

1
2e1



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

ESTUDIO DE POLIESTER REFORZADO EN MEXICO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
SUSANA ISABEL ARAICO CARTAGENA
MONICA DE LOS RIOS LAGUNES
HECTOR JAVIER DE LA MORA MUNGUIA



Director de Tesis :
ING. ALVARO LEO RAMIREZ

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México Octubre 1990

FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO I - GENERALIDADES

- 1.1. Plasticos Reforzados
- 1.2. Historia del Poliester Reforzado en México

CAPITULO II - RESINAS POLIESTER

- 2.1. Definición y clasificación
- 2.2. Materias Primas
 - 2.2.1. Acidos Dicarboxílicos
 - 2.2.2. Alcoholes
 - 2.2.3. Agentes de Entrecruzamiento
 - 2.2.4. Solventes
 - 2.2.5. Gases Inertes
 - 2.2.6. Inhibidores
- 2.3. Proceso de Obtención
 - 2.3.1. Manufactura
 - 2.3.2. Descripción de Proceso
 - 2.3.3. Control de Proceso
- 2.4. Propiedades
 - 2.4.1. Efecto del ácido
 - 2.4.2. Efecto del glicol
 - 2.4.3. Efecto del monómero de estireno

CAPITULO III - MATERIALES DE REFUERZO

- 3.1. Definición y Clasificación
- 3.2. Fibra de Vidrio
 - 3.2.1. Proceso de Obtención
 - 3.2.2. Descripción del Proceso
 - 3.2.3. Propiedades
 - 3.2.4. Presentación Comercial
- 3.3. Fibra de 'Asbesto'
 - 3.3.1. Proceso de Obtención
 - 3.3.2. Propiedades

CAPITULO IV - POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO

- 4.1. Definición
- 4.2. Proceso de Curado
 - 4.2.1. Etapa de iniciación
 - 4.2.2. Etapa de propagación
 - 4.2.3. Etapa de terminación
 - 4.2.4. Variables que afectan el curado

- 4.3 Proceso de Moldeo
 - 4.3.1. Proceso Manual
 - 4.3.2. Moldeo por Aspersión
 - 4.3.3. Moldeo a Presión y Temperatura
 - a) Con Preforma
 - b) Con Premezcla
 - c) Con Laminado Impregnado
 - 4.3.4. Proceso de Embobinado de Filamento Continuo
 - 4.3.5. Proceso de Centrifugación
 - 4.3.6. Proceso pro Prensado en Frío (Cold Molding)
 - 4.3.7. Moldeo con Bolsa a Presión (Pressure Bag Molding)
 - 4.3.8. Proceso de Moldeo por Vacío (Vacuum Molding)
 - 4.3.9. Moldeo con Macho Elástico
 - 4.3.10. Moldeo por Extrusión
- 4.4. Propiedades del Poliéster Reforzado
 - 4.4.1. Factores que determinan las propiedades del Poliéster Reforzado
 - a) Contenido de Fibra de Vidrio
 - b) Orientación del Material de Refuerzo
 - 4.4.2. Factores que Modifican las Propiedades del Poliéster Reforzado
 - a) Temperatura
 - b) Tiempo
 - c) Medio ambiente

Capítulo V - PERSPECTIVAS DE DESARROLLO PARA EL POLIESTER REFORZADO EN MEXICO.

- 5.1 Escenario Nacional respecto al Mercado Mundial.
 - 5.5.1. Distribución de Consumo
- 5.2 Escenario del Mercado Nacional
 - 5.2.1. Capacidad Instalada
 - 5.2.2. Disponibilidad de Materia Prima
 - a) Resina Poliéster
 - b) Fibra de Vidrio
 - 5.2.3. Distribución de Consumo
- 5.3. Costos comparativos con otros materiales
 - 5.3.1. Costo Inicial
 - 5.3.2. Costo de Instalación
 - 5.3.3. Costo de Mantenimiento
 - 5.3.4. Costo de Producción
 - 5.3.5. Costo de Renovación
- 5.4. Areas de Oportunidad

CONCLUSIONES
 BIBLIOGRAFIA
 APENDICE

INTRODUCCION

Es asombroso el crecimiento que han tenido los plásticos en los últimos cuarenta años, siendo múltiples los beneficios generados para el productor, el transformador y el usuario. En la historia del plástico se han descubierto aproximadamente 1,100 diferentes tipos, siendo industrializados 125 por su factibilidad económica.

Dentro de éstos se encuentra el Poliéster Reforzado, cuyo crecimiento en nuestro país no ha sido comparable con otros países de similar situación económica. El consumo de poliéster reforzado en México es de 0.25 Kg/capita, en países del Cono Sur es de 0.50 Kg/capita mientras que en países industrializados es de 2.8 - 3.7 Kg/capita.

En cuanto al desarrollo de dicha industria en los dos últimos años, nuestro país únicamente experimentó un incremento de 0.01 Kg/capita, mientras que en los países industrializados se alcanzaron incrementos del orden de 0.66 Kg/capita.

Esta diferencia es un reflejo del potencial de desarrollo que dicha industria podría alcanzar en nuestro país.

