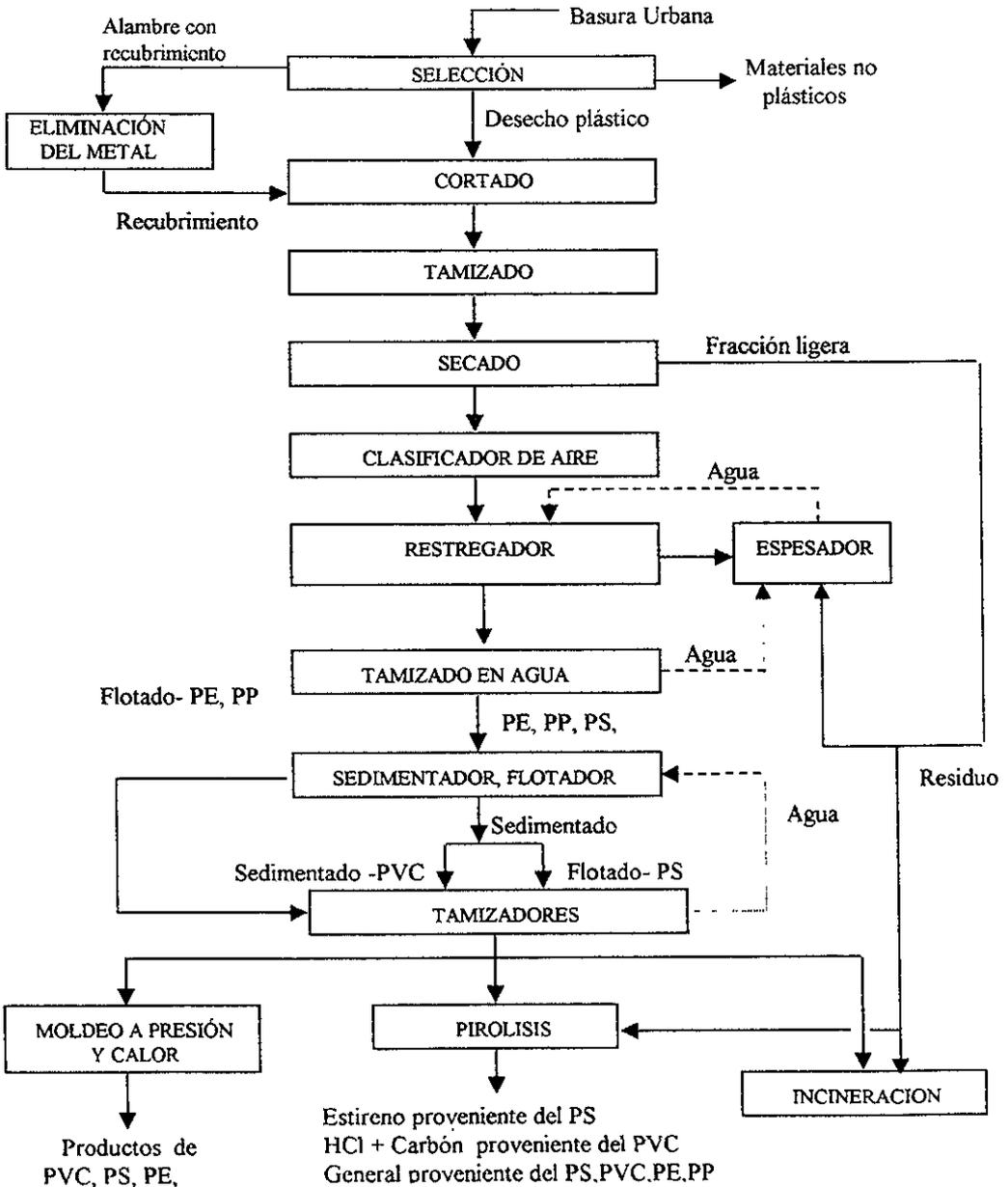


Figura 4.2 Proceso de recuperación de desechos plásticos

4.3.1 MÉTODOS DE SEPARACION DE LOS PLÁSTICOS

Para facilitar la separación de los diferentes plásticos se ha implementado el uso de un código que solo indica la resina con la cual está hecho el producto que lo tiene. Este código se conforma de un símbolo que es un triángulo seccionado y formado por tres flechas y en cuyo centro se encuentra la identificación del plástico utilizado, como se ve en la siguiente tabla:

TABLA 4.1 Código de identificación de plásticos

Número de identificación	Siglas	Tipo de plástico
1	PET	Polietileno-tereftalato
2	PEAD	Polietileno de alta densidad
3	PVC	Cloruro de Polivinilo
4	PEBD	Polietileno de baja densidad
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	----	Otros Plásticos

Este código se emplea generalmente en envases pero será importante en un futuro implementarlo en toda pieza plástica para facilitar su identificación y separación.

El reciclaje de los plásticos es influenciado por la pureza y condiciones de los tipos de plásticos que pueden ser aislados de los desechos plásticos. Los métodos opcionales de separación de plásticos, tales como; el método de separación por aire, métodos de separación en medio líquido, método de separación electrostático; están basados esencialmente en la forma, densidad, disolución selectiva y propiedades eléctricas de los mismos.

Clasificación por aire: Gran parte de los desperdicios plásticos recolectados tales como películas, fibras y espumas pueden ser separadas de los desechos de basura por medio de un clasificador de aire. Se han diseñado numerosos tipos de clasificadores, tanto experimentales como comerciales.

Método del cilindro caliente: En este método de separación, la mezcla de desperdicio es llevada por medio de una banda transportadora por debajo de un cilindro metálico caliente colocado sobre el paso del desecho, permitiendo así el contacto continuo con el material. La porción termoplástica de los desechos se adhiere al cilindro caliente de donde es raspada por una cuchilla fija en un segundo transportador. En este método se aprecian tres serias desventajas:

1. La capacidad del equipo es baja porque el desperdicio deberá apoyarse en el transportador en una capa delgada.

2. Siempre existe peligro de semimoldeo de la parte termoplástica o formación de una superficie pegajosa en el cilindro donde se pegan desechos de papel.
3. La porción termoestable quedará con la fracción de papel contenido en los desechos.

Método de contracción por calor: En este método la fracción de la mezcla de baja densidad es transportada en una corriente caliente de gas, causando una contracción a la parte termoplástica y colapsándose en sí misma.

La separación de la mezcla de plástico y papel puede realizarse en un separador de aire, un tamizador o ambos. El método requiere de una temperatura uniforme a través de toda la unidad y la temperatura de salida del horno deberá exceder a los 120°C para obtener una contracción efectiva. Algunas películas plásticas tienden a degradarse a 190°C mientras que otras se degradan a 177°C.

Separación por medio acuoso: Este tipo de separación se ha aplicado a la recuperación de materiales fibrosos como el papel impregnado de materiales plásticos. Generalmente se le da más importancia a la parte fibrosa, despreciando el valor de la parte no fibrosa. Esta última consiste en polímeros orgánicos que típicamente se incineraban o se disponían en un relleno sanitario.

Una propiedad física importante para este método es la densidad. La densidad de los termoplásticos puros es aproximadamente la misma que el agua, y varía de tal manera que favorece la separación por métodos giratorios de los componentes del desecho plástico (Figura 4.3). En la tabla siguiente se muestran las densidades de algunos plásticos peletizados.

TABLA 4.2 Densidades de plásticos puros peletizados

POLÍMERO	DENSIDAD (g/cm ³)
PP	0.9
LDPE	0.92
HDPE	0.94-0.96
PS	1.05-1.06
PVC	1.22-1.38

Como se observa en la tabla, la familia de las Poliolefinas (HDPE, LDPE, PP) tienen un intervalo de densidades entre 0.9 y 0.96 gr./cm³, el PS de 1.05-1.06 grs/cm³ y el PVC de 1.22-1.38 gr./cm³. Sin embargo los aditivos utilizados en los procesos de fabricación, pueden alterar estos valores.

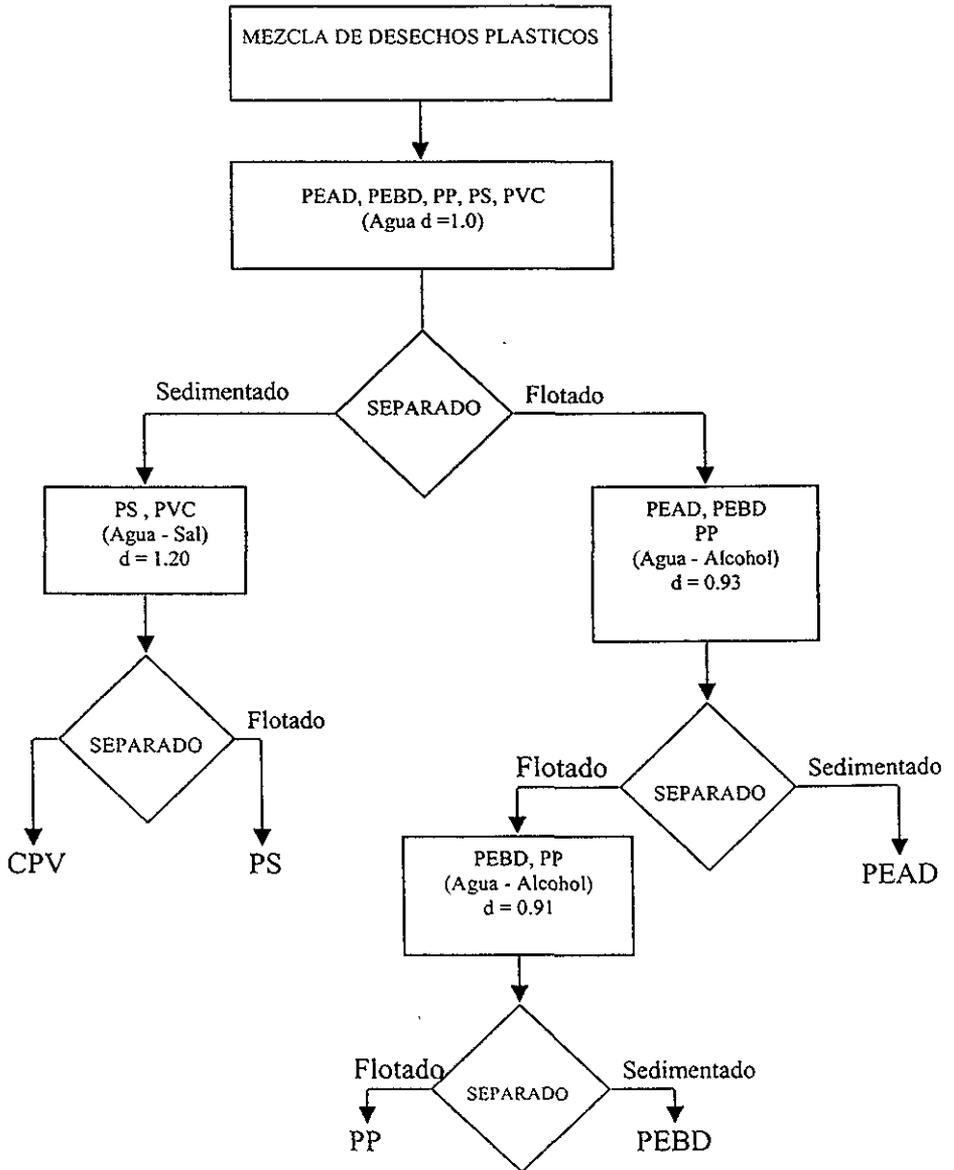


FIGURA 4.3 Separación de plásticos por sedimentación y flotación

Método Jigging: Este método ha sido usado para reducir el desperdicio de metal proveniente del desperdicio de alambre con aislamiento. En este método, la mezcla de material desechado es alimentada a un **lecho líquido - sólido pulsante**.

Como el líquido es pulsado, el lecho de grava produce una separación rápida permitiendo que el material pesado (metal) pase a través del lecho para llegar a un recipiente colector y al mismo tiempo el agua alimentada a la unidad lleve el material ligero (plástico) a un flujo superior dentro de la unidad.

Separación Electrostática: Este método es aplicable cuando se presentan dificultades de flotación. En éste método, la mezcla se alimenta al separador por medio de un alimentador vibratorio. La mezcla cae en un tambor rotatorio el cual está eléctricamente cargado haciendo contacto con una corona formada entre el tambor eléctricamente cargado y un electrodo; enseguida el papel es atraído o conducido hacia el electrodo y el plástico se adhiere al tambor, el plástico es removido del tambor por una cuchilla fija colocada en la parte inferior del tambor.

En algunos casos, un tamizador vibratorio puede usarse para concentrar o eliminar un componente específico de una mezcla de desechos. Tal es el caso para la separación de los desechos de alambre con aislamiento. El alambre metálico residual

en la mayoría de los casos deberá tamizarse a un tamaño menor que el aislamiento para que pueda ser concentrado. Esta técnica puede usarse para concentrar y recuperar el contenido metálico, así como la parte plástica por medio de procesos tales como el “Jigging”.

Como se dijo anteriormente, el plástico se adhiere al tambor en el lugar de donde se remueve con una cuchilla y es depositado después en un compartimiento. El material metálico es llevado hacia el electrodo donde es almacenado en otro compartimiento. En este separador se puede disponer de otro compartimiento que puede ser usado para separaciones posteriores.

4.3.2 ALGUNOS MÉTODOS DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS:

Polietileno (PE) y Polipropileno (PP): El beneficio de la película de Polietileno de Baja Densidad consiste básicamente en una separación por arrastre con aire, seguida de una trituración o molienda. El material granulado se lava en disolventes no polares, generalmente clorados, o si no se pretende eliminar las tintas de impresión, puede lavarse en solución acuosa con un detergente no iónico (alcohol laurílico-etoxilado o similares) y posteriormente se hace una separación por flotación para eliminar cualquier posible contaminación en su transformación final en nuevos productos.

La separación completa de los plásticos que se encuentran en los deshuesaderos es difícil por que hay cierta mezcla entre los diversos tipos de plásticos, por lo que se hace una separación por un sistema de flotación simultáneamente con el proceso de lavado. Después de ésta separación cada tipo de plástico se destina a diferentes compactadores. (Figura 4.4)

El granulado que sale de los compactadores pasa nuevamente al proceso de lavado y flotación, donde se separan por diferencia de densidad diversos tipos de plásticos que quedaron mezclados.

El primer lavado es realizado con agua y detergente, manteniendo las partículas en movimiento, ya sea por agitación manual o por agitador mecánico. El cloruro de polivinilo y el poliestireno se van al fondo, se separan las partículas flotantes y se pasan a otro tanque donde se tiene una solución de agua y alcohol; en esta solución se enjuagan y se separan el polipropileno (el cual flota), del polietileno, que por ser más denso se va al fondo.

Se recolectan las partículas flotantes, se escurren en esteras de mallas de alambre y luego se secan con un secador de charolas.

