



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LOS MATERIALES  
PLASTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

298052

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**P R E S E N T A:**  
**RAFAEL ARTEAGA MEDINA**

**ASESORES:**  
**ING. JOSE JUAN CONTRERAS ESPINOSA**  
**ING. JUAN ANTONIO ASECIO ARMENTA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Pasado, presente y futuro de los materiales plásticos en la industria automotriz".

que presenta al pasante: Rafael Arteaga Medina  
con número de cuenta: 8630127 - 7 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

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

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Julio de 2001

PRESIDENTE Ing. José Juan Contreras Espinosa

VOCAL Dr. Armando Aguilar Márquez

SECRETARIO Ing. Jorge de la Cruz Trejo

PRIMER SUPLENTE Ing. Rogelio Ramos Carranza

SEGUNDO SUPLENTE Ing. José Luz Hernández Castillo

*A Dios, por darme la vida y la fortaleza necesaria  
para vencer los obstáculos que se han presentado  
en mi camino.*

*A mis padres y hermanos, por su  
amor incondicional y por inculcar  
en mí los valores que han regido  
mi existencia.*

*A mi esposa, por compartir su vida conmigo,  
por su amor, apoyo y comprensión.*

*A mi hija por enseñarme lo  
valiosa que es la vida.*

**GRACIAS**

***Un agradecimiento muy especial a:***

*La máxima casa de estudios por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.*

*Mis asesores, Ing. José Juan Contreras Espinosa e Ing. Juan Antonio Asencio Armenta por la acertada dirección de esta tesis.*

*Mis maestros por su paciencia y por compartir conmigo sus conocimientos y su valiosa experiencia.*

*Mis amigos Gabriel y Arturo, por la amistad y el apoyo que me han brindado desinteresadamente, y por las vivencias buenas y malas que tuvimos durante nuestra estancia en la F.E.S.C.*

*Mi amigo Juan Antonio, por su ejemplo y por los valiosos consejos que hicieron posible la realización de esta tesis.*

**PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LOS MATERIALES  
PLASTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

# INDICE

## CAPITULO 1

### Introducción a los materiales

|  |    |
|--|----|
| 1.1.- Antecedentes   | 1  |
| 1.2.- Introducción a los materiales  | 3  |
| 1.3.- Tipos de materiales  | 3  |
| 1.3.1.- Metales  | 4  |
| 1.3.2.- Polímeros (plásticos)  | 4  |
| 1.3.3.- Cerámicos  | 5  |
| 1.3.4.- Materiales compuestos  | 5  |
| 1.4.- Propiedades de los materiales  | 8  |
| 1.4.1.- Propiedades mecánicas  | 8  |
| 1.4.1.1.- Propiedades mecánicas y datos importantes que pueden obtenerse por medio de un ensayo de tensión | 9  |
| 1.4.1.2.- Ductilidad   | 11 |
| 1.4.1.3.- Dureza   | 12 |
| 1.4.1.4.- Tenacidad  | 14 |
| 1.4.2.- Propiedades térmicas   | 16 |
| 1.4.2.1.- Dilatación térmica   | 16 |
| 1.4.2.2.- Conductividad térmica  | 16 |
| 1.4.3.- Propiedades eléctricas   | 18 |
| 1.4.3.1.- Resistividad   | 18 |
| 1.4.3.2.- Conductividad  | 18 |
| 1.4.4.- Tipos de esfuerzos   | 19 |
| 1.4.4.1.- Esfuerzo de tensión  | 19 |
| 1.4.4.2.- Esfuerzo de corte  | 21 |
| 1.4.4.3.- Esfuerzo de compresión   | 22 |
| 1.4.4.4.- Esfuerzos combinados   | 23 |
| 1.4.5.- Condiciones de operación   | 26 |
| 1.4.5.1.- Fatiga   | 26 |
| 1.4.5.2.- Concentración de esfuerzos   | 28 |
| 1.4.5.3.- Corrosión  | 28 |
| 1.4.5.4.- Uniones  | 34 |

**CAPITULO 2**  
**Los polímeros y la industria automotriz**

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.1.-     | Introducción a los polímeros  | 36 |
| 2.1.1.-   | Propiedades y características de los polímeros termoplásticos             | 39 |
| 2.1.1.1.- | Deformación elástica  | 39 |
| 2.1.1.2.- | Deformación plástica  | 39 |
| 2.1.1.3.- | Viscosidad  | 39 |
| 2.1.1.4.- | Temperatura de degradación  | 40 |
| 2.1.1.5.- | Temperatura de fusión   | 40 |
| 2.1.1.6.- | Temperatura de transición vítrea(Tg)                                      | 40 |
| 2.1.1.7.- | Cristalización  | 42 |
| 2.1.1.8.- | Propiedades mecánicas   | 42 |
| 2.1.2.-   | Propiedades y características de los polimeros termofijos o termoestables | 44 |
| 2.1.2.1.- | Obtención de los polímeros termofijos                                     | 44 |
| 2.1.2.2.- | Efecto de la temperatura en los polimeros termofijos                      | 45 |
| 2.1.2.3.- | Propiedades mecánicas de los polimeros termofijos                         | 45 |
| 2.1.3.-   | Propiedades y características de los polímeros elastómeros                | 49 |
| 2.1.3.1.- | Principales características   | 49 |
| 2.1.3.2.- | Propiedades mecánicas   | 50 |
| 2.1.4.-   | Propiedades y características de los materiales compuestos                | 51 |
| 2.1.4.1.- | Plásticos reforzados con fibras   | 52 |
| 2.2.-     | Fabricación de componentes automotrices empleando materiales plásticos    | 59 |
| 2.2.1.-   | Conformado de polímeros termoplásticos                                    | 60 |
| 2.2.1.1.- | Extrusión   | 60 |
| 2.2.1.2.- | Moldeo por soplado  | 62 |
| 2.2.1.3.- | Moldeo por inyección  | 63 |
| 2.2.1.4.- | Conformado al vacío   | 65 |
| 2.2.1.5.- | Calandrado  | 66 |
| 2.2.1.6.- | Trefilado y laminado  | 67 |
| 2.2.1.7.- | Hilado  | 69 |



|   |    |
|---|----|
| 2.2.2.- Conformado de polimeros termofijos                | 70 |
| 2.2.2.1.- Moldeo por compresión                           | 70 |
| 2.2.2.2.- Moldeo por transferencia                        | 71 |
| 2.2.2.3.- Moldeo por colado                               | 73 |
| 2.2.3.- Conformado de los plásticos reforzados con fibras | 75 |
| 2.2.3.1.- Laminados                                       | 75 |
| 2.2.3.2.- Aspersión                                       | 78 |
| 2.2.3.3.- Construcción tipo emparedado                    | 83 |

### CAPITULO 3

#### Sustentabilidad del empleo de materiales plásticos en la industria automotriz

|  |     |
|--|-----|
| 3.1.- Definición de desarrollo sustentable   | 87  |
| 3.2.- Justificación de la utilización de los materiales plásticos en la industria automotriz   | 89  |
| 3.2.1.- Corrosión en los metales   | 89  |
| 3.2.2.- Ventajas en el diseño, fabricación y desempeño de componentes automotrices, empleando materiales plásticos                   | 93  |
| 3.2.2.1.- Funcionalidad  | 93  |
| 3.2.2.2.- Economía   | 96  |
| 3.2.2.3.- Seguridad  | 97  |
| 3.2.2.4.- Disponibilidad   | 100 |
| 3.3.- Desventajas de los materiales plásticos en aplicaciones en la industria automotriz   | 101 |
| 3.3.1.- Principales limitaciones de los materiales plásticos para poder ser utilizados en la fabricación de componentes automotrices | 101 |
| 3.3.1.1.- Diseño   | 101 |
| 3.3.1.2.- Fabricación  | 103 |
| 3.3.1.3.- Desempeño  | 105 |
| 3.3.2.- Efectos en la salud del ser humano expuesto a los procesos de fabricación con materiales plásticos                           | 107 |
| 3.3.3.- Efectos de la manufactura de productos plásticos, en el medio ambiente   | 111 |
| 3.3.3.1.- Riesgos en la obtención de la materia prima  | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3.3.2.- Contaminación por desperdicios plásticos  | 116 |
| 3.4.- Alternativas de solución a los problemas derivados de la fabricación de componentes automotrices con materiales plásticos | 117 |
| 3.4.1.- Mejoramiento de las propiedades de los plásticos actuales   | 118 |
| 3.4.2.- Mejoras en los procesos de manufactura  | 122 |
| 3.4.3.- Protección para el personal involucrado en los procesos de manufactura con materiales plásticos                         | 125 |
| 3.4.3.1.- Instrucción del personal en el seguimiento de medidas de seguridad y empleo de equipos de protección                  | 125 |
| 3.4.3.2.- Instalación de sistemas extractores de partículas   | 132 |
| 3.4.4.- Protección al medio ambiente  | 137 |
| Conclusiones  | 141 |

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1.- Antecedentes.

Hoy en día puede verse una gran cantidad de automóviles, camionetas y camiones de diferentes formas y tamaños, como algo que forma parte del entorno. Estos vehículos se utilizan para diversos fines, y para muchas personas hasta han llegado a convertirse en un artículo de primera necesidad; estos vehículos son utilizados como medio de transporte para pasajeros y para transporte de mercancías de todos tipos. Desde los tiempos en que se utilizaban carretas tiradas por caballos como principal medio de transporte, la humanidad ha sido testigo de una evolución constante en la forma de dichos vehículos y en los equipos que los integran, pero pocas veces se han analizado los factores que propician e impulsan la evolución de los vehículos de transporte.

Entre los principales factores que impulsan esta evolución se puede mencionar: a la economía tanto en la producción como en el mantenimiento, la creciente competencia entre los distintos fabricantes de automóviles y camiones que los obliga a ofrecer mejores precios a los compradores, y de esta manera ganar su preferencia. Para lograrlo, los fabricantes tienen que buscar técnicas de producción más eficaces y materiales más económicos sin sacrificar de manera significativa la calidad del producto final; además se tiene que armar el vehículo de tal manera que sea posible cambiar las piezas más susceptibles de falla sin que implique un gran gasto, ya que cada vez se hace más necesario contar con vehículos que impliquen un bajo costo de mantenimiento. Otro factor que impulsa la evolución del automóvil

es la demanda por parte de la sociedad de vehículos más veloces, más potentes y más lujosos, con equipos que los hagan más confortables, seguros y de fácil manejo; sin lugar a dudas el factor que en general ha propiciado esta evolución es el extraordinario avance tecnológico de los últimos años: se ha mejorado notablemente la aerodinámica en la forma de los vehículos, así como el diseño de los motores y de los accesorios que los integran, reduciendo en gran medida el consumo de combustible, siendo cada vez más eficientes; se han desarrollado una gran cantidad de materiales metálicos, cerámicos, polímeros y compuestos cada vez más ligeros, resistentes, pero sobre todo de bajo costo. Todo con la finalidad de reducir el costo del vehículo, aumentar las ganancias del fabricante y ofrecer al comprador un vehículo más atractivo.

Una parte importante de los elementos que integran un automóvil está constituida por componentes fabricados con materiales plásticos, y a medida que mejoran las características de los materiales plásticos conocidos y se desarrollan otros nuevos, se hace posible sustituir cada vez más componentes metálicos por plásticos, reduciendo de manera significativa el peso y el costo de dichos componentes y por lo tanto del automóvil. Pero a pesar del gran avance tecnológico logrado en los últimos años y de las cuantiosas inversiones que realizan algunas empresas en materia de investigación, el empleo de materiales plásticos se encuentra limitado por diversos factores que van desde problemas en los procesos de manufactura hasta problemas políticos por las continuas protestas de grupos ecologistas. Durante el desarrollo de este trabajo, se comentará acerca de la influencia que ha tenido en la industria automotriz, el avance tecnológico en el desarrollo de materiales plásticos, de las características que hacen posible la sustitución de materiales metálicos por ciertos materiales plásticos, y de los procesos

actuales de manufactura de componentes automotrices fabricados con materiales plásticos, así como sus ventajas y desventajas; para con todo lo anterior realizar un análisis de sustentabilidad en el empleo de materiales plásticos para la fabricación de componentes automotrices en el futuro.

### 1.2.- Introducción a los materiales.

Si se observa el entorno, se descubrirá que existe una gran cantidad de productos, y que ya sean éstos fabricados en la industria o de forma artesanal, todos están hechos de por lo menos un material; y la mayoría, de varias clases de ellos. Por ejemplo, el automóvil contiene una amplia variedad de materiales que van desde el vidrio hasta el acero, comprendiendo también el caucho (o hule) y muchos otros metales y plásticos. Los ingenieros al igual que los diseñadores disponen de una gran variedad de materiales. Tan sólo las composiciones del acero pueden contarse por millares. Se calcula que existen más de 10 000 variedades de vidrio y el número de plásticos es igualmente grande. Si a lo anterior añadimos la posibilidad de modificar las propiedades de los materiales y que además, cientos de nuevas clases de materiales aparecen en el mercado constantemente. Resulta prácticamente imposible llegar a conocer la totalidad de las propiedades de todos los materiales en sus diferentes formas, pero es posible aprender algunos principios que nos proporcionan una guía en la selección y procesamiento de acuerdo a las condiciones de servicio a las que serán sometidos.

### 1.3.- Tipos de materiales.

Para conocer mejor los diferentes tipos de materiales con los que el hombre cuenta actualmente es conveniente dividirlos en cuatro grandes grupos: Metales, plásticos o polímeros, cerámicos y materiales compuestos.

### 1.3.1.- Metales.

Los metales se caracterizan por tener una alta conductividad tanto térmica como eléctrica, son opacos, a menudo aunque no siempre son pesados y deformables, generalmente pueden obtener un gran brillo por medio del pulido. Los metales deben su comportamiento al hecho de que algunos de sus electrones pueden abandonar los orbitales en los átomos. Este grado de libertad de los electrones no se encuentra ni en los polímeros, ni en los cerámicos. Una característica importante de los metales es que pueden mezclarse, ya sea con otros metales o con diferentes elementos para formar aleaciones. En síntesis, los metales se caracterizan por su capacidad para ceder electrones.

### 1.3.2.- Polímeros (plásticos).

Los plásticos están caracterizados por su baja densidad y su uso como aislantes tanto térmicos como eléctricos. Son malos reflejantes de la luz y tienden a ser transparentes o translucidos (al menos en secciones delgadas). Muchos de ellos son flexibles y susceptibles de deformarse. La baja conductividad térmica se debe a que toda la energía térmica que debe ser transferida de las regiones calientes por vibraciones atómicas, lleva un proceso mucho más lento que el que se lleva a cabo en los metales. Los plásticos que contienen sólo elementos no metálicos comparten electrones y forman grandes moléculas a veces llamadas macromoléculas. Estas moléculas contienen un gran número de unidades llamadas “meros”; por lo cual los plásticos son también conocidos como polímeros. Bajo ciertas condiciones, la estructura de estas moléculas puede ser deformada, por ello se les llama plásticos. Si se conoce la conformación de estas moléculas es posible modificarla para obtener una gran variedad de plásticos.

### 1.3.3.- Cerámicos.

Los cerámicos son compuestos que contienen elementos metálicos y no metálicos, existen muchos ejemplos de ellos. Pueden incluirse en este grupo, desde el cemento, que forma parte del concreto, las rocas, hasta el vidrio y los aislantes de bujías; o bien algunos de los elementos que forman parte de los combustibles como los óxidos, por nombrar algunos. Dos características importantes de los materiales cerámicos son su dureza y su fragilidad; tienden a ser más resistentes que los metales o los polímeros a altas temperaturas y severas condiciones ambientales. Estas características se deben a que en este tipo de materiales los elementos metálicos liberan los electrones localizados en los orbitales más alejados del núcleo de sus átomos y los ceden a los átomos de los materiales no metálicos, los cuales retienen esos electrones, como resultado dichos electrones quedan inmovilizados; por lo tanto los materiales cerámicos resultan muy buenos aislantes eléctricos y térmicos. Es también importante mencionar que debido a que los materiales cerámicos se componen de partículas metálicas y no metálicas; y que las partículas metálicas tienen carga positiva y las no metálicas carga negativa, dichos componentes están sujetos a una fuerte atracción, por lo que resulta muy difícil separarlos y forman un material duro, refractario e inerte.

En la industria automotriz, los materiales cerámicos se aplican principalmente para fabricar componentes eléctricos y partes del motor, en donde se requiere buena resistencia a altas temperaturas.

### 1.3.4.- Materiales compuestos.

Los materiales compuestos son aquellos que están formados por dos o más sustancias, por lo que en sus propiedades presentan una combinación de las

propiedades de las sustancias que los forman, y le confieren al material propiedades que no es posible obtener en ninguna de las sustancias por separado. Estos tipos de materiales generalmente están formados por un material base en forma de pequeños filamentos y un material de encapsulamiento, generalmente resinas. Por ejemplo la fibra de vidrio formada por pequeños filamentos de vidrio encapsulados en resina de tipo poliéster.

Dentro de los materiales compuestos, se puede distinguir a un grupo de ellos que por sus características han empezado a ser estudiados como una categoría individual. Estos materiales tienen la peculiaridad de estar constituidos por algún tipo de filamento o fibra de material cerámico, cubierto por un material polimérico. A este grupo que puede ser considerado independiente de los materiales compuestos, se le da el nombre de; plásticos reforzados con fibras (FRP).

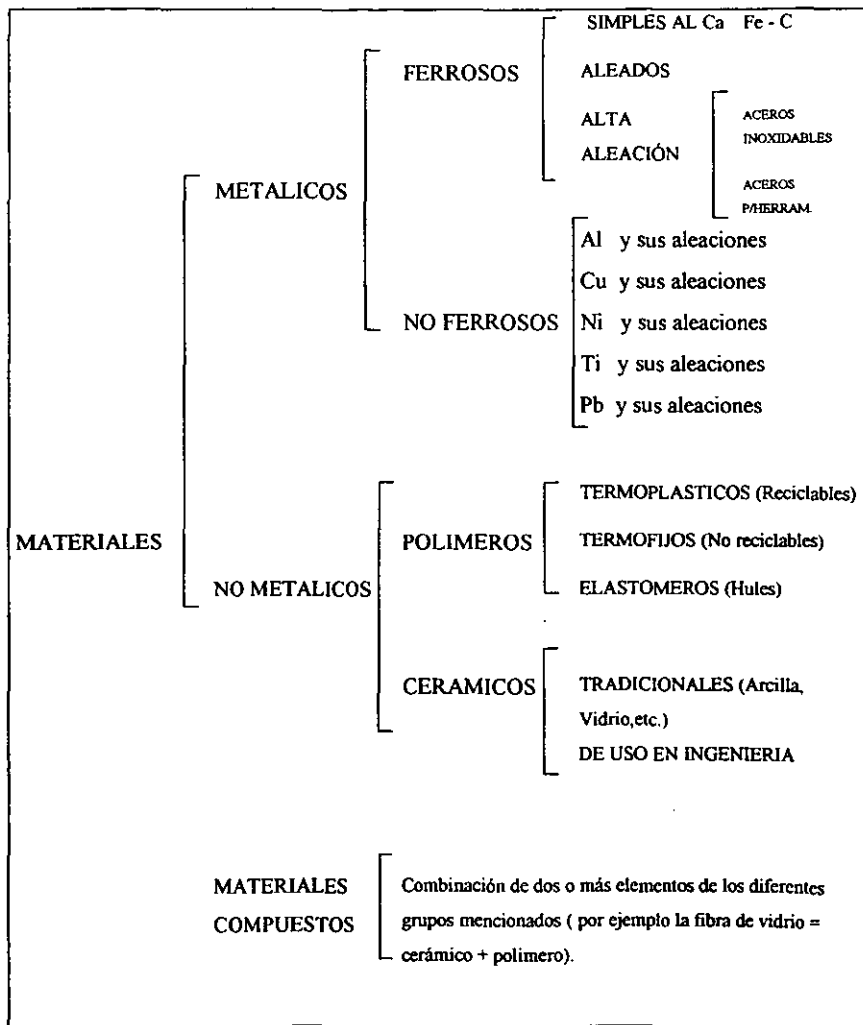
Existen algunos materiales que poseen características que los sitúan en más de un sólo grupo. Por ejemplo el carburo de tungsteno ¿es un metal o un cerámico? Es conductor como un metal, pero también tiene alta refractabilidad como la tiene un cerámico. Como otro ejemplo, se puede citar a los semiconductores que tienen conductividades eléctricas intermedias. Por lo tanto la clasificación de los materiales no debe hacerse rígidamente distintiva.

Con la finalidad de facilitar el trabajo cuando se tiene que hacer la elección de un material para fabricar un componente determinado para alguna maquinaria, por ejemplo un automóvil, los ingenieros de materiales han hecho agrupaciones de diferentes materiales que tienen algunas características en común.



En la tabla 1.1 se presenta una de las clasificaciones más comunes de los materiales.

Tabla 1.1 - Clasificación común de los diferentes grupos de materiales.



#### 1.4.- Propiedades de los materiales.

Para poder dar un uso óptimo a los materiales en lo referente al diseño y construcción de elementos para cualquier tipo de máquina, en este caso particular, componentes automotrices, es necesario conocer cuales son sus principales propiedades y hacer una evaluación cuantitativa de las mismas.

Como se mencionó anteriormente, las propiedades de un material dependen de su estructura interna. Para poder elegir un material con la mayor certeza posible, es conveniente considerar tres tipos de propiedades: propiedades mecánicas, propiedades térmicas y propiedades eléctricas.

##### 1.4.1.- Propiedades Mecánicas.

Las propiedades mecánicas tienen una gran importancia en el diseño de componentes automotrices, puesto que son en gran medida las que sirven para elegir el material que cumpla con los requerimientos de la pieza que se va a fabricar. Las principales propiedades mecánicas son:

- Resistencia máxima
- Resistencia a la fluencia
- Módulo de elasticidad
- Ductilidad
- Dureza
- Tenacidad

Gran parte de las propiedades mencionadas pueden obtenerse realizando un ensayo de tensión y trazando su respectivo diagrama Esfuerzo - Deformación de ingeniería.

El ensayo de tensión consiste en colocar una probeta previamente preparada en un equipo especial que la somete a una carga axial que se incrementa gradualmente hasta que se fractura. Esta operación se realiza sujetando los dos extremos de la probeta, por medio de unas mordazas, y el equipo separa gradualmente los extremos de la probeta; mientras esto sucede, se registra continuamente la carga aplicada en la probeta y el incremento en la longitud por medio de dos marcas hechas y medidas previamente en la probeta. Con los valores obtenidos en estas lecturas se construye la gráfica esfuerzo-deformación de ingeniería.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2}$$

donde:  $\sigma$  = esfuerzo normal soportado por la probeta  
F = fuerza aplicada por el mecanismo de prueba  
A = área transversal de la probeta

1.4.1.1.- Propiedades mecánicas y datos importantes que pueden obtenerse por medio de un ensayo de tensión.

- Límite de proporcionalidad.- Es la parte recta del diagrama en donde el esfuerzo normal( $\sigma$ ) y la deformación lineal ( $\epsilon$ ) son proporcionales.

$\sigma$  - Esfuerzo normal.- ésta es una fuerza aplicada perpendicularmente por unidad de área

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2}$$

$\epsilon$  - Deformación lineal.- Es la deformación resultante de la aplicación de la carga.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{m}{m}$$

donde: L = longitud entre las marcas de la probeta, antes de aplicar carga

$\Delta L$  = incremento de longitud en la probeta al aplicar la carga ( $L_{\text{final}} - L_{\text{inicial}}$ )

Punto de cedencia.- Es el esfuerzo en el cual el material continúa deformándose sin que exista incremento en la carga (esto ocurre en materiales dúctiles).

Esfuerzo de Fluencia.- Determinado por alguna deformación permanente arbitraria, actualmente el valor mas utilizado es el que corresponde a  $\epsilon = 0.002$  o 0.2%.

Resistencia máxima a la tensión.- Es el esfuerzo correspondiente a la carga máxima alcanzada en el ensayo, este esfuerzo se considera como la resistencia del material.

Módulo de elasticidad ( E ).- es la relación entre esfuerzo y deformación en el rango elástico. El valor de E se puede considerar como la pendiente de la porción recta del diagrama esfuerzo - deformación. También es una medida de la rigidez del material.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{N/(m)^2}{m/m} = \frac{N}{(m)^2}$$

Con el objeto de hacer una comparación y así poder entender mejor el concepto de Módulo de Elasticidad, se presenta a continuación una tabla con distintos materiales y sus respectivos valores de módulo de elasticidad.

Tabla 1.2.- Módulo de elasticidad (Módulo de young)

| MATERIAL          | MODULO ELÁSTICO                            |   |
|-------------------|--|---|
|                   | Unidades Inglesas<br>Lb / plg <sup>2</sup> | Unidades Métricas<br>Kg / cm <sup>2</sup> |
| Aluminio          | 10 000 000                                 | 704 470                                   |
| Cobre             | 16 000 000                                 | 1 127 161                                 |
| Acero             | 30 000 000                                 | 2 113 428                                 |
| Vidrio (ventanas) | 10 000 000                                 | 704 470                                   |
| Polietileno       | 14 000 - 200 000                           | 986 - 14 089                              |
| Hule              | 600 - 11 000                               | 42 - 775                                  |

#### 1.4.1.2.- Ductilidad.

Podemos definirla como la medida de la capacidad que tiene un material para ser deformado. La ductilidad se puede cuantificar también por medio del ensayo de tensión y puede ser expresada tanto como un alargamiento, como una reducción de área. El alargamiento se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$Al = \frac{Long_f - long_o}{long_o}$$

donde: **Long<sub>f</sub>** = distancia medida entre las marcas de la probeta, uniendo los dos partes después de que ha ocurrido la fractura

**Long<sub>o</sub>** = distancia medida entre las marcas de la probeta, antes de la Aplicación de la carga

La ductilidad también puede ser medida de acuerdo a la reducción de área en el punto de ruptura y se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Red. de \u00e1rea} = \frac{\text{Area}_o - \text{Area}_f}{\text{Area}_o}$$

Donde: **Area<sub>o</sub>** = \u00e1rea de la secci\u00f3n transversal de la probeta, antes de aplicar carga  
**Area<sub>f</sub>** = \u00e1rea de la secci\u00f3n transversal de la probeta, medida en el punto donde ha ocurrido la fractura despu\u00e9s de aplicar la carga

Cuando se habla de dise\u00f1o de cualquier maquinaria o equipo, en este caso autom\u00f3viles, es muy importante conocer la medida de la ductilidad de los materiales con los que se van a construir, puesto que algunas partes deber\u00e1n ser fabricadas con materiales de baja ductilidad, por ejemplo, algunas de las piezas que integran el motor, y por el contrario habr\u00e1 piezas que necesiten estar hechas con materiales muy d\u00faciles como las muelles y las carrocer\u00edas.

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Si % $\epsilon$ y % Red de \u00e1rea $\geq$ 8 % | El material es d\u00facil  |
| Si % $\epsilon$ y % Red de \u00e1rea $<$ 8 %    | El material es fr\u00e1gil |

#### 1.4.1.3.- Dureza.

Es la resistencia del material a la penetraci\u00f3n, a la deformaci\u00f3n pl\u00e1stica y a la ralladura. Existen varios ensayos de dureza para encontrar su valor en distintos materiales, siendo los m\u00e1s usados:

Brinell : 500 - 3000 Kg de carga ( Hierro, Acero y Aleaciones no ferrosas)

Rockwell : 60,100, hasta 150 Kg de carga, (Diversos Materiales duros y suaves)

Vickers : 10 Kg de carga ( Materiales muy duros)

Tukon o Knoop: 500 g de carga ( Todos los materiales), Microdureza.

Las diferencias básicas entre los distintos tipos de ensayos son las siguientes:

- Tipo de indentador utilizado
- Magnitud de la carga empleada
- Parámetro de la huella que se mide

Los ensayos de dureza más utilizados por los ingenieros son; el ensayo de dureza Rockwell y el ensayo de dureza Brinell.

- Ensayo de Dureza Rockwell.

Tabla 1.3.- Escalas de dureza rockwell.

| Identador | Carga Aplicada | Escala |
|-----------|----------------|--------|
| Diamante  | 100 Kg         | Rc     |
| bola 1/16 | 150 Kg         | Rb     |
| Diamante  | 60 Kg          | Ra     |

Ventajas :

- Empleando la escala adecuada se puede medir la dureza de casi cualquier material.
- El valor de dureza se obtiene directamente de un dial o carátula.
- Se considera como una prueba no destructiva.

Desventajas :

- Se requiere de un buen acabado superficial

- Ensayo de dureza Brinell.

Ventajas :

- No es indispensable un buen acabado superficial.
- Nos proporciona un valor promedio más confiable de los microconstituyentes del material

Desventajas :

- En la mayoría de los casos es una prueba destructiva.
- El valor de la dureza no se obtiene directamente de una carátula, por lo que se tiene que hacer uso de tablas o fórmulas para calcularla.

1.4.1.4 - Tenacidad.- Un material que resista altos esfuerzos, que pueda sufrir grandes deformaciones antes de fracturarse, y que consuma una gran cantidad de energía en su proceso de fractura, se puede decir que es un material tenaz. Si un material se fractura después de que ocurre poca deformación plástica y se consume menor cantidad de energía, decimos que el material es frágil. Entonces, tenacidad es la cantidad de energía requerida para producir la falla en un material. La tenacidad se evalúa por medio de un procedimiento denominado “Prueba de Impacto”. Se han estandarizado básicamente dos tipos de prueba: Charpy e Izod, que se distinguen por la forma de sujetar la probeta.