Este trabajo tiene como objetivo primordial introducir al lector en el campo del Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, mediante la recopilación de información tanto técnica como económica, que le permita ubicarse en la situación real en la que se encuentra esta industria en nuestro país.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Hablar de los plásticos reforzados es entrar en el campo de los materiales híbridos, donde dos o más elementos se unen con el fin de aprovechar las mejores características de cada uno, eliminando algunas de sus limitaciones.

Entre estos materiales se tienen, por ejemplo, las aleaciones, donde la adición de determinados metales mejora las características del elemento básico, como en el caso del acero común, el cual se convierte en acero inoxidable al adicionar cromo y níquel, lo que mejora las propiedades de la resistencia a la corrosión. Este principio se está utilizando actualmente en los polímeros mediante la combinación de diferentes resinas.

Los materiales híbridos plásticos surgen cuando se agrega a los polímeros, agentes de refuerzo y cargas, con el fin de mejorar algunas propiedades y abatir sus costos respectivamente.

El tipo y magnitud de esfuerzos a que se verán sometidos los artículos plásticos, determinará cuál de los elementos reforzantes será el empleado. La combinación de dos o más tipos de refuerzo da origen a productos de características tales que igualan y aún superan a las de los metales.

1.1. Plásticos Reforzados

Los plásticos reforzados son materiales que se obtienen de la mezcla de una matriz polimerizable y un material reforzante que le imparten propiedades tales como:

- o Alta resistencia mecánica
- o Buenas características dieléctricas
- o Nula absorción de agua
- o Alta flexibilidad
- o Bajo peso
- o Bajo costo

Los plásticos reforzados se clasifican en termofijos o termoplásticos de acuerdo al tipo de polímero o matriz polimerizable a partir del cual son obtenidos.

Los polímeros termoplásticos tienen una temperatura de reblandecimiento inferior a su temperatura de descomposición y algunos ejemplos son:

- o Cloruro de Polivinilo
- o Polietileno
- o Poliéstireno
- o Polipropileno
- o Nylon
- o Acrilo-nitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Los polímeros termofijos no tienen temperatura de reblandecimiento, ya que sólo ocurre la descomposición al incrementar la temperatura, por lo que resultan ser infusibles, insolubles y no combustibles; algunos ejemplos de estos polímeros son:

- o Poliésteres
- o Fenólicos
- o Epóxicos

Los primeros polímeros utilizados para plásticos reforzados fueron los poliésteres insaturados del tipo formado por la policondensación de alcoholes y ácidos polifuncionales.

La propiedad de estas resinas para pasar de un estado líquido a sólido, sin la necesidad de utilizar calor y presión, es la razón de su popularidad en la fabricación de poliéster reforzado, ya que estas propiedades permiten un bajo costo y un mínimo de equipo para su elaboración.

En cuanto a los materiales de refuerzo, los que se utilizan en forma más común, son:

- o Fibra de vidrio
- o Fibra de asbesto
- o Fibra de celulosa (algodón, rayón, yute)
- o Fibras sintéticas (nylon, dacron)
- o Refuerzos especiales (fibra de carbón y grafito)

Entre estos tipos de refuerzos, el más utilizado es la fibra de vidrio, por las siguientes características:

- o Alta resistencia a la tensión
- o Alta resistencia a agentes químicos
- o Completamente incombustibles
- o Biológicamente inerte.
- o Alta resistencia a la intemperie
- o Mal conductor de calor
- o Mal conductor de sonido
- o Bajo costo
- o Alta disponibilidad

En base a las propiedades anteriores y para el propósito de esta tesis, se definirá poliéster reforzado como un plástico formado a partir de una resina poliéster reforzada con fibra de vidrio.

1.2. Historia del Poliéster Reforzado en México

La industria de los plásticos reforzados comenzó a desarrollarse en México desde 1949, debido primordialmente a dos factores: comercialización de la fibra de vidrio y el desarrollo de resinas poliéster insaturadas polimerizables a bajas presiones y temperaturas.

En la década de los treinta había en México pequeños talleres de producción de piezas de plástico reforzado, pero su desarrollo no era significativo comparado con el de otros países, tales como Estados Unidos y Alemania que aún actualmente siguen siendo los grandes emporios en la producción de plásticos.

En la década de los cuarenta, estas talleres se convirtieron en industrias más formales aunque se dependía de los polímeros que se importaban, manteniéndose esta situación hasta la década de los cincuenta en la cual se inició la producción nacional de algunas resinas básicas como los poliésteres, los polímeros fenólicos y el cloruro de polivinilo, presentándose dificultades tales como:

- o Pequeños mercados de consumo
- o Materias primas de baja calidad y alto costo
- o Falta de monómero de estireno
- o Falta de fuente productora de benceno

Con todos estos problemas surgen en México, en 1953, empresas dedicadas a la elaboración de plásticos, tales como Celanese Mexicana y Celulosa y Derivados.

En esta década surge la empresa Vitro Fibras de México, S.A., la cual comienza a comercializar materiales importados para la fabricación de poliéster reforzado, naciendo con esto industrias dedicadas a procesos de moldeo por laminado y por inmersión.

Otro factor que surge en esta década, es la fabricación nacional de anhídrido ftálico, el cual es esencial para la elaboración de resinas poliéster.

El primer productor nacional de resina poliéster fue Reichhold Química, seguido por Southern Chemicals, Industrias Químicas Synres y otros; produciendo estas empresas, ya sea materias primas básicas o resinas terminadas.