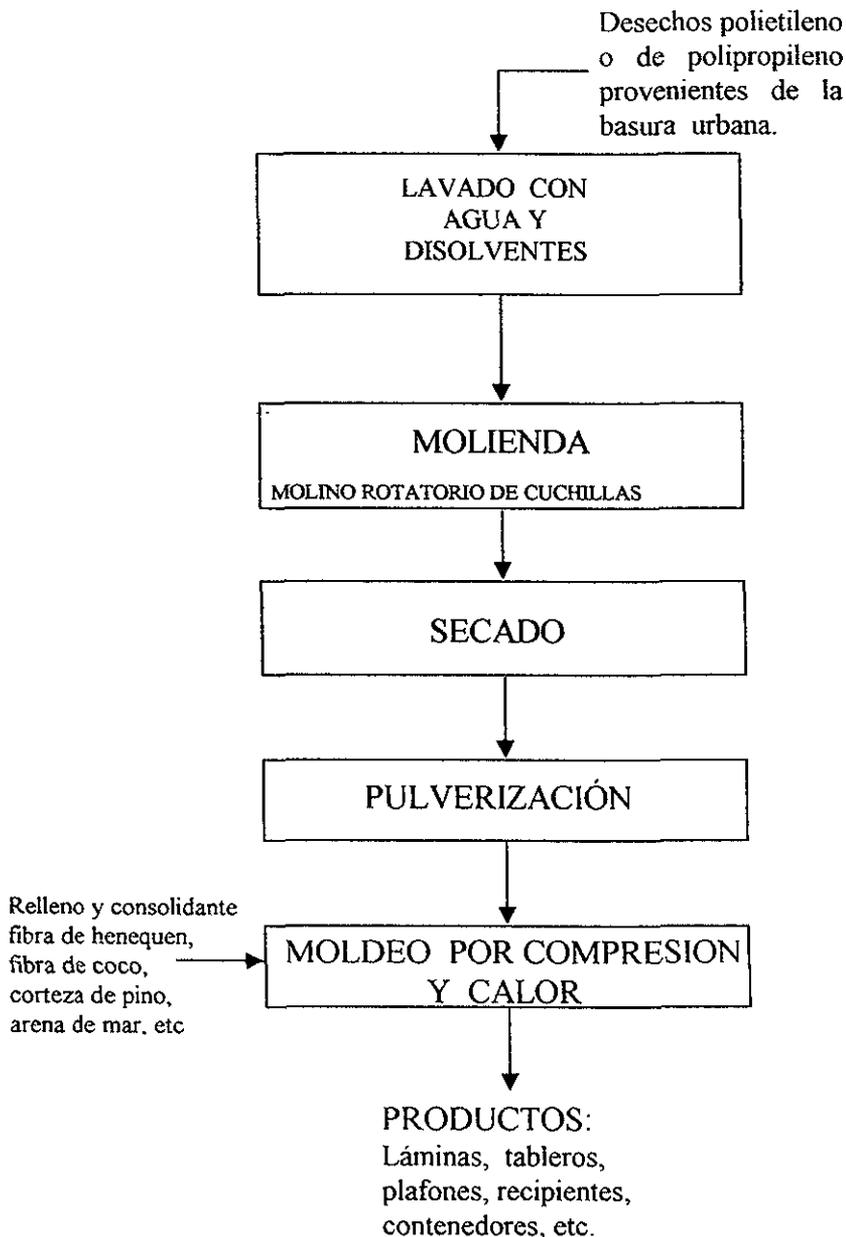


Figura 4.4 Proceso de reciclado del polietileno y polipropileno

Progress Zerglomatt de Kraus-Maffei. Este proceso se utiliza especialmente en la recuperación de película de polietileno y polipropileno. El aparato se compone de un recipiente cilíndrico en cuyo fondo existen unas cuchillas fijas y otras rotatorias que desmenuzan los desperdicios de lámina en trozos de aproximadamente un centímetro. Al mismo tiempo se genera una agitación que eleva la temperatura de tal modo que cuando se alcanza el punto de reblandecimiento del plástico se obtiene una aglomeración del material en grumos; en este momento se inyecta por medio de una válvula de dosificación una pequeña cantidad de agua. De este modo se obtiene, sin interrumpir el giro de las cuchillas, un aglomerado comprendido de entre 2 y 15 mm de diámetro.

Remarker de Kleindiest. Este sistema reprocesa directamente las mezclas de residuos plásticos mediante moldeo por inyección. Utiliza mezclas de polietileno, polipropileno, poliestireno y cloruro de polivinilo. La principal característica del equipo que realiza este proceso es un tornillo giratorio de plastificación con una zona de desmenuzamiento próxima a la zona de fusión que arrastra los residuos triturados a la zona de cizallamiento del tornillo. El material se inyecta a una presión relativamente baja mediante un aumento de la velocidad de giro del tornillo.

Reverser de Mitsubishi Petrochemical. Este proceso utiliza mezclas de reactores industriales, homogeneizada mediante el calor de fricción desarrollado en un

extrusor. Después el material es transferido a un tornillo vertical que lo inyecta en los moldes, normalmente de baja presión. Este proceso admite también la preparación de mezclas de residuos plásticos con otros tipos de desechos.

La máquina Mitsubishi, conocida como un convertidor, puede reprocesar mezclas de PE, PP, PS, ABS y PVC, provenientes de desechos moldeados , películas y fibras.

Los Plásticos mencionados anteriorente pueden ser mezclados en cualquier proporción con otros plásticos, previendo las siguientes condiciones:

1. La proporción de poliestireno deberá ser menor que el 20 % en peso con el fin de mantener resistencia al impácto .
2. La proporción de PVC deberá ser menor del 50 % en peso con el fin de prevenir la descomposición .

Alrededor de un 50 % de materiales tales como arena. fibra de papel y fibra de vidrio , puede ser adicionado a la mezcla para mejorar algunas propiedades específicas .

Algunos productos elaborados con éste proceso pueden ser, por ejemplo: estacas, recipientes y aislamientos para alambre eléctrico, entre otros.

El proceso "Reverser" comprende los siguientes pasos:

1. Pulverización: Los plásticos son pulverizados en pequeñas piezas, las que son enviadas a un almacén.
2. Secado: El material plástico es secado con el calor generado en la operación de molienda.
3. Mezclado: El mezclado se hace en un extrusor especialmente diseñado.
4. Inyección: después de ser mezclado el material se inyecta en moldes.
5. Enfriamiento: Los moldes son enviados a un cuarto en donde se enfrían por medio de agua reciclada. Finalmente son desalojados los productos ya moldeados.

Método Davo. Las mezclas de residuos plásticos son fundidas mediante un cilindro excéntrico y moldeadas por compresión para producir losetas, bordillos, pavimentos industriales, etc.

Procedimiento Holzaptel Freres. Los residuos provienen de la fabricación y transformación de productos complejos que tienen forma de lámina y en los que los plásticos recubren la parte textil. Los residuos se seleccionan teniendo en cuenta las proporciones plástico/textil y el color. Los residuos así recogidos se reducen a pequeños fragmentos mediante un molino. A estos fragmentos se les añaden los

aditivos en los silos de mezclado. La granulación se efectúa mediante presión y plastificación. Esta transformación tiene lugar en las máquinas de inyección.

Reciclado de Poliester: En Cleveland, Ohio, Estados Unidos, se desarrolló una patente para el reciclado de poliester proveniente de artículos desechados.

Esta técnica se refiere a la elaboración de productos moldeados a partir de poliester limpio recuperado de desechos plásticos; dichos desechos pueden ser moldeados por extrusión en rodillos, tubos, hojas, filamentos y fibras. También se pueden obtener por moldeo a compresión o por moldeo de inyección.

Este estudio se refiere específicamente al mejoramiento del poliester de polietilen-tereftalato recuperado de desechos plásticos del mismo producto, tales como: películas fotográficas, películas de rayos X, cintas magnéticas para grabadoras, tarjetas magnéticas para memoria, cintas de discos para computadora, películas de empaque, aislamiento de alambre y cables, recubrimientos y cualquier otra fuente de desecho de polietilen -tereftalato.

El tratamiento del poliester se somete en forma de pequeñas piezas a una presión de vacío de 0.001 a 10 mm de Hg y/o bajo una atmósfera de gas inerte durante un periodo de tiempo entre 4 y 60 horas y a una temperatura entre 200°C y

235 °C, para convertirlo en un material de fácil moldeo para la producción de artículos.

El tratamiento del PET comienza con un limpiado del desecho; posteriormente puede ser preparado en la forma de polvo, hilos o escamas.

Como se observa en las figuras 4.5 y 4.6, el desecho es cortado en partículas ligeras de cierto tamaño, alrededor de 1/4 de pulgada de diámetro y para el polvo alrededor de 0.001 pulgadas, estos materiales pueden ser manejados satisfactoriamente en forma separada.

Las partículas son llevadas a un horno en donde se realiza un control sobre la presión y la temperatura. La presión puede ser controlada por medio de la presencia de una atmósfera inerte tal como nitrógeno, argón, helio, o bien por medio de una bomba de vacío entre valores de 0.001 a 0 mm de Hg pero preferentemente entre 0.1 y 2mm de Hg. El intervalo de temperatura se controla entre 200°C y 235°C por un período de tiempo de 4 a 60 horas. El horno está provisto de medios de agitación ó éste puede ser en forma de cilindro rotatorio.

Agregando etilen-glicol al material antes de ser calentado en el horno, beneficia al proceso pero no necesariamente propicia el mejoramiento del material.

Las variables de la temperatura, tiempo, vacío o velocidad de flujo del gas, y el tamaño de partícula están interrelacionadas y afectan la velocidad y el grado de mejoramiento del material.

Manteniendo la temperatura en el intervalo de 200° C a 235° C y manteniendo las otras variables constantes, se alcanza el tiempo más corto para el mejoramiento del material de poliéster.

Para tiempos más largos y altas temperaturas, el material llega a ser muy duro; esto indica que el grado de moldeabilidad está afectado directamente por el manejo de variables. Incrementando el vacío, y disminuyendo el tamaño de partícula del material poliéster se incrementa la velocidad de reacondicionamiento y beneficio del material tratado.

Los límites prácticos para lograr el mejoramiento del material por el control de vacío, la velocidad de flujo y el tamaño de partícula, están fijados por los aspectos económicos del proceso.

Posteriormente el material es mejorado por el calor y la presión del horno, quedando en condiciones de ser moldeado ya sea por extrusión o por inyección y consecuentemente para su reutilización o refabricado.

Con el fin de obtener mejores productos derivados del moldeo por extrusión se pueden adicionar sólidos o líquidos al material mejorado antes de ser extruído, por ejemplo: la adición de 0.1 a 1 % en peso de carbón negro finamente dividido origina un producto negro con apariencia lustrosa y de una gran densidad relativa superior que 1.35. Adiciones de 0.05 a 4 % en peso de talco, titanio en forma de óxido u óxido de aluminio y otros similares, proporcionan materiales con un alto incremento en su densidad; así como la adición de benzofenona en un 0.05 a 0.5 %. Se puede adicionar colorantes para el control del color en los productos resultantes.

Se ha observado que es ventajoso moldear el producto mejorado inmediatamente después de haber sido obtenido. Si esto no es posible se deberá almacenar protegiéndolo de la humedad, ya que ésta desfavorece el moldeo del material mejorado. Si el material contiene humedad, éste deberá ser secado por medio de aire a una temperatura de 110° C por al menos 2 horas antes de ser moldeado.

El proceso mencionado presenta una modificación que consiste en extruir y pelletizar el poliester limpio antes de ser tratado térmicamente en el horno. Las partículas deberán tener un tamaño de 1/8 de pulgada o menos y el tratamiento térmico es similar al anterior, excepto que aquí se emplea un tiempo mayor con el fin de llegar a resultados equivalentes

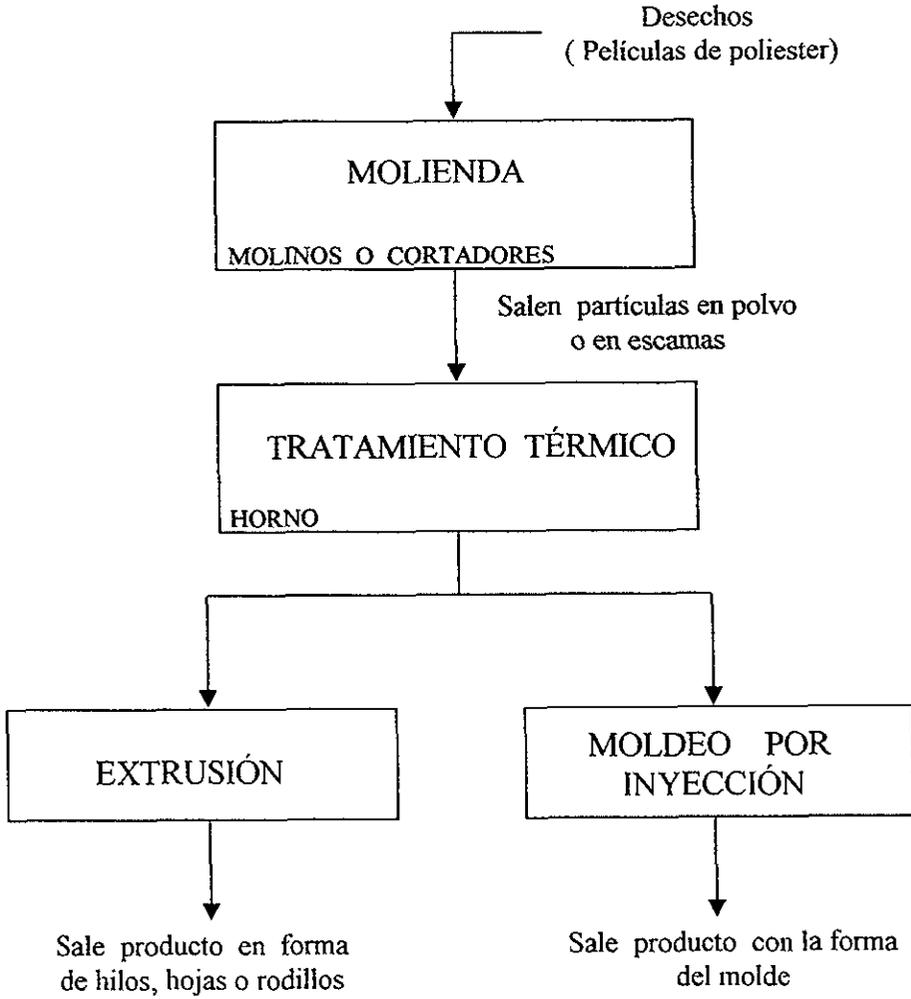


Figura 4.5 Proceso de reciclado de películas de poliéster

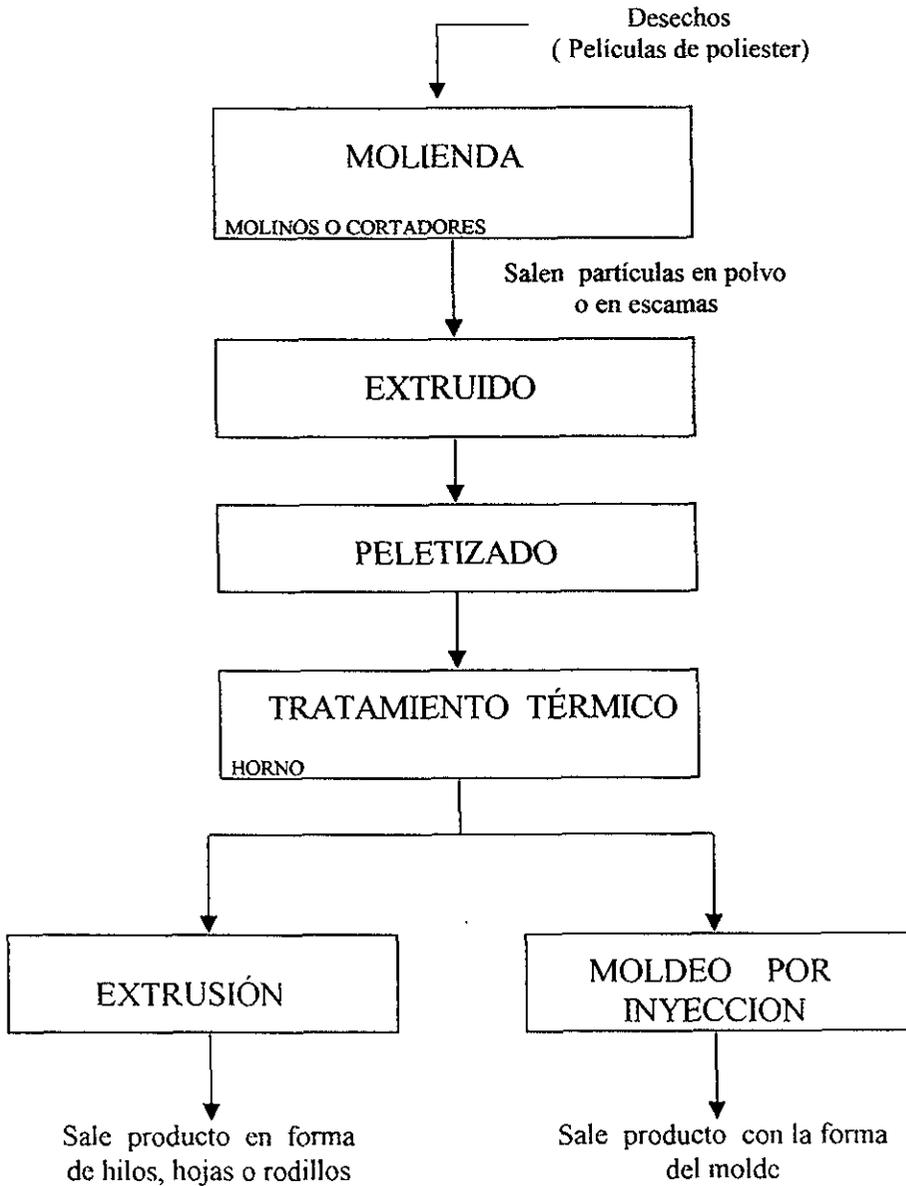


Figura 4.6 Variación del proceso de reciclado de películas de poliéster

Reciclado de Poliestireno y Copolímero: Se realizó un estudio en una compañía en donde el desecho se produce en el departamento de extrusión, en el cual se procesa el poliestireno y sus copolímeros como estireno-butadieno, el (ABS) acrílico-nitrilo estireno-butadieno.

El desecho que se produce en el proceso se debe principalmente a dos fuentes.