En la prueba de impacto Charpy, la probeta se sujeta por los dos extremos y en la prueba de impacto Izod, la probeta se sujeta por un sólo extremo como una viga en voladizo. Las probetas más comúnmente usadas son las probetas charpy en las cuales se practica una entalladura que puede tener forma de “V” o de “ojo de cerradura”. La probeta debe ser fracturada por un martillo que actúa como péndulo.



Este péndulo está provisto de una cierta energía potencial y se descarga sobre la probeta ya montada. Parte de la energía potencial descargada en el golpe es absorbida por la probeta; esta energía consumida en la fractura se puede medir tomando la altura que adquirió el péndulo después del impacto y comparándola con la altura que tenía antes del mismo.

En la figura 1.1 se muestra el mecanismo de péndulo utilizado para realizar la prueba de impacto.

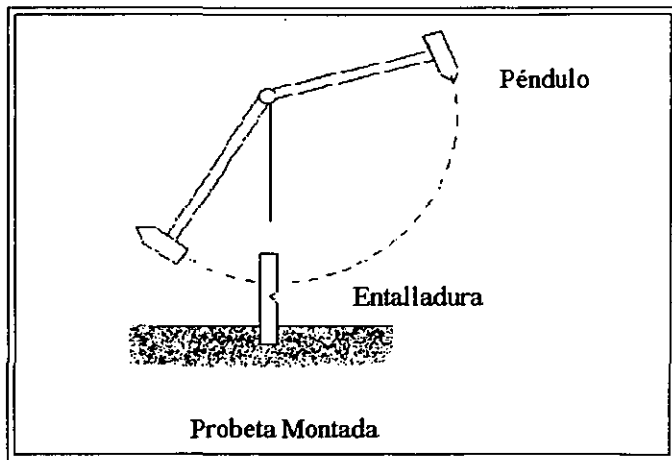


FIG 1.1 - Prueba de Impacto

Por la forma en que se realiza la prueba de impacto para medir la cantidad de energía absorbida por la probeta, también se puede definir a la "Tenacidad" como la capacidad de un material para soportar cargas aplicadas súbitamente.

#### 1.4.2.- Propiedades Térmicas.

Las propiedades térmicas de un material proporcionan una idea clara de la forma en que éste se comportará cuando se requiera utilizarlo como aislante, conductor o en áreas donde la temperatura pueda ser muy variable. Por ejemplo, en el diseño de las piezas internas de un motor es muy importante conocer como variarán las dimensiones de cada pieza al elevarse la temperatura por efecto de la operación del motor, para poder así otorgar el ajuste adecuado.

##### 1.4.2.1.- Dilatación Térmica.

Cuando se aplica energía calorífica a un material, las moléculas que lo integran vibran con una gran amplitud, esta amplitud de vibración produce un incremento en las dimensiones del material. A este incremento en las dimensiones se le conoce como dilatación térmica.

##### 1.4.2.2.- Conductividad Térmica ( k ).

Conductividad térmica es la capacidad que tienen los materiales para transmitir calor. La energía térmica o calor ( $J_1$ ) se mide en BTU, (o Joules en el sistema internacional) El porcentaje de energía térmica transferida ( $J_1$ ) es proporcional al gradiente de temperatura  $(T_2 - T_1) / (x_2 - x_1)$ :

$$J_1 = K \frac{(T_2 - T_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Donde:  $\kappa$ = conductividad térmica

$T_2 - T_1$ = incremento de temperatura

$x_2 - x_1$ = distancia recorrida por la energía calorífica

El valor de  $\kappa$  ( coeficiente de conductividad térmica) varía de un material a otro y podemos observar que es mucho más alto en los metales que en los cerámicos o en los plásticos, esto se debe a que los cerámicos y los plásticos sólo pueden conducir calor por vibración de átomos, en cambio los metales cuentan con electrones libres que transmiten el calor con mayor facilidad de las regiones de mayor temperatura a las de menor temperatura.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores de conductividad térmica de diferentes materiales:

Tabla 1.4- Coeficientes de conductividad térmica ( $\kappa = \text{joule} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

| Material                 | $\kappa$ |
|--------------------------|----------|
| Aluminio                 | 2.23     |
| Latón( 70Cu - 30Zn )     | 1.24     |
| Cobre                    | 3.99     |
| Hierro                   | 0.72     |
| Ladrillo de construcción | 0.0062   |
| Vidrio (ventanas)        | 0.0072   |
| Polietileno              | 0.0034   |
| Poliestireno             | 0.0008   |
| Hule                     | 0.0013   |

### 1.4.3.- Propiedades Eléctricas.

Las propiedades eléctricas de los materiales son básicamente dos, su resistividad y su conductividad, como se puede observar una propiedad es el recíproco de la otra, pero para entender mejor cada una es necesario definir las por separado.

#### 1.4.3.1.- Resistividad.

Se define como la capacidad que tienen los materiales para oponerse al paso de una corriente eléctrica. La resistividad eléctrica varía de un material a otro dependiendo del número de electrones libres que tengan los átomos de cada material. La resistividad es inversamente proporcional al número de electrones libres, esto quiere decir que mientras mayor sea el número de electrones libres, menor será el valor de resistividad, por eso es que en materiales metálicos se encuentran valores de resistividad eléctrica muy bajos y en materiales polímeros y cerámicos se tienen valores de resistividad eléctrica muy elevados.

#### 1.4.3.2.- Conductividad.

Como se mencionó anteriormente la conductividad eléctrica es contraria a la resistividad, esto quiere decir que la conductividad es directamente proporcional al número de electrones libres en los átomos del material. Por esta razón los materiales metálicos tienen una mayor conductividad que los cerámicos y los polímeros.

Tanto la resistividad como la conductividad eléctrica, dependen de un valor conocido como constante dieléctrica del material ( $\rho$ ). En la tabla 1.5 se pueden comparar los valores de la constante dieléctrica de diferentes tipos de materiales.

Tabla 1.5 Valores de la constante dieléctrica ( $\rho$ ).

| MATERIAL       | Constante dieléctrica ( $\rho$ ) |
|----------------|----------------------------------|
| Aire           | 1                                |
| Aluminio       | 0.028                            |
| Hierro         | 0.13                             |
| Polietileno    | 2.3                              |
| Caucho         | 3.2                              |
| Resina epóxica | 3.6                              |
| Baquelita      | 5.0                              |
| Vidrio         | 5.0 – 10.0                       |

#### 1.4.4.- Tipos de Esfuerzos.

En ingeniería, se conoce como esfuerzo a la forma y magnitud de las fuerzas a las que pueden estar sometidos los elementos que integran una máquina. En el diseño de componentes automotrices es muy importante saber a que tipos de esfuerzos serán sometidos, ya que esto será de gran ayuda para dar forma a dichos componentes y elegir el material más adecuado para su fabricación.

A continuación se mencionan los principales tipos de esfuerzos que actúan en los elementos mecánicos.

##### 1.4.4.1.- Esfuerzo de Tensión.

En algunas ocasiones existe confusión por la forma en que el esfuerzo en los materiales es expresado. En manuales de ingeniería y catálogos suplementarios, las

unidades que se da al esfuerzo en los materiales son libras por pulgada cuadrada ( $\text{Lb/Plg}^2$ ), unidades utilizadas también en mediciones de presión, para entender porque estas unidades son utilizadas para medir esfuerzos en materiales, se toma como ejemplo una barra cuadrada que mida 1 plg en cada uno de sus lados, el área de la sección transversal de la barra será obviamente una pulgada cuadrada ( $1 \text{ plg}^2$ ), ahora, se sujeta fuertemente uno de los extremos de la barra sosteniendola en posición vertical, si se coloca en el otro extremo una carga de 1000 lb se tendrán estas 1000 libras de carga pasando a través de la barra y tratando de jalar cada uno de los puntos de su sección transversal. Si se elimina la mitad de la sección transversal de la barra, entonces la carga sería dos veces mayor en la mitad de la barra que la sigue sosteniendo, esto quiere decir que se tendrían 2000 libras de fuerza actuando en cada pulgada cuadrada de la sección transversal de la barra. Para evitar hablar de la magnitud de la carga y el tamaño de la barra los ingenieros utilizan comúnmente el termino “Esfuerzo” para definir “Fuerza por unidad de área”. En el primer caso que se mencionó se tenía un esfuerzo de  $1000 \text{ Lb/Plg}^2$  o lo que es igual 1000 psi.

Retomando el ejemplo visto anteriormente, si se continúa agregando carga a la barra, llegará el momento en que ésta se romperá; a la carga máxima alcanzada un instante antes de que la barra se rompa se le llama: “Máximo esfuerzo a la tensión”. Si una barra soporta  $50\,000 \text{ Lb/plg}^2$  pero se rompe cuando se añade más carga, se dice que el esfuerzo máximo a la tensión del material con el que está fabricada es de 50 000 psi. Si ahora se tuviese una barra de ese mismo material pero de dos pulgadas de área en su sección transversal, la carga que soportará obviamente será mayor (dos veces mayor), pero el esfuerzo máximo a la tensión del material seguirá siendo el mismo, 50 000 psi.

#### 1.4.4.2.- Esfuerzo de Corte.

Tanto en automóviles como en cualquier otro tipo de máquina, mientras algunos componentes son sometidos a esfuerzos de tensión, otras partes se someten a diferentes tipos de esfuerzos, en algunos casos estos esfuerzos tratan de cortar al material más que jalarlo longitudinalmente. Este tipo de esfuerzo se encuentra muy comúnmente en uniones o empalmes por medio de tornillos o remaches, por ejemplo en las uniones del bastidor de un automóvil. Otros componentes son sometidos a torsión, como las barras de transmisión, el cigüeñal o árbol de levas del motor, etc. La torsión también puede clasificarse como un esfuerzo de corte, ya que en algún punto a lo largo de la longitud del componente sujeto a torsión, éste es sometido a esfuerzos de corte.

En el caso de barras, ejes o estructuras hechas de acero, el máximo esfuerzo de corte suele ser alrededor del 60 % del máximo esfuerzo a la tensión. Con otro tipo de materiales la resistencia al corte no puede conocerse con base en la resistencia a la tensión del material ya que al realizar pruebas de tensión a diferentes probetas de un mismo material los valores obtenidos pueden variar ampliamente, debido a que la resistencia a la tensión de dichos materiales depende en gran medida de la dirección de aplicación de la carga. Estos materiales, por ejemplo, presentan enormes variaciones en su rigidez y en su resistencia tanto a la tensión como al corte, dependiendo de la dirección de aplicación de la carga, ésto es; si se aplica transversal o longitudinalmente a la dirección de las fibras del material. En composiciones laminares ( piezas que se constituyen por varias capas colocadas una sobre otra), ciertos tipos de cargas involucran fuerzas que tratan de deslizar una capa sobre otra. La resistencia al corte en estos elementos interlaminares, depende casi enteramente de las propiedades de la matriz (por lo general resina), en la que las

fibras de refuerzo son colocadas. Por ejemplo en el caso de la madera es mucho más fácil partirla a lo largo de sus fibras que a través de ellas.

#### 1.4.4.3.- Esfuerzo de Compresión.

Si se comprime alguno de los elementos de una máquina en vez de tensarlo, entonces se está aplicando un esfuerzo de compresión; si el elemento es relativamente largo y delgado, puede suceder que el material se doble antes que fracturarse. Existen elementos de máquinas que debido a su forma no pueden ser sometidos a esfuerzos de compresión puesto que podrían fracturarse o deformarse fácilmente. Al observar elementos de diferentes formas y hechos con diferentes materiales sujetos a esfuerzos de compresión se notará que la resistencia y la rigidez del elemento dependen más de la geometría, que del material con que está hecho.

También puede ocurrir que a pesar de que un elemento de máquina sea relativamente corto y ancho, se fracture al aplicar únicamente cargas compresivas, debido a que otro factor importante en la falla de los materiales es el medio ambiente. Esto quiere decir que un material que es considerablemente dúctil bajo ciertas condiciones climáticas, puede volverse duro y frágil si éstas cambian. Generalmente los materiales son dúctiles a altas temperaturas y frágiles a temperaturas bajas.

Existen materiales como los aceros de bajo carbono, el aluminio y la mayoría de los plásticos, que al ser sometidos a cargas compresivas y temperaturas elevadas pueden deformarse muy fácilmente.



Muchos materiales, incluyendo metales estructurales y algunos materiales compuestos como la fibra de vidrio y la fibra de carbono tienen propiedades similares de resistencia y rigidez, tanto en compresión como en tensión, pero existen también excepciones, por ejemplo: el hierro fundido ó hierro colado que es mucho más resistente a la compresión que a la tensión; las fibras aramid tienen similar rigidez, tanto en tensión como en compresión, pero su resistencia a la compresión es baja a pesar de que se encuentra entre los materiales más resistentes bajo fuerzas de tensión. Las maderas también presentan generalmente menor resistencia a la compresión que a la tensión.

#### 1.4.4.4.- Esfuerzos Combinados.

En los elementos que integran una máquina, en este caso el automóvil, pocas veces puede verse que trabajen bajo un tipo de carga en particular, ya sea tensión pura, compresión pura o corte. La mayoría de las veces estos elementos son sometidos a más de un tipo de carga. Por ejemplo, los tornillos y remaches que sujetan la carrocería de un automóvil están sometidos a cargas de tensión y al mismo tiempo soportan esfuerzos de corte.

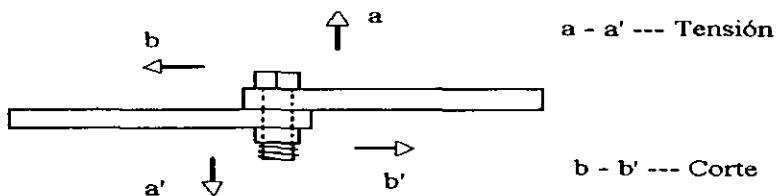
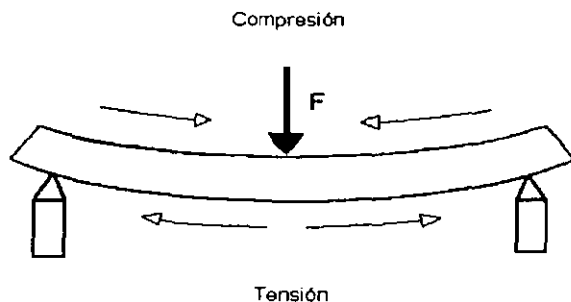


FIG 1.2 - Esfuerzos combinados

En la figura 1.2 se observa que las fuerzas representadas por las flechas a y a' causan un efecto de tensión en el tornillo mientras que las fuerzas representadas por las flechas b y b' provocan un esfuerzo de corte.

Quizá el ejemplo más común de esfuerzos combinados es el conocido como flexión, en el que intervienen generalmente esfuerzos de compresión y esfuerzos de tensión, y en ocasiones también esfuerzos de corte. Cuando una barra de cualquier material es sometida a flexión, uno de sus lados soporta esfuerzos de tensión y el otro lado soporta esfuerzos de compresión.

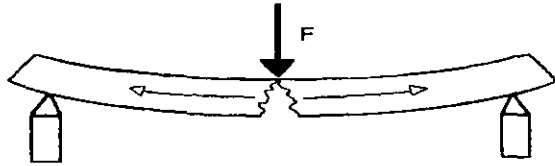
La figura 1.3 ilustra la forma en que dos tipos de esfuerzo como compresión y tensión se presentan en un elemento sometido a un esfuerzo de flexión.



**FIG 1.3 - Flexión**

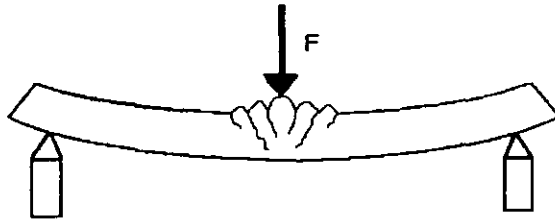
En el caso de la figura 1.3 si el material sometido a flexión presenta mayor resistencia a la compresión que a la tensión, y si al flexionarlo aplicamos una carga

muy grande, lo más seguro es que se fracture la parte del material sometida a tensión. Como se muestra en la figura 1.4.



**FIG 1.4 - Tipo de falla en flexión cuando la resistencia a la tensión es menor que la resistencia a la compresión**

Si el material presenta una mayor resistencia a la tensión que a la compresión, entonces al aplicar una fuerza muy grande el material cederá por la parte sometida a compresión, como se muestra en la figura 1.5



**FIG 1.5 - Tipo de falla en flexión cuando la resistencia a la compresión es menor que la resistencia a la tensión**

Esto permite predecir con base en el material utilizado, de que forma un elemento de máquina tiene mayor probabilidad de fallar.

Existen otros tipos de esfuerzos combinados, pero el de flexión es el más significativo puesto que si a una barra sometida a flexión se le aplica una fuerza que tienda a hacerla girar sobre su propio eje, se producirá un esfuerzo de corte en algún punto a lo largo de la barra y de esta forma se tendrán los tres tipos básicos de esfuerzos actuando en un mismo elemento.

#### 1.4.5 - Condiciones de operación.

##### 1.4.5.1.- Fatiga.

Cuando algún elemento de una máquina es sometido a una carga que se aplica cíclicamente (es aplicada y retirada continuamente), su resistencia disminuye con el paso del tiempo, es decir que el material podría llegar a fracturarse con una carga mucho menor que la que soportaba cuando se utilizó por primera vez. Este efecto se acentúa si las cargas aplicadas son demasiado grandes y se aplican súbitamente. Por ejemplo, en el motor de un automóvil las bielas son sometidas a un periodo de relajación y de súbita aplicación de una gran fuerza cada vez que se produce un giro.

Para algunos materiales existe un límite de fatiga, es decir que el elemento mecánico fabricado con éstos, puede estar trabajando indefinidamente sin que se presente una falla. Por ejemplo, el acero tiene un límite de fatiga aproximadamente de la mitad de su resistencia estática. Otros materiales como el aluminio y los plásticos se vuelven menos resistentes con cada aplicación de la carga.

Una carga puede variar su ciclo de distintas formas. El esfuerzo en un elemento puede variar desde un determinado valor máximo en compresión hasta cero, desde cero hasta un valor máximo en tensión, regresar otra vez y así sucesivamente. El caso más crítico de fatiga se observa en elementos sometidos a cargas que varían desde cero o valores muy bajos hasta valores muy grandes, aplicadas súbitamente, como en el caso de las bielas de un motor de automóvil, esto se conoce como “carga totalmente reversible”. La proporción entre las cargas máxima y mínima es llamada “rango de esfuerzo”, entonces a mayor rango de esfuerzo se tienen efectos de fatiga más severos.

Para hacer menos severos los efectos de fatiga se puede aplicar una precarga, de esta manera la carga máxima permanece igual pero la carga menor es incrementada, por lo tanto el elemento nunca tiene la oportunidad de estar totalmente relajado.

Las características de fatiga de los materiales compuestos son generalmente superiores a las de los metales. Pero definitivamente no es cierto que los materiales compuestos sean completamente inmunes a la fatiga. Los materiales compuestos unidireccionales basados en fibra de carbono pierden aproximadamente un tercio de su resistencia original después de 10 millones de ciclos de carga en tensión; los materiales compuestos de fibra de vidrio son llevados hasta aproximadamente la mitad de su resistencia estática. Los laminados unidireccionales de aramid son bastante buenos en este punto, puesto que solamente pierden un cuarto de su resistencia estática después de 10 millones de ciclos. Todos estos materiales se comportan deficientemente bajo ciclos de flexión.

#### 1.4.5.2.- Concentración de esfuerzos.

Cualquier cambio brusco de sección, como por ejemplo: una muesca, un cuñero, una grieta y hasta un incremento repentino de sección de área, enfoca las líneas de esfuerzo dentro de una área pequeña. Los ingenieros y diseñadores automotrices saben la importancia de los concentradores de esfuerzos, por lo cual tratan de evitar esquinas o filetes en punta. Por todas sus malas consecuencias en la resistencia estática, las concentraciones de esfuerzos tienen aún efectos más severos en las propiedades de fatiga. Transiciones suaves en cada cambio de sección pueden ayudar a disminuir el daño.

#### 1.4.5.3.- Corrosión.

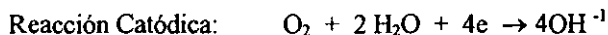
La corrosión es uno de los problemas más comunes que se presentan al tener que hacer uso de los materiales metálicos, puesto que en cualquier producto, ya sean utensilios para el hogar, piezas para maquinaria o componentes automotrices, fabricados con metales, debe tomarse en cuenta el efecto que el ambiente en el que se va a trabajar pueda causar en estos productos. El efecto de destrucción o deterioro que el medio ambiente ejerce en los materiales metálicos, es conocido como corrosión.

Dependiendo del metal empleado y de las condiciones ambientales en las que se requiera trabajar, existen diferentes tipos de corrosión. En el caso de los automóviles los tipos de corrosión más comunes son; la corrosión uniforme y la corrosión galvánica.

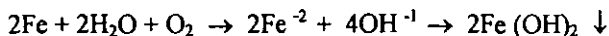
**Corrosión Uniforme.-** La corrosión uniforme o ataque uniforme es la forma de corrosión más común. Se caracteriza por una reacción química o electroquímica que

se lleva a cabo de una manera uniforme sobre una superficie expuesta. En esta forma de corrosión el metal se va desgastando de una manera casi uniforme, hasta que eventualmente desaparecen grandes porciones de él.

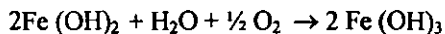
Un ejemplo clásico de corrosión uniforme lo constituye el sistema hierro-agua-oxígeno; una superficie de hierro sumergida en agua expuesta a la atmósfera, se va a corroer uniformemente. Para poder entender mejor como actúa este tipo de corrosión se deben analizar las reacciones que se llevan a cabo:



La reacción total se obtiene sumando estas dos reacciones, dando como resultado:



Lo cual indica que el hidróxido ferroso se precipita de la solución. Sin embargo este compuesto es inestable en soluciones oxigenadas (a la intemperie) y se oxida para formar una sal férrica como producto final, conocida con el nombre de herrumbre; la reacción final será:



Esta reacción se lleva a cabo en toda la superficie expuesta, la cual mostrará una corrosión esencialmente uniforme.

Cabe mencionar que esta forma de corrosión a pesar de ser un grave problema, no significa un gran riesgo ya que la vida del material puede estimarse con bastante exactitud por medio de una prueba de corrosión, la cual consiste en sumergir una probeta del material en cuestión, en una solución idéntica a la del medio corrosivo en el cual estará trabajando y dejarla ahí durante un cierto período de tiempo.

La velocidad de corrosión se puede obtener mediante la siguiente relación:

$$mpy = \frac{534W}{DAT}$$

Donde: mpy = milipulgadas por año

W = pérdida de peso en milésimas de lb.

D = densidad del material de la probeta en lb/plg<sup>3</sup>

A = área de la probeta en pulgadas cuadradas

T = tiempo de exposición en horas

Cuando el metal se deja únicamente a la intemperie, evitando al máximo el contacto con líquidos, también se presenta un fenómeno parecido a la corrosión uniforme; sólo que cuando esto ocurre en presencia de gases (aire), en vez de líquidos (agua), este fenómeno recibe el nombre de oxidación.



Corrosión galvánica.- La corrosión galvánica ocurre cuando se sumergen dos metales diferentes en una solución corrosiva. La diferencia de potencial eléctrico que se produce entre los dos metales que se ponen en contacto (o se unen eléctricamente de alguna manera), producirá un flujo de electrones entre ellos, dando como resultado la corrosión de uno de los dos.

Se ha observado que, en general, la corrosión del metal menos resistente a la corrosión aumenta, mientras que el ataque al material más resistente disminuye. El metal menos resistente tenderá a comportarse como ánodo, y el más resistente como cátodo. Generalmente al llevarse a cabo el acoplamiento, el metal que actúa como cátodo se corroe muy poco o nada.

Debido a las corrientes eléctricas y a los diferentes metales involucrados, este tipo de corrosión se denomina galvánica o bimetálica. La fuerza motriz para producir la corriente eléctrica y por lo tanto la corrosión de uno de los metales, se debe al potencial desarrollado entre los dos metales.

La diferencia de potencial entre los metales bajo condiciones en las que no existe corrosión, forma la base para predecir su tendencia a la corrosión; por ejemplo, la serie de fuerza electromotriz o serie FEM nos muestra el potencial entre metales expuestos a soluciones que contienen aproximadamente un gramo por peso atómico de sus iones respectivos, medidos con gran precisión a temperatura constante.

En la serie FEM de la tabla 1.6 se muestran los potenciales de distintos metales.

TABLA 1.6 - Serie FEM estándar para metales.

|                  |   | Reacción en Equilibrio        | E° (volt) |
|------------------|---|-------------------------------|-----------|
| Noble o Catódico | ↑ | $Au^{2+} + 3e \rightarrow Au$ | + 1.50    |
|                  |   | $Pt^{2+} + 2e \rightarrow Pt$ | + 1.20    |
|                  |   | $Ag^{+} + e \rightarrow Ag$   | + 0.80    |
|                  |   | $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$ | + 0.34    |
|                  |   | $2H^{+} + 2e \rightarrow H$   | 0.00      |
| Activo o Anódico | ↓ | $Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni$ | - 0.25    |
|                  |   | $Fe^{2+} + 2e \rightarrow Fe$ | - 0.44    |
|                  |   | $Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn$ | - 0.76    |
|                  |   | $Al^{3+} + 3e \rightarrow Al$ | - 1.66    |

En problemas reales de corrosión rara vez ocurre un acoplamiento galvánico entre metales en equilibrio con sus iones. Más bien, la mayoría de los casos de corrosión galvánica resultan de la conexión eléctrica entre dos metales que se encuentran sumergidos en algún medio corrosivo. También debido a que la mayoría de los materiales de uso en ingeniería son aleaciones, el acoplamiento galvánico incluye una o más aleaciones metálicas. Debido a esto, la tabla 1.6 tiene una aplicación muy restringida por lo que se puede considerar que no tiene aplicación práctica.

Una visión más exacta de la relación galvánica entre materiales de uso en ingeniería, se basa en medidas de potencial y pruebas de corrosión galvánica teniendo como medio corrosivo el agua de mar. La tabla 1.7 muestra la serie galvánica de algunos metales y aleaciones comerciales en agua de mar.

Debido a que pueden existir variaciones en pruebas realizadas, en la tabla 1.7 se expresan las posiciones relativas de los metales más que sus potenciales.

TABLA 1.7. - Serie galvánica de metales comerciales en agua de mar.

|                     |                             |  |  |
|---------------------|-----------------------------|--|--|
| Noble o<br>Catódico | ↑                           | Platino  |  |
|                     |                             | Oro  |  |
|                     |                             | Grafito  |  |
|                     |                             | Titanio  |  |
|                     |                             | Plata  |  |
|                     |                             | [ Chlorimet 3 (62Ni, 18Cr, 18Mo)               |  |
|                     |                             | [ Hastelloy C (62Ni, 17Cr, 15Mo)               |  |
|                     |                             | [ Acero inoxidable al Mo 18-8 (pasivo)         |  |
|                     |                             | Acero inoxidable 18-8 (pasivo)                 |  |
|                     |                             | [ Acero inoxidable al cromo, 11-30%Cr (pasivo) |  |
|                     |                             | [ Inconel (pasivo) (80Ni, 13Cr, 7Fe)           |  |
|                     |                             | [ Niquel (pasivo)                              |  |
|                     |                             | [ Monel (70Ni, 30Cu)                           |  |
|                     |                             | Cuproniquel (60-90Cu, 40-10Ni)                 |  |
|                     |                             | Bronces (Cu-Sn)                                |  |
|                     |                             | Cobre  |  |
|                     |                             | [ Latones (Cu-Zn)                              |  |
|                     |                             | [ Chlorimet 2 (66Ni, 32Mo, 1Fe)                |  |
|                     |                             | [ Hastelloy B (60Ni, 30Mo, 6Fe, 1Mg)           |  |
|                     |                             | [ Inconel (activo)                             |  |
|                     |                             | [ Niquel (activo)                              |  |
|                     | Activo o<br>Anódico         |  | Estaño                                 |
|                     |                             |  | Plomo                                  |
|                     |                             |  | [ Acero inoxidable al Mo 18-8 (activo) |
|                     |                             |  | Acero inoxidable 18-8 (activo)         |
|                     |                             | [ Acero inoxidable al cromo, 13%Cr (activo)    |  |
|                     |                             | [ Fundición de hierro                          |  |
|                     |                             | [ Acero o hierro                               |  |
|                     |                             | Aluminio 2024(4.5Cu, 1.5Mg, 0.6Mn)             |  |
|                     |                             | Cadmio   |  |
|                     |                             | Aluminio comercialmente puro (1100)            |  |
|                     | Zinc                        |  |  |
|                     | ↓ Magnesio y sus aleaciones |  |  |

En los casos en que el elemento base y la composición base son semejantes (por ejemplo cobre y aleaciones de cobre), en aplicaciones prácticas hay poco peligro de que sufran corrosión galvánica, si se ponen en contacto uno con otro, ya que el potencial generado por ellos es muy pequeño. Sin embargo, si se consideran materiales que se encuentran muy distantes en la serie galvánica, el potencial generado será grande, lo cual indica que ocurrirá corrosión galvánica.