Para 1956, la empresa Vitro Fibras de México, S. A. inicia la fabricación de colchoneta a partir de vidrio embobinado de importación, con lo cual se suma otra materia prima básica en la fabricación de plástico reforzado.

En 1959 se inicia la fabricación nacional de fibra de vidrio para refuerzo.

En 1964, Pemex inicia la producción de productos básicos para la fabricación de resina poliéster como son: el tolueno y xileno.

A partir de 1967 la industria del poliéster reforzado queda firme y totalmente integrada al tener todas las materias primas básicas en disposición nacional.

CAPITULO II

RESINAS POLIESTER

2.1. Definición y Clasificación

La resina poliéster es un polimero de condensación obtenido por la reacción entre un ácido polibásico insaturado y un alcohol polihídrico a temperatura superior a los 100°C.

Dependiendo de las materias primas utilizadas para su obtención, se clasifican en:

- o Resinas poliéster ortoftálicas
- o Resinas poliéster isoftálicas
- o Resinas poliéster clorédnicas
- o Resinas poliéster bisfenólicas

En la tabla II.1 se dan las principales características de cada una de las resinas.

RESINA POLIESTER		
TIPO DE RESINA	MATERIA PRIMA A PARTIR DE LA QUE SE OBTIENE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
Ortoftálica	Anhidrido Ftálico Anhidrido Maleico Propilen-glicol Estireno	Es la más utilizada, tiene una aceptable resistencia a la flexión y a la tracción, proporciona rigidez, tiene un bajo costo de adquisición y buena reactividad
Isoftálica	Acido Isoftálico Anhidrido Maleico Propilen-glicol Estireno	Buenas características de resistencia química, mayor resistencia a la tracción y a flexión Se utilizan en un alto porcentaje en el campo de protección a la corrosión

TABLA II.1

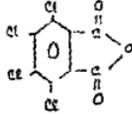
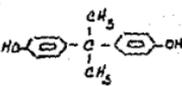
RESINA POLIESTER		
TIPO DE RESINA	MATERIA PRIMA A PARTIR DE LA QUE SE OBTIENE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
Cloróndicas	Anhídrido Tetracloroftálico 	Alta resistencia química, buena resistencia al fuego, son autoextinguibles, poseen una alta temperatura de distorsión. Tienen a dar mayor rigidez a la estructura de la resina.
	6 Acido Hexacloro endometileno tetrabidroftálico (HET)	
Bisfenólicas	Anhídrido Maléico Glicol (di o mono etilen) Estireno	Excelente resistencia química, flexibilidad y buena temperatura de distorsión, excelente resistencia al impacto. No es autoextinguible ni retardante al fuego.
	Bisfenol  Anhídrido Maléico Glicol Estireno	

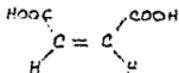
TABLA II.1 (Cont.)

2.2. Materias Primas

2.2.1 Acidos Dicarboxílicos

Los ácidos dicarboxílicos insaturados más empleados en la fabricación de resina poliéster son el ácido maléico y el ácido fumárico, y como ácidos saturados se emplean el ácido ftálico y adipico.

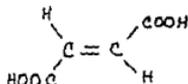
El ácido maléico es la forma cis de un ácido dicarboxílico, β insaturado de cuatro carbonos con la estructura:



Los grupos carboxilo son fácilmente esterificables, siendo posible la polimerización por adición en su doble ligadura reactiva.

La forma estable de este ácido es el anhídrido maléico, el cual se forma por un proceso de deshidratación del ácido. Físicamente este compuesto se presenta en forma de cristales blancos solubles en agua y ligeramente solubles en alcoholes.

El ácido fumárico es la forma trans del ácido dicarboxílico, β insaturado de cuatro carbonos con la estructura:



La forma trans conforma un material cristalino más estable que el ácido maléico, el cual se transforma en fumárico con la aplicación de calor o mediante el uso de catalizadores. Físicamente se presenta en forma de cristales amarillentos con poca solubilidad en alcoholes.

2.2.2 Alcoholes

Los alcoholes utilizados para la fabricación de resina poliéster, son los dihidroxialcoholes o glicoles, los cuales son capaces de formar polímeros de condensación al reaccionar los grupos hidroxilo con los ácidos dibásicos, formando así cadenas lineales.

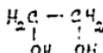
Los alcoholes saturados comunmente son usados:

- o Etilenglicol
- o Propilenglicol
- o Dietilenglicol
- o Dipropilenglicol

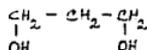
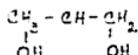
También se utilizan alcoholes insaturados para de esta forma introducir dobles ligaduras capaces de polimerizar por adición el entrecruzamiento de las cadenas lineales.

El Etilenglicol se presenta comercialmente como un líquido transparente con punto de ebullición de 197°C y es miscible en agua a cualquier proporción.

Su estructura es:



El Propilenglicol de acuerdo a su estructura, se presenta en dos isómeros según la localización de los grupos hidróxilo en la cadena:

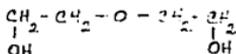


1,2 - Propanodiol

1,3 - Propanodiol

El poliéster obtenido a partir de este alcohol es cristalino y soluble en estireno. Físicamente es un líquido transparente con punto de ebullición de 189°C y es miscible en agua a cualquier proporción.