1.- Al iniciarse una corrida toma cierto tiempo fijar las condiciones óptimas de presión y temperatura para cada polímero, que logran que el plástico fluya correctamente y sea forzado homogénea y continuamente hacia fuera del extrusor a través de los dados. Mientras esto se logra, todo el material que no ha formado cordones homogéneos se ha estado aglomerando, formando masas grandes de material fundido que al solidificarse se convierte en bloques de gran tamaño y peso considerable.

2.- Cuando se ha finalizado una corrida de un cierto producto y el próximo a trabajarse en ese extrusor es de color diferente o de un compuesto distinto, se hace necesario limpiar o purgar el extrusor para que el nuevo material no se obtenga contaminado. Esta purga se efectúa haciendo pasar a través del extrusor polímeros cristalinos que arrastren todo el material que se encuentra en el interior de la máquina, quedando ahí sólo el mencionado polímero cristalino, el cual no afecta al

producto que va producirse. Lógicamente todo el material de purga queda como desecho.

Las generalidades del desecho son:

- Cantidad. La suficiente como para considerarlo como un material con posibilidades de recuperación.
- Estado físico: Sólido
- Compuestos: Amplia gama de copolímeros de cualquier combinación de los siguientes tres grupos: Estireno, estireno-butadieno, acrílico-nitrilo estireno-butadieno (ABS).
- Color: varios colores.
- Otro: No tóxico, no corrosivo, inflamable bajo condiciones de descarga eléctrica.

Después de haber analizado varias alternativas para aprovechar el desecho se llegó a la conclusión que la mejor opción era reacondicionar el producto para su venta. Entenderemos como reacondicionamiento del material para su venta el hecho de transformarlo al estado en el que el consumidor lo requiere para poder usarlo. El estado en el que los consumidores necesitan el poliestireno es en forma de gránulos para poderlo extruir, inyectar o moldear. Esta alternativa sólo requiere de un molino y no de varios.

Reciclado de PVC para Fabricación de Laminas. En base a los procesos de laminado y por analogía con la laminación por calandrado como proceso productivo en operación el proceso de reciclado comprendería los siguientes pasos(Figura 4.7):

- Pulverización
- Fundición
- Masticación
- Laminación por calandrado
- Enfriamiento y enrollado del producto

a) Pulverización : En este paso se realiza una inspección de los desechos para eliminar los contaminantes presentes como papel textiles adhesivos y materiales residuales no plásticos.

Los desechos se cortan en piezas pequeñas para obtener una excelente calidad de mezclado en la etapa de fundición empleando un molino rotatorio con enfriamiento de agua.

Para obtener el tamaño adecuado se tienen que ajustar las cuchillas del molino. El tamaño de las piezas debe ser de $0.10-0.25 \text{ cm}^2$ para obtener una mezcla homogénea óptima.

El material se almacena en depósitos para que posteriormente se alimente el mezclador intensivo por medio de tolvas.

b) Fundición: Las partículas de material termoplástico recuperado son alimentadas en cantidades controladas a un mezclador intensivo Banbury, éste opera con un motor de velocidad variable que permite añadir energía mecánica (esfuerzo cortante) en el mezclado con lo que se regula la velocidad de flujo y la temperatura del compuesto, la velocidad de los rotores y la potencia de mezclado determinan el tiempo requerido para llevar al compuesto a la temperatura de fusión.

c) Masticación: La masa plástica una vez fundida se pasa a un molino de rodillos, en donde se lleva a cabo la masticación del compuesto para lograr una mezcla uniforme y homogénea. Al final se separa en forma de tiras continuas para alimentarse a la calandra.

d) Laminación por calandrado: La masa plástica pasa entre los rodillos de la calandria y emerge al fondo de estos como una lámina. Las condiciones de velocidad y temperatura de los rodillos se determinan por el tipo de construcción laminar y por las especificaciones del producto final.

e) Después de laminado el producto, éste se pasa a través de la unidad de enfriamiento hasta alcanzar la unidad de enrollado.

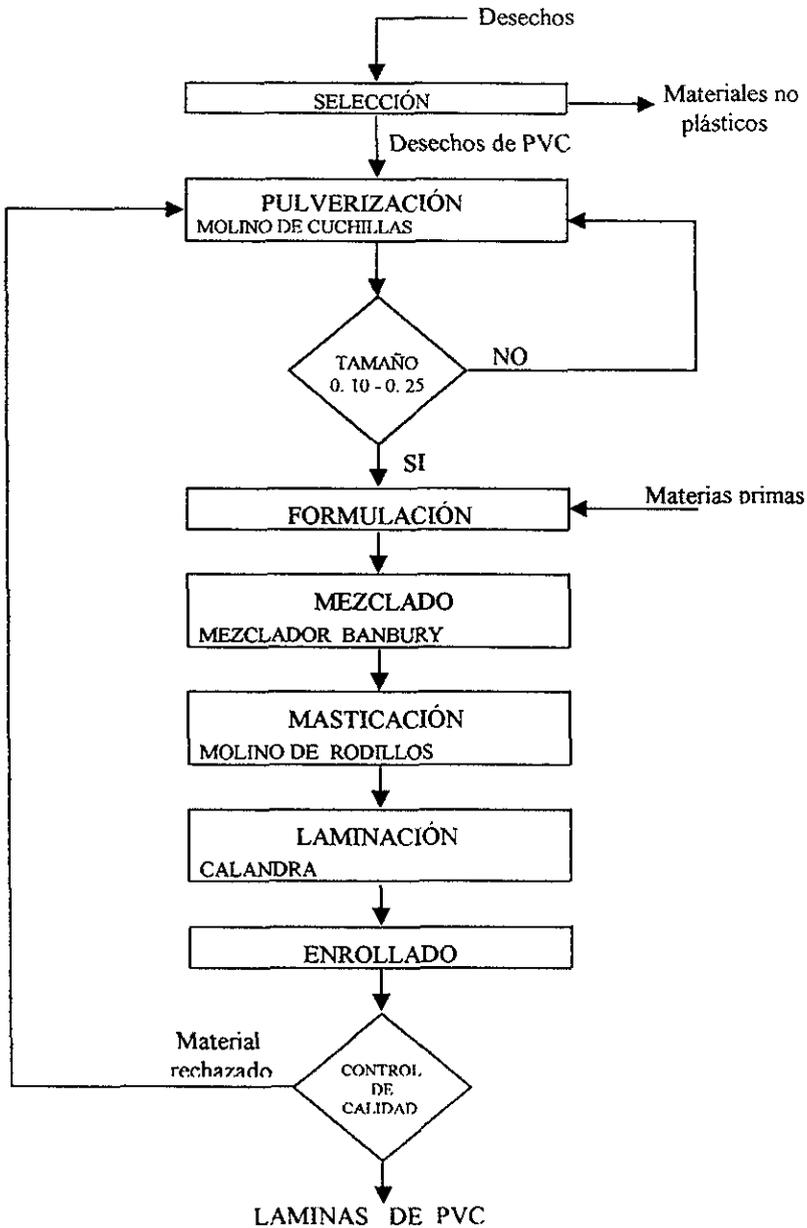


Figura 4.7 Proceso para el reciclado de PVC

En la actualidad se investigan otros métodos de reciclado como lo es el químico. El reciclado químico consiste en la ruptura de residuos plásticos en fracciones utilizables para su transformación en polímeros, monómeros, combustible o productos químicos. Esto es, se intenta controlar la ruptura de cadenas en una instalación para dar origen a fracciones de bajo peso molecular que son recuperables como monómeros, anticongelantes, gases fracciones de crudo, plastificantes, nuevos polímeros, etc. La principal dificultad es lograr la ruptura de los polímeros y depende de la naturaleza del polímero que tan fácil o difícil es su ruptura.

La idea no es nueva, pero su investigación sí lo es y así como su aplicación industrial, a continuación se mencionan los principales proyectos:

- Promover la licuefacción de mezclas de plásticos para desarrollar reservas de materias primas para su conversión en gasolina.
- Realizar el reciclado en refinería que transforma las mezclas de plásticos en hidrocarburos.
- Iniciar la pirólisis de residuos sólidos ricos en plásticos para su conversión en fracciones de crudo.

Los materiales que han presentado mayor dificultad para reciclarse químicamente son los termoestables puesto que los entrecruzamientos presentes tienden a resistir los métodos de reciclado químico que no sea la pirólisis.

Los polímeros que presentan una menor dificultad de despolimerización son los de tipo condensación (PET, nylon) y las resinas del tipo de reacción (PUR). Al aplicar la presión y la temperatura adecuada (en presencia de un reactivo) da cadenas más cortas

La despolimerización de los polímeros del tipo de adición (poliefinas, estirénicos, vinílicos) atrae un interés especial, dado el proceso catalítico que se requiere. a nivel laboratorio se ha logrado despolimerizar por medio de pirólisis para después convertir al monómero en un polímero virgen para aplicaciones de envasado.

A continuación se presentan los diferentes procesos que se manejan en la actualidad:

- Despolimerización

Proceso para romper moléculas largas de alto peso molecular que se encuentran en los desechos plásticos en cadenas más cortas y de menor peso molecular para su reutilización en bloques para polímeros vírgenes.

- Polímeros de Condensación /Reacción o Hidrólisis

Desarrollado por la General Motors Detroit, MI que consiste en la extrusión de dos husillos que convierte las espumas de poliuretano en poliol y se encuentra en nivel experimental.

- Glicólisis

Ruptura parcial en presencia de un glicol de polímeros de condensación o de reacción en monómeros, los cuales a su vez pueden volverse a polimerizar.

- Metanólisis

Ruptura total en presencia de metanol de polímeros de condensación o de reacción para dar monómeros que pueden ser transformados de nuevo. en Du Pont , llevan a cabo en la planta de demostración con mezclas de PET la ruptura total de PET en monómero para su reutilización.

- Transesterificación (variante de Glicólisis)

Se realiza a partir de mezclas de PET, La oxidación reduce el PET en monómeros para su repolimerización en polioles utilizados en espuma de polisocianurato, ésto ya en el ámbito comercial. La Synergistics Industries degrada el PET en unidades convencionales de esterificación para producir plastificantes para PVC, a nivel de planta piloto.

- Polímeros del Tipo de Adición

En los laboratorios Batelle, las unidades de demostración de procesos especiales rompen las cadenas que forman los plásticos en monómeros para su reutilización en ciclo cerrado. La Solar Energy Research Institute lleva a cabo demostraciones de procesos especiales que despolimerizan los desechos plásticos de mezclas de termoplásticos para la recuperación de monómeros. A nivel experimental en el Tokio Institute or Technology mediante lechos fluidificados de sílice dan lugar a un 80% de gases de metano y etileno combustibles.

- Hidrogenación

Consiste en la adición de hidrogeno a las fracciones de hidrocarbonatadas con objeto de obtener productos químicos de valor añadido.

Ya se han desarrollado algunas aplicaciones a nivel planta piloto por la UK-Wesseling, mediante el cracking de alta presión de plásticos en hidrocarburos, usando como materia prima mezclas de termoplásticos.

- Gasificación Electrocinética

Teniendo como materia prima mezclas de PET, L Mid-Ohio Technologies, utiliza un método de demostración en el que arcos eléctricos activan radicales libres, que separan el polímero en fracciones de gas industrial.

- Baño de Metal Fundido

La compañía Molten Metal Tech utiliza residuos poliméricos (plásticos incómodos como residuos médicos, cables e hilos, productos conteniendo metales pesados) inyectados en baños con metal fundido para dar gases, productos químicos y mezclas. Este método se encuentra ya en nivel comercial.

- Pirólisis Avanzada

En la SMC Automotive Alliance /SPI los residuos de compuestos para moldeado en lámina son pirolizados en gas, combustible y carbón; se utilizan termoestables a nivel demostración

- Disolución de polímeros (fraccionamiento con disolventes)

En Rensselaer Institute of Technology se llevan acabo demostraciones de fraccionamiento de mezclas de termoplásticos por disolución en Xileno, y la recombinación en compuestos. En la Politech University se realiza la solubilización y reprocesado de resinas epoxi curadas a partir de termoestables a nivel experimental.

CAPÍTULO V

*ANÁLISIS DEL PROCESO DE
RECICLADO MEDIANTE LA
EVALUACIÓN DE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS*

V. ANÁLISIS DEL PROCESO DE RECICLADO MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

Con lo visto en los capítulos II, III y IV se tiene la idea general del proceso de reciclaje de los plásticos. En este capítulo se analizará de una manera más práctica dicho proceso de reciclaje.

El análisis que se propone se basa en el comportamiento de algunas de las propiedades mecánicas de los plásticos, tales como la dureza, la tenacidad, la resistencia a la tracción y la resistencia a la ruptura mediante un ensayo de impacto.

Para poder realizar el análisis del proceso de reciclaje de los plásticos de uso en la industria automotriz, se tendría que recurrir a un estudio muy extenso, por lo que se enfocará al análisis del reciclaje a solo uno de los plásticos de mayor interés. Cabe mencionar, además, que los procesos de reciclaje son muy variados, por lo que sólo se analizarán algunos de ellos.

5.1 PROCESO DE OBTENCIÓN Y RECICLAJE DEL PLÁSTICO USADO EN LAS PRUEBAS.

Para las pruebas se utilizaron cuatro defensas o facias recuperadas de un deshuesadero. Dos de las defensas eran de un vehículo Golf y las otras dos de un automóvil Tsuru. Mediante la consulta de manuales de aplicaciones de plásticos se determinó que las dos defensas eran de polipropileno reforzado con fibra de vidrio. Estas defensas fueron lavadas con agua y detergente para después ser trituradas en una máquina que cuyas características se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 5.1 Características de la máquina trituradora utilizada en el proceso

MOTOR	30 HP, trifásico, CA, 3500 rpm
CUCHILLAS	6, de 5 x 20 x 50 cm
TAMIZ	5 x 5 mm

Una vez que se tuvo la materia prima, ésta se lavó nuevamente con agua y con detergente sumergiendo los “pellets” en recipientes y agitándolos sin interrupción durante aproximadamente 5 minutos para eliminar las posibles impurezas que se hubieren generado durante el proceso de trituración para después ser enjuagados y escurridos en mallas y secados con aire (Figura 5.1).

Como se mencionó en el capítulo IV las mezclas más comúnmente usadas en el reciclado de materiales termoplásticos son aquellas que contienen de un 20 a un 30 % de material reciclado; sin embargo para el análisis que se discutirá más adelante, se usaron las siguientes mezclas: (los porcentajes son basados en peso).

- 100% plástico reciclado (Golf, Tsuru)
- 50% plástico reciclado - 50% plástico virgen con pigmento (Golf, Tsuru)
- 50% plástico reciclado - 50% plástico virgen sin pigmento (Golf, Tsuru)
- 100% PP virgen con pigmento
- 100% PP virgen sin pigmento

Se proponen las mezclas anteriores para que, mediante el análisis de sus propiedades, se defina si son susceptibles ya sea de un reciclado primario o de un secundario.

Una vez obtenida la materia prima, reciclada y virgen, se elaboraron las mezclas mediante una balanza y se separaron para después inyectar las probetas en un molde especial en la máquina de inyección de la Facultad de Ingeniería.

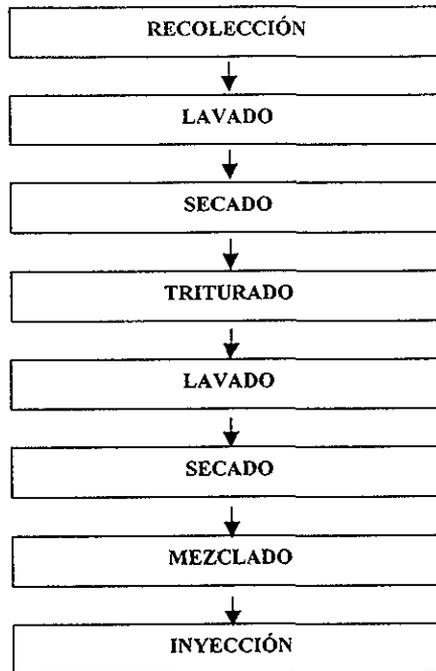


FIGURA 5.1 Diagrama del proceso propuesto para el reciclado del PP reforzado usado en las defensas automotrices

5.1.1 CONDICIONES DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE LAS MEZCLAS.

Para inyectar las probetas utilizadas en las pruebas, se utilizó la máquina de inyección de la Facultad de Ingeniería (Figura 5.2) que se ubica en los Laboratorios de Ingeniería Mecánica, y cuyas características se muestran en la tabla 5.2. Se utilizó un molde, proporcionado por CELANESE a la Facultad de Ingeniería, que permitió obtener en una sola inyección probetas estandarizadas para los ensayos de: Dureza, Impacto y Tracción.