#### 1.4.5.4.- Uniones.

La capacidad de algunos materiales para redistribuir los esfuerzos locales excesivos está conjuntamente ligada con las uniones mediante tornillos y sus ajustes. Es necesario adicionar material extra alrededor de las uniones atornillables en todos los materiales; en las fibras de carbono hay que proveer mucho más que en las fibras de vidrio; los metales y el aramid son los que menos necesitan. Por ejemplo, un laminado de fibra de carbono unido mediante tornillos o remaches deberá tener el 60% de sus fibras alrededor del barreno del tornillo o remache dispuestas a más o menos 45° de la dirección de la carga aplicada; la fibra de aramid requiere sólo la mitad de sus fibras, cuando mucho. Aunque se usan tornillos y remaches en estructuras hechas de materiales compuestos en donde son inevitables, y aunque algunos metales pueden ser unidos mediante adhesivos, los metales generalmente se unen mediante tornillos simplemente porque la resistencia en las uniones puede ser calculada, además de permitir revisiones y mantenimiento a las partes.

Las diferentes partes de una estructura experimentan distintos tipos y magnitudes de cargas, por lo cual se usan diferentes tipos de materiales, cada uno seleccionado como el mejor para cumplir con un determinado trabajo. El ingeniero automotriz deberá tomar en consideración todos los puntos vistos anteriormente para

hacer una buena elección del material, deberá considerar también los métodos de manufactura, los métodos de ensamble y la facilidad para llevarlos a cabo, porque un material puede ser el mejor para cumplir con una función determinada pero su dificultad para maquilarlo, soldarlo o unirlo con otros componentes pueden encarecer el costo de producción del automóvil y hacerlo inaccesible para el consumidor ocasionando graves pérdidas a la industria.

## CAPITULO 2

### LOS POLIMEROS Y LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

#### 2.1.- Introducción a los polímeros.

Existe un grupo de materiales, cuyas propiedades pueden variar enormemente de un material a otro, pero todos ellos tienen como característica común la de hallarse constituidos por macromoléculas, es decir moléculas muy largas que resultan de la unión de numerosos grupos de átomos iguales; estas macromoléculas son llamadas también “meros”, y a los materiales que resultan de la unión de un gran número de estas moléculas se les llama “polímeros” ó también llamados “plásticos”. Estos materiales son generalmente derivados del petróleo, pero también pueden obtenerse de materias minerales, vegetales e incluso animales, y sus características dependen de los procesos de elaboración y de las combinaciones que se realicen con diferentes compuestos. Los plásticos pueden labrarse como los metales y el vidrio; por moldeado, prensado, extrusión, laminado, etc., y sus aplicaciones son muy numerosas en diferentes áreas; con los plásticos puede fabricarse desde el más sencillo utensilio de uso casero o industrial, hasta componentes de la más avanzada tecnología para naves espaciales.

Una característica importante en los polímeros es su capacidad para fundirse, ya que de ésta depende la posibilidad de reciclar los productos fabricados con ellos. Tomando en cuenta su capacidad para ser fundidos, se puede distinguir dos grandes grupos de materiales plásticos.

- Termoplásticos.

Un material termoplástico se crea cuando las moléculas que resultan de la polimerización forman cadenas paralelas unidas de trecho en trecho por enlaces laterales poco numerosos. Este tipo de estructura permite a los termoplásticos, ablandarse o hacerse flexibles y fácilmente moldeables cada vez que son calentados y recobrar su consistencia original al enfriarse nuevamente. Esto brinda una gran ventaja; puesto que el plástico utilizado en productos que son fabricados con polímeros termoplásticos, puede ser reciclado fundiéndose nuevamente una vez que dichos productos dejan de utilizarse o sufren algún daño. Evitando en gran medida la generación de desperdicios.

- Termofijos (o termoestables).

Un material termofijo se crea cuando la polimerización da como resultado macromoléculas tridimensionales ordenadas en diferentes direcciones y sus moléculas se encuentran unidas por numerosos enlaces. En este caso la materia plástica generalmente líquida o pulverulenta es termofraguante, duroplástica o termoestable; esto quiere decir que una vez que es calentada, endurece definitivamente al enfriarse y no puede volverse a ablandar por efecto de calor, puesto que en caso de ser éste muy intenso el material se carboniza sin fundir. También puede ocurrir que el material endurezca definitivamente debido al efecto de algún reactivo químico, por someterse a presiones elevadas o por exposición a rayos ultravioleta, pero sea cual sea el método utilizado para endurecer el polímero, es imposible fundir nuevamente el material. Por lo tanto los productos fabricados con este tipo de polímeros sólo pueden ser usados una vez y cuando se dañan o dejan de cumplir su función, generalmente tienen que ser desechados.

En la tabla 2.1 se mencionan algunos de los plásticos más comunes y las materias naturales de las cuales se originan.

TABLA 2.1 - Origen de los principales materiales plásticos.

| ORIGEN  | MATERIA PRIMA          | PRODUCTO INTERMEDIO | MATERIAS PLASTICAS   |
|---------|------------------------|---------------------|--|
| ANIMAL  | leche                  | Caseína             | galalita y lanital   |
| VEGETAL | algodón y madera       | celulosa            | celuloide, celofana, rayón y viscosa   |
| "       | plantas oleaginosas    | Aceites             | rilsán y barnices  |
| "       | hevea                  | Látex               | ebonita y caucho   |
| "       | resinas de coníferas   | Celofana            | barnices   |
| "       | gomas vegetales        | Lacas               | discos de gramófono y barnices   |
| MINERAL | hulla                  | benceno y estireno  | poliésteres, poliestireno, cauchos sintéticos o elastómeros  |
| "       | "                      | Fenol               | nylon, resinas formofenólicas o fenoplastos  |
| "       | "                      | Naftaleno           | resinas gliceroftálicas  |
| "       | "                      | cumarona o indeno   | resinas para lacas y barnices  |
| "       | "                      | Acetileno           | resinas acrílicas, acetato de celulosa, polivinilo, neopreno y cauchos sintéticos, plexiglás y fibras textiles |
| "       | "                      | Gas(de coque)       | baquelita y resinas formofenólicas   |
| "       | "                      | amoníaco            | urea y aminoplastas  |
| "       | petróleo y gas natural | Acetileno y benceno | derivados de la hulla  |
| "       | "                      | Butileno            | caucho butilio   |
| "       | "                      | Etileno             | cloruro de vinilideno, poliésteres, caucho artificial y fibras textiles  |
| "       | "                      | propileno           | acetato de celulosa y resinas gliceroftálicas  |
| "       | "                      | Xileno              | poliésteres y fibras textiles, dacrón, terileno, etc.  |



Dependiendo del tipo de polímero, los materiales plásticos tienen distintas características, por lo que es conveniente dividirlos en cuatro grupos: Termoplásticos, termofijos, elastómeros y materiales compuestos.

### 2.1.1.- Propiedades y características de los polímeros termoplásticos.

#### 2.1.1.1.- Deformación elástica.

La deformación elástica se debe a la capacidad de estiramiento y distorsión de los enlaces dentro de la cadena molecular y a la cantidad de movimiento recuperable de segmentos completos de dichas cadenas. Los polímeros termoplásticos pueden soportar una cantidad de deformación elástica bastante considerable, que aunque no puede compararse con la de los elastómeros, permite utilizarlos en donde sea necesario contar con una elasticidad intermedia; por ejemplo, en algunos acoplamientos mecánicos, mangos para herramientas, y otros componentes en los que se requiera disminuir el efecto de vibraciones e impactos.

#### 2.1.1.2.- Deformación plástica.

La deformación plástica en los polímeros ocurre cuando las cadenas moleculares en la estructura interna del polímero se deslizan una sobre otra ocasionando que los enlaces que existen entre ellas se rompan y por consiguiente al retirar el esfuerzo las cadenas permanecen en sus nuevas posiciones, deformando así al polímero permanentemente. Esta característica es aprovechada en procesos de conformado, cuando es necesario deformar el plástico sin fundirlo.

#### 2.1.1.3.- Viscosidad.

En los polímeros la facilidad con la que ocurre la deformación plástica está relacionada con su viscosidad. Los polímeros que tienen valores de viscosidad más

altos, requieren de esfuerzos más grandes para poder ser deformados permanentemente. En los polímeros, como en casi todos los materiales, la viscosidad puede alterarse por efecto de la temperatura. Conforme aumenta la temperatura el polímero se vuelve menos viscoso y se deforma más fácilmente.

#### 2.1.1.4.- Temperatura de degradación.

La temperatura a la cual los enlaces entre los átomos de una cadena molecular son destruidos, ocasionando que el polímero se carbonice, se llama: temperatura de degradación. La temperatura de degradación limita la utilización del polímero y representa la temperatura máxima a la cual un polímero puede ser conformado en forma útil.

#### 2.1.1.5.- Temperatura de fusión.

En los polímeros termoplásticos, a medida que se incrementa la temperatura, la viscosidad va disminuyendo, debido a esto, cuando la temperatura llega a cierto límite, las cadenas moleculares en la estructura interna del polímero pueden moverse incluso sin que se aplique una fuerza externa y si se aplica una fuerza, el polímero prácticamente fluye sin que ocurra deformación elástica. En estas condiciones el polímero es un material muy adecuado para vaciados y muchos otros procesos de conformado. La temperatura a la cual un polímero alcanza estas condiciones es llamada temperatura de fusión.

#### 2.1.1.6.- Temperatura de transición vítrea(Tg).

Si al tener un plástico fundido se hace descender la temperatura por debajo de la temperatura de fusión, llegará un punto en el que la viscosidad se hace tan baja que el movimiento de las cadenas moleculares se vuelve muy limitado y ya no

existe deslizamiento de una sobre otra. Esta es llamada; temperatura de transición vítrea(Tg). Por debajo de esta temperatura, el plástico se vuelve duro y frágil, comportándose de manera similar a un vidrio cerámico, por lo que es conveniente que al escoger un polímero para una cierta aplicación, se tenga cuidado de que la temperatura de transición vítrea sea menor que las temperaturas de servicio.

La tabla 2.2 muestra las temperaturas de fusión y de transición vítrea para algunos de los polímeros más comunes.

tabla 2.2 - Temperaturas de fusión y de transición vítrea para algunos polimeros.

| Polímero                          | Temp. fusión (°C) | Temp. trans. vítrea (°C) |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Polietileno de baja densidad (BD) | 115               | -120                     |
| Polietileno de alta densidad (AD) | 137               | -120                     |
| Cloruro de polivinilo             | 175 – 212         | 87                       |
| Polipropileno                     | 168 – 176         | -16                      |
| Poliestireno                      | 240               | 85 – 125                 |
| Poliacilonitrilo                  | 320               | 107                      |
| Teflón                            | 327               | ---                      |
| Policlorotrifluoroetileno         | 220               | ---                      |
| Polimetilmetacrilato (acrílico)   | ---               | 90 – 105                 |
| ABS                               | —                 | 88 – 125                 |
| Acetal                            | 181               | -85                      |
| 6,6-nylon                         | 265               | 50                       |
| Acetato de celulosa               | 230               | ---                      |
| Policarbonato                     | 230               | 145                      |
| Poliéster                         | 255               | 75                       |

#### 2.1.1.7.- Cristalización.

Algunos polímeros al ser enfriados bajo ciertas condiciones por debajo de la temperatura de fusión, se cristalizan. Normalmente los polímeros cristalinos tienen mayores densidades y mejores propiedades mecánicas que los polímeros amorfos o vítreos. Para propiciar la cristalización en los plásticos se debe tener en cuenta lo siguiente: El enfriamiento rápido evita la cristalización y facilita la estructura vítrea, por el contrario, las velocidades bajas de enfriamiento favorecen la cristalización. La deformación del polímero entre las temperaturas de fusión y de transición vítrea puede propiciar la cristalización enderezando las cadenas y conduciéndolas a una estructura paralela. Si se desea producir la cristalización deformando un plástico, se obtendrán mejores resultados si la deformación ocurre lentamente.

#### 2.1.1.8.- Propiedades mecánicas.

Al igual que en otros tipos de materiales, en los materiales plásticos se encuentran distintas propiedades mecánicas, en el caso de los plásticos, las más importantes son: Resistencia a la tensión; el valor de esta propiedad sirve para conocer el valor de la fuerza que puede soportar un componente sometido a fuerzas de tensión, y en algunos casos se puede relacionar este valor con la resistencia a fuerzas de compresión, de corte o de flexión. Porcentaje de elongación; es la cantidad de elongación que puede soportar el plástico antes de romperse. Módulo elástico y densidad; proporcionan una idea más clara del comportamiento que tendrá el plástico en una determinada aplicación.

Las propiedades mecánicas que se requieren conocer para poder hacer un uso apropiado de los materiales plásticos, son prácticamente las mismas que en los metales, y son muy importantes puesto que con base en ellas se puede hacer una

mejor selección del material. Las propiedades mecánicas de los polímeros pueden alterarse si cambia la temperatura ambiente.

En la tabla 2.3 se listan los valores de las propiedades mecánicas más importantes de algunos polímeros termoplásticos (a temperatura ambiente).

TBLA 2.3 - Propiedades mecánicas de los polímeros termoplásticos.

| Polímero           | Resistencia a la tensión (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Elongación (%) | Modulo de Elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------------|--|----------------|---|-------------------------------|
| Polietileno (BD)   | 42 – 210                                       | 50 – 800       | 1050 – 2800                                 | 0.92                          |
| Polietileno (AD)   | 210 – 390                                      | 15 – 130       | 4220 – 12680                                | 0.96                          |
| Polivinildeno      | 350 – 635                                      | 2 – 100        | 21130 – 42268                               | 1.40                          |
| Polipropileno      | 280 – 420                                      | 10 – 700       | 11270 – 15500                               | 0.90                          |
| Poliestireno       | 225 – 560                                      | 1 – 60         | 26800 – 31700                               | 1.06                          |
| Acrílico           | 245 – 350                                      | 2 – 5          | 24650 – 31700                               | 1.22                          |
| Polivinilo         | 140 – 490                                      | 160 – 240      | 3520 – 5630                                 | 1.15                          |
| Teflón             | 140 – 500                                      | 100 – 400      | 4220 – 5630                                 | 2.17                          |
| Poliéster (acetal) | 670 – 850                                      | 25 – 75        | 36600                                       | 1.42                          |
| Poliamida (nylon)  | 775 – 845                                      | 60 – 300       | 28180 – 35220                               | 1.14                          |
| Poliéster (dacrón) | 360 – 105                                      | 50 – 300       | 28180 – 42260                               | 1.36                          |
| Policarbonato      | 635 – 775                                      | 110 – 130      | 21130 – 28280                               | 1.2                           |
| Celulosa           | 140 – 560                                      | 5 – 50         | 14000 – 17600                               | 1.30                          |
| Poliamida          | 775 – 1 190                                    | 8 – 10         | 21150                                       | 1.39                          |

## 2.1.2.- Propiedades y características de los polímeros termofijos o termoestables.

A continuación se describen las características de mayor importancia para aplicaciones en ingeniería de los polímeros termofijos o termoestables.

### 2.1.2.1.- Obtención de los polímeros termofijos.

Los Polímeros termofijos o termoestables se forman cuando durante la polimerización se producen cadenas lineales y después se entrelazan por ligamentos cruzados para producir una estructura tridimensional. A menudo, los materiales poliméricos termoestables se obtienen en forma de resinas líquidas a partir de dos componentes que al mezclarse, inician la reacción de entrelazamiento. Esta reacción puede iniciarse también por otros medios, por ejemplo, elevación de la temperatura, sometiendo al polímero a altas presiones o exponiéndolo a rayos ultravioleta (luz solar). Un método muy utilizado para iniciar la reacción de entrelazamiento en polímeros termoestables, sobre todo en las resinas del tipo del poliéster, es la adición de sustancias catalizadoras. El catalizador más comúnmente utilizado es el peróxido dimetil-etil-cetona en una proporción que va de 0.05 a 0.3 % (en volumen), dependiendo del tiempo de fraguado y las características que se deseen en la resina. Existen resinas poliéster para diferentes usos. Por ejemplo la resina MC-40 utilizada en encapsulados u otras aplicaciones que requieren de un acabado con un alto grado de transparencia, la resina M-70 utilizada en la fabricación de piezas sólidas que no requieren ser translucidas y como material base (matriz) para muchos materiales compuestos, como por ejemplo, las FRP (muy utilizadas en la industria automotriz). Además de las resinas poliéster, existen otros tipos de resinas, no tan utilizadas, pero que poco a poco van encontrando aplicación en muchas áreas de la industria, incluyendo la industria automotriz. Estas son las resinas fenólicas, las resinas epóxicas y las resinas aminas.

### 2.1.2.2.- Efecto de la temperatura en los polímeros termofijos.

En general las propiedades de los polímeros dependen fundamentalmente de la temperatura. Al calentar un polímero, los enlaces moleculares desaparecen gradualmente. En el caso de los polímeros termoplásticos esto provoca flujo viscoso, es decir, el polímero funde. Pero en el caso de los polímeros termofijos, esto no sucede debido a los enlaces cruzados, los cuales mantienen unidas las cadenas moleculares. Sin embargo la desaparición de los enlaces no cruzados produce nuevos espacios donde las cadenas pueden moverse, lo que vuelve al polímero más elástico. Esto se refleja entre otras cosas, en una caída del módulo elástico al aumentar la temperatura.

A la temperatura en que se rompen los enlaces no cruzados entre las cadenas moleculares de un polímero se le conoce como temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) ya antes mencionada. En el caso de los polímeros termoplásticos, la temperatura  $T_g$  es menor a la temperatura ambiente, los elastómeros también presentan una  $T_g$  menor a la temperatura ambiente, de aquí su gran elasticidad. Por el contrario los polímeros termofijos presentan valores de  $T_g$  mayores a la temperatura ambiente. Debido a esto, a la temperatura ambiente son frágiles y quebradizos, pero si son calentados a temperaturas superiores a  $T_g$  se vuelven flexibles y tenaces, y comienzan a degradarse pero sin presentar flujo viscoso (no se funden).

### 2.1.2.3.- Propiedades mecánicas de los polímeros termofijos.

De lo explicado anteriormente, se puede deducir que las propiedades mecánicas de los polímeros termofijos, al igual que los termoplásticos o los elastómeros, dependen de la temperatura. Por ejemplo, a temperaturas bajas el módulo elástico (una de las principales propiedades mecánicas), es alto, por lo que

la resina tiende a ser más rígida y frágil. A temperaturas elevadas el módulo disminuye, por lo que el material se vuelve elástico. En el caso de los termoplásticos puede presentarse flujo viscoso o fundición del material y si se continúa aumentando la temperatura, se presenta la degradación del material. En el caso de los termofijos, si se continúa elevando la temperatura después de la etapa elástica, el material comienza a degradarse sin presentar la etapa de flujo viscoso o fundición. Por lo tanto los polímeros termofijos dependiendo de la temperatura, presentan un espectro en su comportamiento mecánico que va desde el comportamiento frágil y quebradizo, pasando por un comportamiento altamente elástico, parecido al de los polímeros elastómeros, y finalmente ocurre la descomposición del polímero ocurriendo la carbonización del material.

Es importante subrayar el hecho de que la degradación del polímero ocurre sin que se presente antes la etapa de flujo viscoso o fundición, que se presenta en los polímeros termoplásticos.

A continuación se mencionan los diferentes regímenes por los que pasa un material termofijo al aumentar la temperatura.

- Régimen vítreo.- El polímero presenta un módulo elástico elevado, por lo que el material es frágil y quebradizo.
- Régimen de transición vítrea.- El módulo elástico desciende notablemente y las propiedades del material cambian.



- Régimen elastomérico.- El polímero presenta un módulo elástico bajo, por lo que el material se vuelve flexible con características similares a un elastómero.
- Régimen de descomposición.- Cuando la temperatura de trabajo supera la temperatura de degradación del material, el polímero se carboniza sin presentar la etapa de fusión.

La figura 2.1 muestra una gráfica que contiene las diferentes regiones mecánicas que se presentan en un polímero termofijo cuando se observan sus características a diferentes temperaturas.

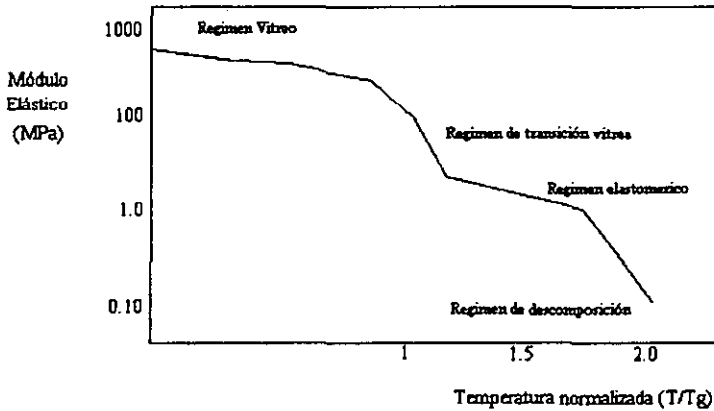


FIG 1.2 -Variación de las propiedades mecánicas según la temperatura en un polímero termofijo.

Debido a la incapacidad de los polímeros termofijos para ser fundidos, su utilización se encuentra limitada a un reducido número de aplicaciones, ya que el material sólo puede ser usado una vez. Una vez conformada una pieza si se daña o deja de cumplir con su función, por cualquier causa, ésta debe ser desechada.

En la tabla 2.4 se listan las principales propiedades mecánicas a temperatura ambiente, de los polímeros termofijos más utilizados.

TABLA 2.4 - Propiedades mecánicas de los polímeros termofijos.

| Polímero    | Resistencia a la tensión (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Elongación (%) | Módulo de elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|--|----------------|---|-------------------------------|
| Fenólicos   | 350 – 630                                      | 0 – 2          | 28180 – 91580                               | 1.27                          |
| Aminas      | 340 – 700                                      | 0 – 1          | 70450 – 112700                              | 1.50                          |
| Poliésteres | 420 – 900                                      | 0 – 3          | 21130 – 45800                               | 1.28                          |
| Epóxicos    | 280 – 1050                                     | 0 – 6          | 28180 – 35200                               | 1.25                          |
| Silicones   | 210 – 280                                      | 0              | 84500                                       | 1.55                          |

Una gran desventaja de los polímeros termofijos es la imposibilidad de ser reutilizados. Debido a esto, los productos fabricados con este tipo de materiales al ser desechados, generan una gran cantidad de desperdicios que generalmente son tirados en áreas naturales de los alrededores de las ciudades, lo cual afecta de manera importante al medio ambiente.

### 2.1.3.- Propiedades y características de los polímeros elastómeros.

#### 2.1.3.1.- Principales características.

Existe un grupo de materiales, algunos de origen natural y otros obtenidos artificialmente por medio de cadenas moleculares lineales. Dichos materiales muestran una gran cantidad de deformación elástica cuando se les aplica una fuerza y esta deformación puede desaparecer completamente cuando se retira la fuerza. Estos materiales son conocidos como polímeros elastómeros; a este grupo pertenecen materiales como el caucho, el hule y otros obtenidos sintéticamente con características similares. La habilidad de estos materiales de presentar una gran cantidad de deformación elástica se debe a que las cadenas moleculares en los polímeros elastómeros se encuentran enrolladas en forma de espiral, entonces al aplicarles una fuerza, estas cadenas se desenrollan brindando al material una capacidad de deformarse elásticamente que ningún otro material presenta. Al retirar la fuerza aplicada, las cadenas moleculares vuelven a enrollarse, devolviendo al material su forma original.

En algunas ocasiones la recuperación no es total, puesto que las cadenas moleculares no sólo se desenrollan sino que ocurren pequeños deslizamientos entre unas y otras. Para evitar esto, se puede añadir azufre a algunos tipos de elastómeros, aunque esto implica una disminución de la cantidad de deformación elástica que el material puede soportar, ya que con la adición de azufre en los materiales elastómeros, se crean enlaces cruzados entre las cadenas moleculares, evitando así los desplazamientos entre éstas, pero también se ve restringido el desenrollamiento de la espiral. Si se añaden pequeñas cantidades de azufre, se obtienen elastómeros suaves y con buena resistencia a los deslizamientos, si se añaden cantidades más grandes de azufre el elastómero se vuelve más duro, más rígido y más frágil. Al

realizar la adición de azufre, se recomienda no exceder de 30 o 40 %, para propiciar un entrelazamiento cruzado en los elastómeros.

### 2.1.3.2.- Propiedades mecánicas.

Debido a las muy particulares características de este tipo de materiales, las propiedades mecánicas también son particularmente especiales. Como el módulo de elasticidad es muy bajo, los elastómeros son extremadamente flexibles y presentan elongaciones muy superiores a las de cualquier otro material. Al igual que los demás polímeros, sus propiedades mecánicas varían con la temperatura, a temperaturas relativamente altas el material es muy elástico y a medida que disminuye la temperatura se vuelve menos elástico y más duro.

En la tabla 2.5 se muestran las propiedades mecánicas más importantes, de algunos polímeros elastómeros.

TABLA 2.5 - Propiedades mecánicas de los polímeros elastómeros.

| MATERIAL                             | Resistencia a la tensión (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Elongación (%) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------|--|----------------|-------------------------------|
| Poliisopropeno                       | 211  | 800            | 0.93                          |
| Polibutadieno                        | 246  |                | 0.94                          |
| Polibutileno                         | 28   | 350            | 0.92                          |
| Neopreno                             | 246  | 800            | 1.24                          |
| Butadieno-Estireno (caucho BS o SBR) | 42 – 211                                       | 600-2000       | 1.0                           |
| Butadieno acrilonitrilo              | 50   | 400            | 1.0                           |
| Silicón                              | 25 - 70  | 100-700        | 1.5                           |

#### 2.1.4.- Propiedades y características de los materiales compuestos.

Existen ciertos materiales que poseen combinaciones especialmente útiles de sus propiedades (bajo peso, resistencia mecánica, tenacidad, etc). Esto se debe a que son mezclas de dos o más componentes muy distintos entre sí. Por ejemplo, uno de ellos puede ser ligero y fuerte, pero demasiado frágil para utilizarse individualmente; el otro componente puede ser tenaz y dúctil, pero deficiente en resistencia mecánica. Cuando se combinan adecuadamente dos de estos materiales, se forma un material denominado “compuesto”, cuyas propiedades combinan las cualidades de ambos componentes.

En la formación de los materiales compuestos se produce una mezcla de distintas fases. Por ejemplo en las fresas de los taladros utilizados por los dentistas se presenta una mezcla de pequeños cristales de carburo de tungsteno rodeados por una capa de cobalto. Aquí el cobalto forma una fase policristalina continua, mientras que el carburo de tungsteno forma una fase discontinua. Generalmente la fase continua es llamada “matriz”, mientras que la fase discontinua es llamada “material de refuerzo”. Los materiales compuestos tienen una gran importancia en la ingeniería, debido a que presentan varias propiedades atractivas que los colocan aparte de los materiales de una sola fase.

Al percatarse de las ventajas que los materiales compuestos tienen sobre otros materiales en el campo del diseño y fabricación de naves espaciales, aviones de combate y de pasajeros, lanchas y automóviles de carreras, tanto los ingenieros químicos como los ingenieros en materiales, se han esforzado por desarrollar nuevos tipos de materiales compuestos, con mejores propiedades y menor costo.

#### 2.1.4.1.- Plásticos reforzados con fibras.

Los materiales compuestos pueden estar formados por metales como en el caso de las aleaciones de más de una sola fase; también pueden estar formados por cerámicos como por ejemplo el concreto, y el caso aquí tratado, que es cuando se encuentran formados por polímeros. Los materiales compuestos que se elaboran con base en polímeros, generalmente utilizan como material de refuerzo metales, cerámicos, materiales naturales u otros tipos de polímeros, en forma de polvos, fibras, barras, bandas o cintas, cubiertas por una matriz de resina. Este tipo de materiales también se conoce como “FRP” que proviene del inglés “Fiber Reinforcing Plastics” que traducido al español significa “plásticos reforzados con fibras”. Existen muchos tipos de FRP, las más utilizadas en la industria automotriz son las siguientes.

- Fibra de vidrio.

El vidrio es el tipo de fibra más comúnmente utilizado como refuerzo en los materiales compuestos o FRP. La fibra de vidrio se produce derritiendo bloques de vidrio en hornos eléctricos, cuando el vidrio está fundido, se hace pasar por pequeños orificios que se encuentran en la base del horno; de esta manera se obtienen delgadísimos filamentos que se van enrollando en un devanado.

En pruebas realizadas a las fibras de vidrio puras se han obtenido valores de resistencia a la tensión de hasta 550 Ksi y módulos de elasticidad de 10 a 10.5 msi. Si estas mismas pruebas se aplican a la fibra de vidrio con recubrimiento plástico, como es usada comúnmente, el valor de resistencia a la tensión disminuye al orden de 270 a 390 Ksi, dependiendo de la forma en que se hallen acomodadas las fibras en la resina. El módulo de elasticidad disminuye aproximadamente en un 60%, por

lo que se dice que el material se vuelve menos rígido. Parte de esta pérdida de resistencia y rigidez se debe a que las fibras dentro de la matriz plástica, son discontinuas, y en algunos puntos es inevitable que el material falle al aplicarle un esfuerzo. De aquí es evidente que la fibra de vidrio no es más resistente que el acero pero lo que la hace atractiva en aplicaciones a la ingeniería, es que tiene una mejor relación resistencia-peso que el acero.