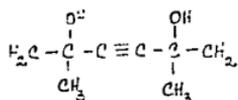
El Dietilenglicol reacciona en forma similar al etilen y propilen glicol con los dos grupos hidróxilo susceptibles de ser esterificados. El oxígeno presente en su estructura es estable, por lo que el poliéster obtenido a partir de él, tiende a ser flexible y menos cristalino que los preparados con otros alcoholes. La unión oxígeno provoca también mayor sensibilidad al agua y menor resistencia eléctrica; su estructura es:



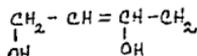
Físicamente es un líquido con punto de ebullición de 245°C y es miscible en agua y en éter.

Los alcoholes insaturados no son muy utilizados en resinas poliéster debido a su alto costo, excepto cuando se requieren propiedades especiales, como es una mayor resistencia mecánica a la flexión o

una mayor durabilidad, ya que permite un entrecruzamiento adicional al que se obtienen normalmente al usar sólo ácidos insaturados en mezcla con monómero de estireno. Los alcoholes insaturados más utilizados son:



2,3-Dimetil - Hex - 3 - in - 2,5 diol



But - 2 - en - 1,4 - diol

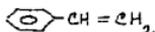
2.2.3. Agentes de Entrecruzamiento.

Son compuestos insaturados, que se utilizan para que mediante una reacción de polimerización, por adición con las dobles ligaduras en las cadenas lineales del poliéster, provoquen el entrecruzamiento entre ellas y así, de esta manera, proporcionar rigidez a la resina poliéster.

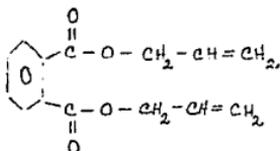
Los agentes de entrecruzamiento más utilizados son:

- o Estireno
- o Dialilftalato
- o Vinil tolueno
- o Metil - metacrilato
- o Trialilcianurato

El monómero de estireno o vinilbenceno, contiene una doble ligadura reactiva a la polimerización por adición. Es el monómero más utilizado para el entrecruzamiento de las resinas poliéster por su bajo costo, alta disponibilidad y por impartir propiedades tales como rigidez, transparencia y resistencia al envejecimiento. Físicamente se presenta en forma líquida con un punto de ebullición de 146°C y es miscible en alcoholes y éter, además de ser ligeramente soluble en agua. Su estructura es:

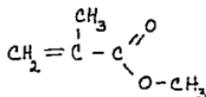


El Dialilftalato se utiliza para obtener resinas poliéster más rígidas que las que se obtienen con monómero de estireno; su estructura es:



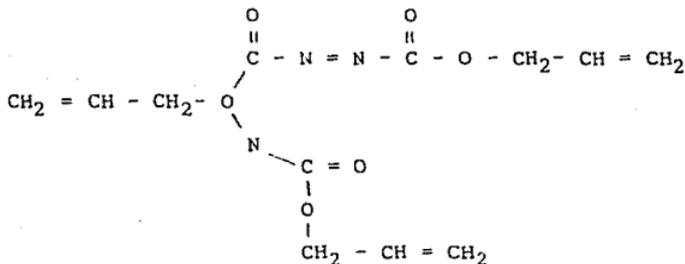
Físicamente es un líquido que se presenta comercialmente en combinación con monómero de bajo peso molecular.

El metilmetacrilato de metilo se utiliza en la fabricación de resina poliéster que requiere un alto grado de transparencia, es muy reactivo por lo que reacciona rápidamente y provee cierta flexibilidad a estas resinas; su estructura es:



Tiene bajo punto de ebullición y su costo es elevado.

El cianuro de trialilo se utiliza para mejorar la resistencia al calor de las resinas poliéster; su estructura química es:



En la tabla II.2 se muestran las principales propiedades de los monómeros usados como agentes de entrecruzamiento.

PRODUCTO	PESO MOLECULAR	TEMP. DE EBULLICION °C	REACTIVIDAD	PROPIEDADES QUE IMPARTE O MEJORA
Vinil Benceno (Estireno)	104.14	146	Buena reactividad	Compatibilidad con la resina, bajo costo, disponibilidad, imparte reactividad
Metacrilato de Metilo	100	100	Reactividad media. Se emplea combinado con el estireno.	Mejora las propiedades de intemperismo y transparencia.
Vinil Tolueno	118	170	Similar al Estireno	Baja evaporación, buen disolvente.
Ftalato de Dialilo	246	300	Se emplea combinado.	Baja evaporación, mejora resistencia al fuego y temperatura, imparte resistencia a ácidos orgánicos y álcalis.
Cianuro de Trialilo	249	-	Se emplea combinado	Imparte resistencia al fuego.

TABLA II.2

2.2.4. Disolventes

Estos compuestos se utilizan en la manufactura de la resina poliéster para formar azeótropos con el agua y de esta forma ayudar a su eliminación.

Cuando se utiliza anhídrido maléico, se diluyen los vapores corrosivos de ácido, ayudando con esto a minimizar la corrosión del equipo.

Los solventes más utilizados son los hidrocarburos cíclicos, tales como xileno y tolueno.