TABLA 5.2 Características de la máquina de inyección de la FI

MARCA	MAG
MODELO	ERGO TECH PRO 50-270
PAÍS	ALEMANIA
VOLTAJE	230 V
CORRIENTE	57 A (alterna)
FRECUENCIA	60 Hz
FLUJO MAX	62 l/min
P MAX	210 bar



FIGURA 5.2 Máquina de inyección (Facultad de Ingeniería)

5.2 ENSAYOS REALIZADOS AL MATERIAL RECICLADO

Para el análisis de las propiedades de las mezclas propuestas se realizaron ensayos de dureza, tracción (% de deformación máxima, esfuerzo máximo, % de deformación de ruptura, % de deformación de cedencia) e impacto, para caracterizar el comportamiento mecánico de los materiales.

5.2.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

En la realización de los ensayos de tracción se utilizó el equipo del Laboratorio de Pruebas Mecánicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (Figura 5.3). El equipo consiste en una Máquina Universal de Pruebas Mecánicas marca INSTRON, cuyas características se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 5.3 Características de la máquina universal de pruebas mecánicas (INSTRON)

Modelo	42106
Mordazas	Apertura máxima de 6.35 mm
Capacidad	150 KN
Velocidades de aplicación de carga	Hasta 25 KN a 500mm/min y Hasta 150 KN a 50mm/min
Precisión de la celda de carga	+/- 1% de la lectura a 1/50 de su capacidad
Rango de velocidades del marco de carga	0.05 a 500 mm/min.
Precisión de la velocidad del marco de carga	+/- 0.2% en valores superiores a 100 mm
Velocidad de regreso del marco de carga	500 mm/min.
Rigidez de la máquina	140 KN/mm

Se utilizó además un calibrador, marca Mitutoyo, modelo CD-6 con un rango de medición de 0-152.4 mm y una resolución de 0.01 mm para la medición de las dimensiones de las probetas.

Para estos ensayos de tracción se utilizó el procedimiento publicado en las normas *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, designación D 638-91.

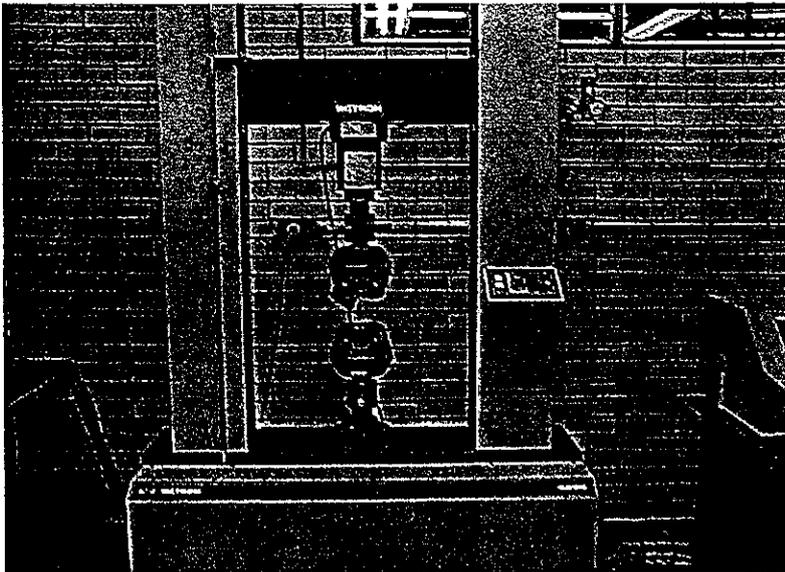


FIGURA 5.3 Máquina universal de pruebas mecánicas (INSTRON)

5.2.2 ENSAYOS DE DUREZA

Para los ensayos de dureza, al igual que en los de tracción se utilizó el equipo de la Facultad de Ingeniería, que consiste en una máquina marca Misawa Seiki Seisakusho, Serie 75064, calibrada según la norma ASTM E18-01LM 39 (Figura 5.4).

En estos ensayos se usaron probetas que se inyectaron con las dimensiones especificadas en la norma ASTM D 785-89 para ensayos de dureza para plásticos

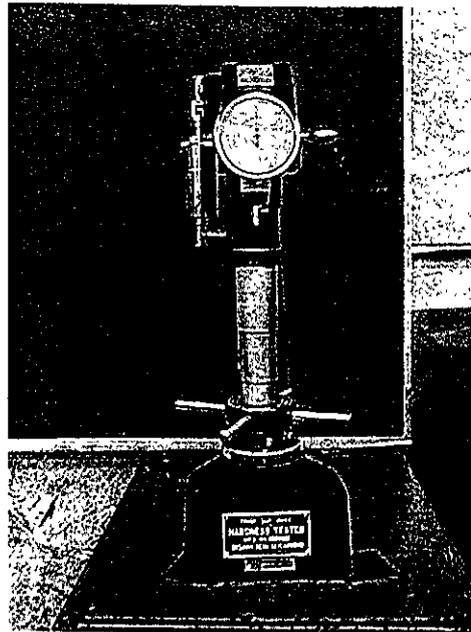


FIGURA 5.4 Durómetro Rockwell

5.2.3 ENSAYOS DE IMPACTO

Para los ensayos de impacto se utilizó la máquina para pruebas de impacto de los Laboratorios del Departamento de Ingeniería Mecánica, marca Karl Frank GMBH WEINHEIM-BIRKENAU, tipo 53586, Con un largo de péndulo de 780 mm y con una fuerza aplicada de 150 J. Unidades: Joules [J] (Figura 5.5). Se siguió la norma para los ensayos de impacto para materiales plásticos (ASTM D 256-92). Las pruebas de impacto serán de utilidad, ya que con ellas se determinará qué material tiene mayor tenacidad y cómo decrece esta propiedad conforme cambia el porcentaje de material reciclado y la presencia de pigmento en las muestras.

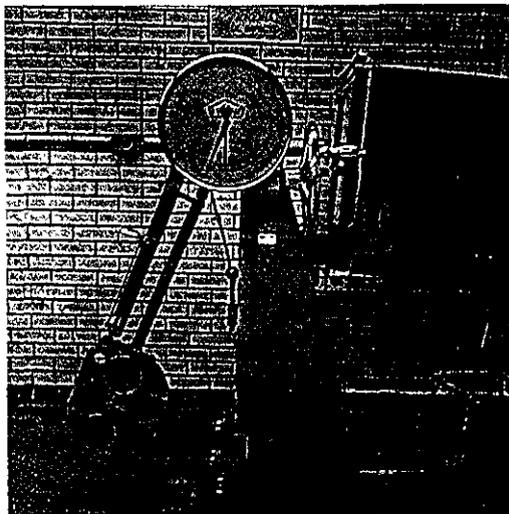


FIGURA 5.5 Máquina para pruebas de impacto

5.3 RESULTADOS

Los resultados de los diversos ensayos proporcionaron un punto de comparación entre las diferentes mezclas de los plásticos usados en vehículos de dos diferentes marcas. Con esto se esperan obtener datos que sean útiles para el análisis de las propiedades de los plásticos reciclados dentro de la industria automotriz.

5.3.1 REPORTE DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de tracción, junto con los diagramas de esfuerzo-deformación, que se obtuvieron en la máquina universal de pruebas mecánicas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: Tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04

Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez

Fecha: 7 de diciembre de 1998.

Identificación de la muestra: 100% Golf (DOS).

Tipo de la muestra: ASTM

Tipo de Interface: 4200 Series

Parámetros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversa [mm/min]: 50.000	Temperatura [°C]: 18

Dimensiones de la muestra:

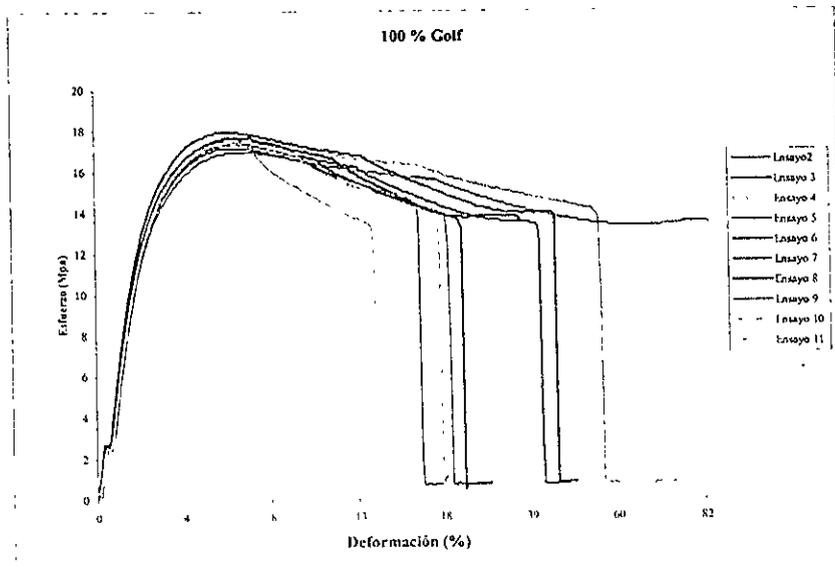
Ancho [mm]	13.550
Espesor [mm]	3.3000
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.000
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

11 probetas probadas, 1 excluida

Comentarios: la máquina siguió aplicando carga después de haberse roto la probeta

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 0.2% [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
Excluida	7.040	7.184	.7852	17.56	81.05	82.70	.6121	13.69	.6266
2	7.790	7.949	.7570	16.93	40.83	41.66	.6241	13.96	.6599
3	6.640	6.776	.7892	17.65	54.26	55.37	.6161	3.78	.5966
4	7.280	7.429	.7892	17.65	56.41	57.56	.6322	14.14	.7382
5	6.820	6.959	.7772	17.39	54.57	55.68	.6000	13.42	.6516
6	6.980	7.122	.7812	17.48	43.90	44.79	.6121	13.69	.6449
7	7.570	7.724	.7651	17.11	78.87	80.48	.6040	13.51	1.9480
8	6.940	7.082	.8013	17.92	57.82	59.00	.6241	13.96	.6499
9	6.880	7.020	.7933	17.75	38.42	39.20	.6523	14.59	1.9180
10	6.950	7.092	.7772	17.39	35.28	36.00	.6040	13.51	.6149
11	6.830	6.969	.7812	17.48	42.08	42.94	.6201	13.87	.6616
Promedio	7.065	7.210	.7816	17.48	53.04	54.13	.6183	13.83	.8828
STDV	.345	.352	.0125	.28	15.40	15.71	.0150	.34	.5206

Número de probeta	% de deformación a la cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
Excluida	.6394	.1168	2.612	847.7	.0501	52.52
2	.6734	.1168	2.612	741.5	.0492	26.83
3	.6088	.1168	2.612	794.3	.0475	35.41
4	.7533	.1208	2.702	783.9	.0496	38.00
5	.6649	.1168	2.612	812.1	.0427	35.21
6	.6581	.1168	2.612	794.8	.0457	29.05
7	1.988	.4832	10.810	804.8	.4448	49.78
8	.6632	.1208	2.702	677.2	.0520	38.63
9	1.957	.4872	10.900	815.2	.4330	26.18
10	.6274	.1007	2.252	794.8	.0328	23.00
11	.6751	.1168	2.612	741.3	.0511	28.07
Promedio	.9008	.1830	4.094	782.5	.1181	34.79
STDV	.5313	.1495	3.344	46.5	.1587	9.59



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04

Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez H.

Fecha : 12 de enero de 1999.

Identificación de la muestra: 100 % Tsuru (SIETE)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de interface: 4200 Series

Parámetros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversal [mm/min]: 50.000	Temperatura [° C]: 15

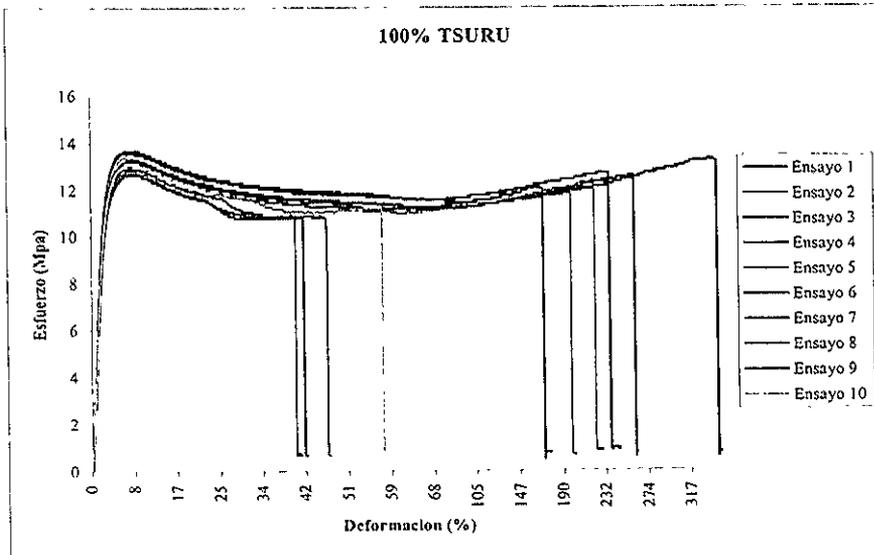
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.490
Espesor [mm]	3.1300
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.500
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

10 probetas probadas, 0 excluidas

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 0.2 % [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	9.600	9.746	.5718	13.55	270.0	274.1	.5315	12.59	7266
2	9.320	9.462	.5476	12.97	257.6	261.5	.4913	11.64	2.0670
3	6.210	6.305	.5718	13.55	330.4	335.5	.5557	13.16	2.0870
4	7.780	7.898	.5637	13.35	263.4	267.4	.5154	12.21	2.0730
5	8.370	8.497	.5557	13.16	236.6	240.2	.5033	11.92	1.9900
6	9.390	9.533	.5557	13.16	292.7	297.1	.5235	12.40	.7616
7	9.070	9.208	.5356	12.69	105.6	107.2	.4550	10.78	2.0230
8	8.700	8.832	.5315	12.59	110.8	112.5	.4510	10.68	.7382
9	8.020	8.142	.5436	12.88	124.0	125.9	.4550	10.78	.7666
10	9.490	9.635	.5476	12.97	153.2	155.6	.4671	11.07	2.1520
Promedio	8.595	8.726	.5525	13.09	214.4	217.7	.4949	11.72	1.5380
STDV	1.051	1.067	.0139	.33	82.9	84.2	0369	.87	.6815

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	.7377	.1248	2.957	676.4	.0528	135.40
2	2.0980	.3745	8.871	597.6	.3615	122.60
3	2.1180	.4027	9.539	597.9	.4312	166.70
4	2.1050	.4027	9.539	586.3	.4112	128.00
5	2.0200	.3745	8.871	604.6	.3613	113.60
6	.7732	.1168	2.766	631.5	.0568	143.10
7	2.0540	.3664	8.680	563.9	.3743	48.98
8	.7494	.1127	2.671	592.2	.0480	50.77
9	.7783	.1168	2.766	608.9	.0579	57.64
10	2.1840	.3946	9.348	529.7	.4468	72.16
Promedio	1.5620	.2786	6.601	598.9	.2602	103.90
STDV	.6918	.1390	3.293	38.6	.1797	42.80



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04

Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez H.

Fecha : 9 de diciembre de 1998.