- Fibra de vidrio S - 1 y S - 2.

A principios de los años 60's las investigaciones para desarrollar materiales de alto rendimiento para ser aplicados en la tecnología espacial y en la industria militar, condujeron a la fabricación de un material llamado "fibra de vidrio S -1", este material es parecido a la fibra de vidrio pero con mayor cantidad de silicio. La adición de silicio confiere al material parámetros más elevados de resistencia a la tensión y módulo elástico. Desafortunadamente el alto costo de la certificación para poder ser aplicada en la industria aeroespacial y militar, y los bajos niveles de producción ocasionaron que su costo fuera diez veces mayor que el de una fibra de vidrio común, por lo que su producción fue cancelada.

A finales de los años 60's se logró desarrollar un tipo de material fabricado con una estructura interna parecida a la fibra de silicio y con propiedades prácticamente iguales pero con la ventaja de tener un costo mucho más bajo. Este material se conoce como "fibra de vidrio S - 2" y se ha estado aplicando a la construcción de partes del cuerpo de jets comerciales, hélices para helicópteros, y principalmente en la industria automotriz, primero en autos de carreras y vehículos prototipo, ahora se está utilizando de manera significativa en muchos modelos de vehículos de uso particular.

- Fibra de Carbono.

A pesar de que la fibra de vidrio S-2 superó en gran medida a la fibra de vidrio común; los ingenieros químicos y los ingenieros de materiales no quedaron satisfechos con las propiedades obtenidas, por lo que siguieron buscando materiales alternativos. Esta investigación los condujo al desarrollo de la “Fibra de carbono”.

Una de las ventajas de este material es que dependiendo del método de producción, pueden obtenerse diferentes propiedades en la fibra de carbono, por lo que se han desarrollado diferentes métodos de producción, buscando siempre la mejor proporción en la relación resistencia-rigidez. Desde los orígenes de la fibra de carbono ha existido un debate entre ingenieros químicos y de materiales acerca de lo relativo de sus méritos, teniendo en cuenta su elevado costo. Hasta ahora el método más económico y por lo tanto el más utilizado en la producción de fibra de carbono, consiste en obtener filamentos delgados a partir de un material llamado poliacrilnitrilo, sometiéndolo a altas temperaturas. Las fibras obtenidas por este método pueden llegar a ser dos veces más resistentes que las aleaciones con acero y hasta tres veces más rígidas.

Las propiedades de estas fibras pueden combinarse con las de los plásticos, fabricando laminados de fibra de carbono impregnadas con algún tipo de resina plástica (generalmente resinas epóxicas). Las láminas obtenidas de esta forma tienen una resistencia superior a la de las aleaciones de acero y su rigidez es ligeramente inferior. Si la comparación se hace con base en el volumen parecería que no hay mucha ventaja en utilizar fibra de carbono como sustituto del acero, pero si se compara el peso de una lámina de fibra de carbono con el de una lámina de acero que tengan resistencia y rigidez similares, se verá que la fibra de carbono es mucho



más ligera, y es precisamente esta característica lo que hace a la fibra de carbono, atractiva para ingenieros y diseñadores, principalmente en el campo de los vehículos de transporte ya sea terrestre, marítimo o aéreo.

En un principio, la fibra de carbono fué utilizada en grandes secciones del fuselaje de aviones DC-10 y en muchos de los componentes de los transbordadores overcraft. Hoy en día, después de muchos problemas y años de investigación, el uso de la fibra de carbono se ha extendido rápidamente. Actualmente es el principal material utilizado en la construcción de automóviles fórmula 1; y se ha empezado a utilizar en algunos de los componentes de vehículos para uso particular.

- Fibras Aramid (Kevlar).

El nombre genérico para este tipo de fibras es el de “Aramid”, pero como desde hace algún tiempo el único fabricante de este material ha sido la empresa DuPont y ellos han registrado y comercializado este producto bajo el nombre de “Kevlar”; éste es el nombre con el que las fibras aramid son conocidas por la mayoría de los usuarios de estos materiales.

Al igual que la fibra de carbono las propiedades de las fibras aramid pueden modificarse cambiando el proceso de fabricación con la finalidad de favorecer la resistencia o la rigidez del material.

La forma original de este material se llama “Kevlar 29”. Esta no es mucho más resistente que el acero, ni tampoco tiene una rigidez espectacular; por lo que se han desarrollado nuevas versiones de kevlar. Por ejemplo el kevlar 129, el kevlar 49 y el kevlar 149. Todas las versiones de kevlar pueden ser usadas actualmente,

dependiendo de la resistencia y rigidez que requiera el componente que se va a fabricar.

Algunas versiones de kevlar tienen mayor resistencia a la tensión que la fibra de carbono pero poseen una menor rigidez. La resistencia a la compresión de los laminados hechos con fibras kevlar es relativamente baja puesto que depende en cierto grado de las propiedades de la resina que se esté usando como material de la matriz. Por tal motivo, el empleo de laminados fabricados con fibras kevlar no es muy recomendable para fabricar piezas que van a ser sometidas a fuerzas de compresión muy grandes. Esta baja resistencia a las cargas compresivas, no es necesariamente una desventaja puesto que existen aplicaciones para las que esta característica es muy apreciada.

En competencias de lanchas y autos de carreras, la posibilidad de sufrir un accidente es muy grande, por lo que este tipo de vehículos deben ser fabricados con un material que brinde cierto grado de seguridad al piloto. En estos casos el kevlar es insuperable ya que al presentar baja resistencia a las cargas compresivas, si se llegara a producir una colisión, el material es capaz de absorber gran parte de la fuerza de impacto, proporcionando una considerable protección al piloto.

Las fibras kevlar pueden utilizarse solas o combinadas con otros tipos de fibras como la fibra de carbono o la fibra de vidrio, con la finalidad de obtener propiedades mecánicas adecuadas sin el inconveniente de un gran aumento en el costo de fabricación. La principal ventaja de las fibras kevlar sobre otros tipos de fibras es que en un volumen igual, las kevlar pueden ser hasta 20% más ligeras que los otros tipos de fibras. Debido a que en las composiciones kevlar se utilizan

principalmente resinas epóxicas como matriz y este tipo de resinas son sensibles a los rayos ultravioletas, es recomendable aplicar recubrimientos como la pintura a los componentes de vehículos fabricados con fibras kevlar.

- Fibras Espectra.

Las estructuras fabricadas con fibra de vidrio, de carbono o kevlar tienen excelentes propiedades de resistencia y rigidez y pueden ser utilizadas en muy diversas áreas de la ingeniería, principalmente en la construcción de vehículos de transporte, pero tienen una desventaja; los plásticos utilizados como material de la matriz (generalmente poliéster y epóxicos), son polímeros termofijos o termoestables, por lo cual es muy difícil reciclarlos. Ante este problema, se han empezado a desarrollar materiales compuestos que utilicen como matriz, un polímero termoplástico. Este tipo de materiales son conocidos como fibras espectra.

En las fibras espectra, la resistencia a la tensión es similar a la de la fibra de vidrio o la fibra de carbono, la resistencia a la compresión es un poco más parecida a la de las fibras aramid, aunque los efectos de las cargas compresivas son más notorios en las fibras espectra que en las fibras kevlar. Un factor que podría ser considerado como desventaja en las fibras espectra es su baja rigidez, debida en gran parte al material que se usa como matriz, ya que generalmente los polímeros termoplásticos tienen menores valores de rigidez que los termofijos o termoestables. Otra limitante de importancia en el empleo de las fibras espectra, es que no pueden ser expuestas a temperaturas relativamente elevadas, ya que se corre el riesgo de que el plástico utilizado como matriz se reblandezca demasiado o incluso, llegue a fundirse.

A pesar de que las fibras espectra no pueden ser empleadas en muchas de las aplicaciones que tienen actualmente la fibra de vidrio, la fibra de carbono o las fibras aramid; son actualmente el principal objeto de investigación en cuanto a “plásticos reforzados con fibras” se refiere, puesto que presentan una alternativa de solución al problema de generación de deshechos producidos por los plásticos termofijos.

Para tener una mejor idea de las ventajas que tienen los materiales compuestos conocidos como FRP, sobre los materiales de uso común en ingeniería como el hierro y el aluminio. La figura 2,2 muestra una lista de laminados que tienen similares propiedades de resistencia y se puede observar la relación peso-volumen-resistencia que existe entre estos laminados.

#### LAMINADOS DE IGUAL RIGIDEZ (BAJO FLEXION)








| PESO RELATIVO | ESPESOR RELATIVO |   | MATERIAL              |
|---------------|------------------|---|-----------------------|
| 1.00          | 1.00             |    | ACERO                 |
| 0.65          | 1.22             |    | TTTANIO               |
| 0.48          | 1.44             |    | ALUMINIO              |
| 0.36          | 1.66             |  | MAGNESIO              |
| 0.31          | 1.88             |  | ARAMID Y EPOXICOS     |
| 0.55          | 2.29             |  | FIBRA DE VIDRIO       |
| 0.21          | 2.97             |  | TRIPLAY DE ABETO ROJO |

FIG. 2.2.- Comparación volumen-peso en paneles de igual rigidez fabricados con diferentes materiales.

## 2.2.- Fabricación de componentes automotrices empleando materiales plásticos.

Una de las áreas en las que más se han empleado los materiales plásticos obteniéndose excelentes resultados, es sin duda la industria automotriz, ya que al ser heredera de la más avanzada tecnología de materiales, tanto espacial como militar, se beneficia indirectamente de las costosas investigaciones que se realizan para desarrollar nuevos y mejores materiales para aplicaciones en las áreas mencionadas.

En los últimos años, el empleo de los materiales plásticos se ha incrementado notablemente, no sólo en la industria automotriz, sino también en muchas otras áreas de la industria, debido en algunos casos al bajo costo que requiere la producción de artículos plásticos, y en otros a las ventajas en cuanto a propiedades que ofrecen los materiales plásticos con respecto a otros tipos de materiales.

Una de las características más atractivas de los materiales plásticos, es la facilidad con que pueden ser conformados, ya que por métodos relativamente sencillos y económicos, se puede fabricar casi cualquier cosa, desde sencillos utensilios de uso casero, hasta los más elaborados componentes para vehículos espaciales, sin olvidar por supuesto, una gran variedad de componentes automotrices. Debido a la diversidad que presentan los diferentes materiales plásticos en sus características y en sus propiedades, el conformado de componentes automotrices se realiza mediante procesos igualmente diversos. Algunos de los procesos de conformado son similares a los que se aplican en el conformado de componentes metálicos, con la ventaja de que los plásticos no requieren de cargas tan grandes como los metales para ser conformados y las máquinas y equipos empleados en los plásticos son considerablemente más sencillos y de menor tamaño.

A continuación se explican las diferentes formas en que un plástico puede ser conformado.

### 2.2.1.- Conformado de polímeros termoplásticos.

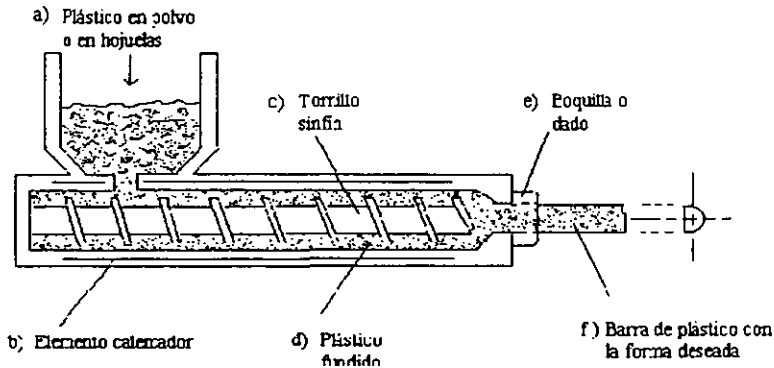
Existen muchas técnicas para conformar polímeros termoplásticos, pero el principio utilizado es el mismo en todos los casos. El polímero es calentado a una temperatura cercana o superior a la temperatura de fusión, de modo que se vuelva muy flexible o líquido. Una vez fundido, el polímero es inyectado dentro de un molde, o forzado a pasar a través de un dado o boquilla para producir la forma requerida.

#### 2.2.1.1.- Extrusión.

Este proceso consiste en que una vez que la temperatura del plástico está cerca o ha sobrepasado la temperatura de fusión, y por lo tanto el material se encuentra en estado líquido (o casi líquido), un mecanismo de tornillo empuja el material para que pase a través de un dado abierto (o boquilla) para producir formas sólidas. Utilizando diferentes dados, es posible producir formas tan diversas como barras, películas, hojas, tubos, y hasta bolsas plásticas. El proceso de extrusión es utilizado también para recubrir cables y alambres.

Durante el proceso de extrusión se debe tener cuidado de que la velocidad de salida del material, a través de la boquilla no sea muy grande, ya que el material debe solidificar al contacto con el aire prácticamente al salir de la boquilla y si esto no se hace a una velocidad adecuada, la forma del material que cruza la boquilla, puede sufrir deformación.

En la figura 2.3 se puede observar de manera esquemática cada uno de los pasos que se llevan a cabo durante un conformado por extrusión.



- El plástico es colocado en forma de polvo, gránulos u hojuelas en un depósito situado en la parte superior del mecanismo.
- Por medio de un elemento calentador se eleva la temperatura del plástico hasta alcanzar la temperatura de fusión.
- y d) Al girar el tornillo sin fin, empuja el plástico fundido hacia la boquilla.
- Al pasar por la boquilla, el plástico fundido adquiere la forma requerida.
- Cuando el plástico hace contacto con el aire, solidifica inmediatamente formando una barra continua con la forma de la boquilla utilizada.

FIG 2.3 – Conformado por extrusión

### 2.2.1.2.- Moldeo por soplado.

Este proceso consiste en introducir una especie de globo de plástico caliente llamado preforma, en un molde que tiene la forma de la pieza que se desea fabricar. Una vez introducida la preforma en el molde, se introduce gas a una temperatura adecuada y con una presión suficiente para que la preforma se expanda y tome la forma del molde que la está conteniendo. Este proceso se utiliza para producir botellas plásticas, recipientes y muchas otras formas huecas.

La figura 2.4 muestra esquemáticamente como se desarrolla el proceso de moldeo por soplado.

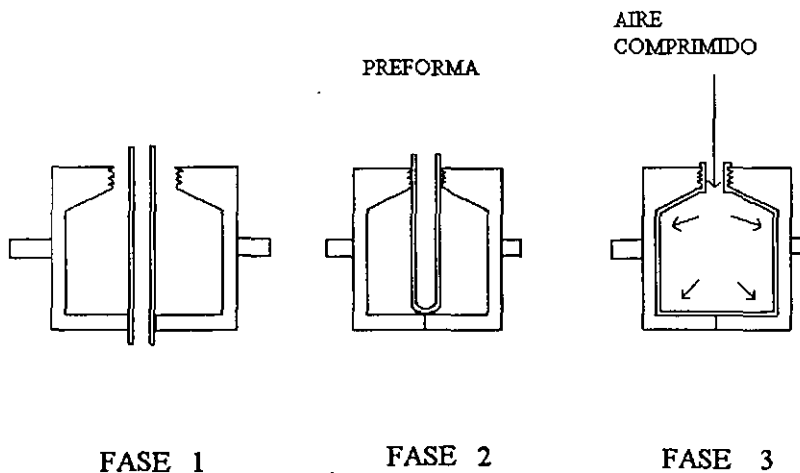


FIG 2.4 - Proceso de moldeo por soplado.



Una de las aplicaciones más importantes del proceso de moldeo por soplado dentro de la industria automotriz, ha sido la fabricación de los tanques de gasolina para muchos modelos de autos. Otras aplicaciones quizá no tan importantes pero que se han venido dando desde hace muchos años son: la fabricación de los depósitos de agua para el sistema de limpiaparabrisas, la fabricación de depósitos para el líquido de frenos, y los depósitos laterales de algunos tipos de radiadores.

#### 2.2.1.3.- Moldeo por inyección.

El proceso de moldeo por inyección, es sin duda el más utilizado en la producción, no sólo de componentes automotrices, sino también de muchos otros artículos que pueden ser productos terminados o partes de algún mecanismo. El procedimiento utilizado es similar al del proceso de extrusión sólo que en el moldeo por inyección, el plástico caliente(a una temperatura mayor a la de fusión) no se hace pasar por un dado abierto, sino que se inyecta por medio de alta presión, utilizando el mismo mecanismo de tornillo sinfin o un mecanismo de émbolo, dentro de un molde cerrado que tiene por dentro la forma de la pieza que se quiere fabricar.

El moldeo por inyección de termoplásticos es un proceso sencillo y relativamente rápido que puede ser realizado tanto en grandes empresas por sofisticados equipos automáticos, como en pequeños talleres con máquinas de inyección manuales

La figura 2.5 muestra de manera esquemática, el proceso de moldeo por inyección.

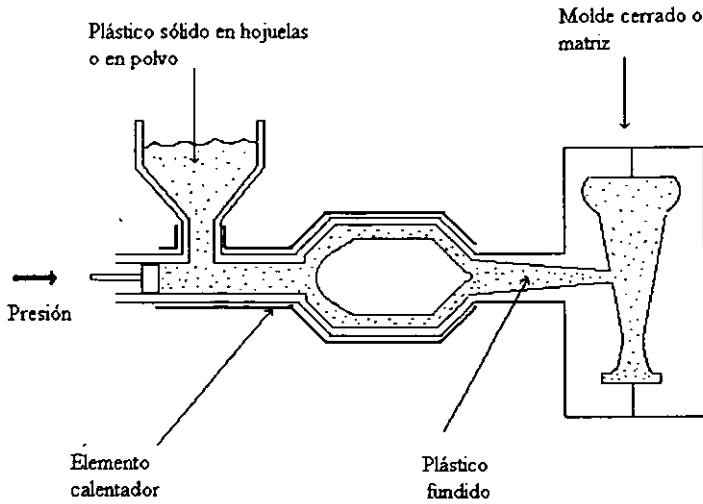


FIG 2.5 - Proceso de moldeo por inyección.

El proceso de moldeo por inyección tiene la ventaja de que puede utilizarse un molde múltiple, esto quiere decir que tiene varias cavidades y por lo tanto se puede producir más de una sola pieza en un sólo paso de inyección.

En la figura 2.6. se aprecia un ejemplo de molde múltiple con 12 cavidades, para producir la cubierta de los elevadores para los cristales laterales del modelo "sedan" de la compañía Volkswagen.

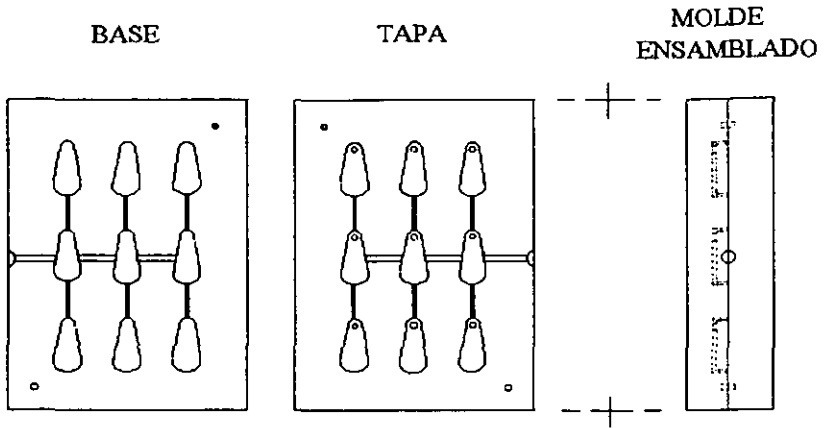


FIG. 2.6 - Molde múltiple para inyección en molde cerrado.

Muchos de los componentes fabricados con polímeros termoplásticos que se utilizan en la producción de automóviles, se obtienen por medio del proceso de inyección en molde cerrado.

#### 2.2.1.4.- Conformado al vacío.

Para dar forma a alguna pieza por medio de conformado al vacío, es necesario que el plástico haya sido conformado previamente en forma de láminas, para ser calentadas dentro de la región plástica, antes de que el plástico alcance la temperatura de fusión. Una vez calentadas, las láminas son colocadas sobre un molde o patrón conectado a un sistema de vacío; sobre la superficie del molde hay unas pequeñas rendijas que permiten que el vacío succione la hoja de plástico caliente para que tome su forma.

La figura 2.7 muestra esquemáticamente la forma en que se realiza el proceso de conformado al vacío.

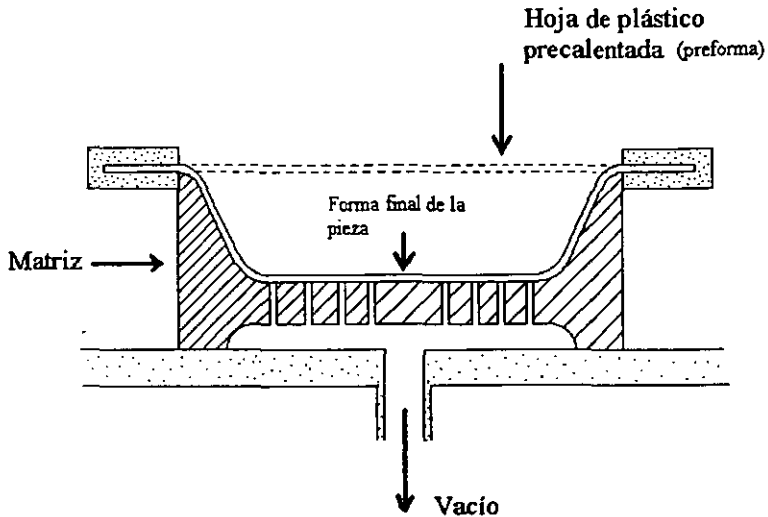


FIG. 2.7 - Proceso de conformado al vacío.

Este proceso se aplica en la industria automotriz en la producción de cubiertas para algunas de las partes del motor (tolvas), algunas secciones de la estructura interna de los tableros, tapas y protecciones que dan forma al interior del vehículo.

#### 2.2.1.5.- Calandrado.

El proceso de calandrado consiste en verter plástico fundido sobre una serie de rodillos con una pequeña abertura entre ellos. Entre los rodillos se introduce una

capa delgada de polímero que al ir pasando entre los diferentes rodillos adquiere el espesor y la forma deseados. Haciendo un grabado especial en uno de los rodillos puede imprimirse en el vinil una textura parecida a la de la piel. Este proceso es útil para fabricar laminados de plástico y lienzos como el de vinil, que se utiliza para fabricar las vestiduras de los automóviles.

En la figura 2.8 se ilustra el principio de funcionamiento de una máquina para calandrado.

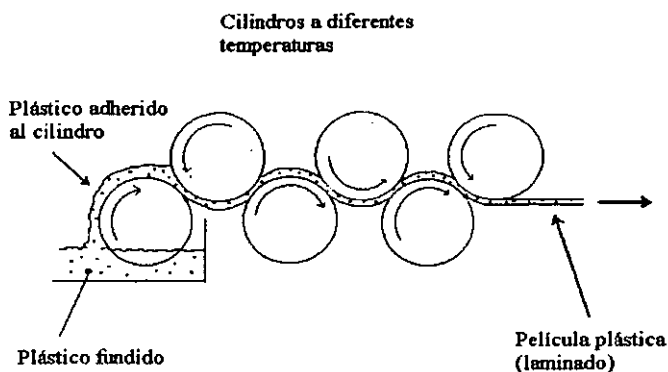


FIG. 2.8 - Proceso de calandrado.

#### 2.2.1.6.- Trefilado y laminado.

Los procesos de trefilado y laminado son muy parecidos entre sí, pero difieren en la forma del plástico que se va a conformar; en el caso del trefilado, el plástico se hace pasar en forma de barras por una máquina llamada trefiladora que sirve para que después del extruido, se modifiquen las dimensiones originales dando un mejor

acabado y mayor precisión a las dimensiones finales y la forma del material. El proceso de laminado se desarrolla en una forma similar, sólo que el material debe tener forma de placas o láminas. En los dos casos la forma original de las extrusiones es modificada produciendo las dimensiones finales requeridas, además de causar recristalización y una orientación preferencial de las cadenas, mejorando las propiedades del plástico.

La figura 2.9 ilustra los procesos de trefilado y laminado, y la forma en que las cadenas del polímero son reorientadas preferencialmente.

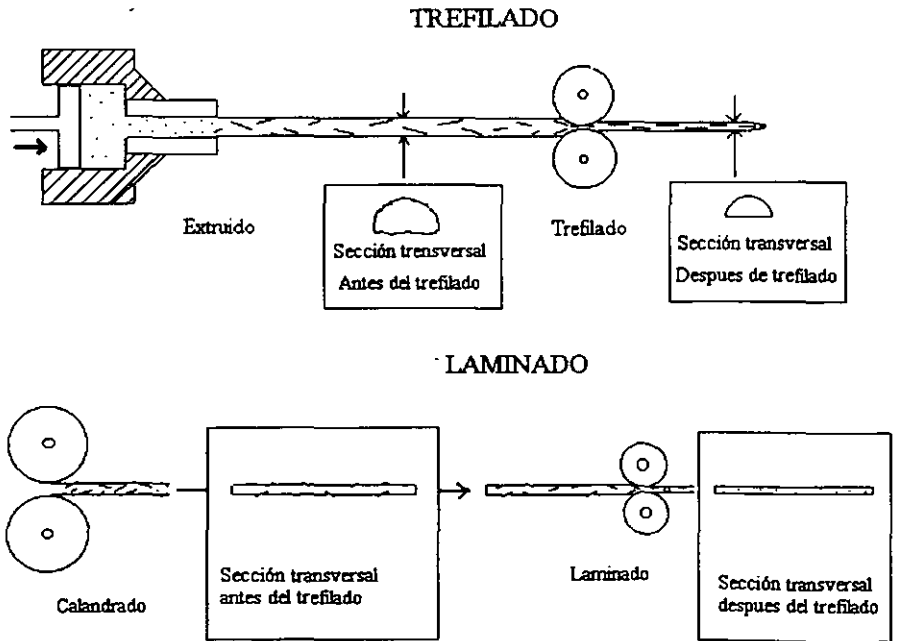


FIG. 2.9 - Procesos de trefilado y laminado.

### 2.2.1.7.- Hilado.

El hilado es en realidad un proceso de extrusión. Una vez calentado, el plástico se hace pasar a través de un dado o boquilla, sólo que en el hilado se utiliza un dado que tiene muchas perforaciones pequeñas en lugar de sólo una. Girando el dado cada determinado tiempo, se puede cortar el hilo de plástico que se forma por las perforaciones obteniendo fibras o filamentos de diferentes longitudes. Por medio de este proceso se fabrican muchas fibras que se utilizan como relleno y algunos tipos de hilos utilizados en las costuras de los interiores del automóvil.

La figura 2.10 ilustra el principio utilizado en el proceso de hilado.

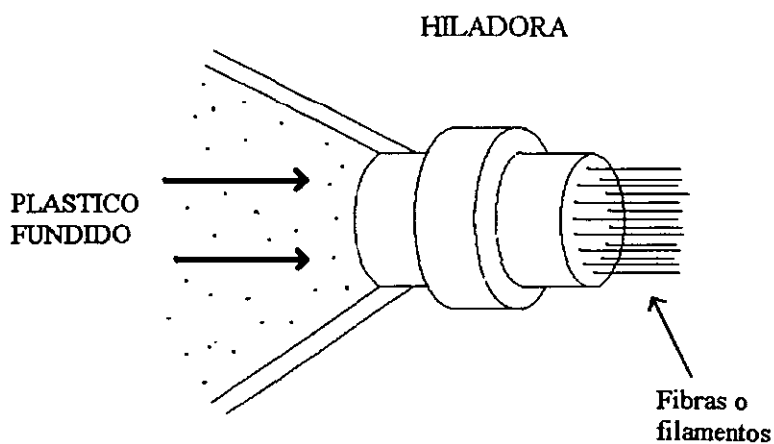


FIG. 2.10 - Proceso de hilado.

### 2.2.2.- Conformado de polímeros termofijos.

En el caso de los polímeros termofijos o termoestables, los procesos de conformado deben ser más eficientes ya que si no se realizan bien, se generan pérdidas de material puesto que los polímeros termofijos no pueden fundirse nuevamente para ser reutilizados.

A continuación se explica la forma en que se realizan los principales procesos de conformado para polímeros termofijos.

#### 2.2.2.1.- Moldeo por compresión.

En este proceso, el polímero en forma sólida es colocado en un molde que tiene la forma de la pieza que se desea fabricar, una vez colocado el material dentro del molde, éste es calentado ocasionando que se inicie el proceso de polimerización. Como en la primera fase de polimerización el polímero se vuelve flexible, debe aprovecharse este momento para aplicar presión al material por medio de un émbolo y forzarlo a tomar la forma del molde que lo contiene.

Cuando el proceso de polimerización se ha llevado a cabo, la pieza conformada es sacada del molde por medio de un pequeño émbolo llamado "eyector". Este proceso es relativamente rápido puesto que la aplicación de elevadas temperaturas y altas presiones ocasiona que el polímero se licue, llene el molde e inmediatamente comience a endurecerse.

La figura 2.11 ilustra la forma en que se realiza el conformado de un polímero termofijo por medio de compresión.