2.2.5. Gases Inertes

Son utilizados para prevenir oxidación y decoloración de la resina, siendo los más utilizados:

- o Dióxido de carbono
- o Nitrógeno
- o Gases de combustión.

2.2.6. Inhibidores

La solución de resinas poliéster en los distintos monómeros, originan mezclas muy reactivas, por lo que el calor, luz solar, contaminación ambiental y otros factores aceleran la reacción de polimerización, lo cual no es deseable cuando el producto se encuentra en almacenamiento.

Con el fin de estabilizar estos productos, se adicionan al mismo tiempo que se agrega el monómero, compuestos inhibidores, los cuales reaccionan con radicales libres, previniendo así la gelación en la resina. Otra función de estos compuestos es la de ayudar a la regulación del tiempo de curado cuando se adiciona el catalizador y acelerador.

Los inhibidores se clasifican en tres grupos:

- De actividad constante
- Sensibles al calor
- Inhibidores - aceleradores

Los inhibidores de actividad constante reaccionan con radicales libres durante el almacenamiento de la resina, independientemente de la temperatura, el inhibidor más usado de este tipo es la hidroquinona.

Los inhibidores sensibles al calor reaccionan con los radicales libres durante el almacenamiento de la resina, pero se descomponen a temperaturas mayores de los 70°C dependiendo de su reactividad. El más usado de estos es el terbutil catecol (CTBC).

Los inhibidores - aceleradores, reaccionan con los radicales libres de la resina, pero se descomponen en presencia del acelerador y el catalizador, actuando después como catalizadores. Los compuestos más utilizados de este tipo son las sales cuaternarias de amonio.

El oxígeno, aunque no es un inhibidor comercial, actúa como tal, ya que reacciona con los radicales libres, evitando así subsecuentes reacciones.

2.3. Proceso de Obtención

La elaboración de resina poliéster se lleva a cabo a partir de ácidos dibásicos insaturados y alcoholes polihídricos o glicoles en presencia de ácido.

El mecanismo por el que ocurre este proceso recibe el nombre de Policondensación, debido a la eliminación de agua en la reacción.

2.3.1. Manufactura

La manufactura de la resina poliéster se lleva a cabo mediante un proceso intermitente en dos pasos: en el primero, los ácidos y alcoholes reaccionan en una polimerización por condensación y forman una resina poliéster soluble; en el segundo, la resina se mezcla con el monómero vinílico adicionado para que se lleve a cabo la polimerización por adición de las dobles ligaduras en la etapa de curado.

Las figuras 2.1 y 2.2 ilustran el proceso y el equipo empleado respectivamente.

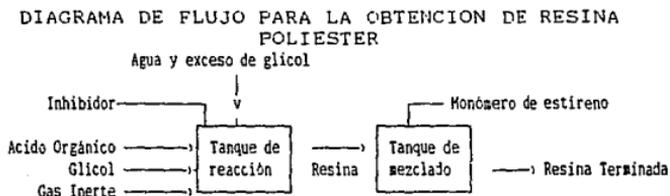


Figura 2.1

DIAGRAMA DE EQUIPO PARA OBTENCION DE RESINA POLIESTER

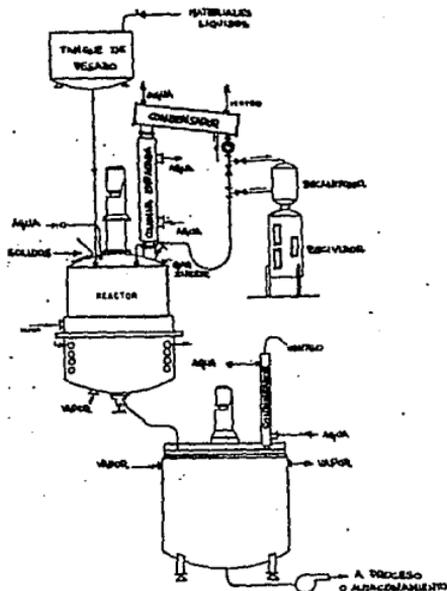


Figura 2.2

Reactor. Los reactores que se utilizan en la elaboración de resina poliéster y polímeros de condensación son de acero inoxidable tipo 304 y 316, para evitar corrosión y contaminación de las resinas. Su capacidad varía desde 5 a 25 tons/carga.

La descripción de sus partes se hace a continuación:

Entrada Hombre. Se utiliza como acceso al reactor para realizar reparaciones y limpieza, así como para adicionar las materias primas en estado sólido (ácidos dicarboxílicos) y todo aquello que sea requerido.

Sistema de Calentamiento y Enfriamiento. Este accesorio se emplea para proporcionar o quitar calor al sistema, de tal forma que la temperatura sea la óptima requerida y que la velocidad con la que se lleve a cabo el proceso sea la adecuada.

El sistema consiste de una chaqueta de calentamiento y un serpentín de enfriamiento. Es posible utilizar otros métodos de calentamiento, tales como: flama directa o resistencia eléctrica, pero en estos casos se requiere de una agitación más controlada que evite el tener puntos calientes, los cuales afectan el rendimiento y la uniformidad del producto.

Agitador. El agitador que se utiliza en estos reactores es de tipo marino y debe ser lo suficientemente potente para manejar líquidos viscosos, además de mantener una temperatura uniforme a través de la mezcla, para con esto ayudar a la remoción del agua formada y mantener los reactantes en contacto.