Identificación de la muestra: 50% -50% Golf con pigmento (SEIS)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de interface: 4200 Series

Parámetros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversal [mm/min]: 50.000	Temperatura [° C]: 18

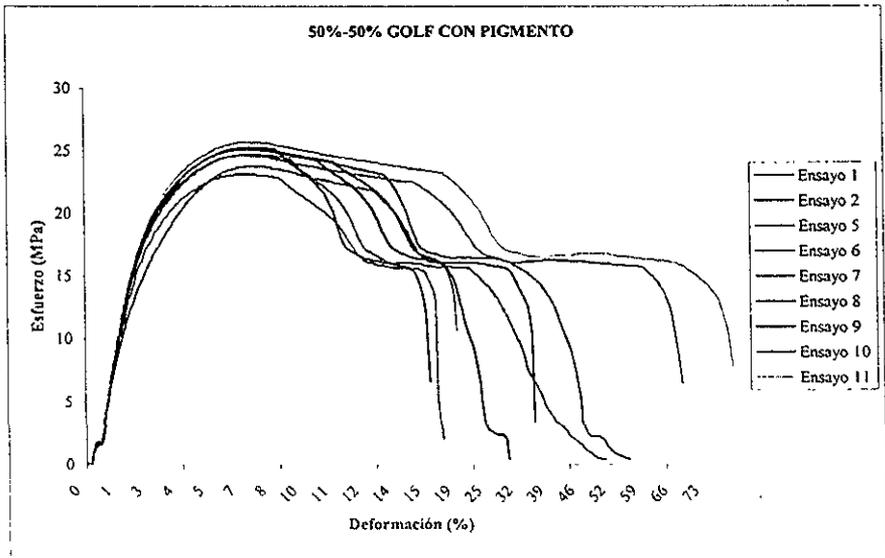
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.590
Espesor [mm]	3.3000
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.500
Distancia entre mordazas (mm)	110.00

11 probetas probadas, 1 excluida

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 0.2 % [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	7.820	7.939	1.132	25.25	52.07	52.86	.4510	10.060	2.070
2	7.390	7.503	1.071	23.89	43.69	44.35	.4429	9.879	2.018
Excluida	7.580	7.695	1.115	24.87	72.58	73.69	.6443	14.370	2.000
4	7.100	7.208	1.148	25.60	36.26	36.82	.3906	8.712	2.095
5	7.590	7.706	1.111	24.78	41.75	42.39	.7047	15.720	2.087
6	7.890	8.010	1.136	25.34	37.35	37.92	.7007	15.630	2.102
7	7.360	7.472	1.039	23.17	41.32	41.95	.6201	13.830	2.070
8	7.360	7.472	1.132	25.25	52.73	53.53	.5637	12.570	2.063
9	7.510	7.624	1.127	25.14	43.77	44.43	.4107	9.161	2.097
10	7.140	7.249	1.107	24.69	68.85	69.90	.5637	12.570	2.018
11	7.870	7.990	1.152	25.69	76.29	77.45	.4953	11.050	2.118
Promedio	7.510	7.624	1.115	24.88	51.52	52.30	.5443	12.140	2.067
STDV	.273	.277	.034	.75	14.54	14.76	.1138	2.538	.039

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	2.102	.7087	15.81	1072.0	.6792	41.16
2	2.049	.5718	12.75	870.2	.5373	33.39
Excluida	2.030	.6765	15.09	1093.0	.5926	59.33
4	2.127	.7127	15.90	1061.0	.6789	30.56
5	2.118	.6845	15.27	1040.0	.6443	35.24
6	2.134	.7087	15.81	1061.0	.6662	32.39
7	2.102	.6483	14.46	985.9	.6030	33.20
8	2.095	.6966	15.54	1090.0	.6267	43.97
9	2.129	.7127	15.90	1061.0	.6805	36.60
10	2.049	.6765	15.09	1061.0	.6092	54.80
11	2.151	.7288	16.26	1061.0	.7139	61.66
Promedio	2.099	.6842	15.26	1042.0	.6393	42.03
STDV	.039	.0436	.97	63.5	.0511	11.42



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04

Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez

Fecha : 8 de diciembre de 1998

Identificación de la muestra: 50% - 50% Tsuru con pigmento (TRES)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de interface: 4200 Series

Parametros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversal [mm/min]: 50.000	Temperatura [° C]: 18

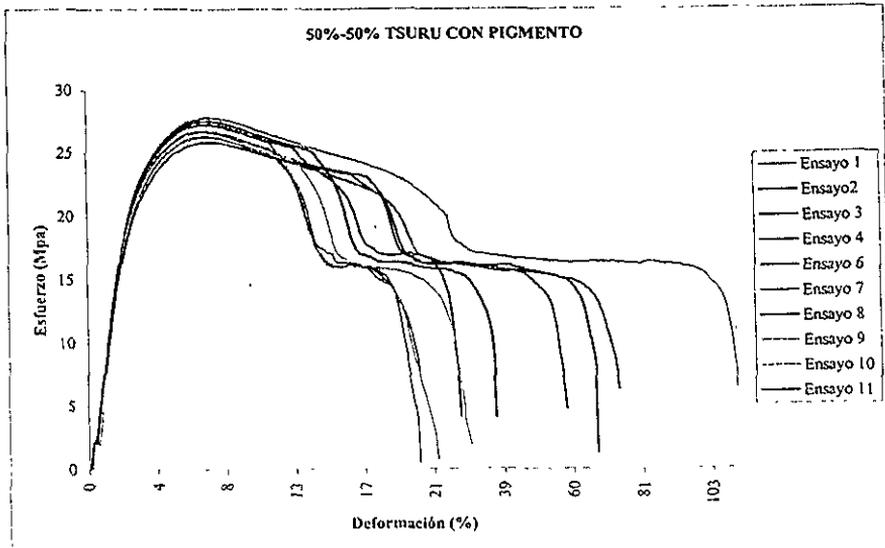
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.550
Espesor [mm]	3.2000
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.610
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

11 probetas probadas, 1 excluida

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 0.2 % [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	7.370	7.474	1.280	29.53	102.50	103.90	.6644	15.330	1.995
2	7.450	7.555	1.268	29.25	66.91	67.85	.5074	11.700	2.072
3	7.320	7.423	1.228	28.33	86.57	87.79	.4429	10.220	1.982
4	7.590	7.697	1.252	28.88	59.09	59.92	.6362	14.680	2.002
Excluida	7.450	7.555	1.244	28.70	30.70	31.13	.6523	15.050	1.987
6	7.260	7.362	1.232	28.42	54.01	54.77	.4470	10.310	2.095
7	7.210	7.312	1.264	29.16	51.42	52.15	.4550	10.500	2.002
8	7.730	7.839	1.208	27.87	83.60	84.78	.4631	10.680	2.017
9	7.700	7.809	1.216	28.05	59.08	59.91	.4872	11.240	2.035
10	7.890	8.001	1.228	28.33	51.26	51.98	.4148	9.568	2.010
11	8.060	8.174	1.188	27.41	73.48	74.51	.6483	14.960	2.223
Promedio	7.548	7.655	1.237	28.54	65.33	66.25	.5290	12.200	2.038
STDV	.271	.275	.028	.64	20.08	20.36	.0992	2.289	.071

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	2.023	.7973	18.39	1319	.7235	84.53
2	2.101	.8053	18.58	1264	.7560	56.67
3	2.010	.7611	17.56	1285	.6878	68.15
4	2.030	.7812	18.02	1274	.7047	54.57
Excluida	2.015	.7852	18.11	1318	.6903	27.40
6	2.125	.7973	18.39	1241	.7507	45.77
7	2.030	.7892	18.21	1319	.6898	44.50
8	2.045	.7570	17.46	1252	.6837	67.90
9	2.064	.7651	17.65	1220	.6974	48.57
10	2.038	.7570	17.46	1253	.6822	42.41
11	2.255	.7933	18.30	1011	.8650	62.81
Promedio	2.067	.7808	18.01	1251	.7210	54.84
STDV	.072	.0178	.41	86	.0544	15.59



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04

Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez

Fecha : 3 de diciembre de 1998.

Identificación de la muestra: 50% - 50% Golf (UNO)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de interface: 4200 Series

Parámetros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversal [mm/mi]: 50.000	Temperatura [° C]: 18

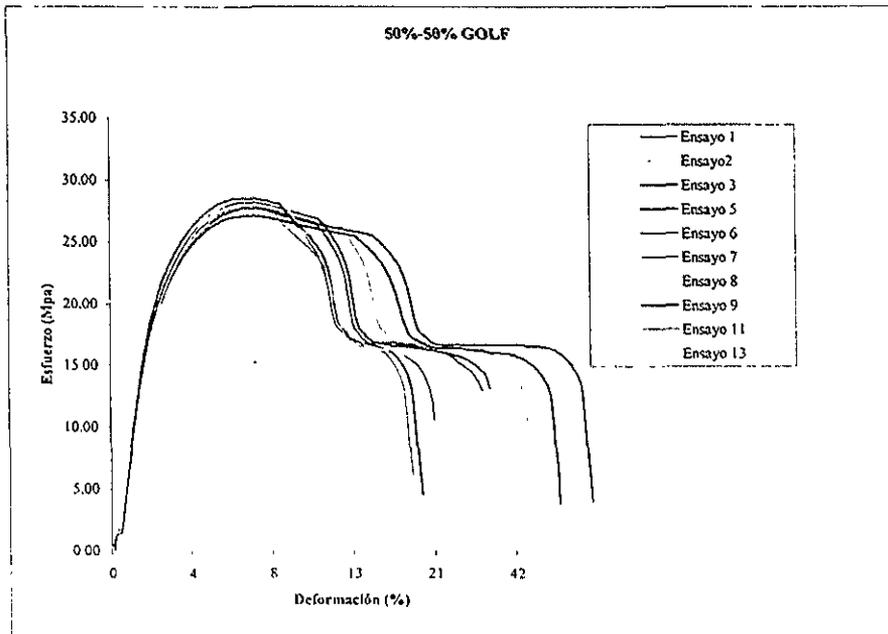
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.530
Espesor [mm]	3.300
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.500
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

13 probetas probadas, 3 excluidas

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 0.2 % [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	7.840	7.935	1.236	27.69	45.09	45.64	.5879	13.17	2.088
2	7.610	7.702	1.236	27.69	59.15	59.87	.4631	10.37	2.067
3	7.500	7.591	1.212	27.15	60.17	60.90	.6322	14.16	2.087
Excluida	7.640	7.733	1.236	27.69	75.19	76.10	.5798	12.99	2.018
5	7.040	7.126	1.264	28.32	51.71	52.34	.6564	14.70	2.127
6	7.460	7.551	1.236	27.69	64.46	65.25	.6604	14.79	2.043
7	7.710	7.804	1.240	27.78	52.25	52.89	.6121	13.71	2.167
8	7.020	7.105	1.268	28.41	45.02	45.56	.6443	14.43	2.098
9	7.030	7.115	1.276	28.59	40.49	40.98	.6564	14.70	1.990
Excluida	7.580	7.672	1.188	26.61	36.16	36.60	.5194	11.64	2.077
11	7.390	7.480	1.236	27.69	39.76	40.25	.6564	14.70	2.095
Excluida	7.610	7.702	1.216	27.24	37.82	38.28	.6322	14.16	2.068
13	7.540	7.632	1.192	26.70	51.83	52.46	.4470	10.01	2.077
Promedio	7.459	7.550	1.234	27.63	50.70	51.32	.5960	13.35	2.077
STDV	.269	.272	.027	.60	11.62	11.76	.0744	1.67	.045

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	2.114	.7651	17.14	1112.	.7466	39.02
2	2.092	.7691	17.23	1208.	.7117	49.12
3	2.112	.7570	16.96	1187.	.6812	50.81
Excluida	2.043	.7449	16.69	1176.	.6614	60.49
5	2.153	.7772	17.41	1219.	.6841	44.00
6	2.068	.7651	17.14	1208.	.6873	54.89
7	2.193	.7772	17.41	1208.	.6901	44.00
8	2.124	.7852	17.59	1230.	.7064	38.36
9	2.014	.8053	18.04	1262.	.7335	37.70
Excluida	2.102	.7369	16.51	1176.	.6474	29.84
11	2.120	.7731	17.32	1208.	.6938	36.74
Excluida	2.094	.7651	17.14	1208.	.6866	33.10
13	2.102	.7449	16.69	1144.	.6705	42.11
Promedio	2.102	.7666	17.17	1196.	.6924	43.09
STDV	.045	.0183	.41	38.	.0273	8.78



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04 Nombre

del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez

Fecha: 9 de diciembre de 1998.

Identificación de la muestra: 50% - 50% Tsuru (CINCO)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de Interface: 4200 Series

Parametros de la maquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversal [mm/min]: 50.000	Temperatura [°C]: 18

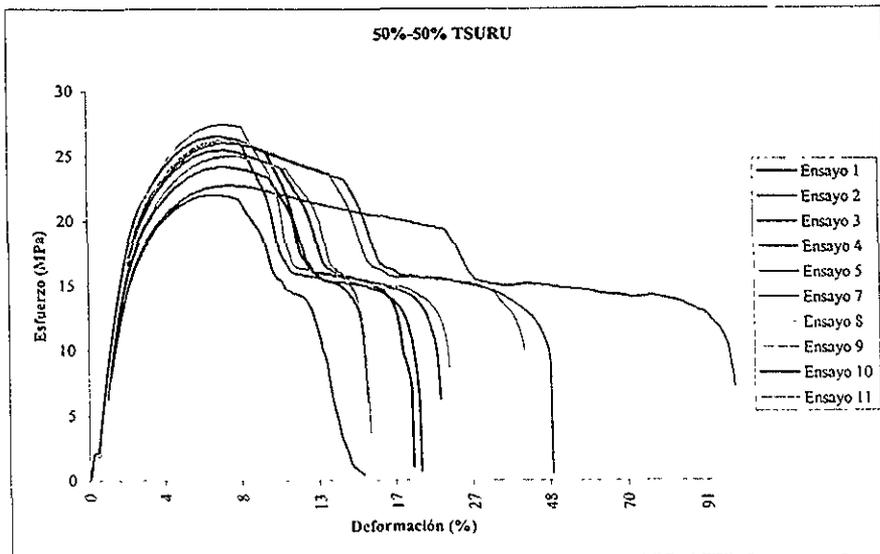
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.470
Espesor [mm]	3.4100
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.300
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

11 Probetas probadas, 1 excluida

Numero de probeta	Desplazamiento máximo al	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [Mpa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	7.400	7.528	1.220	26.57	46.90	47.71	.4268	9.295	1.982
2	7.740	7.874	1.204	26.22	38.40	39.07	.6322	13.770	2.070
3	7.600	7.731	1.172	25.52	51.01	51.90	.5194	11.310	2.012
4	7.720	7.854	1.196	26.04	68.10	69.28	.4913	10.700	2.013
5	8.120	8.260	1.047	22.80	94.75	96.38	.4913	10.700	1.992
Excluida	7.580	7.711	1.031	22.45	92.66	94.27	.5798	12.630	2.077
7	7.440	7.569	1.011	22.02	32.48	33.04	.3423	7.453	1.978
8	8.070	8.210	1.204	26.22	62.28	63.36	.5919	12.890	2.110
9	8.33	8.474	1.148	25	52.09	52.99	.5678	12.36	2.083
10	7.820	7.955	1.111	24.19	49.12	49.96	.3986	8.681	2.030
11	7.840	7.976	1.260	27.44	38.01	38.67	.6765	14.730	2.092
Promedio	7.787	7.922	1.146	24.95	56.89	57.87	.5198	11.320	2.040
STDV	291	.296	.084	1.83	20.93	21.29	.1024	2.229	.048

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [Mpa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	2.016	.7570	16.49	1137.0	.6956	38.17
2	2.106	.7490	16.31	1086.0	.7180	32.32
3	2.046	.7168	15.61	1137.0	.6426	40.63
4	2.048	.7208	15.70	1106.0	.6498	53.01
5	2.026	.6362	13.85	992.6	.5766	67.82
Excluida	2.113	.6483	14.12	951.3	.6192	68.28
7	2.013	.6121	13.33	982.4	.5478	23.68
8	2.146	.7409	16.13	1083.0	.7068	50.10
9	2.119	.7047	15.35	1034.0	.6642	41.50
10	2.065	.6845	14.91	1034.0	.6435	37.62
11	2.128	.7812	17.01	1148.0	.7360	34.12
Promedio	2.075	.7047	15.35	1063.0	.6545	44.30
STDV	.049	.0540	68.3	.0585	14.19	1.18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de Prueba: Tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04 Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez

Fecha: 8 de diciembre de 1998.