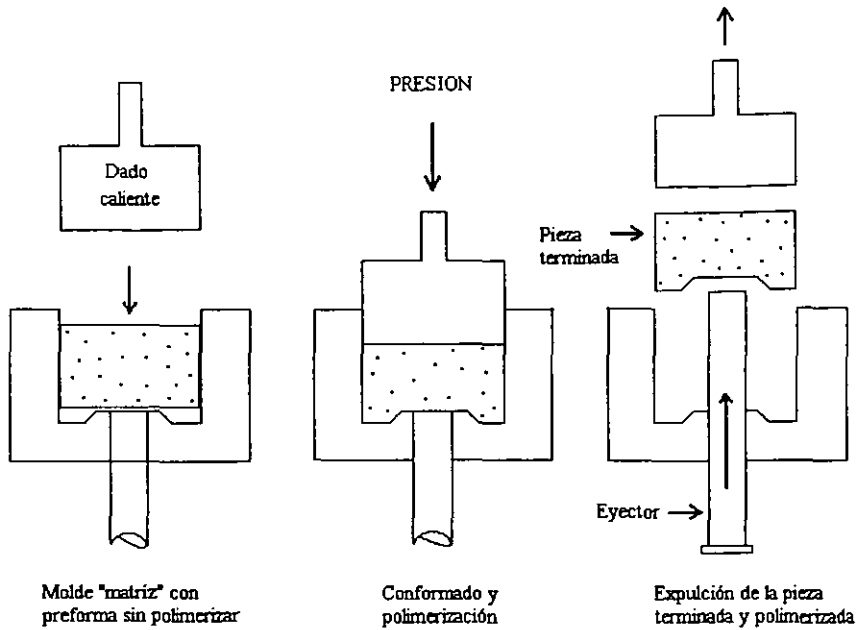


FIG. 2.11 - Molde por compresión.

El moldeo por compresión de polímeros termofijos, es muy utilizado en la industria automotriz para fabricar muchos de los accesorios que forman parte importante tanto del exterior como del interior de un vehículo y algunos componentes: principalmente del sistema eléctrico y de los sistemas de enfriamiento y calefacción.

#### 2.2.2.2.- Moldeo por transferencia.

El proceso de moldeo por transferencia consta de dos fases. El mecanismo en el cual se realiza se llama, de doble intercambiador. En la primera fase, el polímero

es calentado bajo presión en un intercambiador y cuando se ha fundido es inyectado por medio de presión en un molde adyacente. Este proceso combina elementos tanto del moldeo por compresión como del moldeo por inyección, permitiendo que algunas de las ventajas del moldeo por inyección sean usadas en los polímeros termofijos.

En la figura 2.12 se ilustra la forma en que se lleva a cabo el proceso de moldeo por transferencia.

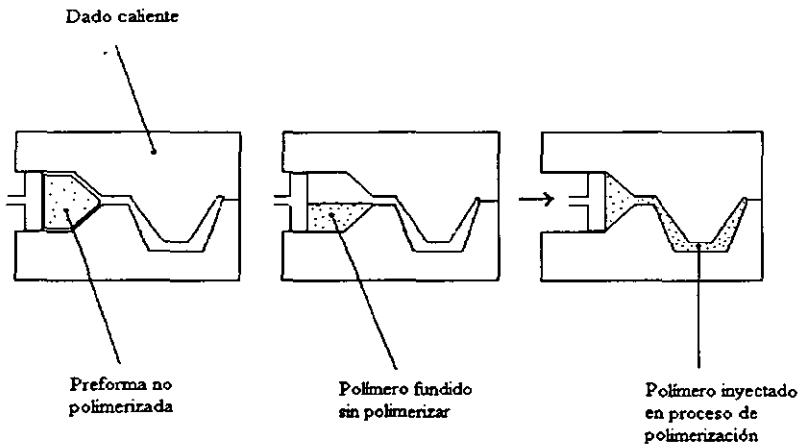


FIG. 2.12 - Proceso de moldeo por transferencia.

Al igual que el moldeo por compresión, el moldeo por transferencia es utilizado en la industria automotriz para fabricar componentes del sistema eléctrico, del sistema de enfriamiento, de calefacción y muchos de los accesorios que forman parte de la carrocería y de los interiores de un automóvil.

### 2.2.2.3.- Moldeo por colado.

El proceso de moldeo por colado puede ser aplicado tanto en polímeros termoplásticos como en polímeros termofijos, sólo que en el caso de los polímeros termoplásticos es poco usual debido a que el plástico fundido solidifica rápidamente al contacto con el aire, esto implica que el vaciado del material en los moldes debe ser realizado dentro de hornos a una temperatura adecuada o de lo contrario las piezas obtenidas de esta forma podrían presentar defectos en el acabado o en su interior, debidos a una solidificación no uniforme del plástico en toda la superficie del molde. El conformado de piezas con polímeros termoplásticos puede realizarse mucho más rápido y más fácil mediante el proceso de inyección. Cuando se realiza un colado de polímero termoplástico es por lo general cuando se quiere fabricar solamente una pieza y la fabricación de un molde para inyección no es costeable.

En el caso de los polímeros termofijos se puede aplicar el proceso de moldeo por colado con mejores resultados, puesto que este tipo de polímeros, generalmente resinas líquidas, manejan mayores tiempos de solidificación, permitiendo una distribución uniforme en toda la superficie del molde.

Para realizar el proceso de moldeo por colado de polímeros termofijos existen diferentes tipos de moldes, pueden ser permanentes o de sacrificio; Los moldes permanentes se fabrican con acero o con polímeros termoplásticos resistentes a temperaturas relativamente elevadas y que posean un cierto grado de flexibilidad para permitir el desmolde de las piezas, este tipo de molde se utiliza cuando no se requiere de un acabado perfecto y cuando una pequeña variación en las dimensiones de las piezas obtenidas no es muy importante, ya que aunque el molde puede ser considerado como permanente, lo cierto es que con el uso continuo sufre una

deformación gradual y el material de que está hecho va degradándose a lo largo del tiempo por efecto de los cambios continuos de temperatura.

Los moldes de sacrificio pueden fabricarse con materiales cerámicos como el yeso o la arcilla, con ceras cuando el tiempo de fraguado va a ser largo, impidiendo una elevación considerable en la temperatura de la resina, o con vidrio si se requiere de un buen acabado superficial. Existen también moldes flexibles que se fabrican con un tipo especial de silicón; éstos pueden ser utilizados más de una vez pero no pueden ser considerados como permanentes ya que tienen un periodo de vida útil muy corto.

El proceso de moldeo por colado es sencillo, se prepara la resina con solventes y catalizadores en las proporciones requeridas para el tipo de pieza que se va a fabricar y para el tipo de molde que se utilizará; una vez preparada la resina se vacía en los moldes previamente colocados en una superficie plana, bien nivelada y se dejan reposar, dando tiempo a que se lleve a cabo el proceso de polimerización y cuando la resina ha alcanzado el estado sólido se retiran las piezas del molde. En la industria existen máquinas que realizan el proceso de vaciado automáticamente pero en esencia el procedimiento es el mismo

En la industria automotriz el proceso de moldeo por colado se utiliza para producir partes del sistema eléctrico como escobillas del distribuidor en algunos modelos, empaques para el sistema de combustible, y principalmente detalles de lujo en interiores como manijas para la palanca de velocidades, emblemas y tapas para algunas secciones del tablero.

### 2.2.3.- Conformado de los plásticos reforzados con fibras (FRP).

Ya anteriormente se mencionaron las características de este grupo de materiales, las ventajas que ofrecen en el diseño y manufactura; principalmente de vehículos de transporte y algunas de sus desventajas, siendo una de las más importantes que los materiales utilizados como matriz son generalmente polímeros termofijos, por lo que una vez conformada la pieza es imposible revertir el proceso. Debido a esto y al alto costo de los materiales, la manufactura de piezas con plásticos reforzados con fibras(FRP) debe realizarse con el mínimo margen de error, por ello los fabricantes de piezas con FRP utilizan principalmente dos formas de manufactura; laminados y aspersión. A continuación se explicará en que consiste cada uno de ellos.

#### 2.2.3.1.- Laminados.

La fabricación de laminados con FRP se realiza en forma similar a los laminados de polímeros termofijos sólo que se adiciona un material de refuerzo que puede estar constituido por fibras en forma de filamentos de materiales como vidrio, silicio, grafito y otros que se utilizan con menos frecuencia; dispersos uniformemente sobre toda la superficie del laminado. Las fibras pueden ser tejidas formando lienzos con distintas geometrías, dependiendo de la utilización que se vaya a dar al laminado.

El proceso de fabricación es el siguiente: Se coloca el lienzo o las fibras en un molde que consta de tres partes, una base en forma de placa completamente lisa, un marco de acero que limita los bordes del laminado y una tapa también en forma de placa pero en ésta sobresale una parte del molde que embona en la pieza que limita los bordes. Este molde tiene en su parte interior las dimensiones del laminado

que se va a conformar. Después se vierte el material base o matriz y se distribuye en toda la superficie del molde, una vez lista la mezcla, se tapa el molde con la placa superior ejerciendo presión y aplicando calor a la mezcla iniciando el proceso de polimerización. Después de un cierto tiempo, cuando el proceso de polimerización está casi terminado, la placa superior del molde se levanta y la parte del molde que limita los bordes se desliza, despegando el laminado de la placa inferior y colocándolo en charolas para su posterior introducción en un horno, donde terminará el proceso de polimerización.

En la figura 2.13 se muestra esquemáticamente el proceso de fabricación de láminas de plástico reforzado con fibras mediante compresión.

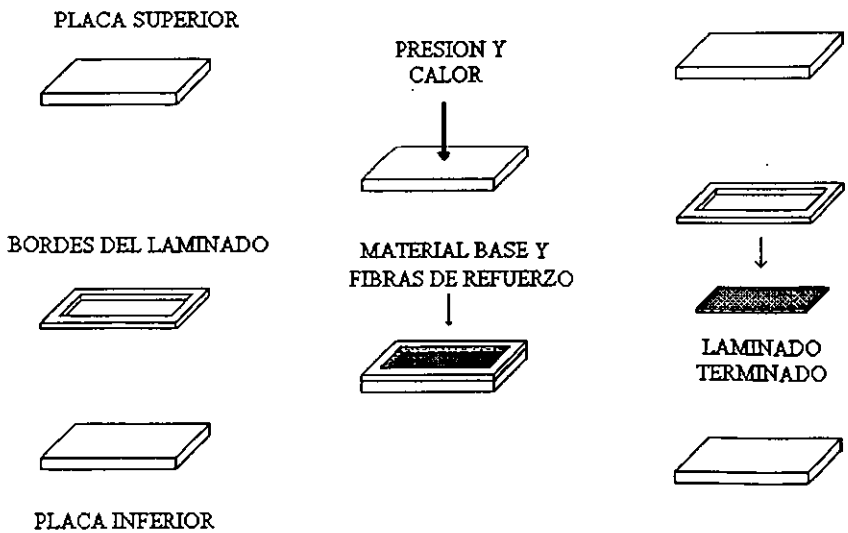


FIG 2.13 - Laminado de FRP por compresión

Otra forma de producir laminados de FRP es por medio de rodillos, la máquina que produce laminados de FRP de esta manera funciona en forma similar a una laminadora de rodillos para metal o para polímeros termoplásticos, sólo que cuenta con algunos aditamentos para hacer posible una mezcla homogénea de las resinas con las fibras de refuerzo.

El esquema de la figura 2.14 muestra el proceso de producción de laminados de FRP por medio de rodillos.

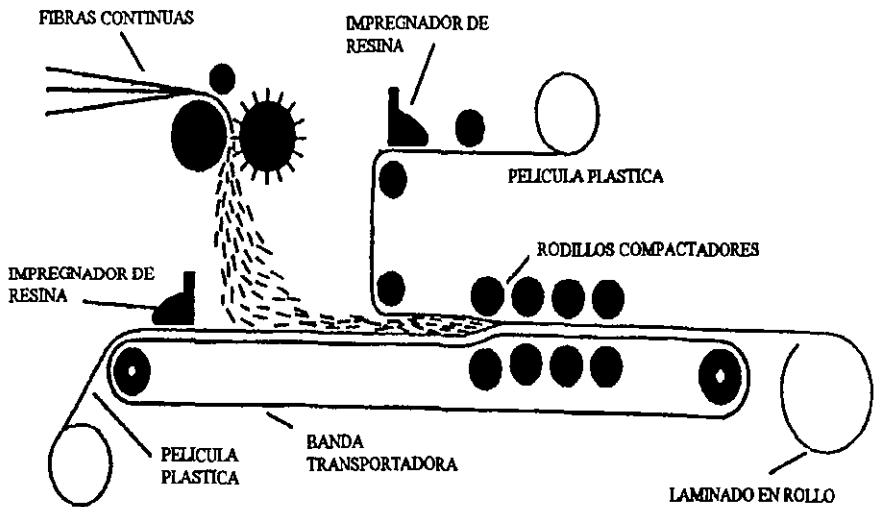


FIG 2.14 – Proceso de laminado de FRP por medio de rodillos.

En este tipo de laminadoras se introducen las fibras en forma de filamentos o hilos y la máquina los va entrelazando en forma de tejido para darles la geometría que requiere cada tipo de fibra. Este tejido pasa a través de un dispositivo que

suministra una película plástica impregnada con resina semipolimerizada por ambos lados de la fibra. Posteriormente el compuesto de fibras y resina se hace pasar por una serie de rodillos, que van dando al laminado la forma y el espesor requeridos. Una vez que el laminado ha alcanzado el espesor requerido, sale del mecanismo de rodillos y pasa por una cuchilla que corta el material en láminas con una medida apropiada para ser acomodadas en charolas e introducidas en un horno, donde termina el proceso de polimerización.

Los laminados de FRP empiezan a encontrar aplicaciones dentro de la industria automotriz, se utilizan como soporte para componentes electrónicos o como cubiertas protectoras para equipos delicados, principalmente en el área del tablero; en autos prototipo y de carreras se utilizan para dar soporte o refuerzo a la carrocería, que generalmente es también fabricada con FRP.

Una rama de la industria automotriz en la que se han aplicado los laminados de FRP con excelentes resultados, es en la fabricación de balatas para el sistema de frenos y en la fabricación de pastas para el embrague, sustituyendo a las pastas de asbesto, obteniéndose mayor durabilidad y eficiencia en estos sistemas además de brindar mayor seguridad en el frenado y evitar el deterioro ambiental.

#### 2.2.3.2.- Aspersión.

Como las FRP no pueden moldearse o deformarse una vez que la pieza ha sido conformada, no es posible almacenar este tipo de materiales en forma de laminados, barras o varillas para después darles alguna otra forma por medio de algún proceso de conformado, como en el caso de los metales y los polímeros



termoplásticos. Por ello los ingenieros de materiales han tenido que desarrollar técnicas especiales de manufactura para fabricar piezas de FRP.

Debido a que la mayoría de las resinas empleadas como matriz en el conformado de FRP, se aplican en estado líquido y permanecen así un cierto tiempo desde el inicio de la polimerización hasta la solidificación, puede aprovecharse ese tiempo para aplicar la resina en forma parecida a la pintura; con una brocha, con una espátula o con una compresora.

La brocha y la espátula se utilizan cuando se va a manufacturar una sola pieza o un número reducido de piezas de un mismo modelo. Por ejemplo; en aplicaciones caseras o en pequeños talleres. En la industria se utiliza un método conocido como aspersión; este método consiste en fabricar un molde o matriz con la forma de la pieza que se desea producir, una vez fabricado el molde, se cubre con una sustancia conocida como cera desmoldante, después se aplica una capa de resina con una compresora y una pistola de aspersión especial para este tipo de materiales, como si se estuviera pintando el molde, sobre la resina se coloca el material que se va a utilizar como fibra de refuerzo y se aplica otra capa de resina, de forma que las fibras queden perfectamente encapsuladas entre las dos capas de resina.

Si se quisiera obtener un espesor mayor para aumentar la resistencia del material, se pueden aplicar varias capas de resina hasta obtener el espesor deseado o utilizar fibras de mayor espesor.

En la fotografía de la figura 2.15 se observa como se fabrica una cubierta de fibra de vidrio para la caja de una camioneta tipo pick-up por medio de aspersión.



FIG 2.15 – Conformado de FRP por aspersión.

Para poder aplicar la resina por aspersión, debe ser preparada previamente mezclándola con solventes (generalmente se utiliza el monómero de estireno) y adicionando sustancias catalizadoras como cobalto y peroxido-dimetil-etil-cetona para iniciar el proceso de polimerización; una vez iniciada la polimerización la resina debe ser aplicada rápidamente para evitar que solidifique antes de cubrir totalmente el molde o en el depósito del dispositivo de aplicación; cuando el molde está totalmente cubierto con resina, se introduce en un horno para acelerar el proceso de solidificación y evitar que la resina escurra ocasionando pérdidas de material y adelgazamiento de la capa aplicada.

En el caso de algunos tipos de fibras como la fibra de vidrio, puede mezclarse la resina en estado líquido previamente polimerizada con los filamentos de vidrio y aplicarse con una pistola aspersora especial para este trabajo. También se han

desarrollado pistolas aspersoras que lanzan por un lado las fibras en forma de filamentos, por otro lado la resina líquida sin catalizar y por otro lado el catalizador, de forma que la resina y las fibras sean perfectamente impregnadas. Este tipo de pistolas tiene un costo elevado pero facilitan en gran medida el trabajo puesto que no es necesario utilizar toda la resina del depósito en un corto tiempo, ya que la polimerización se realiza fuera de la pistola, además una vez que se termina el trabajo, la pistola aspersora puede limpiarse fácilmente.

Mediante el proceso de aspersión es como se fabrican actualmente muchas de las partes que integran la carrocería de los automóviles modernos, y algunas compañías automotrices producen carrocerías de una sola pieza “monocoque” fabricadas totalmente con FRP. Aunque este proceso de fabricación no está aún perfeccionado y es comparativamente lento en relación con los procesos de conformado mediante laminados metálicos, está siendo cada vez más utilizado debido a que implica un ahorro considerable en el empleo de maquinaria para producir nuevos modelos, además de que el empleo de FRP reduce en un alto porcentaje el peso del automóvil.

Un factor de suma importancia para la obtención de partes automotrices con un correcto acabado y con la forma precisa que se requiere, es el diseño y construcción del molde. Los moldes pueden fabricarse con diferentes formas y materiales. Deben buscarse materiales que sean fácilmente moldeables, que pueda dárseles un buen acabado y que no sean afectados por las condiciones de trabajo ni por las sustancias que se utilizan en la preparación de las resinas. En primer lugar se tiene a los moldes metálicos; éstos son ampliamente utilizados debido a que resisten bien las temperaturas elevadas que pueden alcanzar las resinas cuando se lleva a

cabo el proceso de polimerización y tienen también cierta resistencia al ataque químico de los solventes utilizados en la preparación de la resina; una desventaja de los moldes de metal, es el alto costo del material y la dificultad para darles forma ya que a pesar de que el metal es moldeable, implica un arduo trabajo y más tiempo en su fabricación que si se fabricara con otros materiales. Los moldes metálicos se utilizan cuando se va a fabricar un gran número de piezas o se van a estar fabricando por un tiempo prolongado.

En algunos casos es conveniente utilizar moldes de madera que pueden ser fabricados con hojas de triplay o con bloques de madera sólidos. Las hojas de triplay tienen la ventaja de ser fácilmente moldeables, pero se obtienen moldes porosos que absorben fácilmente la humedad y corren el riesgo de deformarse con el uso continuo y el tiempo. Este efecto puede reducirse con el uso de selladores especiales. Los moldes de madera se utilizan para fabricar piezas pequeñas, cuando no se piensa fabricar un gran número de piezas o no se van a estar fabricando por mucho tiempo.

El material utilizado con mayor frecuencia en la construcción de moldes para fabricar piezas con FRP es el “plaste”. El plaste es una pasta semisólida que solidifica totalmente al mezclarse con un catalizador y dejándola a la intemperie. A partir de que la pasta es catalizada se dispone de cierto tiempo para darle la forma aproximada del molde que se requiere y cuando ha solidificado totalmente, puede moldearse desbastando la superficie con abrasivos o con cuñas y cinceles. La ventaja del plaste sobre otros materiales es que es económico, es fácil de moldear y los moldes fabricados con plaste tienen una mayor duración que los fabricados con madera. Una desventaja del plaste es su relativa fragilidad, por lo que si se va a

utilizar un molde con frecuencia o se va a estar utilizando por mucho tiempo, es necesario que antes de usarse se aplique sobre la superficie una cera desmoldante para evitar que pueda fracturarse o rayarse al extraer la pieza.

En la fabricación de piezas de FRP pueden utilizarse también moldes de vidrio, de cera o de plásticos de alta resistencia, pero éstos son utilizados con menor frecuencia.

#### 2.2.3.3.- Construcción tipo emparedado.

Desde hace ya algún tiempo se conocen las ventajas de construir paneles o bloques de superficie relativamente grande, colocando un núcleo ligero y de gran espesor, el cual es reforzado cubriéndolo por ambas caras con un material delgado y de una resistencia y rigidez considerables. Un ejemplo que sirve para entender claramente las ventajas de esta forma de construcción es la fabricación de cajas de cartón corrugado; si se fabricaran cajas utilizando sólo las caras lisas del cartón o utilizando sólo el núcleo corrugado, se necesitaría cartón con un espesor mucho mayor para dar a la caja la rigidez necesaria, esto implica por supuesto un mayor consumo de cartón y aumento en el peso final de la caja, sin embargo pegando una hoja delgada de cartón en cada una de las caras del cartón corrugado, que se fabrica también con una hoja delgada de cartón, se obtienen las características de resistencia y rigidez necesarias para fabricar cajas de cartón con un reducido consumo de material y un peso mucho menor.

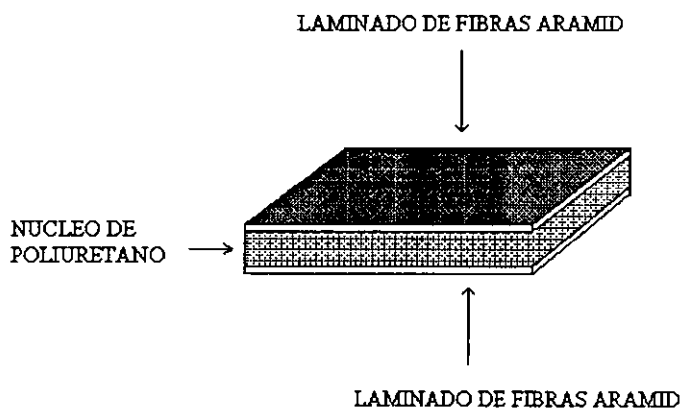
Al hecho de colocar hojas de un material con cierta rigidez por ambos lados de un núcleo o centro de material ligero y relativamente suave, se le conoce como construcción tipo emparedado. Existen varias combinaciones de materiales que

pueden considerarse dentro de este grupo, por ejemplo, un muro de ladrillos revestido con concreto, las hojas de madera aglomerada que no son otra cosa que pequeñas hojas y fibras de madera (residuo de otros procesos), que se impregnan con algún tipo de pegamento y se comprimen para ser revestidas por ambos lados con una delgada hoja de madera de mayor rigidez; un material similar se utilizó en la fabricación de aviones de combate durante la segunda guerra mundial y al ver los resultados obtenidos, la utilización de estos materiales se extendió a la fabricación de botes y autos de carreras. Con el avance de la tecnología en el campo de los materiales plásticos, al disponer de plásticos suaves, plásticos rígidos y adhesivos compatibles con ambos; la aplicación de la construcción tipo emparedado a los materiales plásticos no se hizo esperar.

Actualmente existen diferentes tipos de materiales plásticos que se utilizan para producir piezas con este tipo de conformado. Los más utilizados en el caso de núcleos son termoplásticos como: Metacrilamida y polivinil clorídrico(PVC) que presentan una resistencia superior a la de muchos otros materiales; también muy utilizados por su baja densidad como el poliestireno, el poliuretano y el poliuretano líquido. Algunas de estas sustancias se utilizan en forma de líquido mezclándolas con gases dentro de un recipiente a presión; éstas, al contacto con el aire reaccionan iniciando un proceso de solidificación y el material adquiere la forma de una espuma sólida, ideal para utilizarse como núcleo en construcciones tipo emparedado. En el caso del poliuretano líquido se mezclan dos sustancias líquidas iniciando una reacción que hace que el líquido obtenido aumente entre 30 o 40 veces sus dimensiones originales solidificando en forma de una sustancia esponjosa y muy ligera.

En el revestimiento o refuerzo exterior puede utilizarse una gran gama de materiales, pero los más utilizados son las FRP por ejemplo, la fibra de vidrio, la fibra de carbono y últimamente las fibras aramid.

En la ilustración de la figura 2.16 se muestra un fragmento de panel en construcción tipo emparedado utilizando un núcleo de poliuretano revestido con fibra de vidrio, muy utilizado en la fabricación de carrocerías para autos prototipo y de carreras.



**FIG 2.16 - Panel tipo emparedado con fibras aramid**

Para tener una idea más clara de las ventajas que ofrece este tipo de conformado, se toma como ejemplo a las características del chasis del automóvil Lotus modelo 90 que se fabricó en tres tipos de materiales: El primero es un chasis

fabricado con un laminado sencillo de aluminio que tenía una rigidez de 3000  $\text{lb}/\text{ft}$ . en una estructura de 95 lb. El segundo se fabricó también en aluminio pero con una estructura tipo emparedado, con lo cual disminuyó el peso de la estructura a 85 lb y se logró una rigidez de 5000  $\text{lb}/\text{ft}$ . Con el ánimo de poner a prueba las ventajas de la construcción tipo emparedado y la capacidad de las FRP, se fabricó un tercer chasis utilizando una construcción tipo emparedado con fibras aramid, lográndose una rigidez de 10 000  $\text{lb}/\text{ft}$  en una estructura no superior a las 75 lb. Con este ejemplo queda clara la gran ventaja que tiene la aplicación de FRP y materiales plásticos en construcción tipo emparedado sobre los materiales tradicionales, por lo menos en cuanto a la relación rigidez-peso se refiere.



## CAPITULO 3

### SUSTENTABILIDAD DE LA UTILIZACION DE LOS MATERIALES PLASTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

#### 3.1.- Definición de desarrollo sustentable.

En tiempos pasados, cuando la actividad humana más importante en cualquier comunidad era la agricultura, cuando la explosión demográfica no era un motivo de preocupación y el hombre podía vivir en relativa armonía con la naturaleza; todo avance tecnológico ya fuera para aumentar la producción agrícola, para producir artículos de consumo (ropa, utensilios de uso doméstico, etc.); o el descubrimiento de nuevos materiales y formas de utilizarlos, era motivo de júbilo tanto para el autor de dicho avance o descubrimiento como para la población en general; ya que para algunos representaba la posibilidad de obtener mayor volumen en la producción y por lo tanto mayores ingresos y para otros significaba poder adquirir más y mejores productos a un menor costo. Esta ideología aunada a descubrimientos circunstanciales y a la dedicación de algunos inventores dió origen a la revolución industrial del siglo XIX.

La revolución industrial dió inicio a una carrera tecnológica en la que a cualquier descubrimiento o avance tecnológico pequeño o grande, se le buscaba inmediatamente aplicación en la industria, sin pensar en la influencia que pudiera tener en la población o en el medio ambiente. Esta mentalidad trajo como consecuencia que la agricultura pasara a segundo término siendo cada vez más importante la actividad industrial; la gente dejó el trabajo en el campo para ir a trabajar a las fabricas originando grandes ciudades y con una densidad de población

inimaginable a fines del siglo XIX. La consecuencia natural de este proceso es la escasez de recursos y la generación de deshechos que ha alcanzado niveles incontrolables. Si a todo lo anterior añadimos que los procesos industriales son cada día más complejos y los deshechos de estos procesos son cada vez más abundantes y peligrosos, más la facilidad con que las fabricas pueden verter estos deshechos al aire libre, en mares y ríos, no es de extrañarse el grado de contaminación que sufre actualmente el medio ambiente. De continuar con estas prácticas no es difícil imaginar los graves problemas de contaminación y falta de recursos que se tendrán en un futuro no muy lejano.

Recientemente, algunas personas han empezado a tomar conciencia del grave daño que la forma de vida actual y los procesos industriales ocasionan al medio ambiente. Están surgiendo grupos ecologistas que han logrado que algunas prácticas como tirar residuos peligrosos al aire libre o en ríos cuya agua es utilizada para el consumo humano, dejen de realizarse. La presión de los grupos ecologistas y la preocupación de la comunidad en general; han empezado a limitar la puesta en marcha de algunos procesos industriales y la utilización de nuevos materiales en diferentes áreas de la industria, anteponiendo al avance tecnológico el bienestar de la comunidad y la protección al medio ambiente. Desde el punto de vista de un ingeniero, el hecho de desarrollar un proceso de fabricación o aplicar un material en cualquier área de la ingeniería sin causar un impacto negativo considerable en la población o en el medio ambiente puede denominarsele: “Desarrollo sustentable”.

En este capítulo se presenta información que permite analizar si la utilización de los materiales plásticos en la fabricación de componentes automotrices puede formar parte de un desarrollo sustentable.

### 3.2.- Justificación de la utilización de los materiales plásticos en la industria automotriz.

#### 3.2.1.- Corrosión en los metales.

El hombre en su afán de lograr mejores condiciones de vida ha usado constantemente su ingenio para crear desde pequeños utensilios hasta enormes máquinas que se utilizan en las actividades diarias. La mayoría de estos utensilios y máquinas están fabricados parcial o totalmente con metales. Desde muy temprano el hombre utiliza el metal en los grifos del agua para asearse, en algunos utensilios de cocina como sartenes, cucharas y cuchillos, su hogar al igual que muchas otras casas y edificios están estructurados con acero.