Línea de Gas Inerte. Esta línea se coloca en el fondo del reactor de tal forma que al burbujear el gas en la resina, evita que ésta se ponga en contacto con el oxígeno que pudiera existir, evitando de esta manera una polimerización prematura o decoloración.

Sistema de Condensación: Consiste en dos condensadores en serie: uno de reflujo y otro de condensación total. El primero tiene la finalidad de mantener los reactantes en la proporción original, condensando el glicol que es arrastrado por los vapores y recirculando este condensado al sistema. Este condensador opera a una temperatura intermedia entre el punto de ebullición del agua y del glicol. El segundo equipo, condensa los vapores que pasan a través del condensador de reflujo.

Tanque recolector. Este equipo recolecta los condensados obtenidos en la reacción y cuenta con indicador de nivel, línea de venteo para remover gases inertes y válvula de drenado de agua. Es muy importante la cantidad de agua recolectada en este equipo ya que ésta indica el avance de la reacción.

Tanque de mezclado. Este equipo tiene la función de mezclar la resina poliéster enfriada previamente en él con el agente de entrecruzamiento. Está provisto de un agitador y de enchaquetamiento para lograr su objetivo y es necesario que esté aislado térmicamente para que cuando sea difícil solubilizar la resina con el agente de entrecruzamiento, se puedan mantener las temperaturas altas que requiere este mezclado.

Instrumentación. Los instrumentos requeridas para el control de este proceso no son sofisticados, las temperaturas de reacción y del sistema de condensación se registran por medio de termopares, mientras que para medir el flujo de materiales líquidos se emplean rotámetros.

2.3.2. Descripción de proceso

Dependiendo del volumen de materia prima manejado, la pesada puede realizarse en básculas o en tanques de prepesado antes de ser adicionadas al reactor.

Los ingredientes líquidos (alcoholes) son los primeros en adicionarse al reactor y en exceso de 5-20% de la cantidad estequiométrica para compensar las pérdidas del glicol en el sistema de reflujo y asegurar un buen rendimiento de la reacción.

Manteniendo una agitación constante el sistema es llevado a una temperatura de 99°C y los ingredientes sólidos (ácidos) son adicionados gradualmente, a una temperatura menor al punto de ebullición del glicol empleado.

Los solventes (tolueno, xileno) son los siguientes en adicionarse al reactor, además de pequeñas cantidades de inhibidor para evitar una prematura gelación.

Al iniciar la reacción, se genera un gran volumen de vapor de agua, por lo que el sistema debe mantenerse en esta etapa a una temperatura menor a la temperatura de ebullición del glicol, para asegurar que éste no se evapore y llegue a ser arrastrado, evitando así un bajo rendimiento de reacción y una sobrecarga del condensador de reflujo.

El gas inerte se adiciona para prevenir decoloración o entrecruzamiento prematuro.

El sistema es después calentado gradualmente hasta 200°C, y es mantenido a esta temperatura hasta que el grado de polimerización medido por el número de ácido llega al punto deseado. Esta temperatura debe ser cuidadosamente controlada ya que la reacción de entrecruzamiento se lleva a cabo fácilmente arriba de 200°C, lo cual una vez iniciada, es casi imposible de pararla, provocando así el gelado prematuro del lote.

El curso de la reacción es monitoreado mediante la determinación de la cantidad de agua obtenida en el colector y por la toma frecuente de muestras para la evaluación del número ácido. La frecuencia de estas muestras se incrementa conforme avanza la reacción, a un número ácido determinado usualmente menor de 50, el reflujo es suspendido y todo el solvente, agua y compuestos no reaccionados, son extraídos ya sea por vacío o por inyección de gas inerte al sistema.

Cuando el grado de reacción ha sido alcanzado, el producto se enfría y se mezcla con el agente de entrecruzamiento. La temperatura de mezclado dependerá del inhibidor y del monómero empleado en el sistema.

Después del mezclado, la resina es vaciada a tambores para su embarque y almacenamiento y puede ser filtrada en ese punto para remover partículas sólidas.

Es importante mantener la resina libre del contacto con fierro, cobre y otras sustancias que pudieran catalizar, acelerar o inhibir la resina.

En la figura 2.3 se esquematizan las etapas del proceso de elaboración de la resina.

DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCION DE RESINAS POLIESTER

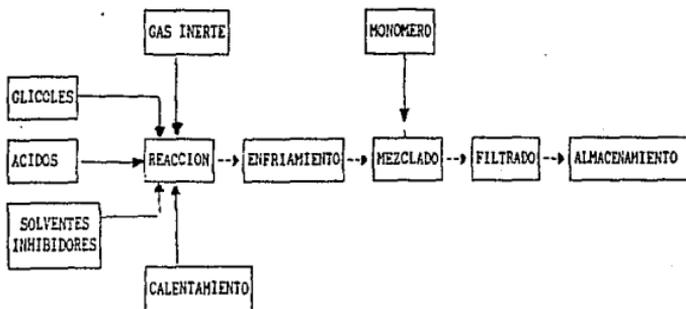


Figura 2.3

2.3.3. Control de Proceso

Como en cualquier proceso, la calidad y uniformidad del producto final, dependerá directamente de los procedimientos que se lleven a cabo en todos los puntos de su manufactura, razón por la cual se debe mantener un control estricto en la inspección de todas estas etapas, de las cuales se pueden citar:

Materias Primas. La mayoría de las materias primas cumplen especificaciones requeridas sin un extremo análisis a excepción del agente de entrecruzamiento, ya que éste requiere una inspección rigurosa para detectar posible formación de polímero. Esta prueba consiste en la evaluación del índice de refracción o detección por precipitación con solventes.