Identificación de la muestra: 100% virgen con pigmento (CUATRO)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de Interface: 4200 Series

Parámetros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/seg]: 10.00	Humedad [%]: 50
Velocidad transversal [mm/min]: 50.000	Temperatura [°C]: 18

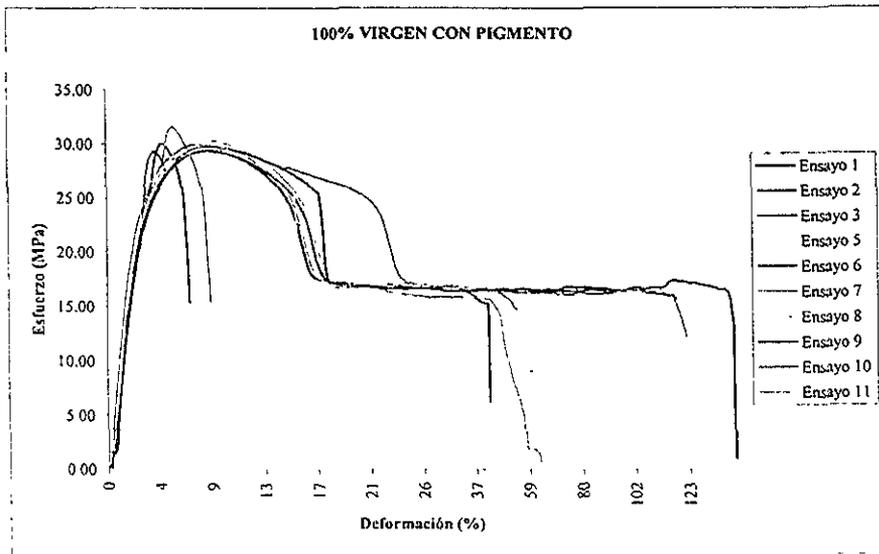
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.590
Espesor [mm]	3.5800
Longitud de la zona de prueba [mm]	97.160
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

11 probetas probadas, 1 excluida

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 0.2 % [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [Mpa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [Mpa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	8.540	8.790	1 429	29.38	136.60	140.60	.6845	14.07	2.167
2	8.510	8.759	1 434	29.48	123.70	127.30	.7731	15.89	2.013
3	8.820	9.078	1.462	30.06	13.94	14.35	1.3570	27.90	2.192
Excluida	8.920	9.181	1.425	29.30	190.80	196.40	.7087	14.57	2.170
5	8.160	8.399	1.462	30.06	69.46	71.49	.4872	10.02	2.205
6	8.790	9.047	1.425	29.30	11.33	11.66	1.3850	28.48	2.162
7	8.190	8.429	1.538	31.62	22.69	23.35	.7691	15.81	2.110
8	8.250	8.491	1.478	30.39	82.25	84.66	.5033	10.35	2.083
9	8.380	8.625	1.450	29.81	81.34	83.71	.7490	15.40	2.083
10	8.560	8.810	1 442	29.65	122.50	126.10	.7530	15.48	2.140
11	8.230	8.471	1.458	29.98	89.24	91.84	.7208	14.82	1.733
Promedio	8.486	8.734	1.455	29.91	85.80	88.31	.8083	16.62	2.096
STDV	.270	.278	.033	.67	56.03	57.67	2953	6.07	.133

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	2.230	.8980	18.46	1110.	.9261	116.80
2	2.072	.8698	17.88	1216.	.8001	105.50
3	2.256	.8980	18.46	1187.	.8657	16.93
Excluida	2.233	.8617	17.72	1158.	.8148	162.20
5	2.269	.8939	18.38	1187.	.8590	59.08
6	2.225	.8698	17.88	1129.	.8393	12.97
7	2.172	.9221	18.96	1283.	.8298	28.81
8	2.144	.9020	18.54	1255.	.8135	71.29
9	2.144	.8657	17.80	1187.	.7986	74.11
10	2.203	.8899	18.30	1168.	.8612	107.50
11	1.784	.9100	18.71	1274.	.8246	79.46
Promedio	2.158	.8892	18.28	1196.	.8393	75.88
STDV	.137	.0198	.41	57.	.0372	45.80



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

Ensayo de tracción para plásticos

Tipo de prueba: tensión

Instron Corporation Series IX Automated Materials Testing System 1.04

Nombre del operador: Andrés De Tuoni y Alejandro Suárez H.

Fecha : 12 de enero de 1999.

Identificación de la muestra: 100% PP (OCHO)

Tipo de muestra: ASTM

Tipo de interface: 4200 Series

Parámetros de la máquina para la prueba:

Velocidad de muestreo [pts/sec]:	10.00	Humedad (%):	50
Velocidad transversal (mm/min):	50.000	Temperatura (° C):	18

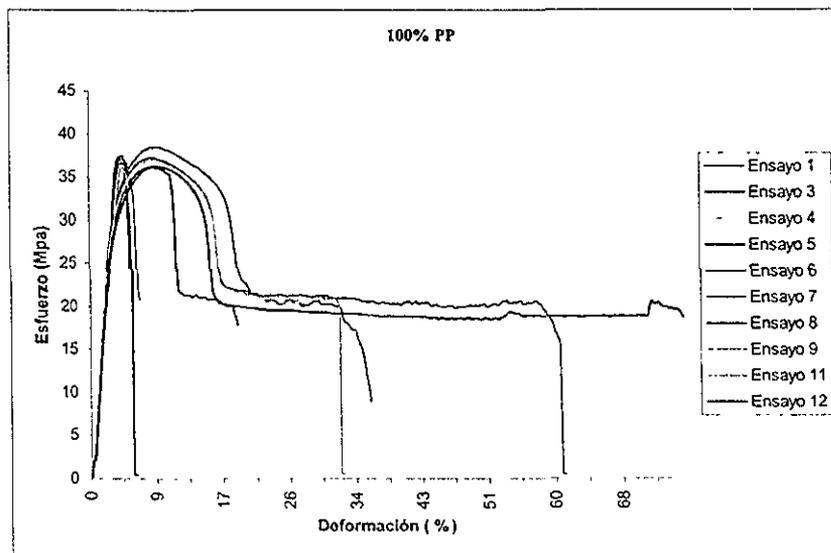
Dimensiones de la muestra:

Ancho [mm]	13.450
Espesor [mm]	3.2000
Longitud de la zona de prueba [mm]	98.580
Distancia entre mordazas [mm]	110.00

12 probetas probadas, 2 excluidas

Número de probeta	Desplazamiento máximo al 2% [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
1	8.480	8.602	1.6470	38.280	14.020	14.220	1.0790	25.080	2.1020
Excluida	2.110	2.140	.2497	5.803	5.070	5.143	.1007	2.339	.5699
3	8.390	8.511	1.6430	38.180	162.600	164.900	.6725	15.630	2.0120
4	7.920	8.034	1.6430	38.180	15.420	15.640	.9221	21.430	2.0830
5	8.670	8.795	1.6990	39.480	97.800	99.210	.3584	8.329	2.1280
6	8.560	8.683	1.6550	38.460	13.640	13.840	1.2200	28.350	2.0580
7	8.380	8.501	1.6390	38.090	17.130	17.380	.9141	21.240	2.0870
8	8.210	8.328	1.5950	37.070	51.120	51.860	.7852	18.250	2.1630
9	8.200	8.318	1.6310	37.900	86.040	87.280	.8698	20.210	2.1200
Excluida	7.540	7.649	1.6750	38.930	332.100	336.900	.8738	20.310	1.6650
11	8.900	9.028	1.6030	37.250	14.980	15.200	1.0710	24.890	2.1870
12	9.100	9.231	1.5990	37.160	206.000	209.000	.8215	19.090	2.1850
Promedio	8.395	8.516	1.6390	38.090	91.890	93.220	.8716	20.260	2.0720
STDV	.435	.441	.0318	.740	103.400	104.900	.2284	5.307	.1451

Número de probeta	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
1	2.1320	1.0470	24.330	1549.0	1.0190	19.1700
Excluida	.5781	.1127	2.620	941.3	.0422	.8356
3	2.0410	1.0270	23.860	1605.0	.9351	153.1000
4	2.1130	1.0870	25.270	1605.0	1.0740	20.7500
5	2.1590	1.0630	24.710	1516.0	1.0600	94.5400
6	2.0880	1.0310	23.960	1571.0	.9733	18.7200
7	2.1170	1.0550	24.520	1560.0	1.0400	22.5800
8	2.1950	1.0510	24.420	1527.0	1.0470	51.9400
9	2.1510	1.0470	24.330	1549.0	1.0380	86.5300
Exluida	1.6890	1.0630	24.710	1661.0	1.0090	297.2000
11	2.2180	.9946	23.110	1450.0	.9850	19.8900
12	2.2160	.9906	23.020	1417.0	.9871	179.8000
promedio	2.1020	1.0410	24.200	1546.0	1.0150	87.6600
STDV	.1472	.0291	.676	69.4	.0419	89.8600



5.3.2 REPORTES DE LOS ENSAYOS DE DUREZA

Para los ensayos de dureza se realizaron cinco pruebas en cada probeta a una cierta distancia del borde (por lo menos 6 mm), según se especifica en las normas correspondientes. Los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación en forma de tablas la escala utilizada es la HRR:

TABLA 5.4 Reciclado 100% GOLF

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	75.3	75.4	71.1	72.7	71.8	70.2	77.4	73.5	73.6	74.4	
2	72.7	73	73.8	75.3	70.6	68.2	75.4	74	73.1	76	
3	74.6	73.2	73.2	74	72.8	72.8	74	74.3	72.7	70	
4	73.5	72.7	71.8	74	69.1	75.5	73.9	71	71.3	76.6	
5	74.8	70.2	71.7	73.5	67.9	71.2	75.6	71.2	69.6	70.4	
PROMEDIO	74.18	72.9	72.32	73.9	70.44	71.58	75.26	72.8	72.06	73.48	72.89
σ	1.0569	1.8493	1.1300	0.9460	1.9807	2.7535	1.4276	1.5796	1.6196	3.1035	

TABLA 5.5 Reciclado 100% TSURU

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	33	29	32.4	32.7	32.9	28.3	33.4	31.9	34.4	33.1	
2	30.1	35.1	32.2	31.4	32.5	36.4	32.7	29.4	35.2	31.7	
3	29	30	33.4	29	33.6	36.9	30.9	29	34	32.8	
4	27.1	29.3	33.6	30.3	30.4	32.6	32.5	27	28	33.7	
5	34.1	32.7	32.2	30.9	31.7	33	31.2	33	24.7	15.6	
PROMEDIO	30.66	31.22	32.76	30.86	32.22	33.44	32.14	30.06	31.26	29.38	31.40
σ	2.8745	2.6148	0.6841	1.3649	1.2276	3.4660	1.0550	2.3954	4.6517	7.7374	

TABLA 5.6 50%-50% GOLF con pigmento

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	101.2	101.3	98.8	99.4	101.1	100.8	100	99.3	98.4	102.4	
2	99.4	101.4	98	100	100.8	102.7	100.6	99.2	98.1	101.3	
3	100.3	101.7	95.3	99.6	101.1	100.8	97	98	97.9	102.6	
4	97.9	101.6	96.7	99.3	100.1	102	100.2	99.7	97.8	100.9	
5	99.9	100.9	98.1	100.3	99.8	102.7	99.9	98.7	97.3	100.2	
PROMEDIO	99.74	101.4	97.38	99.72	100.6	101.8	99.54	98.98	97.9	101.5	99.85
σ	1.2219	0.3114	1.3882	0.4207	0.5975	0.9566	1.4450	0.6535	0.4062	1.0134	

TABLA 5.7 50%-50% TSURU con pigmento

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	101.3	94.3	101.5	104.4	103.6	99.4	100.7	94.2	97.8	97.1	
2	97.5	93	101.8	104.3	101.2	99.2	99.1	95.3	98.8	96.6	
3	101.3	93.6	102.4	103.1	101.4	99.8	101.3	94.1	97.9	97.5	
4	100	91.3	101	104	102.7	98.8	98.6	94.7	101.3	97.3	
5	100.9	92.2	100.8	102.2	102.7	99.8	101.3	93.7	99.3	96.7	
PROMEDIO	100.2	92.88	101.5	103.6	102.3	99.4	100.2	94.4	99.02	97.04	99.06
σ	1.6000	1.1735	0.6403	0.9354	1.0035	0.4243	1.2689	0.6164	1.4202	0.3847	

TABLA 5.8 50%-50% GOLF

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	105.8	105.5	105.9	104.8	105.3	105.8	106.1	104.4	105.9	103.5	
2	105.6	103.5	104.7	104.4	104.8	104	105.7	104.5	105.2	103.6	
3	105.7	105.3	106	104	104.3	103.5	104.4	105	106.6	103.8	
4	105.5	105.8	104.6	104.4	104.7	103.6	104.4	104.3	105.3	103.9	
5	104.5	104.3	105.1	103.6	105.1	103.8	105.3	105	105.1	103.9	
PROMEDIO	105.4	104.9	105.3	104.2	104.8	104.1	105.2	104.6	105.6	103.7	104.80
σ	0.5263	0.9550	0.6580	0.4561	0.3847	0.9476	0.7662	0.3362	0.6301	0.1817	

TABLA 5.9 50%-50% TSURU

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	103.4	102.9	102.3	101.4	103.3	103.3	105.4	102.4	100.1	101.3	
2	103.2	101.3	100	100.8	104.3	104.1	105.7	103.6	101.5	101.7	
3	103.3	103.3	102.7	101.3	102.5	102.3	105.3	102.5	101.1	101.9	
4	102.5	103.9	101.9	101	103.3	103.4	104.4	103.4	99.2	100.9	
5	100.2	103	101.7	100.8	104.2	103.7	105.5	104.5	100.4	100.6	
PROMEDIO	102.5	102.9	101.7	101.1	103.5	103.4	105.3	103.3	100.5	101.3	102.53
σ	1.3442	0.9654	1.0354	0.2793	0.7430	0.6693	0.5030	0.8643	0.8961	0.5404	

TABLA 5.10 100% POLIPROPILENO CON PIGMENTO

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	08	9	10	PROM
1	111	110.7	111.7	111.6	108.7	109.8	108.3	111.2	110.3	110.2	
2	110.8	110.8	110.8	111	109.9	109.8	109.9	110.8	111.2	109.5	
3	110.9	110.8	111.6	109.6	110.6	108.8	110	110.4	110.3	110.1	
4	110.3	111	110	110.3	110.4	108.8	109.4	110.8	109.5	110.3	
5	110.6	111.7	110.9	111	109.3	108.8	109.7	110.9	109.5	109.4	
PROMEDIO	110.7	111	111	110.7	109.8	109.2	109.5	110.8	110.2	109.9	110.27
σ	0.2775	0.4062	0.6892	0.7681	0.7855	0.5477	0.6877	0.2864	0.7057	0.4183	

TABLA 5.11 100% POLIPROPILENO

# Prueba\Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM
1	112.8	111.4	112.8	111.7	112.7	112	112.1	111.4	112.8	110.9	
2	112.5	112.6	112.6	112	112	111.9	111.6	111.2	111.8	111.7	
3	112.4	111.7	111.9	111.9	112.4	112.1	111.7	111.3	111.3	112	
4	112.5	112.5	112	112.1	111.9	111.7	111.9	112.6	112.6	111	
5	112	112.9	112.1	112.6	112.2	111.6	111	112.2	112.2	111.2	
PROMEDIO	112.4	112.2	112.3	112.1	112.2	111.9	111.7	111.7	112.1	111.4	112.00
σ	0.2881	0.6380	0.3962	0.3362	0.3209	0.2074	0.4159	0.6229	0.6066	0.4722	

5.3.3 REPORTE DE LOS ENSAYOS DE IMPACTO

Según la norma consultada para la realización de los ensayos de impacto, y tomando algunas consideraciones, se realizaron 10 ensayos para cada muestra de material. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

TABLA 5.12 Resultados de los ensayos de impacto

PROBETA	Golf 50-50 c/p [J]	Golf 50-50 s/p [J]	Tsuru 50-50 s/p [J]	Tsuru 50-50 c/p [J]	PP 100% s/p [J]	PP 100% c/p [J]
1	5	4.8	6.4	7.9	2.8	2.8
2	4	3.2	6.1	4.5	7.3	2.5
3	6.5	6.9	6.3	4	2.8	1.4
4	3.5	4.5	7.9	4.5	3.2	2.1
5	6.5	5	4	5.5	2.7	2.2
6	6.4	3.5	4.5	5	2	2.2
7	6.8	4	6.1	3.8	1	2.6
8	2	4.2	4.5	9.5	3.1	1.8
9	6	3.8	9.5	3.5	1.8	3.8
10	6.1	4.2	7.5	7	3.1	3.1
PROMEDIO	5.28	4.41	6.28	5.52	2.98	2.45

Nota: Las probetas de las dos muestras de material 100% reciclado no dieron resultados concluyentes, ya que las probetas soportaron el impacto de la masa sin fracturarse.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis se construyeron unas tablas comparativas para poder ver en dos o tres tablas lo que se reportó anteriormente en 15 ó 20, tomando en cuenta los promedios de las muestras de cada mezcla. Con esto se pretende corroborar qué tanto caen las propiedades de las mezclas con material reciclado.