El hombre para trasladarse a su trabajo o escuela lo hace usualmente en un medio de transporte fabricado en gran parte con metales: autobús, coche, tren etc. Lo mismo se puede decir de los aviones que surcan los cielos, de los medios de transporte espaciales y de los satélites. Quien labore en una industria se percatará de que casi toda la instalación productiva está constituida de diversos metales: grandes reactores donde ocurren transformaciones químicas, tuberías que transportan materias primas así como productos, tanques de almacenamiento, bombas, etc.

Es fácilmente notable que una parte importante de los productos que se utilizan para la realización de actividades cotidianas, incluyendo por supuesto al automóvil, están fabricados en gran parte por materiales metálicos y por lo tanto sería ideal que los metales fueran estables en la atmósfera y que los productos metálicos duraran en uso muchos años. Sin embargo, se sabe por experiencia que las cosas no son así. Los metales se degradan inexorablemente con el tiempo de muy diversas formas, dejan de ser funcionales, perdiendo sus propiedades decorativas o

mecánicas. Algunos simplemente se disuelven en su totalidad en el medio que los envuelve.

Si se toma como ejemplo un automóvil fabricado en los años setenta se puede observar que empiezan a aparecer manchas y picaduras minúsculas en los parachoques, que si bien no afectan su resistencia mecánica, si deslucen su presentación. Posteriormente se pueden localizar puntos de ataque en las partes cubiertas por molduras que van fijadas en agujeros a la carrocería. Cada vez que se lava el auto se puede observar la afluencia de herrumbre que sale por debajo de tales molduras. Bajo las alfombrillas han aparecido picaduras perforantes y lo que es peor, el sonido emitido al percutir es análogo al de una hojalata llena de herrumbre. Problemas similares aparecen en los guardabarros, especialmente en las zonas más escondidas, donde se acumula fácilmente barro; del mismo modo se puede detectar una fuerte corrosión en los alvéolos de los faros delanteros, que sufren la influencia desfavorable de las salpicaduras de lodo de los vehículos que los preceden en la época de lluvias.

El efecto de agentes corrosivos sobre la carrocería se agrava en las zonas costeras por la influencia de la brisa marina que llega a poner en contacto con la carrocería gotitas cargadas de cloruro de sodio. Así mismo, es pernicioso la acción de la sal común que se esparce en invierno sobre las calzadas heladas, en muchos países con inviernos largos y duros, con el fin de que los vehículos puedan transitar por ellas. La corrosión sufrida por la carrocería aumenta con el grado de humedad, la temperatura y por el contenido de gases sulfurosos en la atmósfera. Por ello no es raro ver en ciudades costeras e industriales una verdadera legión de auténtica chatarra rodante.

En la actualidad, el cuadro anterior puede parecer un tanto exagerado, puesto que los nuevos modelos de automóviles no sufren un ataque tan agresivo por los agentes corrosivos. Podría pensarse que esto es debido al uso de mejores pinturas anticorrosivas o al mejoramiento de la resistencia a la corrosión de los materiales metálicos empleados en la fabricación de automóviles, pero la verdad es que gran parte de esa resistencia a la corrosión se debe a que los metales han sido sustituidos por materiales plásticos, por lo menos en la fabricación de los componentes y accesorios más susceptibles de sufrir daño por agentes corrosivos.

Un estudio efectuado por el departamento nacional de estadísticas de los Estados Unidos (Efectos económicos de la corrosión en los Estados Unidos) señala que tomando como base el año 1975, los costos totales de la corrosión metálica pueden estimarse del orden de los 70 billones de dólares, lo cual supone un 4.2% del Producto Nacional Bruto (PNB). En un país de un nivel de desarrollo tecnológico más parecido a México, como Egipto, se ha realizado un estudio similar. Durante una investigación en la que se invirtió un periodo de 3 años, se evaluaron los efectos económicos provocados por la corrosión de los metales, los cuales se estimaron en aproximadamente 475 millones de dólares, un 4.9% del PNB de Egipto.

Los estudios de que se dispone hasta la fecha han sido realizados entre 1949 y 1979 y provienen básicamente de 9 países. Los resultados globales están reproducidos en la tabla 3.1, con la indicación del costo total de la corrosión expresado en dólares americanos del valor del año de estudio. En aquellos casos en que ha sido posible, se expresa el porcentaje del Producto Nacional Bruto.

TABLA 3.1 - Costo anual de la corrosión en algunos países.

| Año       | País         | En millones de dólares | En % del PNB |
|-----------|--------------|------------------------|--------------|
| 1949      | EUA          | 5 500                  | -            |
| 1960 - 61 | India        | 3 200                  | -            |
| 1964      | Suecia       | 58 a 77                | -            |
| 1965      | Finlandia    | 47 a 62                | 0.58 a 0.77  |
| 1968 - 69 | RFA          | 6 000                  | 3.0          |
| 1969      | URSS         | 6 700                  | 2.0          |
| 1969      | Gran Bretaña | 3 200                  | 3.5          |
| 1973      | Australia    | 550                    | 1.5 a 3.0    |
| 1974      | URSS         | 18 850                 | 4.1          |
| 1975      | EUA          | 70 000                 | 4.2          |
| 1976 - 77 | Japón        | 9 200                  | 1.8          |

Para varios de los países de que se dispone de datos, el costo de la corrosión representa aproximadamente entre un 2 y un 4 % del Producto Nacional Bruto. No existen muchos datos que indiquen como se reparten estos costos, pero estudios realizados por algunos países como Gran Bretaña dan una idea general de la distribución del costo, siendo aproximadamente así: Transportes (26%), naval (21%), la industria de la construcción (18%), el petróleo y la petroquímica (13%), etc. Los problemas derivados de la corrosión se pueden apreciar principalmente en tres vertientes:

- 1) Económicas - pérdidas directas e indirectas.
- 2) Conservación de recursos - agotamiento de las reservas naturales.
- 3) Seguridad humana - fallas fatales en medios de transporte, corrosión de bidones que contienen residuos radioactivos, escapes en tuberías de refrigeración de plantas nucleares etc.

A pesar de que los materiales metálicos son utilizados por casi todas las áreas productivas incluyendo por supuesto la industria automotriz, las cuantiosas pérdidas causadas por la corrosión, están obligando a los ingenieros a buscar materiales resistentes a los agentes corrosivos que puedan sustituir a los metales en muchas de sus aplicaciones y el grupo de materiales que se piensa que podría tomar éste protagonismo es precisamente el de los materiales plásticos.

### 3.2.2.- Ventajas en el diseño, fabricación y desempeño de componentes automotrices empleando materiales plásticos.

#### 3.2.2.1.- Funcionalidad.

Para los ingenieros que diseñan y producen componentes automotrices es difícil resistirse al empleo de los materiales plásticos, dado que ofrecen una solución a múltiples problemas. Por ejemplo, si en la fabricación de pequeños componentes se recurre al empleo de materiales metálicos, se tendrá además del problema de la corrosión un incremento en el peso final del automóvil aunque se hable de piezas pequeñas, en conjunto pueden tener un peso considerable, llegando incluso a afectar la eficiencia del automóvil. Por el contrario empleando plásticos ligeros en la fabricación de estos pequeños componentes el incremento de peso en el automóvil es tan poco que no afecta su eficiencia de manera considerable. Ahora bien, si se trata de componentes automotrices de mayor tamaño, como las cubiertas de los parachoques o algunas secciones de la carrocería, la diferencia entre emplear materiales plásticos y materiales metálicos se hace más notoria ya que el peso final del automóvil se reduce considerablemente empleando materiales plásticos, logrando aumentar la eficiencia del automóvil, lo cual es el objetivo que debe perseguir todo ingeniero de diseño.

Cada año o cada cierto periodo de tiempo las compañías automotrices tienen que lanzar al mercado nuevos modelos de automóviles ya que de no hacerlo el consumidor no tendría motivo para cambiar su auto de un modelo atrasado por uno reciente; se reducirían las ventas anuales de autos, afectando las ganancias de los fabricantes de automóviles. Esto ocasiona que las diferentes compañías automotrices entren en franca competencia por lanzar al mercado sus nuevos modelos antes que las demás compañías y ofrecer nuevos modelos por lo menos cada año. Para lograr este objetivo las empresas automotrices deben realizar grandes inversiones de dinero y tiempo; en diseño y fabricación de moldes y actualización de maquinaria necesarios para producir los componentes que formarán parte de los nuevos modelos. Si las piezas que van a integrar un nuevo modelo se fabrican con metales, los moldes necesarios requieren de un tiempo considerable de fabricación y una inversión importante, si además las nuevas piezas requieren para ser conformadas de alguna maquinaria especializada no existente en la fábrica la inversión necesaria sería cuantiosa. Si a esto se añade que para obtener una pieza metálica se requiere de cierto tiempo para el conformado, y si aparte del conformado la pieza necesita algún maquinado, esto también implica tiempo. Si es necesario modificar las propiedades del material mediante un tratamiento térmico, es otro tiempo que se debe tomar en cuenta y si además de todo esto, la pieza requiere de algún acabado superficial como cromado, pintura o algún otro recubrimiento ya sea con fines estéticos o para proteger a la pieza de la corrosión; es obvio que sería un verdadero reto, poder tener a tiempo los nuevos modelos listos para su venta.

En cambio si se emplean materiales plásticos; en primer lugar los moldes para conformar las piezas son más fáciles de producir por lo que se puede disponer de ellos en un tiempo reducido. La maquinaria necesaria para la producción, en caso de



que se trate de piezas que deban ser conformadas mediante un proceso de inyección, no tiene un costo muy elevado y se puede utilizar el mismo tipo de máquina para desarrollar diferentes procesos cambiando sólo los moldes; otra ventaja importante es que se pueden utilizar moldes múltiples, reduciendo así en forma importante los tiempos de fabricación por pieza, además si la pieza va a estar expuesta y requiere de un acabado estético, se le puede dar al molde la textura deseada y utilizar un plástico que tenga una apariencia agradable; haciendo innecesario cualquier maquinado o recubrimiento. Todo esto contribuye a que la producción sea más rápida y menos costosa permitiendo tener a tiempo los nuevos modelos cada año.

En el caso de los componentes automotrices fabricados con FRP quizá no sea mucha la ventaja en cuanto a tiempo se refiere, incluso el tiempo que se invierte en fabricar piezas con FRP puede ser mucho mayor que el que se invierte en fabricar la misma pieza con un laminado de acero, pero este tiempo se compensa por la gran versatilidad de las FRP ya que muchas de las partes, por ejemplo de una carrocería, que se fabrican con FRP, resultaría casi imposible o por lo menos muy difícil y costoso el fabricarlas con un laminado de acero.

Gracias a la versatilidad de las FRP se han podido fabricar carrocerías para automóviles con formas aerodinámicas que reducen enormemente la resistencia del aire, esto es tan importante en autos de carreras para lograr grandes velocidades como en autos de uso común para mejorar su eficiencia. Por otro lado, el proceso de fabricación de una pieza empleando FRP no requiere de ninguna maquinaria grande y costosa, además de que las características de una pieza fabricada con FRP en lo que se refiere a la relación peso-rigidez, no se consiguen empleando ningún otro material.

### 3.2.2.2.- Economía.

Desde el punto de vista económico, los materiales plásticos tienen muchas ventajas sobre otros tipos de materiales en aplicaciones a la industria automotriz, ya que empleando materiales plásticos no sólo se logra un ahorro en la fabricación del automóvil sino también en su desempeño.

En la actualidad existen en la tierra grandes yacimientos de petróleo, esta abundancia ha ocasionado que la industria petroquímica crezca enormemente, debido a que los procesos para transformar el petróleo en sustancias y materiales útiles al hombre, como es el caso de los plásticos son relativamente sencillos, por lo tanto los ingenieros disponen de una gran variedad de materiales plásticos que pueden obtenerse a un bajo costo. Utilizando materiales plásticos se logra un ahorro considerable en el gasto por adquisición de materiales para la fabricación de componentes automotrices; y esto permite al fabricante obtener una mayor utilidad o reducir el precio del vehículo para hacerlo más atractivo al comprador. También en el proceso de fabricación se reducen costos utilizando materiales plásticos debido a que desde la fabricación de moldes se observa que es más económico un molde para producir piezas de plástico que uno para producir piezas metálicas, además el molde para plástico tiene una vida útil mayor que el molde para metal. Las máquinas para conformar piezas de metal son generalmente más costosas que las máquinas para inyección de plástico y su mantenimiento también es más costoso. Otro factor importante que influye directamente en el costo de un determinado proceso es el consumo de energía, el cual es mucho mayor en el proceso de conformado de un material metálico que en un proceso de inyección de plástico. Como se mencionó anteriormente, si se fabrica una pieza que va a estar a la vista del comprador ya sea en la carrocería o en los interiores, se requiere que tenga un buen acabado superficial

desde el punto de vista estético, para este efecto muchos metales tienen que cubrirse con algún material como el cromo o pintura lo cual implica un incremento en el costo de dicha pieza; en cambio si se elige un plástico adecuado y se le da un buen acabado al molde, no es necesario utilizar recubrimientos o algún tipo de proceso para mejorar el aspecto de la pieza y esto implica por supuesto un ahorro no sólo de tiempo sino también de dinero.

En el desempeño del automóvil desde el punto de vista económico también se puede observar que el empleo de materiales plásticos influye de manera positiva ya que gracias a la versatilidad de los plásticos, los automóviles modernos poseen formas más aerodinámicas que reducen la resistencia del aire, por lo que se requiere de un menor consumo de combustible, lo cual beneficia directamente la economía del propietario del vehículo. En el mantenimiento general del automóvil también se reduce el gasto de dinero por parte del propietario, ya que las refacciones que pueden ser fabricadas con materiales plásticos son más económicas que si fueran fabricadas con metales.

### 3.2.2.3.- Seguridad.

Cuando los primeros automóviles fueron fabricados, no desarrollaban velocidades mayores a los 30  $\text{km/h}$ , los caminos existentes estaban hechos para ser transitados a caballo o por carretas, por lo que era difícil circular a velocidades que pudieran considerarse de riesgo al tener un accidente, los ingenieros de esa época no se preocupaban mucho por las medidas de seguridad, las carrocerías eran fabricadas principalmente con madera y algunos modelos no tenían puertas o cubiertas protectoras para los tripulantes del vehículo. A medida que los motores se hicieron más potentes y se dispuso de mejores caminos para el tránsito vehicular, empezaron

a producirse también los primeros accidentes, algunas veces entre dos automóviles y otras veces entre un automóvil y algún objeto del camino, animales o personas; cuando la capacidad de los motores permitió a los automóviles desarrollar velocidades considerables, los accidentes, principalmente colisiones eran de graves consecuencias para los tripulantes de los automóviles implicados. Esto ocasionó que la gente empezara a sentir miedo o desconfianza para adquirir un automóvil y las ventas disminuyeron paulatinamente; entonces los ingenieros y fabricantes de vehículos se dieron a la tarea de diseñar y fabricar automóviles más seguros. Con esta finalidad y gracias al costo razonable de materiales y combustibles, se empezaron a fabricar automóviles cada vez más grandes; con carrocerías fabricadas en laminados de acero de un gran espesor e impulsados por potentes motores, hasta de 12 cilindros, convirtiendo así a los automóviles de uso particular en algo parecido a auténticos tanques de guerra; con parachoques de acero macizo prácticamente indeformables. A pesar de todo esto los ingenieros observaban que cuando se producía un accidente ya fuera porque dos vehículos se impactaban o porque un vehículo se impactaba con algún objeto sólido como un árbol o el muro de alguna construcción; efectivamente muchas veces la carrocería del automóvil permanecía intacta, pero no sucedía lo mismo con los tripulantes, que eran víctimas de graves lesiones. La búsqueda de una solución a éste problema dio origen a las primeras pruebas de colisión; que consisten en introducir maniqués dentro de un vehículo, simular un accidente y por medio de una cámara de video observar lo que sucede en el interior del vehículo. En estas pruebas los ingenieros observaron que en el momento del impacto los tripulantes eran proyectados hacia enfrente, debido a las fuerzas de inercia y que al impactarse contra el parabrisas o contra los pasajeros del asiento delantero (en el caso de los pasajeros del asiento trasero), se causaban un daño mayor que el ocasionado por el primer impacto, ocurrido en el momento del

accidente. Este descubrimiento llevó a los ingenieros a implementar el uso del cinturón de seguridad, lo cual no ayudo de mucho pues se evito el impacto contra el parabrisas pero el tirón ejercido por el cinturón de seguridad era tan fuerte que podía romper el cuello o las costillas de los tripulantes o por lo menos causarles un severo daño. En investigaciones posteriores se descubrió que lo mejor para proteger del daño causado por el impacto en caso de una colisión, a los tripulantes de un vehículo, era que gran parte de las fuerzas de impacto producidas en el momento de la colisión fueran absorbidas por la carrocería del automóvil y no por los tripulantes; con esta finalidad empezaron a utilizarse láminas cada vez más delgadas. Actualmente además de emplear láminas delgadas, se ha eliminado la pesada y sólida estructura del chasis de una sola pieza y en su lugar se emplean estructuras tubulares, en algunos casos corrugadas para facilitar la deformación súbita y favorecer la absorción de fuerzas de impacto en caso de una colisión.

Ante esta situación y sabiendo que es difícil encontrar materiales que puedan absorber mejor las fuerzas de impacto que los materiales plásticos, se han empezado a fabricar frentes de automóviles con materiales plásticos, empleando una estructura de FRP cubierta con algún polímero flexible tipo poliuretano y se está buscando la forma de producir, no sólo la parte frontal sino una carrocería completa fabricada con diferentes tipos de polímeros, que puedan darle las propiedades mecánicas necesarias y a la vez una gran capacidad para absorber impactos.

Un componente particularmente peligroso en la fabricación de automóviles es el cristal empleado en las ventanillas y el parabrisas. Anteriormente se utilizaban cristales comunes de un espesor considerable, por lo que al producirse un impacto estos se rompían en miles de afilados fragmentos, proyectándose como navajas

contra los tripulantes. Gracias a un descubrimiento accidental se encontró la manera de adherir al cristal una película plástica transparente que evita que los fragmentos de vidrio se proyecten contra los tripulantes; las películas plásticas se han perfeccionado con el tiempo y se siguen utilizando actualmente, pero los ingenieros de materiales están buscando la forma de sustituir totalmente al cristal por un plástico resistente y flexible que tenga las características de traslucidez y durabilidad parecidas a las del cristal.

#### 3.2.2.4.- Disponibilidad.

Actualmente existen en diferentes países enormes yacimientos de petróleo, en algunos de ellos como México, el petróleo es tan abundante que la economía nacional depende casi enteramente de la extracción y venta de este valioso recurso. La gran abundancia y la facilidad con que puede extraerse, hacen del petróleo una materia prima bastante económica en relación con otros minerales de los que se obtienen materiales como el acero, el aluminio, el cobre y otros metales. El bajo costo del petróleo ha hecho que los ingenieros químicos y de materiales, desarrollen una gran cantidad de materiales plásticos con diferentes propiedades y características. Si se toma en cuenta a los polímeros elastómeros, termoplásticos, termofijos y polímeros compuestos como las FRP; se observará que la lista de materiales plásticos es sin duda más extensa que las de otros tipos de materiales como los metales y los cerámicos.

La extensa variedad en cuanto a propiedades, la disponibilidad y el bajo costo, son algunos de los motivos por los que los materiales plásticos son tan atractivos para ser utilizados en muchas áreas de la industria, entre ellas la de la fabricación de componentes automotrices.

### 3.3.- Desventajas de los materiales plásticos en aplicaciones a la industria automotriz.

Hasta ahora se ha hablado de por qué utilizar materiales plásticos en la fabricación de componentes automotrices, de la gran cantidad de problemas de diseño que se han resuelto gracias al empleo de los materiales plásticos, de las ventajas que se obtienen en el desempeño, en el costo del automóvil y de las ventajas que prometen en aplicaciones futuras, pero surge una pregunta, si los materiales plásticos son tan versátiles, abundantes y ofrecen tantas ventajas sobre otros grupos de materiales como los materiales metálicos; entonces ¿por qué se sigue utilizando una cantidad tan grande de materiales metálicos en la fabricación de componentes automotrices?.

A continuación se presentan los principales factores que limitan la aplicación de materiales plásticos en la fabricación de componentes automotrices.

#### 3.3.1.- Principales limitaciones de los materiales plásticos para poder ser utilizados en la fabricación de componentes automotrices.

##### 3.3.1.1.- Diseño.

A pesar de los esfuerzos hasta ahora realizados por ingenieros químicos y de materiales por producir polímeros con características que los hagan apropiados para sustituir a los metales, esto no se ha logrado salvo en algunas aplicaciones como las mencionadas en el caso de la industria automotriz. Existen características que hacen de los plásticos el material ideal para algunas aplicaciones, superando por mucho a los metales pero estas mismas características los vuelven completamente inútiles para otras. Por ejemplo su baja resistencia al impacto los hace ideales para la construcción de carrocerías y parachoques, pero en mecanismos como el motor y

algunas partes de la suspensión, su aplicación es prácticamente imposible considerando las características de los plásticos con los que se cuenta actualmente.

Una de las principales desventajas de los materiales plásticos es su limitada resistencia mecánica. La mayoría de los plásticos o más bien todos, sufren una gran deformación que puede ser elástica o plástica dependiendo del tipo de plástico o se fracturan bajo cargas muy inferiores a las que soporta un material como el acero; por lo que si en algunas aplicaciones se quisiera sustituir al metal por algún material plástico, el volumen de la pieza fabricada en plástico sería mucho mayor que el de la misma pieza fabricada en acero; como se pudo observar en la comparación entre paneles de distintos materiales con igual rigidez, en la figura 2.2 del capítulo anterior. Esto ocasiona un gran problema al diseñador debido a que uno de los objetivos que se persiguen al diseñar cualquier equipo o mecanismo que va a formar parte de un vehículo es precisamente el ahorro de espacio tanto en el interior como en el exterior del vehículo.

Una particularidad de los materiales plásticos es que por lo general es difícil combinar en ellos resistencia mecánica y tenacidad, por ejemplo algunos termofijos tienen buena resistencia mecánica, poseen una dureza y una rigidez considerable pero son extremadamente frágiles, es decir, poseen una resistencia al impacto muy baja. Por el contrario existen algunos termoplásticos que presentan una formidable resistencia al impacto pero su rigidez y su dureza son muy limitadas; esta particularidad hace a los plásticos poco atractivos para los ingenieros que diseñan componentes automotrices ya sea del motor o de partes que pueden estar sujetas a un esfuerzo imprevisto y de una magnitud difícil de conocer, como en el caso de las piezas que forman el sistema de suspensión.



Un problema común al que se enfrentan los ingenieros cuando se quiere fabricar con materiales plásticos alguna pieza cuyas dimensiones requieren de mucha precisión, es la contracción que sufren estos materiales durante el proceso de solidificación. Muchas veces ocurre que al diseñar el molde para la fabricación de la pieza se toman todas las precauciones debidas, considerando el coeficiente de contracción del plástico utilizado, obtenido de alguna tabla. Pero una vez fabricada la pieza, al extraerla del molde sus dimensiones no son las esperadas. Esto se debe a que el valor del coeficiente de contracción se obtuvo de una tabla elaborada bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, y si las condiciones del lugar donde se fabricó la pieza no son las mismas, entonces la contracción del material no va a ser la prevista. Si la pieza es más grande de lo debido, el error puede corregirse sometiendo la pieza a un maquinado adecuado, dándole las dimensiones deseadas; pero, si es más chica, entonces el problema es más difícil de resolver y la mayoría de las veces es necesario volver a fabricar la pieza. Esto obliga al ingeniero a tener que fabricar este tipo de piezas en un área con condiciones de temperatura y presión controladas, lo cual puede ser muy costoso; por lo tanto, muchas veces es preferible fabricar este tipo de piezas con otro material.

### 3.3.1.2.- Fabricación.

La fabricación de componentes automotrices con materiales plásticos no implica grandes problemas, dado que los procesos de fabricación son relativamente sencillos y rápidos, sin embargo es conveniente saber los riesgos que se corren al desarrollar un proceso de fabricación con plásticos para así poder tomar las precauciones necesarias.

Muchos de los compuestos que se usan en la industria de los plásticos tienen cierto grado de toxicidad; además, algunos presentan el problema de ser altamente inflamables, en especial cuando se trata de sustancias disolventes. Ciertas reacciones químicas también pueden representar peligro de incendios. Por ejemplo, en la preparación de la resina poliéster utilizada como matriz en el conformado de piezas con fibra de vidrio, se utilizan dos sustancias: el peróxido-dimetil-etil-cetona (catalizador) y el cobalto (promotor o activador); si estas dos sustancias se mezclan incorrectamente al elaborar la mezcla para preparar la resina, puede ocurrir una explosión. La mayor parte de los polímeros de curado por adición y muchos de los de curado por condensación pueden generar altas temperaturas, por ejemplo, las resinas poliéster pueden auto-inflamarse cuando se curan con rapidez en grandes masas. Prácticamente todos los monómeros de tipo vinílico pueden sobrecalentarse al polimerizarse en grandes masas.

Los peróxidos son agentes de oxidación muy poderosos. Pueden reaccionar con materiales orgánicos como madera, papel, trapos, etc., y causar incendios. Los activadores como el naftenato de cobalto provocan una descomposición violenta de los peróxidos

En el almacenamiento de estas sustancias, se debe tener especial cuidado de hacerlo en lugares distantes, ya que son sustancias muy volátiles y aunque los recipientes que los contienen estén cerrados, siempre existe el peligro de la evaporación de una pequeña cantidad de la sustancia y si los vapores de ambas sustancias se mezclan, también se corre el peligro de que ocurra una explosión y ocasionar un incendio.

Gran parte del riesgo que implica el manejo de disolventes y otras sustancias necesarias en la preparación de resinas y otros materiales plásticos, disminuye si tan sólo se siguen las siguientes recomendaciones:

- No mezclar nunca en forma directa los peróxidos con los aceleradores (activadores).
- Diluir los desperdicios de peróxidos con agua.
- Sumergir en agua todos los trapos usados para limpiar
- Cuidar que el lugar asignado para almacenamiento de las sustancias, tenga una ventilación adecuada

Cuando se toman las debidas precauciones todos estos riesgos se reducen considerablemente, y para reducirlos al mínimo es conveniente tener una buena ventilación del área de trabajo, usar ropas protectoras y sistemas cerrados de procesamiento.

#### 3.3.1.3.- Desempeño.

Una característica que limita el buen desempeño de los materiales plásticos, es su baja resistencia a las altas temperaturas, ésta excluye totalmente a los plásticos en la fabricación de piezas internas del motor o que vayan a estar en estrecho contacto con él, y con mayor razón si estas piezas van a ser sometidas a algún esfuerzo, como es el caso de bielas, pistones, soportes o resortes. Si se utilizaran materiales plásticos en la fabricación de algunas de estas piezas se corre el riesgo de que al presentarse un sobrecalentamiento se deformen desmesuradamente o incluso lleguen a fundirse. En la fabricación de este tipo de piezas está tomando ventaja la aplicación de materiales cerámicos, en algunos casos formando aleaciones con metales.

Otro factor que limita un buen desempeño de los materiales plásticos es el deterioro que pueden presentar con el paso del tiempo. La deformación y fractura de un plástico se originan a causa de fuentes externas de esfuerzo. Sin embargo la integridad de un polímero también puede desaparecer por reacciones que son básicamente de carácter químico. Cuando se habla de materiales plásticos, generalmente se usa el término degradación para describir una amplia categoría de cambios indeseables, desde una escisión hasta una hinchazón. Una escisión puede presentarse cuando el plástico está expuesto a los rayos ultravioleta contenidos en la luz solar, la luz ultravioleta tiene la energía suficiente para romper los enlaces entre las moléculas que forman un plástico, al romperse estos enlaces, poco a poco se van generando grietas que crecen lentamente de la superficie al interior del material produciendo un debilitamiento gradual que puede causar deformación o la ruptura súbita de la pieza. Un segundo método de deterioro involucra micromoléculas que entran como solutos entre las macromoléculas para hacer imposible un contacto de polímero a polímero o lo que es lo mismo, una ruptura de enlaces intermoleculares. En algunos casos se agregan de manera intencional micromoléculas a los materiales poliméricos para hacerlos más flexibles. Sin embargo esto no es siempre deseable, Existen materiales como el polivinilo, que pueden absorber moléculas de agua reteniéndolas entre las cadenas de vinilo. Esto llevará a un debilitamiento y una hinchazón del polímero. De igual manera y a menos que se hagan las adaptaciones estructurales necesarias, las moléculas de petróleo pueden quedar absorbidas dentro de una manguera de gasolina, lo que produce una hinchazón reduciendo la utilidad de la manguera. Por supuesto, estas hinchazones no son compatibles con las especificaciones de ingeniería, por lo que el ingeniero de materiales debe buscar la manera de evitarlas.