Proceso. Para obtener un producto de alta calidad, debe observarse cuidadosamente la adición de las materias primas, así como el control de las condiciones de operación.

Las evaluaciones que se llevan a cabo en esta etapa son:

Cantidad de agua removida. Esta evaluación proporciona una medida del avance de reacción, ya que hay una mol de agua removida por cada unión ácido-glicol y media mol por cada unión anhídrido-glicol formados.

Número ácido. Este valor es una medida de los grupos ácidos sin reaccionar y está por lo tanto relacionado con el peso molecular del polímero. Esta es la prueba más comúnmente usada para seguir y parar la reacción de condensación.

Viscosidad. La viscosidad aumenta directamente con el peso molecular promedio y también se utiliza para detectar la terminación de la reacción.

Producto Final. Cuando la reacción alcanza el punto final, la resina es enfriada y mezclada con el monómero y en este punto se adicionan los estabilizadores a la luz y los aceleradores.

Las evaluaciones finales dependen de las características específicas de cada resina y de los requerimientos solicitados por el comprador.

Las especificaciones de cada resina, deben contener:

- o Número ácido
- o Viscosidad
- o Gravedad específica
- o Color
- o Tiempo de gelado
- o Temperatura de gelando
- o Estabilidad sin catalizador
- o Índice de refracción

2.4 Propiedades

Las propiedades requeridas de una resina poliéster para ser utilizada en la elaboración de plásticos reforzados dependen del uso final al que vaya a ser destinado el producto deseado. Algunas resinas requieren resistencia mecánica, química, alta flexibilidad o bien, sólo valor estético.

Las propiedades dependen básicamente de la formulación utilizada y los factores que las afectan son:

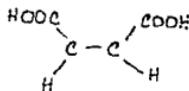
- o Componente ácido
- o Componente glicol
- o Agente de entrecruzamiento
- o Peso molecular
- o Sistema catalizador - inhibidor
- o Cargas

2.4.1. Efecto del ácido

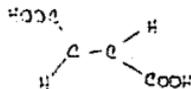
Este componente tiene entre sus propósitos, proveer la insaturación necesaria para el proceso de curado y determinar el espaciamiento entre insaturaciones.

Los ácidos más utilizados son:

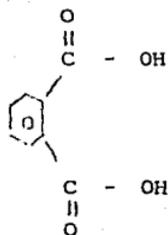
Acido Maleico



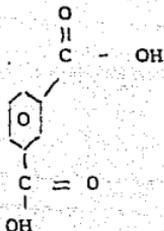
Acido Fumárico



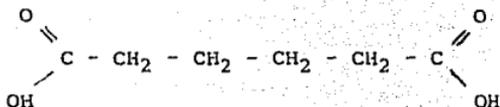
Acido Ftálico



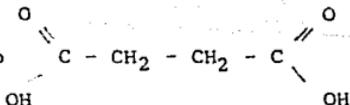
Acido Isoftálico



Acido Adípico

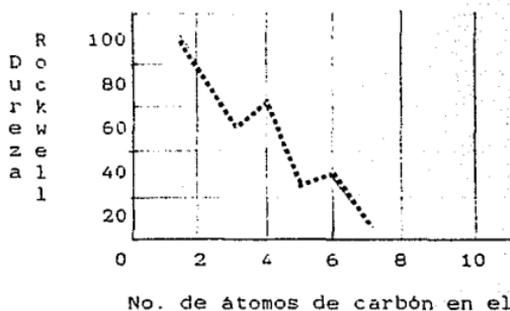


Acido Succínico



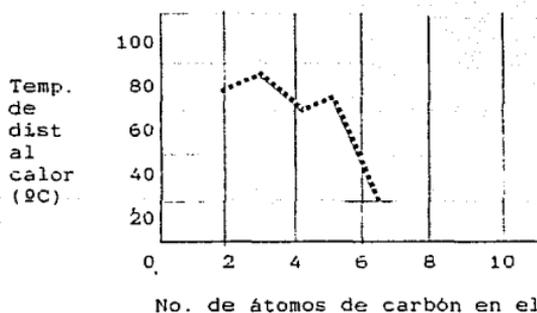
Las propiedades de dureza, temperatura de distorsión al calor y la resistencia al impacto de la resina poliéster, son afectadas de acuerdo al tipo de ácido empleado, ya que dependiendo del número de carbonos que contengan, se tendrán diferentes valores, lo cual se ilustra en las gráficas 2A, 2B, 2C.