TABLA 5.13 Comparación de resultados de los ensayos de tracción (1)

Número de muestra	Desplazamiento máximo al 0.2 % [mm]	% de deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de ruptura [mm]	% de deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
UNO (50% -50% golf)	7.459	7.550	1.234	27.63	50.70	51.32	.5960	13.35	2.077
DOS (100% golf)	7.065	7.210	.7816	17.48	53.04	54.13	.6183	13.83	.8828
TRES (50% - 50% Isuru)	7.548	7.655	1.237	28.54	65.33	66.25	.5290	12.200	2.038
CUATRO (100% PP c/pig)	8.486	8.734	1.455	29.91	85.80	88.31	.8083	16.62	2.096
CINCO (50% - 50% Isuru o/cu)	7.787	7.922	1.146	24.95	56.89	57.87	.5198	11.320	2.040
SEIS (50% -50% golf c/pig)	7.510	7.624	1.115	24.88	51.52	52.30	.5443	12.140	2.067
SIEETE (100% Isuru)	8.595	8.726	.5525	13.09	91.43	91.67	.4949	11.72	1.538
OCHO (100% PP)	8.395	8.516	1.6390	38.09	91.890	93.220	38.716	20.260	2.072

Valor mínimo	
Valor máximo	

TABLA 5.14 Comparación de resultados de los ensayos de tracción (2)

Número de muestra	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
UNO (50% -50% golf)	2.102	.7666	17.17	1196.	.6924	43.09
DOS (100% golf)	.9008	.1830	4.094	782.5	.1181	34.79
TRES (50% -50% tsuru)	2.067	.7808	18.01	1251.	.7210	54.84
CUATRO (100% PP c/pig)	2.158	.8892	18.28	1196.	.8393	75.88
CINCO (50% -50% tsuru oscuro)	2.075	.7047	15.35	1063.0	.6545	44.30
SEIS (50% -50% golf c/pig)	2.099	.6842	15.26	1042.0	.6393	42.03
SIETE (100% tsuru)	1.5620	.2786	6.601	598.9	.2602	103.90
OCHO (100% PP)	2.102	1.0410	24.200	1546.0	1.0150	87.6600

Valor mínimo	
Valor máximo	

Se observa en los resultados mostrados arriba, que el polipropileno virgen (OCHO) soportó el valor más alto en lo que respecta a: carga máxima, esfuerzo máximo, carga de ruptura, esfuerzo de ruptura, carga en la cedencia y esfuerzo a la cedencia; además presentó el mayor valor del Módulo de Young. De manera similar, se observa que en las muestras marcadas con los números de identificación DOS y SIETE se presentan los valores más bajos en lo que respecta a la mayoría de los parámetros. Sin embargo la muestra SIETE (100% Tsuru) presentó los valores más altos en lo que se refiere al porcentaje de deformación de ruptura, es decir, esta muestra fue la que más se deformó antes de fracturarse. También presentó la mayor

energía de ruptura, es decir, que fue el material que necesitó más energía para romperse.

Para analizar la caída en porcentaje de algunas de las propiedades que pudieran interesar más, presentamos las siguientes tablas:

TABLA 5.15 % de pérdida en las propiedades de las diferentes mezclas (1)

Número de Probeta	Desplazamiento máximo al 0.2 %	% de Deformación máxima	Carga máxima [KN]	Esfuerzo máximo [MPa]	Desplazamiento de Ruptura [mm]	% de Deformación de ruptura	Carga de ruptura [KN]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Desplazamiento de cedencia [mm]
UNO (50% -50% golf)	88.85	88.66	75.29	72.54	55.17	55.05	68.38	65.89	100.24
DOS (100% golf)	84.16	84.66	47.69	45.89	57.72	58.07	70.94	68.26	42.61
TRES (50% - 50% tsuru)	89.91	89.89	75.47	74.93	71.10	71.07	60.69	60.22	98.36
CUATRO (100% PP/pig)	101.08	102.56	88.77	78.52	93.37	94.73	92.74	82.03	101.16
CINCO (50% -50% tsuru)	92.76	93.02	69.92	65.50	61.91	62.08	59.64	55.87	98.46
SEIS (50% -50% golf c/pig)	89.46	89.53	68.03	65.32	56.07	56.10	62.45	59.92	99.76
SIETE (100% tsuru)	102.38	102.47	33.71	34.37	233.32	233.53	56.78	57.85	74.23
OCHO (100% PP)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

TABLA 5.16 % de pérdida en las propiedades de las diferentes mezclas (2)

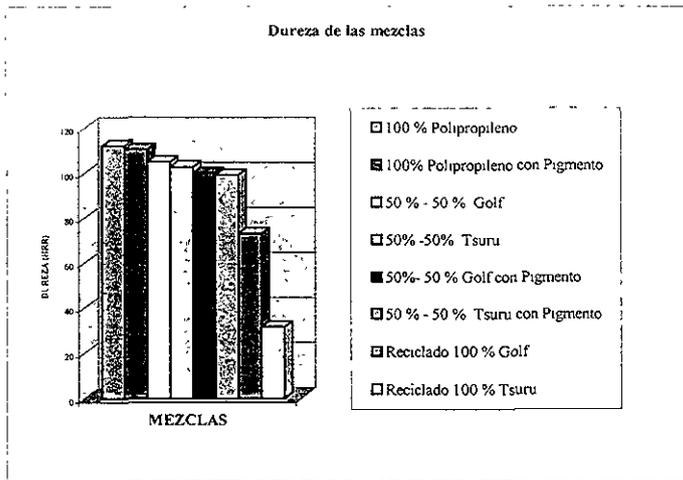
Número de muestra	% de deformación de cedencia	Carga de cedencia [KN]	Esfuerzo de cedencia [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Energía para punto de cedencia [J]	Energía para punto de ruptura [J]
UNO (50% -50% golf)	100.00	73.64	70.95	77.36	68.22	49.16
DOS (100% golf)	42.85	17.58	16.92	50.61	11.64	39.69
TRES (50% - 50% tsuru)	98.33	75.00	74.42	80.92	71.03	62.56
CUATRO (100% PP/pig.)	102.66	85.42	75.54	77.36	82.69	86.56
CINCO (50% -50% tsuru)	98.72	67.69	63.43	68.76	64.48	50.54
SEIS (50% -50% golf c/pig)	99.86	65.73	63.06	67.40	62.99	47.95
SIETE (100% tsuru)	74.31	26.76	27.28	38.74	25.64	118.53
OCHO (100% PP)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

De las tablas anteriores se puede sacar el promedio de la caída en porcentaje de todas las propiedades mencionadas y se tiene que, en el caso de las mezclas 50% virgen - 50% reciclado, esta caída es de aproximadamente 27%.

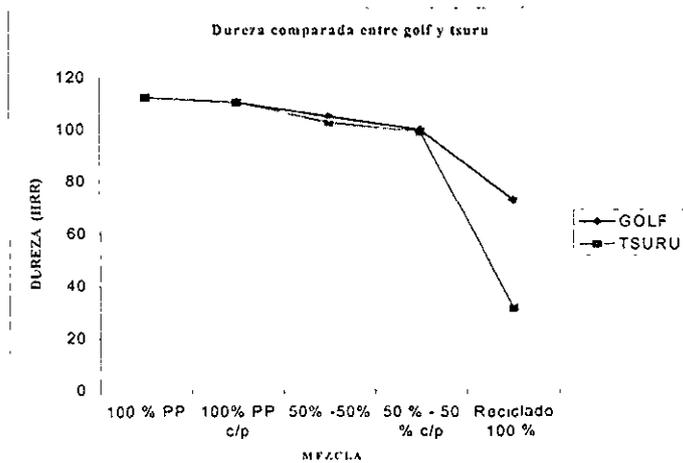
En lo que respecta a los ensayos de dureza, se presentaron resultados más o menos predecibles. Se encontró que el polipropileno (PP) presentó la mayor dureza y que ésta fue disminuyendo conforme aumentaba el porcentaje de material reciclado en la mezcla, así como también disminuía en la presencia de pigmento. A continuación se presenta una tabla con los promedios de los valores obtenidos en la prueba de dureza, para cada una de las muestras, así como también una gráfica de barras en donde se ve claramente como se comportaron las muestras en lo que respecta a la Dureza.

TABLA 5.17 Comparación de los resultados promedio de los ensayos de dureza

MEZCLAS	DUREZA (HRR)
100 % Polipropileno	112
100% Polipropileno con Pigmento	110.274
50 % - 50 % Golf	104.796
50% -50% Tsuru	102.534
50%- 50 % Golf con Pigmento	99.85
50 % - 50 % Tsuru con Pigmento	99.056
Reciclado 100 % Golf	72.892
Reciclado 100 % Tsuru	31.4



Gráfica 5.1 Dureza de mezclas



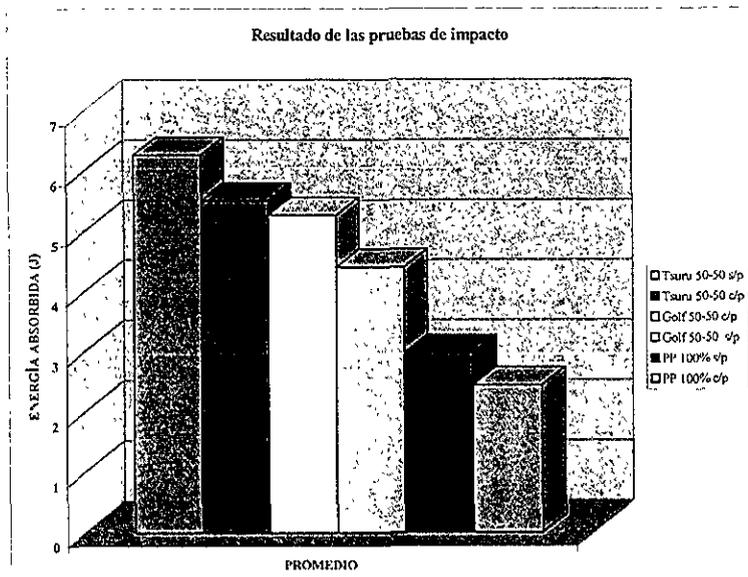
Gráfica 5.2 Dureza comparada entre golf y tsuru.

Un punto importante a resaltar, en cuanto a las pruebas, de dureza es que se comparó el comportamiento de dicha propiedad en las muestras correspondientes a cada tipo de defensa; esto es, las defensas de Tsuru y las defensas de Golf. Se observó que la dureza disminuyó gradualmente (casi linealmente) en las muestras que abarcaban el plástico virgen hasta las mezclas 50%-50% virgen-reciclado, sin embargo en las probetas con un 100% de material reciclado se observó un descenso muy significativo en las propiedades que rompió con la linealidad observada en las otras muestras.

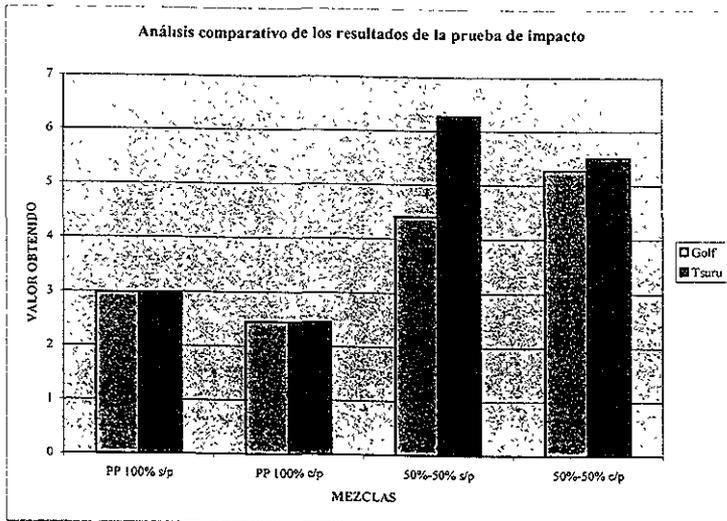
En cuanto al ensayo de impacto no se pueden tener resultados concluyentes ya que: en primer lugar, las probetas de las muestras con un 100% de plástico reciclado no se fracturaron y, en segundo lugar porque, como se puede observar en la tabla y la gráfica siguientes, en las muestras de Tsuru el material sin pigmento soportó mas que el material con pigmento y en las muestras de Golf no se obtuvieron los mismos resultados. De estos resultados que se presentan se puede afirmar que la cantidad de material reciclado presente en la mezcla aumenta la tenacidad (energía absorbida en el impacto) de la mezcla, por la fibra de vidrio que contiene el material reciclado.

TABLA 5.18 Energía absorbida en los ensayos de impacto (promedios)

MUESTRA	Energía absorbida [J]
Tsuru 50-50 s/p	6.28
Tsuru 50-50 c/p	5.52
Golf 50-50 c/p	5.28
Golf 50-50 s/p	4.41
PP 100% s/p	2.98
PP 100% c/p	2.45



Gráfica 5.3 Resultado de las muestras de impacto



GRAFICA 5.4 Análisis comparativo de los resultados de la prueba de impacto

El análisis realizado anteriormente no tiene sentido si no se realiza un estudio de factibilidad económica que demuestre que el proceso de reciclado de plástico propuesto es económicamente viable. A continuación se hace, a grosso modo, un estudio en base a lo que costó el material usado en las pruebas y lo que cuesta el polipropileno reforzado virgen, y con ello se intenta establecer una base que sustente el reciclaje de plástico de uso en la industria automotriz.

a) Costo del material utilizado en las pruebas:

Como se comentó al principio de este trabajo, se usaron para las pruebas dos defensas, o facias, de Tsuru y dos de Golf. Este material se consiguió en un deshuesadero y tuvo un costo de \$280 para las cuatro defensas, lo que implica que cada defensa tuvo un costo unitario de \$70.

Si se toma un peso promedio de 5 kg por cada defensa, entonces tenemos que: $\$70 / 5 \text{ kg} = 14 \text{ \$/kg}$ (de PP reforzado con fibra de vidrio).

b) Cotización del material virgen:

Una vez conocido el costo por kg de la materia prima reciclada se cotizó el PP reforzado virgen y el precio más bajo se obtuvo en M. A. Hanna S. A. De C. V. Donde los precios fueron los siguientes:

- PP reforzado con 20% de carbonato de calcio 1.5 USD/kg
- PP reforzado con 30% de carbonato de calcio 1.54 USD/kg
- PP reforzado con 20% de fibra de vidrio 2.5 USD/kg
- PP reforzado con 30% de fibra de vidrio 2.6 USD/kg
- PP reforzado con 40% de fibra de vidrio 2.7 USD/kg

c) Si se comparan los precios del material virgen contra los precios del material reciclado, y considerando que el material que se obtuvo de las defensas era PP reforzado con fibra de vidrio, tenemos los siguientes resultados:

- Comparando precios con la mezcla PP con 40% de fibra de vidrio se tiene que si el costo en pesos de esta mezcla virgen es de \$25.48 (tomando \$9.44 por 1USD) y el costo del material reciclado es de \$17.5 M.N. se tiene un ahorro del 55.06% en el costo de la materia prima.
- Si se comparan los costos del material reciclado con la mezcla virgen de PP con 20% de fibra de vidrio se tiene que el material reciclado presenta un costo con respecto al virgen de: $(\$17.5/\$25.48)*100 = 59.32\%$, lo que implica un ahorro del 40.68%.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

Finalmente, al analizar los diferentes aspectos que se abarcan en este trabajo, así como los resultados de las diferentes pruebas realizadas, se pueden hacer los siguientes comentarios:

1. Basándose en los resultados obtenidos, se puede afirmar que es viable el reciclaje de plásticos en México desde el punto de vista económico, ya que, como se vio en este trabajo, en este país se generan en promedio 400 toneladas al año de plástico de desecho, solamente de origen automotriz, y que es más barato que el plástico virgen (48% más barato, en promedio), siempre y cuando se promuevan métodos de recolección y separación mas ágiles y eficientes. En especial para pequeños productores.
2. Se puede decir que las propiedades de las piezas recicladas varían y que en las probetas hechas con un 100% de material reciclado tienen valores extremos con respecto a los valores del material virgen. Sin embargo, la mezcla del 50% virgen-50% material reciclado mantuvo la mayoría de sus propiedades ya que éstas descendieron en promedio un 27% con respecto a las presentadas por el material virgen.

3. Tomando en cuenta lo mencionado en los puntos anteriores, se puede decir que el ahorro neto, si se considera una mezcla 50%-50% será del 24% en costo, contra un decremento en las propiedades del 27% (tomando en cuenta que el material virgen utilizado fue PP sin reforzar), lo que abre la posibilidad de un reciclaje secundario, aún dentro del mismo automóvil ya que se considera que un decremento de esta magnitud afecta el desempeño del material para la función que realiza.

4. En base a los procedimientos realizados durante el presente trabajo, se propone un proceso de reciclaje de defensas automotrices el cual consiste en cuatro pasos fundamentales como son: la recolección, limpieza, triturado e inyección, proceso que resulta ser económico tomando en cuenta que las plantas de transformación del plástico (polipropileno) cuentan con el equipo necesario para el reciclaje de este material ya que es, en su gran mayoría, igual al utilizado para sus procesos cotidianos.

5. Con la información recopilada a lo largo de esta Tesis se pueden hacer las siguientes propuestas:

- a) Para obtener más datos útiles al análisis del comportamiento de las mezclas virgen-reciclado realizar estudios sobre mezclas con otros porcentajes como pueden ser: 25-75, 75-25 ó 33-67, 67-33.
- b) Realizar el mismo procedimiento de investigación para otros plásticos de análisis, ésto implica usar diferentes partes automotrices.
- c) Analizar probetas con mezclas de diferentes plásticos e inclusive mezclas que incluyan hasta tres plásticos diferentes.
- d) Una vez establecida la viabilidad desde el punto de vista de los materiales, se estima conveniente realizar un trabajo acerca de la factibilidad económica de la creación y mantenimiento de una planta de reciclaje de plásticos usados en los automóviles, dada la gran facilidad que presenta el manejo de los desperdicios automotrices.
- e) También se propone la elaboración de una nueva práctica para el Laboratorio de Ciencia de Materiales II, del programa de estudios de la carrera de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería, que complemente los objetivos de las practicas enfocadas al estudio del conformado de los plásticos, así como de sus propiedades mecánicas en donde se comparen las características de los materiales reciclados contra las de los materiales vírgenes. Esto puede ser tema de otro trabajo de Tesis.