### 3.3.2.- Efectos en la salud del ser humano expuesto a los procesos de fabricación con materiales plásticos.

Como se vio en la sección anterior, la utilización de materiales plásticos está todavía muy limitada para muchas aplicaciones dentro de la industria automotriz, pero esto no se debe solo a las propiedades y características del material en sí. Existen otros factores no menos importantes por los que algunos fabricantes de vehículos automotores no están muy entusiasmados con el empleo de materiales plásticos. Uno de estos factores tiene relación con las emisiones que se producen durante los procesos de preparación (mezclado), fundición, curado, maquinado y pulido de los materiales plásticos. Aparte del peligro de incendio que las emisiones pueden producir existe otro problema que preocupa a los ingenieros encargados de la seguridad industrial, el efecto que estas emisiones tienen en la salud del personal que interviene en dichos procesos.

Los productos químicos pueden penetrar al cuerpo por varias vías. En la industria de los plásticos, los factores más importantes son: la inhalación de vapores y polvos, la absorción por la piel y la dermatitis de contacto.

- Inhalación de vapores - La industria ha establecido estándares para límites de tolerancia por respiración para la mayoría de los disolventes y de los compuestos volátiles. El valor límite de tolerancia (VLT) es el límite de inhalación para 8 horas/día en partes por millón, en volumen. Los Líquidos y sólidos poliméricos suelen tener velocidades de evaporación tan bajas que no representan un riesgo a este respecto.

La tabla 3.2 muestra los valores de VLT de algunos disolventes y monómeros.

TABLA 3.2 - Valores de VLT para algunos disolventes y monómeros.

| COMPUESTO                                  | VLT (PPM) <sup>1,2,3</sup> |
|--|----------------------------|
| Monómeros: Acrilonitrilo                   | 2                          |
| Butadieno                                  | 1000                       |
| Eter Butil-glicídico                       | 50*                        |
| Epiclorhidrina                             | 5*                         |
| Etilenglicol                               | 100                        |
| Oxido de etileno                           | 50*                        |
| Formaldehído                               | 2                          |
| Diisocianato de metilfenilo                | 0.02                       |
| Metacrilato de metilo                      | 100                        |
| Fenol                                      | 5                          |
| Eter Fenil-glicídico                       | 10*                        |
| Oxido de polipropileno                     | 100*                       |
| Estireno                                   | 100*                       |
| Disocianato de tolueno                     | 0.02*                      |
| Acetato de vinilo                          | 10                         |
| Cloruro de vinilo                          | 1*                         |
| Cloruro de vinilideno                      | 10**                       |
| Vinil-tolueno                              | 100                        |
| Agentes de curado:<br>Peróxido de benzoilo | 0.5                        |
| Dimetilnilina                              | 5                          |
| Peróxido MEK                               | 0.2                        |
| Trietilamina                               | 25                         |
| * Estudiándose<br>** Limite provisional    |                            |

La mayoría de los productos químicos que se requieren en la preparación de resinas y plásticos, los polvos y las fibras que se producen en el manejo o maquinado de las piezas fabricadas con polímeros termofijos o FRP, y muchas otras sustancias utilizadas como aditivos o estabilizadores de los plásticos, si se inhalan en cantidades considerables, pueden causar irritación de los pulmones, ya que los pulmones no son capaces de absorber o eliminar algunos de estos materiales. La exposición repetitiva a ciertos productos químicos puede causar la aparición de tumores cancerígenos.

Muchos de los compuestos y disolventes empleados en la manufactura de productos plásticos, han sido señalados como agentes carcinógenos sospechosos o comprobados, por ejemplo: muchos de los compuestos y disolventes clorados, varias aminas, el asbesto, el arsénico y los cromatos; son todos considerados agentes carcinógenos. Algunos metales y compuestos del fósforo utilizados como aditivos para resinas y recubrimientos también son considerados peligrosos por su alta toxicidad.

En la tabla 3.3 se muestran algunas de las sustancias que se producen o se manejan más frecuentemente en la manufactura de productos plásticos y sus efectos en la salud de los seres humanos.

Tabla 3.3 - Sustancias peligrosas para el ser humano.

| SUSTANCIA | OBSERVACIONES  |
|-----------|--|
| Cromatos  | Muy tóxicos para los pulmones y otros órganos. Pueden ser carcinógenas |

Continuación de tabla 3.3

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Polvo de sílice y fibras  | Se acumulan en los pulmones causando silicosis   |
| Acrilonitrilo             | Se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Benceno                   | Causa lesiones en riñón y en hígado, produce leucemia  |
| Tetracloruro de carbono   | Causa lesiones de riñón e hígado, se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Bencidina                 | Su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Diclorobencidina          | Aunque es menos tóxico que la bencidina, se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer   |
| Dicloroetano              | Se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Tetracloroetano           | Se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Tricloroetano             | Se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Tricloroetileno           | Se sospecha que su uso prolongado puede producir cáncer  |
| Cloruro de vinilo         | Causa lesiones de riñón e hígado, su uso prolongado produce cáncer   |
| Compuestos de cobre       | La mayoría son tóxicos al ingerirlos(en forma de polvo se pueden absorber por inhalación)  |
| Plomo y sus compuestos    | Tóxicos y acumulativos, al ingerirse o absorberse  |
| Mercurio y sus compuestos | La mayoría son muy tóxicos y acumulativos, El mercurio líquido y otros compuestos pueden absorberse por la piel  |
| Compuestos de fósforo     | Varios compuestos orgánicos del fósforo son tóxicos y pueden absorberse a través de la piel. Uno de los casos típicos es el fosfato de tricresilo(TCP) |



- Absorción por la piel - Algunos líquidos y sólidos se absorben a través de la piel por simple contacto. Esto es especialmente cierto en el caso de disolventes clorados. El contacto con la piel debe reducirse al mínimo para cualquier sustancia química, resina o disolvente.

- Dermatitis de contacto - La dermatitis es una irritación de la piel. Aunque la sensibilidad a los productos químicos varía en alto grado dependiendo del individuo, los compuestos como las resinas epóxicas y algunos de sus agentes de curado, son muy conocidos por su tendencia a producir erupciones cutáneas. La sensibilidad puede aumentar debido a exposiciones repetitivas.

Todos estos problemas y el hecho de estar trabajando en un área sucia y con un fuerte olor a disolventes o plástico quemado, disminuye el rendimiento de los trabajadores encargados de procesos de manufactura en los que se utilizan materiales plásticos. El daño causado a la salud del personal es especialmente notorio en los procesos de manufactura con FRP, ya que además de los disolventes, el personal está expuesto a polvos y pequeños fragmentos de fibras que resultan de procesos de corte y pulido de piezas de FRP. Si no se cuenta con una protección adecuada, estos polvos y fibras son absorbidas por inhalación, acumulándose en los pulmones; lo cual puede incapacitar al personal en poco tiempo, poniendo en riesgo no sólo su desempeño en el trabajo sino su propia vida.

### 3.3.3.- Efectos de la manufactura de productos plásticos en el medio ambiente.

Uno de los principales problemas al que se enfrentan los fabricantes de componentes automotrices con materiales plásticos, es la oposición que ha surgido por parte de los grupos ecologistas, los cuales se preocupan no sólo por la integridad

de las especies vegetales o animales en peligro de extinción; sino por el bienestar de las futuras generaciones de seres humanos.

A continuación se describen los problemas generados por la producción de componentes automotrices plásticos y en general por la utilización de materiales plásticos.

### 3.3.3.1.- Riesgos en la obtención de la materia prima.

Como se mencionó anteriormente (capítulo 1), existen materiales plásticos que pueden considerarse naturales porque se obtienen directamente de una fuente natural, por ejemplo, la goma de caucho y la caseína que se obtienen; uno de un árbol que produce bajo su corteza una resina que al calentarse da origen al plástico; el otro, se obtiene de la leche del ganado vacuno. Estos materiales son tan sólo una pequeña parte de la gran lista de materiales plásticos utilizados actualmente en la industria. La gran mayoría de polímeros útiles al hombre se obtienen de una fuente también natural, pero tienen que pasar por un proceso químico más complicado para adquirir la forma y propiedades deseadas; esta fuente natural son los yacimientos de petróleo. Cuando se empezaron a descubrir yacimientos de petróleo, el hidrocarburo se encontraba prácticamente en la superficie de la tierra, por lo que su extracción resultaba muy sencilla, pero al ir encontrando aplicaciones a este material, los yacimientos que estaban casi sobre la superficie se volvieron insuficientes y fue necesario explorar el subsuelo en busca de nuevos yacimientos. Desde un principio ocurrieron accidentes como incendios y derrames, pero eran relativamente pequeños y fáciles de controlar. A medida que los yacimientos se encontraban a mayor profundidad, eran más grandes y los gases y el petróleo estaban sometidos a una presión más grande, por lo que los accidentes empezaron a adquirir mayores

proporciones, volviéndose en algunos casos incontrolables. Por citar un ejemplo; en Marzo de 2001 ocurrió un accidente en la plataforma petrolera más grande del mundo, la P-36 que resulto dañada por tres explosiones. La estructura de 120 metros de altura y más de 33 mil toneladas de peso comenzó a inclinarse y en menos de 10 minutos desapareció de la superficie en el océano Atlántico, a unos 120 Kilómetros de la costa norte de Río de Janeiro, Brasil; con 1.5 millones de toneladas de petróleo crudo y 1200 metros cúbicos de combustible diesel, que inevitablemente fueron derramados en el mar. Las pérdidas económicas se estimaron en 450 millones de dólares.

Debido a las descomunales cantidades de petróleo que la industria requiere actualmente los ingenieros petroleros han tenido que desarrollar sistemas cada vez más eficientes de transporte y abasto del hidrocarburo, los principales medios de transporte y distribución del hidrocarburo actualmente son; los buques-tanque y los oleoductos.

Los buques-tanque son enormes barcos con depósitos gigantescos, utilizados para transportar grandes cantidades de petróleo a través de los océanos. Con esta forma de transporte ha ocurrido que los buques golpean el fondo del océano o algún objeto que se encuentra a poca profundidad ocasionando perforaciones en los tanques que contienen el petróleo y ocurren fugas o derrames con consecuencias devastadoras para el medio marino circundante al área del accidente. Los oleoductos son tuberías que se extienden desde el lugar donde se extrae la materia prima hasta el lugar donde va a ser procesada, o de las plantas de proceso a la industria en donde va a ser utilizada. Los oleoductos pueden estar expuestos a la intemperie, subterráneos o submarinos; en estas tuberías también es frecuente que ocurran fugas

por ruptura o agrietamiento de alguna tubería o por exceso de presión en las válvulas, afectando gravemente a la flora y fauna de la zona en que se producen.

Desgraciadamente no todo el daño que se ocasiona al medio ambiente se debe a los accidentes, parte importante de los contaminantes que se generan en los procesos para transformar el petróleo en sustancias y materiales útiles al hombre, como es el caso de los plásticos; se vierten directamente al aire, en mares y ríos; causando un daño muchas veces superior al ocasionado por los accidentes. No sólo la flora y fauna silvestre se ven afectadas por la contaminación resultante de la extracción de petróleo, también áreas de terreno destinadas a la siembra y pastoreo se han visto seriamente afectadas. Por ejemplo, en México, la empresa petrolera PEMEX enfrenta desde hace algunos años, un gran número de demandas legales por parte de campesinos y ganaderos que habitan cerca de pozos petroleros o plantas petroquímicas; estas demandas son debidas a los daños que causan las emisiones de la industria petrolera y los derrames accidentales de sustancias tóxicas, en tierras de cultivo y de pastoreo.

Un riesgo inminente en la utilización de materiales plásticos, no sólo para la industria automotriz sino para cualquier industria que decida basar sus tecnologías en el empleo de este tipo de materiales, es la posibilidad de que se agoten los yacimientos de petróleo, ya que desde hace muchos años se han estado explotando de manera irracional, y se sigue haciendo.

La gráfica de la figura 3.1 muestra la forma en que se ha incrementado desde 1950 el consumo de petróleo a nivel mundial (en millones de toneladas).

### Consumo de petróleo en los últimos años

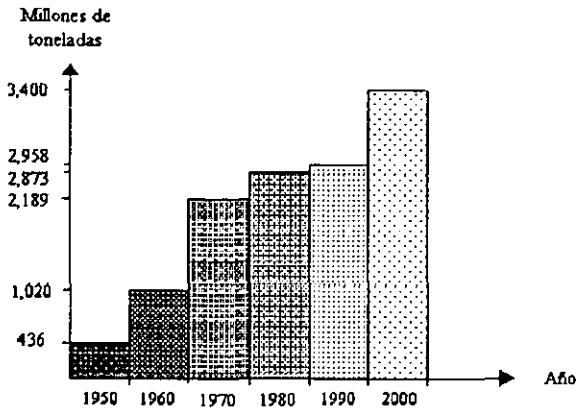


FIG. 3.1 – Consumo mundial de petróleo (en millones de toneladas)

Actualmente el petróleo es un recurso abundante y que puede ser extraído relativamente fácil del subsuelo o del lecho marino, pero esto no será siempre así, ya que por abundante que sea, llegará el día en que no existan mas yacimientos de petróleo debido a que se trata de un recurso no renovable. Muchos científicos piensan que existe en la tierra petróleo suficiente para seguirlo extrayendo de la manera en que se ha estado haciendo, durante los próximos 100 años; pero hay otros que afirman que el petróleo puede llegar a agotarse aproximadamente en 20 años. Ante esta incertidumbre, los ingenieros automotrices deben tener precaución en utilizar de manera importante los materiales plásticos, ya que si se crea una gran dependencia de ellos, se corre el riesgo de que el día que el petróleo deje de ser tan abundante muchos materiales plásticos dejen de producirse o adquieran un valor

económico muy superior al actual, propinando un fuerte golpe a la industria automotriz.

### 3.3.3.2.- Contaminación por desperdicios plásticos.

Cuando se habla de desechos automotrices plásticos, casi siempre se hace referencia al problema de los neumáticos, y es que al ser una de las primeras aplicaciones que se encontraron a los materiales plásticos en la industria automotriz y que se generalizó rápidamente; se ha convertido en un problema viejo y que poco a poco ha ido adquiriendo proporciones preocupantes, al grado de que en muchos países está fuera de control. La gran cantidad de vehículos que existen actualmente y la corta duración de los neumáticos han ocasionado que éstos se acumulen en montones gigantescos, que ocupan un área importante en los lugares destinados como tiraderos de basura. En un principio los neumáticos eran incinerados en los tiraderos de basura pero las sustancias producidas en esta combustión afectaban gravemente el aire.

Actualmente se están buscando alternativas de solución a este gran problema. En otro tipo de componentes, como tolvas, empaques, parachoques, tableros, etc. los automóviles contribuyen poco al problema de contaminación ambiental ocasionada por desechos plásticos, ya que la utilización de plásticos en muchas de estas aplicaciones es reciente y el período de vida útil de este tipo de piezas es relativamente largo. Sin embargo si la utilización de materiales plásticos se extiende a otro tipo de componentes, como se piensa que sucederá en el caso de las carrocerías, entonces las cosas pueden cambiar debido a que la creciente demanda de automóviles podría generar una gran cantidad de desechos plásticos cuando estos automóviles cumplan con su período de vida útil.

### 3.4.- Alternativas de solución a los problemas derivados de la fabricación de componentes automotrices con materiales plásticos.

Como se pudo apreciar, son bastantes y muy serios los problemas generados o que podrían surgir en un momento dado, al utilizar materiales plásticos en la fabricación de componentes automotrices. Pero no todo es negativo, actualmente muchos ingenieros, principalmente los interesados en dar auge a la utilización de materiales plásticos, trabajan en busca de soluciones a muchos de los problemas de diseño, de seguridad industrial y de daño al medio ambiente. En lo referente al problema del agotamiento de los yacimientos petroleros, se tiene confianza en que las reservas mundiales permitan cubrir por un razonable período de tiempo la demanda de la materia prima para producir los materiales necesarios; este período de tiempo servirá para adaptar los sistemas de producción a nuevos materiales, que no requieran del petróleo como materia prima.

La utilización de muchos materiales plásticos en la industria automotriz es relativamente nueva, aproximadamente de hace veinte años, por lo que muchas de las teorías y sistemas de protección al medio ambiente y al personal de las fábricas, aun no se aplican en muchas de las empresas dedicadas a la manufactura de productos plásticos, principalmente en países subdesarrollados. Pero ya existen muchos equipos y herramientas para hacer el trabajo más fácil y seguro; existen también sistemas de reducción de contaminantes tanto en el área de trabajo como en el medio ambiente; ahora sólo falta dar difusión a estos equipos y facilitar su adquisición por parte de las empresas, mediante el diseño de equipos más económicos y fáciles de manejar.

A continuación se presentan algunas de las principales estrategias en las que se debe trabajar para contrarrestar los problemas derivados de la fabricación de componentes automotrices con materiales plásticos.

### 3.4.1.- Mejoramiento de las propiedades de los plásticos actuales.

Actualmente se cuenta con una gran variedad de materiales plásticos y sus características pueden ser igualmente variadas, pero aun no se ha logrado obtener características que permitan extender el uso de plásticos a aplicaciones en las que actualmente sólo es posible utilizar materiales metálicos; y en algunos casos cerámicos. Los principales aspectos en que se debe trabajar son:

- Incremento de la resistencia a altas temperaturas.- Una de las principales limitaciones de los materiales plásticos en especial de los polímeros termoplásticos, es su baja temperatura de fusión, esta característica impide que los plásticos puedan ser utilizados en piezas cercanas al motor o dentro de éste. Aun así se han desarrollado materiales plásticos que tienen una resistencia al calor bastante considerable; aunque todavía no se alcanzan los niveles deseados, estos materiales ya se están usando en la fabricación de componentes para el sistema de enfriamiento; por ejemplo en los radiadores.
- Incremento de la resistencia mecánica.- La poca resistencia mecánica de los materiales plásticos también ha limitado mucho su utilización en la industria automotriz, ya que muchos componentes requieren de una buena resistencia a diferentes tipos de esfuerzos, aplicados muchas veces en el mismo momento. Una posible solución a este problema es mejorar las propiedades de las FRP



existentes y probar nuevas fibras de refuerzo, posiblemente metálicas; en una matriz de un polímero de alta resistencia.

- Protección contra la degradación.- Aunque los materiales plásticos presentan generalmente mayor resistencia a la intemperie que el acero, esto no quiere decir que sean inafectables por los factores ambientales. Los principales enemigos de los plásticos son el deterioro por hinchazón y los rayos ultravioleta contenidos en la luz solar. Es obvio que las hinchazones no son compatibles con las especificaciones de ingeniería, por lo que el ingeniero de materiales debe buscar la manera de evitarlas. Los enlaces cruzados en la estructura interna de un polímero reducen la posibilidad de que ocurra la hinchazón, ya que las moléculas quedan unidas entre sí. También los plásticos cristalizados están menos sujetos a la hinchazón, debido a que tienen más cerradas sus estructuras intermoleculares. Las moléculas pequeñas se distribuyen más fácilmente entre las macromoléculas cuando sus tipos son químicamente similares. Por ejemplo, el polivinilo( $C_2H_3-OH$ ) y el agua( $H-OH$ ) están muy relacionados y por lo tanto el agua es fácilmente absorbida entre las moléculas de polivinilo, de manera parecida, los fluidos de hidrocarburos petrolíferos son absorbidos por los cauchos de origen hidrocarburo. En componentes en los que la hinchazón es crítica, dichas similitudes se deben evitar a través de una selección cuidadosa del material.

En el caso de la degradación por exposición a la luz solar, los rayos ultravioleta rompen los enlaces intermoleculares de la parte del material expuesta, esto genera grietas que crecen hacia el interior de la pieza, en este caso la única manera de proteger al plástico es evitando la exposición directa a la luz solar, por lo que es

recomendable cubrir la superficie de la pieza con alguna sustancia protectora como la pintura o algún material reflejante.

Con la finalidad de mejorar las propiedades de los materiales plásticos o impartirles características especiales, se han desarrollado sustancias que se pueden adicionar al plástico en el momento del conformado, o después de él. Estas sustancias son conocidas comúnmente como aditivos para polímeros. A continuación se mencionan los diferentes tipos de aditivos y su efecto en los materiales plásticos.

- **Pigmentos.-** Los pigmentos son utilizados para producir colores en plásticos y pinturas. El pigmento debe resistir las temperaturas y las presiones durante el procesamiento del polímero, ser compatible con éste y estable.
- **Estabilizantes.-** Los estabilizantes impiden el deterioro del polímero causado por el medio ambiente, y evitan también en gran medida el deterioro ocasionado por la radiación ultravioleta.
- **Agentes antiestáticos.-** La mayoría de los polímeros, debido a que son malos conductores eléctricos, generan electricidad estática. Los agentes antiestáticos atraen mayor humedad del aire hacia la superficie del polímero, mejorando la conductividad superficial del polímero y reduciendo la posibilidad de una chispa o descarga eléctrica.
- **Retardantes de la combustión o llama.-** La mayoría de los polímeros, por ser materiales orgánicos, son inflamables. Los aditivos que contienen cloruros,

bromuros, fósforos o sales metálicas reducen la posibilidad de que ocurra o se extienda la combustión.

- **Lubricantes.**- Los lubricantes como la cera o el estearato de calcio, reducen la viscosidad del plástico fundido y mejoran las características de conformabilidad o procesabilidad.
- **Plastificantes.**- Los plastificantes son moléculas de bajo peso molecular, o bien cadenas que, reduciendo la temperatura de transición vítrea, mejoran las propiedades y características de conformabilidad del polímero. Los plastificantes son particularmente importantes para el cloruro de polivinilo, que tiene una temperatura de transición vítrea superior a la temperatura ambiente.
- **Rellenos.**- Los materiales de relleno o rellenos se añaden con muchos fines. Quizá el ejemplo mejor conocido es el de la adición de negro de humo al caucho o hule, lo que mejora la resistencia a la carga y al desgaste en los neumáticos. Algunos rellenos, como las fibras cortas o las hojuelas de los materiales inorgánicos, mejoran las propiedades mecánicas del polímero. Otros llamados extensores, permiten que se produzca un gran volumen de material polimérico con relativamente poca resina. El carbonato de calcio, la sílice y la arcilla son extensores usados con frecuencia.
- **Agentes espumantes.**- Algunos polímeros, incluyendo el uretano y el poliestireno, pueden ser expandidos en forma de espuma, con huecos celulares. El polímero es producido primero como pequeñas gotas sólidas que contienen el agente expansor o insuflador. Cuando las gotas son calentadas, el polímero se vuelve plástico, el

agente expansor se descompone para formar un gas dentro de la gota y las paredes de ésta se expanden. Cuando las gotas preexpandidas se introducen en un molde caliente, se juntan y pegan entre sí para producir una cierta forma. Las espumas expandidas son excelentes materiales aislantes con una densidad excepcionalmente baja.

- Refuerzos.- La resistencia y la rigidez de los polímeros se mejoran introduciendo filamentos de materiales cerámicos, fibras naturales o sintéticas o incluso filamentos y mallas metálicas, por ejemplo, vidrio, polímero o grafito en una matriz de resina o plástico.
- Agentes acopladores.- Los agentes acopladores son añadidos para mejorar la unión del polímero con los materiales inorgánicos de relleno, tales como las fibras de vidrio reforzantes. Una gran variedad de silanos y titanatos son empleados para este propósito.

#### 3.4.2.- Mejoras en los procesos de manufactura.

Uno de los principales problemas que desaniman a los fabricantes de vehículos para aumentar la utilización de materiales plásticos, especialmente en el caso de las resinas poliméricas para conformar FRP; es lo complicado y lento del proceso de manufactura. Por tal motivo los ingenieros de materiales interesados en la difusión de las FRP están desarrollando formas más prácticas de conformar piezas con FRP.

Un problema común al conformar piezas de FRP por el método de inyección de termofijo, es que el refuerzo no puede orientarse de la manera más efectiva; en

las secciones delgadas se forman regiones ricas en resina y la colocación de material en el molde puede ser laboriosa y quizá no se pueda reproducir completamente.

Se han creado una serie de procesos en los cuales el refuerzo se coloca en el molde y se inyecta la matriz de resina. En general estos procesos son llamados: "Liquid Composite Moulding", LCM (Moldeo con compuestos líquidos). En su forma más simple, esto significa colocar las fibras en el molde en un arreglo previamente establecido y luego inyectar la resina. La colocación manual de las fibras es lenta y depende de la habilidad del trabajador, por lo cual se usan mucho las preformas. Las fibras se preparan en la forma deseada en una operación por separado y se unen ligeramente con un aglutinante termoplástico, el cual reblandece cuando se calienta para ajustarse al molde, y simplemente se deja gotear en el lugar en la etapa de moldeo. A continuación se mencionan otras variaciones en los detalles de inyección de la resina.

- MTR, moldeo por transferencia de resina. Aquí se usa una resina premezclada, y la técnica de la colocación de placas a mano, pero se utiliza un molde cerrado.
- IREV, inyección de resina en vacío. Con la ayuda del vacío se aumenta la relación de llenado.
- MEIR, moldeo con inyección de resina estructural. En este método se coloca primero un refuerzo o una preforma y se inyecta un sistema de resinas que se mezcla en un cabezal mezclador antes de depositarse en el molde.
- MRIR, moldeo reforzado con inyección de resina. En este proceso se mezcla la resina antes de depositarse en el molde. Es una variante del método que se usa con el uretano; se utiliza una fibra de vidrio corta que proporciona rigidez y una mayor temperatura de distorsión térmica.

El problema principal con el moldeo por compuestos líquidos es la lentitud y la complejidad que limita la inyección de resinas debido a la resistencia ofrecida por la preforma. El ingeniero norteamericano llamado John Newton inventó otro proceso denominado “Network Injection Moulding” NIM (moldeo por inyección en mallas) para la compañía 3D-Components (Cumberland) en la Universidad de Lancaster. Esta técnica permite inyectar rápidamente sistemas de resinas de endurecimiento rápido en estructuras de refuerzo densas y complejas con un contenido de fibras del 60%. Este proceso se caracteriza por las bajas presiones de inyección que permite utilizar herramental más económico. Pronto se ofrecerá para usos en automotores.

- Termoplásticos reforzados con fieltro de carbono.- Se está trabajando también en lograr que sea más económico un compuesto polimérico avanzado, de muy alta tecnología, formado por el poliéster éter cetona y fibra de carbono. Actualmente éste es demasiado caro para la industria automotriz, únicamente se está usando en la industria aeroespacial donde el principal objetivo es disminuir peso a casi cualquier costo. Se espera que en un futuro con la producción en masa y la disminución de costos en el proceso, este material se pueda hacer accesible para la industria automotriz.

Otra técnica de construcción para los materiales compuestos, muy utilizada en la fabricación de paneles de carrocería es el moldeo de hoja de material compuesto, SMC (Sheet Moulding Composite). Esta técnica consiste principalmente en utilizar una resina termofija con ciertos aditivos, fibra de vidrio, un relleno y catalizadores o solventes, aunque se pueden emplear otras combinaciones de materiales. Modificando el tipo y porcentaje de materiales utilizados se puede

obtener una amplia gama de propiedades mecánicas y calidad de acabados en la superficie. Las ventajas más considerables de esta técnica de fabricación son: no se oxida ni corroe, es resistente a ataques químicos con solventes y ácidos, es repelente a los rayos UV y se puede considerar como reciclable.

3.4.3.- Protección para el personal involucrado en los procesos de manufactura con materiales plásticos.

3.4.3.1.-Instrucción del personal en el seguimiento de medidas de seguridad y empleo de equipos de protección.

En los últimos años, ha surgido una gran cantidad de talleres, pequeñas y medianas empresas que fabrican uno o varios componentes automotrices utilizando materiales plásticos. En estas pequeñas fábricas y hasta en las grandes empresas, los empleados que intervienen en los procesos de manufactura, principalmente en el caso de las FRP, sufren continuamente enfermedades respiratorias, afecciones en piel, ojos; y accidentes que pueden llegar a causar incapacidad e incluso la muerte de una o varias personas. Las altas concentraciones de vapores de resinas y solventes pueden alterar el sistema nervioso ocasionando mareos, dolor de cabeza, vómito y pérdida de control en los movimientos llegando en ocasiones a producir desmayo, poniendo en riesgo la vida del personal que trabaja en dichas áreas. Las enfermedades respiratorias y la irritación en la piel pueden volverse crónicas y agravarse hasta desencadenar en una enfermedad mortal como el cáncer.

Todos estos problemas pueden evitarse en gran medida si se instruye al personal en el manejo de los productos plásticos y las sustancias empleadas en su preparación, y se le concientiza de la gran importancia que tiene el seguimiento de algunas sencillas normas de seguridad.





El hecho de implementar acciones tan sencillas como una adecuada ventilación, proteger ojos y piel con una vestimenta adecuada y el uso de una mascarilla o respirador con filtros, disminuye en gran medida el riesgo de sufrir daños en la salud, haciendo que el principal peligro al trabajar con materiales plásticos, sea la posibilidad de que ocurra un incendio.

A continuación se mencionan las principales precauciones que debe tener el personal involucrado en los procesos de manufactura con materiales plásticos, especialmente con resinas.

- **Productos inflamables:** Las sustancias inflamables como resinas y solventes, deben conservarse en sus envases originales procurando que el lugar de almacenamiento sea fresco y con una buena ventilación. Si después de una jornada de trabajo queda material en los envases, debe verificarse que éstos se encuentren bien cerrados antes de almacenarse nuevamente. Se debe tener cuidado de que el lugar de almacenamiento se encuentre alejado de cualquier fuente de ignición, y obviamente no fumar cuando se maneje este tipo de sustancias o se esté cerca del lugar de almacenaje.
- **Solventes:** Los solventes como el thinner y otros parecidos sirven para limpiar las herramientas de trabajo, de residuos de resina no fraguada. No deben usarse para limpiar las manos u otras partes del cuerpo, debido a que los solventes pueden ocasionar que otras sustancias químicas altamente tóxicas sean absorbidas por la piel. Los residuos de resina adheridos a las manos o al cuerpo deben lavarse preferentemente con agua y jabón o con cremas limpiadoras fabricadas específicamente para este fin.