6. Se considera necesario fomentar el establecimiento de un centro de acopio que seleccione los plásticos en base a los procesos de separación analizados en este trabajo.

7.1 APLICACIONES Y DESVENTAJAS DE LOS PLÁSTICOS AUTOMOTRICES

MATERIAL	APLICACIONES	DESVENTAJAS
Polipropileno	La mayoría de los componentes interiores, los ductos del aire acondicionado, las cubiertas debajo del cofre, contenedores de baterías, componentes del escape, defensas, molduras, partes del radiador, rejillas del aire.	En el interior: Problemas con raspaduras y adhesión.
Poliétileno de Alta Densidad	Tanques de combustible.	Bajo el cofre: Insuficiente resistencia a las altas temperaturas. Exterior: Falta de pintabilidad.
PVC	Instrumentos y panel de la puerta, pieles, asientos, viseras, molduras, mangueras.	Permeabilidad de la gasolina a través de las paredes del tanque. El reciclaje tiende a reducir su uso.
ABS	Paneles de instrumentos y de las puertas, accesorios interiores.	Competencia con el Poliisopropileno.
Nylon	Componentes Eléctricos y Electrónicos, las cubiertas debajo del cofre líneas de combustible y de frenos, materiales barrera permeable, conectores, componentes del escape, cubiertas de las llantas, corazas de espejos.	Reducción de "grados", especialmente el nylon 6,6; se necesitan "grados" que resistan las altas temperaturas, absorben la humedad.
Poliésteres Termoplásticos (PBT y PET)	Soportes de los motores, componentes eléctricos y electrónicos, conectores y cubiertas.	Competencia con el Nylon.
Poliuretano	Espuma para asientos, tableros y viseras.	Reciclabilidad.
Poliésteres Termofijos	Paneles exteriores, cubierta de válvulas.	Reciclabilidad.

7.2 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS TERMOPLÁSTICOS REPRESENTATIVOS

TIPO	ACETATOS	ACRÍLICOS	ABS	POLIAMIDAS	POLICARBONATOS	POLIÉSTERES
polímero representativo	polieximtileno (poliacetal)	Polimetilmetacrilato	Acrilonitrilo - Butadieno - Estireno	Nylon - 6,6	poli carbonato	Poli etileno tereftalato
Símbolo	POM	PMMA	ABS	PA-6, 6	PC	PET
método de polimerización	condensación	adición	adición	condensación	condensación	condensación
grado de cristalinidad	75% (típico)	ninguno (amorfo)	ninguno (amorfo)	alta cristalinidad	ninguno (amorfo)	Amorfo a 30% de cristalinidad
módulo de elasticidad	3 500 MPa	2 800 MPa	2 100 MPa	700 MPa	2 500 MPa	2 300 MPa
esfuerzo a la tracción	70 MPa	55 MPa	50 MPa	70 MPa	65 MPa	55 MPa
Elongación	25 al 75%	5%	10 al 30%	300%	110%	200%
gravidad específica	1.42	1.2	1.06	1.14	1.2	1.3
temperatura de transición vítrea	(- 80 °C)	105 °C		50 °C	150 °C	70 °C
temperatura de fusión	180 °C	200 °C		260 °C	230 °C	265 °C
participación en el mercado	menos del 1%	alrededor del 1%	alrededor del 3%	1% para todas las poliamidas	menos del 1%	Alrededor del 2%

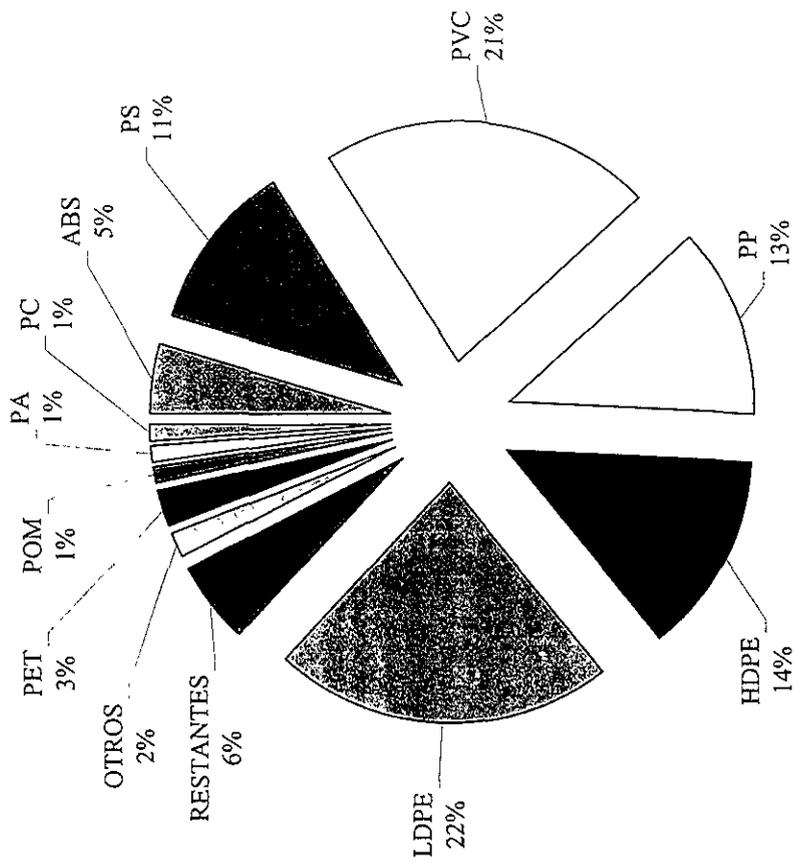
7.2 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS TERMOPLÁSTICOS REPRESENTATIVOS (continuación)

TIPO	POLIETILENO	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	CLORURO DE POLIVINILO
polimero representativo	LDPE	HDPE	POLIESTIRENO	CLORURO DE POLIVINILO
Símbolo	LDPE	HDPE	PS	PVC
método de polimerización	adición	adición	adición	Adición
grado de cristalinidad	55 % típico	92 % típico	ninguno (amorfo)	ninguno (amorfo)
módulo de elasticidad	150 MPa	700 MPa	3 200 MPa	2 800 Mpa (sin plastificante)
esfuerzo a la tracción	15 MPa	30 MPa	50 MPa	40 Mpa
Elongación	100% - 500%	20% - 100%	1%	2% sin plastificante
gravedad específica	0.92	0.96	1.05	1.4
temperatura de transición vítreo	(-100 °C)	(-115 °C)	100 °C	81 °C
temperatura de fusión	115 °C	135 °C	240 °C	212 °C
participación en el mercado	alrededor del 20%	alrededor del 15%	alrededor del 10%	más o menos el 16%

7.3 DESARROLLO DE LOS MATERIALES AVANZADOS

Area de aplicación	Tecnología actual	Siglo XXI
<p>Grandes estructuras Puentes, plataformas petroleras, barcos, submarinos, oleoductos y gaseoductos, cables.</p>	<p>Aceros microaleados (templado y revenido) microaleaciones de acero y cobre, aceros de alta pureza, aceros patentados. (0.8 % C)</p>	<p>Concreto reforzado con acero y fibra de vidrio, aleaciones de Ti, Aceros CFRPs, polímeros de alto grado (termoplásticos), filamentos de fibra de carbono.</p>
<p>Altas temperaturas, corrosión y desgaste Motores de combustión interna, rotores de turbinas de gas y diesel, elementos de máquinas, plantas químicas.</p>	<p>Acero fundido, aleaciones Al-Si, super aleaciones base Ni, aceros altamente aleados; WC-Co/TiN, aceros inoxidables austeníticos.</p>	<p>Nitruo de silice, Zirconia, cerámicos: siliones recubiertos o no, cerámicos SiC/SiC, aleaciones de Ti, cerámicos</p>
<p>Eléctrica, electrónica, óptica y magnética Líneas de transmisión de potencia Chips, semiconductores, sensores, tarjetas electrónicas, celdas de combustible (sólido), fibra óptica, imágenes permanentes.</p>	<p>Cu, aceros reforzados con Al, Silice, GaAs; básicamente As (principalmente Si), básicamente As (bidimensional), ferritas.</p>	<p>Compuestos de Al, super conductores de doble base, más GaAs, poliacetileno dopado, polímeros gravados con laser, polímero GaAs tridimensional o polímero dopado, ZrO₂, La- chromate, fibras de fluoruro, polímeros de polidiacetileno.</p>
<p>Transporte Carceras automotrices sin el eje de acero plano, carrocerías de vagones de ferrocarril, bicicleta.</p>	<p>Aceros templados, aleaciones de Al, aceros Al-Si, acero-aluminio, aleaciones de titanio</p>	<p>Al, termoplásticos, CFRPs celular, aleaciones de titanio, GFRPs, compuestos celulares, aleaciones de magnesio, CFRPs.</p>
<p>Deportes Raquetas de tenis y squash, cañas de pescar, tablas de surf.</p>	<p>Aluminio, CFRPs, bambú, GFRPs, CFRPs GFRP/celular, CFRPs</p>	<p>Carbono / kevlar / SiC FRPs, cerámicos y CFRPs con kevlar, tejido de fibras de CFRPs / celular / kevlar / SiC.</p>
<p>Medicina Articulaciones para cadera, suplantación para huesos, implantaciones dentales</p>	<p>Inoxidables, titanio</p>	<p>Al₂O₃, Si₃N₄, Si O₂ - bio vidrio</p>

7.4 DISTRIBUCION ACTUAL DEL MERCADO DE PLASTICOS



7.5 PROPIEDADES PARA LA MANUFACTURA DE ALGUNOS POLÍMEROS TERMOFIJOS

Tipo	Temperatura de deflexión °C		Moldeo por compresión		Moldeo por inyección		Propiedades a la Tracción		Maquabilidad*
	185 kPa+	450 kPa+	Temperatura °C	Presión MPa++	Temperatura °C	Presión MPa++	Esfuerzo MPa++	Elongación %	
Epoxico moldeado por fundición con fibra de vidrio	45-250	120-260	150-160	2-35			30-90	3-6	G
Melamina-formaldehído		150	150-165	15-35			70-140	4	F
Fenol-formaldehído	115		130-160	15-30			50-60	1-1.5	F-G
Con madera fragmento	150		145-195	15-35	165-200	70-140	35-65	0.4-0.8	F-G
poliester, fibra de vidrio	>200		140-180	3-15			20-70	1	G
Poliuretano elastómero			140-180	1-35			30-60	100-650	F-E
Urea-formaldehído, celulo de celulosa	125-145		135-175	15-55	145-160	100-140	40-90	0.5-1	F-G

+ Si dividimos entre 7 tendremos psi

++ Si dividimos entre 7 tendremos 1000 psi

* E= excelente; G=bueno; F= regular, P=malo

7.6 PROPIEDADES PARA LA MANUFACTURA DE ALGUNOS POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Tipo	Temperatura de deflexión °C		Moldeo por compresión		Moldeo por inyección		Propiedades a la Tracción		Maquinabilidad*
	185 kPa+	450 kPa+	Temperatura °C	Presión MPa++	Temperatura °C	Presión MPa++	Esfuerzo MPa++	Elongación %	
ABS	95	100	150-230	7.0-55	190-270	50-170	30-55	5.0-70	E-G
Acetal copolímero	110	155	170-205	7.0-35	195-250	70-140	60	41	E
Con 25 % de fibra de vidrio	160	165			190-250	70-140	130	3	F-G
Acrílico (PMMA)	80	85	150-220	15-70	160-260	70-140	50-80	2.0-10	E-G
Acetato de Celulosa	50	55	125-220	1.0-35	165-255	55-230	20-65	6.0-70	E
Nylon 6	75	190			270-330	< 70	85	60-300	E
Policarbonato	130	135	250-330	7.0-15	250-345	70-140	55-70	100-130	E
Poliéstero baja densidad	30	35	135-180	1.0-6	150-315	55-200	4.0-15	90-800	G
Poliéstero alta densidad	45	60	150-230	3.0-6	150-315	70-140	20-45	20-1000	E
Poliamidas	140		350	25-35			120	10	E
Poliisopreno	50	95	170-230	3.0-7	205-290	70-140	30-40	200-700	G
Poliestireno	95	100	120-205	7.0-70	160-260	70-200	25-85	1.0-2.0	F-G
PVC rígido	60	62	140-205	5.0-15	150-210	70-300	35-65	2.0-40	E
PVC flexible			140-180	3.0-15	160-195	50-170	10-25	200-450	
Copolímero estireno-butadieno	< 0	< 0	120-60	1.0-20	150-220	100-200	4.0-20	300-1000	P

+ Si dividimos entre 7 tendremos psi

++ Si dividimos entre 7 tendremos 1000 psi

* E= excelente, G=buena, F= regular, P=malo

7.7 FUENTES DE TABLAS, GRÁFICAS Y FIGURAS

Fuentes	Tablas	Gráficas	Figuras
8.1 Askeland, Donald. <i>La Ciencia e Ingeniería de los Materiales</i> . Mc Graw-Hill, Colombia, 1993, 2da. Ed., Capítulos 6 y 12			3.2, 3.5, 3.6,
8.2 Groover, Mikell P. <i>Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems</i> . Prentice Hall. Estados Unidos. 1996. Capítulos 10, 15 y 16.	7.2		3.1, 3.3, 3.4, 3.7, 3.8
8.3 Wittcoff, Harold A. <i>Productos Químicos Orgánicos Industriales (Vol. 1 y Vol. 2)</i> . Limusa. México. 1992.	2.1, 2.2	2.1,	2.3
8.5 <i>La Industria Automotriz en México Edición 1997</i> . INEGI, México, 1998. Pags. 85 a 104.	2.5		
8.6 Mitra O'Malley, Joel Kopinsky. <i>Automotive: Environmental and Safety Rules are Key Driving Forces for Innovation</i> . Modern Plastics, Nov. 1992.	2.4, 7.1	2.2, 2.3	
8.11 <i>Accidentes Fatales de Tránsito Terrestre por Zona y Tipo de Accidente</i> . Tabla. INEGI	2.6, 2.7		
8.12 <i>Modern Plastics Encyclopedia</i> . Mc Graw-Hill. E. U. 1974	7.5, 7.6		

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- 8.1 Askeland, Donald. **La Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. Mc Graw-Hill, Colombia, 1993, 2da. edición., pp. 97-119 y 326-362
- 8.2 Groover, Mikell P. **Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems**. Prentice Hall. Estados Unidos. 1996. pp. 183-217, pp. 308-358, pp. 360-371
- 8.3 Wittcoff, Harold A. **Productos Químicos Orgánicos Industriales (Vol. 1 y Vol. 2)**. Limusa. México, 1992. pp. 29-61 (vol. 2).
- 8.4 Rodríguez, Ferninand. **Principios de Sistemas de Polímeros**. Editorial El Manual Moderno. México, 1984. 549 p.
- 8.5 **La Industria Automotriz en México Edición 1997**. INEGI, México, 1998. pp. 85-104.
- 8.6 Mitra O'Malley, Joel Kopinsky. **Automotive: Enviromental and Safety Rules are Key Driving Forces for Innovation**. Modern Plastics. Nov. 1993.

- 8.7 M. Litalien, F. Tremblay. **Progress in Recycling: Specific Materials from Automoviles**. Automotive Engineering. Agosto 1997.
- 8.8 Gerald Winston, Susan Yester, Leo Ang, Frank Parkinson. **Update on Recycling Automotive Plastics**. Automotive Engineering. Agosto 1997.
- 8.9 **Autos Eficientes**. Mecánica Popular. Julio 1995.
- 8.10 Normas: **ASTM D 638-91** Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, **ASTM D 256-92** Standard Tests Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials. **ASTM D 785-89** Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials.
- 8.11 **Accidentes Fatales de Tránsito Terrestre por Zona y Tipo de Accidente**.
Tabla. INEGI.
- 8.12 **Modern Plastics Encyclopedia**. Mc Graw-Hill. E.U. 1974.
- 8.13 www.detroneews.com/1998/autos **“Plastics Industry takes on automotive glass”**.

- 8.14 www.plastunivers.es/emitec/pc/pu/4/b/14.htm **“Reciclado Químico, otra alternativa menos conocida”.**
- 8.15 www.revplasmod.com/revista/jul/98/recicla.htm **“Evaluación del potencial del reciclado de plásticos. Previsiones de Recuperación hasta los años 2001 y 2006”.**
- 8.16 www.usfieldtrial.com/veclies **“VRDC U.S. Field Trial”**