- **Catalizadores y aceleradores(promotores):** Los catalizadores y aceleradores para resinas poliéster y vinilester, también deben ser conservados en sus envases originales, en un lugar fresco y bien ventilado, pero deben tomarse especiales precauciones con estas dos clases de material. Nunca deben ponerse en contacto o diluirse directamente uno con otro puesto que existe un alto riesgo de que ocurra una explosión y se produzca un incendio. Es recomendable almacenar los aceleradores en gabinetes metálicos a una distancia prudente de los catalizadores. En caso de que ocurran derrames accidentales de alguna de estas dos sustancias, es recomendable limpiarlos con un paño especial para cada sustancia y enjuagarlo inmediatamente o sumergirlo en agua. Nunca debe usarse papel desechable y tirarlo a la basura ya que esto podría provocar un incendio.

- **Ventilación:** Una adecuada ventilación en el área de trabajo es fundamental para que se pueda laborar cómodamente y con un riesgo mínimo de exponerse a altas concentraciones de vapores o polvos. Al referirse a ventilación, no quiere decir sólo que se debe contar con grandes ventanas o incluso trabajar en un lugar abierto, lo ideal es contar con un sistema de ventilación vertical, por ejemplo, un extractor de partículas colocado en el techo, ya que de esta forma los vapores y polvos se esparcen en forma vertical afectando de manera mínima a las áreas circundantes.

- **Respiradores y mascarillas:** En algunas ocasiones el personal prefiere trabajar sin una mascarilla o un respirador por la incomodidad que su uso representa; presión de los elásticos de sujeción, calor y sudor en el rostro, y sensación de falta de aire. Se puede prescindir de este tipo de filtros siempre y cuando se cuente con una ventilación adecuada y los periodos de exposición a resinas y polvos, sean breves y esporádicos. Si se trata de un trabajador de tiempo completo que va a estar

especializado en un determinado proceso con resinas y polvos, el uso de un filtro adecuado debe ser obligatorio, independientemente de que se cuente con una ventilación adecuada o no.

Existen diferentes tipos de mascarillas y respiradores con filtros. La elección adecuada de uno de ellos debe hacerse tomando en cuenta: el tipo de trabajo que se va a realizar, las sustancias que van a intervenir en el proceso y los tiempos de exposición a dichas sustancias. En el caso de las mascarillas, las más comunes son las fabricadas con fieltro, éstas protegen muy bien de los polvos y fibras cuando no son muy finos y brindan cierta protección contra vapores de resinas y solventes, aunque muy limitada.

Los respiradores tienen la ventaja de poseer filtros intercambiables para adecuarse a diferentes tipos de sustancias. Los filtros más comúnmente usados son los de fieltro, algodón y arena de carbón activado. Los respiradores brindan una buena protección contra vapores, fibras y polvos finos, además de que tienen una mayor duración que las mascarillas simples y no tienen un costo muy elevado. Los filtros deben cambiarse cuando el trabajador percibe el olor de la sustancia con la que está trabajando. Este tipo de respiradores puede obtenerse en diferentes modelos, desde simples mascarillas de látex con un filtro intercambiable, hasta caretas que cubren el rostro en su totalidad, dependiendo del grado de protección que se requiera.

Es importante mencionar que ninguno de estos respiradores y mascarillas tiene una eficiencia de 100% por lo que, si se va a trabajar en áreas cerradas por

largos períodos de tiempo, es conveniente instalar un sistema de extracción de partículas.

- **Protección para los ojos:** El uso de algún medio de protección para los ojos es muy importante y debe ser obligatorio para el personal que va a desarrollar un proceso relacionado con resinas y sobre todo con fibras. Cuando se trabaja en la preparación de resina o en el proceso de aspersión, se está expuesto a sufrir salpicaduras que pueden causar un daño severo e irreparable a los ojos. Si se trabaja en el desbaste o pulido de fibras, el riesgo es igualmente elevado. Existen respiradores que cuentan con protección para los ojos, pero si se utiliza una mascarilla o un respirador sencillo debe utilizarse también algún tipo de anteojos.

Los vapores emanados en el proceso de fraguado de la resina pueden causar irritación de los ojos, por lo que si se va a estar en contacto con dichos procesos es necesario el uso de goggles completamente cerrados.

- **Guantes:** También el uso de guantes es muy importante, debido a que la mayoría de las sustancias que intervienen en la preparación de resinas son tóxicas, y pueden ser fácilmente absorbidas por la piel. Existen diferentes tipos de guantes, los más utilizados son los guantes de látex, este tipo de guantes pueden ser fácilmente corroídos por algunas sustancias presentes en la resina y por solventes. Existen guantes especialmente fabricados para el manejo de resinas y solventes que son fabricados con butilo, nitrilo o neopreno; no son tan flexibles como los de látex pero son más resistentes y brindan una protección más confiable ya que el látex no es completamente impermeable en presencia de algunas sustancias. La desventaja de los guantes especiales para trabajo con resinas es que no son muy conocidos, por lo

que puede ser difícil adquirirlos y su precio es elevado. Si por alguna razón se opta por trabajar con guantes de látex, es recomendable cambiarlos por lo menos cada semana para evitar que se corroan demasiado y dejen de proporcionar la protección debida.

- **Crema protectoras:** La finalidad de usar crema protectoras, no es sustituir ni a los guantes ni a la ropa protectora. Estas cremas se crearon porque existen personas cuyo tipo de piel es muy sensible a algunas sustancias químicas y el estar expuesto a los vapores que se producen en el proceso de fraguado de la resina, aún usando guantes y ropa protectora les produce una irritación excesiva. En estos casos es conveniente aplicar la crema protectora antes de cada sesión de trabajo; y al terminar, lavar perfectamente las áreas donde fue aplicada para retirar la crema y las partículas que se hayan adherido a ella.

- **Vestimenta:** Generalmente en las áreas donde se trabaja con plásticos, ya sea en inyección de termoplásticos o en el fraguado de resinas, las temperaturas en el ambiente llegan a ser muy altas, debido a la cantidad de calor que se genera en los procesos, esto hace que muchos de los trabajadores que participan en dichos procesos deseen trabajar con ropas muy ligeras e incluso sin playera, utilizando únicamente un pantalón corto. Esto no es muy conveniente debido a que los vapores de las sustancias tóxicas pueden absorberse por la piel y entre mayor sea el área de piel expuesta, mayor será la cantidad de tóxicos absorbida. Pensando en esto, algunas compañías fabricantes de productos plásticos como DuPont, han desarrollado telas muy cómodas que funcionan como una especie de filtro dejando pasar el aire pero impidiendo el paso de sustancias químicas.

- Limpieza y orden: Como en todo proceso, al trabajar con resinas poliméricas debe tenerse la precaución de que todos los utensilios, mesas y paños para limpiar se encuentren perfectamente limpios antes de iniciar una sesión de trabajo, de esta manera es más fácil identificar cuando ha ocurrido un derrame y puede limpiarse inmediatamente. Se debe tener la precaución de contar con un paño de diferente color para limpiar cada tipo de sustancia para evitar mezclas indeseables que puedan ocasionar reacciones peligrosas. Es muy importante que las instalaciones eléctricas se encuentren en buen estado y evitar cualquier situación que pudiera producir una chispa por corto circuito. Siempre debe estar disponible y en un lugar visible, por lo menos un extinguidor listo para usarse en caso necesario. Es importante tener las herramientas de trabajo limpias y ordenadas para facilitar el trabajo y evitar accidentes.

En los procesos de manufactura con polímeros termoplásticos, las medidas de seguridad pueden no ser tan estrictas, ya que el material generalmente se encuentra preparado y listo para fundirse, además el proceso de conformado de las piezas se realiza casi totalmente en el interior de una máquina inyectora y en el molde, por lo que el personal tiene poco contacto con el material y con los productos cuando se están conformando.

#### 3.4.3.2.- Instalación de sistemas extractores de partículas.

Debido a que el riesgo de contraer enfermedades respiratorias no se elimina totalmente con el uso de una mascarilla o respirador, es conveniente implementar en el área de trabajo, la utilización de equipos de extracción y contención de partículas, para disminuir la concentración de polvos y vapores en el aire y mejorar las

condiciones de trabajo tanto para el personal directamente involucrado con el proceso, como para los trabajadores de las áreas adyacentes.

Existen en el mercado muchos tipos de equipos colectores de partículas, los más comúnmente utilizados son:

- Colectores mecánicos
- Filtros de tejido
- Limpiadores de aire por vía húmeda o con líquido

**Colectores Mecánicos.**- Generalmente, el peso de los polvos y vapores producidos en los procesos de pulido o fraguado de resinas poliméricas, es mayor que el peso del aire. Los colectores mecánicos aprovechan esta diferencia de peso específico para separar los polvos y vapores del aire.

En la figura 3.3 se muestra el modelo más común de colector mecánico. Por sus características, este colector es ideal para instalarse en una pequeña empresa.

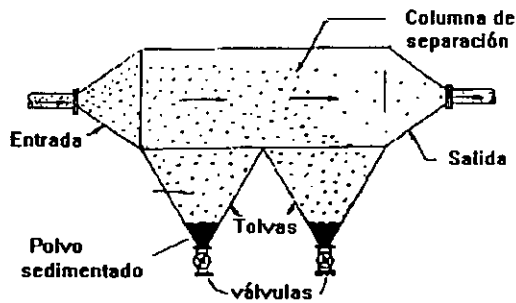


FIG. 3.3 – Cámara de sedimentación por gravedad.

Este tipo de colector es también conocido como cámara de sedimentación por gravedad. El colector mecánico disminuye la velocidad de la corriente de aire capaz de transportar las partículas; a una velocidad más baja, durante un período suficiente de tiempo para que las partículas puedan depositarse por efecto de la gravedad en las tolvas, de donde deben extraerse periódicamente.

Filtros de tejido.- Uno de los colectores de más aplicación para la eliminación de partículas sólidas y secas de una corriente de aire, es el de filtro de material tejido en el que el aire que transporta el polvo pasa en una sola dirección a través de un filtro de paño tejido o fieltro.

Aunque los filtros de materiales tejidos son de géneros muy diferentes, todos funcionan atrapando el polvo por el lado de la tela por donde llega el aire sucio y permitiendo que el aire pase por los intersticios entre las hebras tejidas de la tela. Aunque estos intersticios son generalmente de 100 micras, un filtro de bolsa comercial típico puede detener partículas hasta de 0.5 micras. Esta capacidad es el resultado de la aglomeración de una capa frágil y porosa de polvo que se forma con el paso del tiempo, en el lado de la tela por donde entra el aire sucio. Esta capa de polvo denominada “Torta de filtro” bloquea los intersticios más grandes y atrapa a las partículas más finas.

En la figura 3.4 se muestra el tipo de colector por filtro de tela más comúnmente usado en la extracción de polvos producidos por el pulido de productos plásticos.



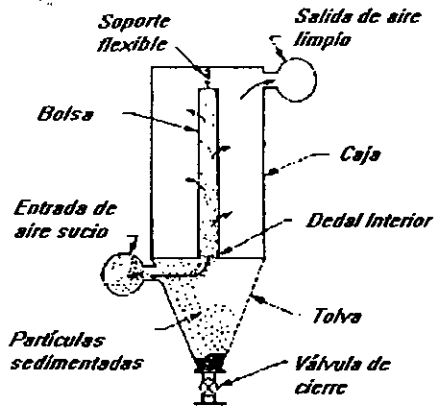


FIG. 3.4 – Colector por filtro de tela.

En condiciones normales de funcionamiento, el aire sucio se introduce por debajo de la chapa y en la parte superior de la tolva. Como la velocidad del aire disminuye a la entrada, las partículas gruesas de polvo se sedimentan directamente en la tolva, mientras que las partículas más finas y el aire pasan hacia arriba por el interior de los tubos de tela, el aire pasa a través de la tela y las partículas de polvo quedan atrapadas en las paredes del tubo de tela. El aire limpio se reúne en la caja y es descargado en un conducto que va a dar al ventilador. Como el polvo que se reúne aumenta el grosor de la torta de filtro en el interior de las bolsas tubulares, periódicamente hay que dejar de usar el filtro para poder limpiar las bolsas.

Purificador de aire por vía húmeda.- Los purificadores de aire por vía húmeda emplean un líquido, generalmente agua, para capturar y después eliminar las partículas contenidas en una corriente de aire.

Para ilustrar el principio de la purificación de aire por vía húmeda, la figura 3.5 muestra uno de los modelos más sencillos de estos colectores: una cámara de sedimentación por gravedad con mecanismos para rociar, en la que las finas gotas de agua rociada, lavan el aire y hacen que se deposite el polvo como lodo en el tanque de sedimentación.

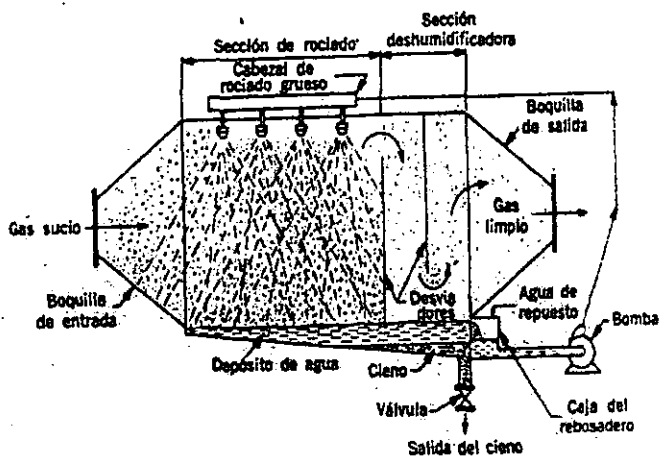


FIG. 3.5 – Cámara lavadora de sedimentación por gravedad.

La corriente de aire sucio se hace más lenta en la boquilla de entrada y se abre camino en medio de la turbulencia producida por la fuerza de los finos rociadores, pasa después a la sección de separación de las gotas de líquido y se acelera en la boquilla de salida a la velocidad del conducto. Como en todas las cámaras de sedimentación, algunas partículas más grandes se depositan en la superficie del agua por efecto de la gravedad. La principal recolección se lleva a cabo por colisión entre una partícula de polvo o vapor y una gota de agua, dando como resultado que la gota de agua atrapa a la partícula.

- **Sistemas cerrados de procesamiento.**- Los sistemas cerrados de procesamiento, son áreas de trabajo aisladas del medio donde se encuentra el personal, los procesos son realizados completamente por equipos automáticos y sólo se tiene contacto con las piezas una vez que han sido procesadas.

Estos sistemas se utilizan actualmente sólo en procesos que implican un riesgo inminente de daños a la salud en poco tiempo. Por ejemplo, en maquinados de herramientas de carburo, procesos en los que se utiliza material radiactivo y en el tejido de preformas de fibras de alta peligrosidad para el conformado de FRP.

En la fabricación de componentes automotrices los sistemas de procesamiento cerrados no son muy utilizados, principalmente por dos razones: En primer lugar porque el equipo necesario es de alta tecnología y por lo tanto su instalación es muy costosa y en segundo lugar, porque se piensa que el uso de equipos automáticos podría desplazar de sus puestos de trabajo a una gran cantidad de personas, generando un problema social.

#### 3.4.4.- Protección al medio ambiente.

En el gran problema que representa la contaminación del ambiente, generada por la utilización de materiales plásticos y cada uno de los procesos que se realizan para poderlos formar, desde la extracción del petróleo(materia prima) hasta la generación de desperdicios, debe involucrarse a todas las personas que intervienen en dichos procesos y atacar cada uno por separado, ya que los problemas en la extracción son diferentes de los problemas en el transporte y éstos a su vez son distintos de problemas derivados de la transformación. Cada uno de estos procesos debe mejorarse con la finalidad de disminuir al máximo los derrames y la posibilidad

de que ocurran accidentes. En los procesos de transformación debe trabajarse arduamente en el diseño y construcción de equipos de control de emisiones para no seguir dañando al medio ambiente con la cantidad de contaminantes que se vierten actualmente al aire, mares, ríos y zonas silvestres protegidas.

A la industria automotriz llega generalmente el material plástico ya transformado y listo para ser empleado, salvo en el caso de las FRP que requieren un manejo especial ya que deben ser conformadas prácticamente en el momento de su utilización. Pero aquí no termina el problema. Muchas veces los componentes para un determinado proceso se dañan durante su manejo; cuando se trata de componentes fabricados con polímeros termoplásticos no hay gran problema, ya que estos pueden destruirse y fundirse nuevamente para producir una pieza nueva, pero no es así cuando se trata de componentes fabricados con los polímeros termofijos, debido a que estos no pueden ser reprocesados, por lo que comúnmente se desechan como desperdicio.

También cuando un automóvil a concluido su periodo de servicio, ya sea por deterioro o por algún accidente en el que la función del vehículo es irrecuperable, se produce una gran cantidad de desechos debido a que comúnmente estos vehículos se concentran en lugares donde son desensamblados y las partes metálicas que son fácilmente reprocesables, regresan a la industria para fabricar nuevos componentes, pero las partes difíciles de desarmar o que están hechas con polímeros termofijos o termoestables son abandonadas en terrenos a la intemperie, causando un grave impacto en el ambiente. Legalmente no se ha responsabilizado a la industria automotriz por el manejo de este tipo de desechos pero los ingenieros automotrices sienten la responsabilidad moral y han empezado a trabajar conjuntamente con

ingenieros químicos y de materiales en la búsqueda de técnicas de reciclaje y utilización de materiales reciclados. Por ejemplo, en algunos países industrializados, principalmente Europeos, se ha desarrollado un material a partir del plástico de los neumáticos deshechados o inservibles que puede ser utilizado en la industria de la construcción como piso semiflexible, fácil de trabajar y de gran duración. Este material se ha estado utilizando en áreas deportivas: canchas de básquet-ball, voley-ball, etc. con muy buenos resultados ya que es antiderrapante y reduce el impacto en las articulaciones de los deportistas al ejecutar saltos o correr. Como éste hay algunos otros ejemplos, sin embargo los procesos de reciclaje existentes hasta ahora son muy costosos y poco difundidos, por lo que el reciclaje de componentes automotrices fabricados con polímeros termofijos es un área prácticamente inexplorada.

Por lo tanto, para evitar la proliferación excesiva de desperdicios plásticos producidos por la industria automotriz, se debe tener en consideración las siguientes recomendaciones:

- Manejo adecuado de los componentes plásticos durante el proceso de fabricación de un vehículo, con la finalidad de reducir al máximo el daño de componentes que impida su utilización en el armado de los vehículos y por consiguiente tengan que ser desechados.
- Concientizar al comprador del vehículo de la importancia que tiene la operación adecuada del mismo e informarle sobre los cuidados generales que debe tener en la conducción y mantenimiento del mismo. Todo esto con la finalidad de disminuir la incidencia de accidentes y prolongar la duración de los vehículos.

- Evitar siempre que sea posible el uso de polímeros termofijos en la fabricación, de autopartes; para lograrlo, es de suma importancia mejorar las propiedades de los polímeros termoplásticos y desarrollar nuevos materiales del tipo de las “Fibras Espectra”.
- Antes de implementar la utilización de un polímero termofijo, deben analizarse las posibilidades que tiene de ser reciclado o reprocesado, una vez que ha concluido su período de vida útil; para evitar en la medida de lo posible la generación de desperdicios plásticos.

## CONCLUSIONES

De lo expuesto en el desarrollo de este trabajo, es notable la gran diversidad de materiales con los que se puede contar en el momento de elegir alguno de ellos para la fabricación de un equipo o alguno de sus componentes. Ante esta gran variedad de materiales, la elección del más adecuado para una aplicación determinada puede ser difícil; por tal motivo y para comprender mejor porque los materiales plásticos están siendo cada vez más utilizados, se han presentado en forma general, las diferencias básicas entre los distintos grupos de materiales, sus principales características y las condiciones de operación bajo las cuales, cada grupo tiene un mejor desempeño.

Analizando un poco las características de los diferentes grupos de materiales, estudiando sus ventajas y desventajas, la facilidad con que pueden obtenerse, su capacidad para ser procesados y principalmente el costo económico que su adquisición y su manufactura implican; se observa que hay un grupo de materiales que en muchas ocasiones iguala o supera a los demás, éste es el grupo de los materiales plásticos. La utilización de los materiales plásticos es relativamente nueva, ya que a pesar de que algunos polímeros naturales como el caucho o el hule se han usado desde hace mucho tiempo, su aplicación era muy reducida. En un principio los plásticos sintéticos, no fueron más que sucedáneos mediocres de las materias naturales, pero los ingenieros de materiales no tardaron en darse cuenta de que las resinas sintéticas podían aventajar por mucho a los materiales naturales en ciertos casos y tener aplicaciones en las que sólo se habían estado utilizando maderas, pieles, telas naturales, materiales cerámicos y algunos metales.

En los últimos años, gracias al avance tecnológico en el campo de los materiales, el número de materiales plásticos ha crecido y sus propiedades son tan diferentes entre unos plásticos y otros, que es posible emplearlos en áreas muy diversas. Si bien es cierto que en el estudio de los materiales metálicos y cerámicos se han logrado avances importantes en sus propiedades y su número se ha incrementado, también es cierto que en el campo de los materiales plásticos es donde se han obtenido los mayores avances y que el número y diversidad de este grupo de materiales ha tenido un crecimiento que no tiene comparación con ninguno de los otros grupos. Haciendo un rápido inventario alrededor, puede apreciarse la importancia que han tomado los materiales plásticos en la vida diaria, tanto en actividades cotidianas como en el área industrial. Todo esto hace que el grupo de los materiales plásticos sea muy atractivo para los industriales y diseñadores de las distintas áreas de la ingeniería.

Al igual que en muchas áreas de la ingeniería, en la industria automotriz la utilización de materiales plásticos se ha incrementado considerablemente, cada vez son más las partes de un automóvil que pueden fabricarse con materiales plásticos sustituyendo incluso a piezas que anteriormente sólo era posible fabricar con metales. Sin embargo, el uso de materiales plásticos en el futuro es incierto. No todas las personas involucradas en la fabricación de automóviles están de acuerdo en seguir haciendo uso de ellos, ya que existen algunos factores que podrían limitar su empleo. Uno de esos factores es el gigantesco esfuerzo que hacen las compañías metalúrgicas por mantenerse en la preferencia de los fabricantes de autos. El sector metalúrgico está invirtiendo mucho tiempo y dinero en desarrollar materiales que puedan ser más atractivos que los materiales plásticos; un ejemplo claro de ello es el reciente lanzamiento al mercado de novedosas aleaciones denominadas: "metales



inteligentes". Estas nuevas aleaciones están llamando la atención de los fabricantes de autos por la relativa capacidad que tienen de autoregenerarse después de haber sido deformados por un impacto. Otro ejemplo son las aleaciones de aluminio, las cuales tienen excelentes propiedades mecánicas; son muy ligeras, maleables y de una resistencia considerable tanto a la corrosión como al esfuerzo, además de ser totalmente reciclables. Una razón de peso por la que se ha limitado el empleo de materiales plásticos en la industria automotriz, es la imposibilidad de muchos de ellos para ser reciclados, se teme que si se siguen utilizando plásticos en la forma que se ha venido haciendo, la cantidad de desechos producidos por los vehículos inservibles pueda convertirse en un grave problema de contaminación ambiental. Algunas personas piensan que actualmente se está viviendo un gran auge de los materiales plásticos, pero cuando los yacimientos petrolíferos comiencen a agotarse, el petróleo que se tiene como reserva se destinará exclusivamente para la producción de combustibles y generación de energía; y esto provocará el fin de la producción de materiales plásticos.

Haciendo un resumen de las ventajas y desventajas de la utilización de materiales plásticos se puede observar que realmente existen más desventajas que ventajas, por lo que podría pensarse que no es factible seguirlos utilizando, sólo que entre las ventajas aunque sean menos existe una de suma importancia y que generalmente es la que determina la utilización o no de cualquier material o proceso, restando importancia a las desventajas o problemas que pudieran generarse en el futuro; ésta es: la economía; actualmente la sociedad se rige principalmente por factores económicos y mientras esto no cambie y los procesos de manufactura con materiales plásticos sigan siendo económicos, será difícil detener el desarrollo y utilización de este grupo de materiales.

La competencia entre las industrias de los diferentes tipos de materiales por ganar la preferencia de los fabricantes de automóviles, es difícil y principalmente la industria del acero y el aluminio luchan por mantenerse e incluso crecer en aplicaciones dentro de la industria automotriz. Sin embargo, este tipo de metales sólo podrán desplazar a los materiales plásticos, en la medida que los procesos de manufactura y el mismo material puedan ser más económicos y de fácil obtención.

Especialistas en materia de ecología, aseguran que si tan sólo una cuarta parte de las reservas mundiales de petróleo es utilizada como combustible, será suficiente para producir tal cantidad de contaminantes y un calentamiento en la atmósfera que resultaría imposible seguir habitando la tierra. Estos temores, no mal fundados, están abriendo el camino para que se utilicen formas de energía no contaminantes, por ejemplo: Energía eólica, solar, hidráulica etc. Si la tecnología sigue avanzando como hasta ahora y llega el día en que las nuevas formas de producir energía y los combustibles naturales, menos contaminantes que el petróleo, puedan satisfacer totalmente las demandas de energía por parte de la población y la industria, los ingenieros petroleros tendrán que realizar una gran labor en el desarrollo de polímeros para que el dinero invertido en la extracción de tan enorme cantidad de materia prima, no se pierda. Esto dará un verdadero auge a la producción y utilización de nuevos y mejores materiales plásticos.

En cuanto a los desechos y contaminación que se generan por la producción de componentes automotrices con materiales plásticos, se espera que los interesados en dar impulso a su utilización, desarrollen con ayuda de ingenieros de materiales y áreas afines; equipos contenedores de partículas y de control de emisiones cada vez más eficientes. También se está buscando dar mayor importancia é incrementar la

implementación de las técnicas de reciclaje existentes actualmente y desarrollar otras nuevas.

Analizando lo expuesto en la presente tesis, queda claro que la utilización de materiales plásticos en la industria automotriz, es factible siempre y cuando se tomen en cuenta los problemas mencionados y se trabaje de manera seria en resolverlos, evitando un abuso en el empleo de polímeros y fomentando una cultura de reutilización y reciclaje.

Concluyendo así, se cubre el principal objetivo de este trabajo. Se invita al lector a reflexionar y participar en la solución de los problemas expuestos durante el desarrollo de la presente tesis, para poder en el futuro seguir disfrutando de los beneficios que el fascinante grupo de los materiales plásticos ofrecen a la industria automotriz.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Tecnología de materiales.  
Lawrence H. Van Vlack.  
Ed. Alfaomega
2. La ciencia e ingeniería de los materiales.  
Donald R. Askeland.  
Ed. Iberoamérica. 1993
3. Fiber glass and composite materials.  
Forbes Aird. 1977
4. Introduction to the world of plastics.  
Society of the plastics industry of Canada.  
1997
5. Automotive manufacturing.  
Imiche seminar publication.  
1997
6. Racer's encyclopedia of metals, fibers and materials.  
Forbes Aird. 1997
7. Automotive engineering plastics.  
Richard Wood. SAE. 1996.
8. GE Plastics.  
General Electric, plastics division.  
1997

9. Más allá de la herrumbre.  
Javier Avila / Joan Genescá  
La ciencia desde México
  
10. La industria y la contaminación del aire.  
R.D. Ross  
Ed. Diana México 1974.
  
11. The petroleum handbook.  
Compiled by staff of the Royal Dutch / shell  
Group of companies  
Elsevier 1983
  
12. Industrial pollution control.  
Issues and techniques 2<sup>a</sup> ed.  
Nancy J. sell  
Ed. Van Nostrand Reinhold  
Newyork 1992.
  
13. Química y tecnología de los plásticos.  
Walter E. Driver 3<sup>a</sup> ed.  
Ed. CECSA, México 1991
  
14. Procesamiento de plásticos.  
(grupo de investigación de polímeros departamento  
de química, Universidad de Lancaster).  
Ed. Limusa México 1993.
  
15. Poliéster and their aplicaciones.  
Johan Bjorksten, Henry Tovey, Betty Harker.  
Reinhold Publishing Corporation  
Chapman and Hall, Limited.

16. "Nuevos materiales para el desarrollo de componentes automotrices"  
Asencio Armenta Juan Antonio  
Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.  
F.E.S. Cuautitlan, Cuautitlan Edo. Mex. 1998.
  
17. "Reforzamiento de resina poliéster con fibra natural"  
Amador Santiago Miguel Angel, García Zetina Francisco José  
Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico.  
Facultad de Química, México D.F. 1993
  
18. Apuntes de "Tecnología de materiales".  
Ing. Enrique Cortes. UNAM.  
Curso 1991-1
  
19. Apuntes de "Diseño de elementos de máquinas".  
M.I. Felipe Diaz del Castillo. UNAM.  
Curso 1995-1
  
20. Apuntes de "Ingeniería de materiales".  
Ing. Gerardo Maya. UNAM.  
Curso 1996-1
  
21. Diario "La Jornada".  
22 de Marzo, 2001.