EFFECTO DEL NUMERO DE ATOMOS DE CARBON EN ACIDO SOBRE LA DUREZA DE LAMINADOS DE RESINA POLIESTER



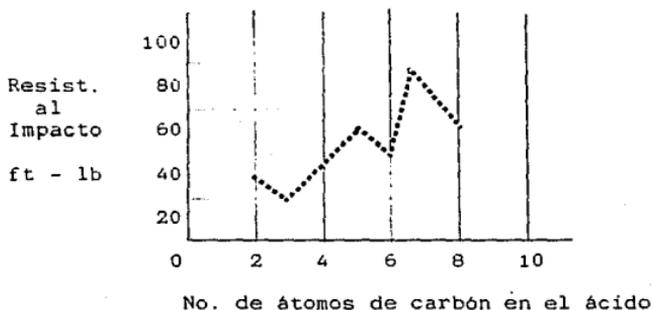
Gráfica 2A

EFFECTO DEL NUMERO DE ATOMOS DE CARBON EN ACIDO SOBRE LA TEMPERATURA DE DISTORSION AL CALOR DE LAMINAS DE RESINA POLIESTER



Gráfica 2B

EFFECTO DEL NUMERO DE ATOMOS DE CARBON EN ACIDO SOBRE
RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAMINADOS DE RESINA POLIESTER



Gráfica 2C

De las gráficas anteriores se concluye que es difícil obtener las propiedades deseadas en una resina mediante el uso de un sólo ácido, por lo que es muy común encontrar mezclas de ácidos en las formulaciones, para así obtener las propiedades óptimas al uso final que vaya a tener la resina.

Las mezclas de ácidos más utilizadas por su versatilidad son:

Acido Maléico - Acido Fumárico

Acido Adipico - Acido Ftálico

La mezcla de ácido maléico y ácido fumárico es estable a temperatura normal, pero el ácido maléico se isomeriza en ácido fumárico al someterlo a su temperatura de fusión (130°C) afectando las propiedades de la resina.

Si la mezcla es calentada hasta 230°C, el ácido fumárico se convierte en anhídrido maléico, lo que aumenta la dureza, temperatura de distorsión y disminuye la resistencia al impacto. Esto es debido a la alta reactividad del fumarato comparada con el maleato que provoca laminados de

poliéster con mayor grado de entrecruzamiento, haciendo un plástico menos flexible.

La dureza es también afectada por el componente ácido de acuerdo a los siguientes factores:

- o Reactividad del ácido
- o Longitud de cadena
- o Estructura del ácido

El tipo de ácidos que imparten mayor dureza son los aromáticos, debido a que reaccionan con mayor rapidez que los ácidos alifáticos insaturados.

En cuanto a la longitud de cadena, a medida que ésta aumenta, disminuye la dureza y viceversa.

Con respecto a la estructura, a medida que se incrementa el número de grupos colgantes en la cadena, la dureza disminuye debido a factores estéricos que disminuyen la velocidad de curado.

En la tabla II.3 se esquematiza la relación de dureza con el tipo de ácido empleado para una resina preparada en relación molar 1.1 con propilenglicol y 33% en peso de estireno.

EFECTO DEL TIPO DE ACIDO SOBRE DUREZA DE RESINAS POLIESTER	
ACIDO	DUREZA ROCKWELL M.
Ftálico	110
Isoftálico	109
Succinico	89
Adipico	57
Glutárico	52

TABLA II.3

Tensión y Flexión. Estas propiedades dependen del grado de insaturación presente en las cadenas de poliéster llegando este valor a un máximo, a un determinado índice de insaturación, lo cual se ilustra en la tabla II.4.

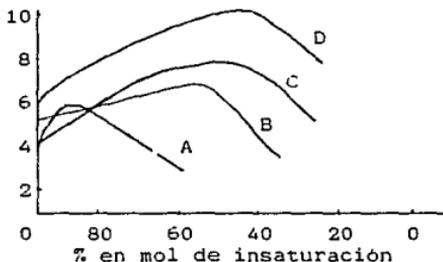
EFECTO DEL GRADO DE INSATURACION SOBRE RESISTENCIA A FLEXION DE RESINAS POLIESTER					
COMPOSICION DEL POLIESTER	Resistencia a flexión (PSI x 10 ⁻²) mole% insaturación				
	20	40	60	80	100
Anhidrido Maléico-A Ftálico Propilenglicol	6	17	17	15	13
Anhidrido Maléico-A Tereftálico Propilenglicol		14	17	15	13
Anhidrido Maléico-A Isoftálico Propilenglicol	14	14	17	15	13

TABLA II. 4

De la tabla II.4 se concluye que la resistencia a la flexión tiende a alcanzar un máximo entre el 40 y 60% de insaturación.

Con respecto al módulo de tensión, las resinas flexibles alcanzan su máximo valor a porcentajes de insaturaciones mayores a los que se alcanzan con resinas rígidas, lo cual se ilustra en la Gráfica 2D.

EFECTO DEL GRADO DE INSATURACION DEL ACIDO SOBRE EL MODULO DE FLEXION



- A. Flexible (Anh. Maléico-A Adipico-Propilenglicol)
 B. Rígida. (A. Fumárico-A. Ftálico-Dietilenglicol)
 C. Rígida. (A. Fumárico-A. Ftálica-Propilenglicol)

Gráfica 2D

Resistencia a la Compresion. La resistencia a la compresion de poliésteres rígidos varia entre 15,000 y 30,000 psi propiedad que esta en funcion del tipo del ácido empleado, siendo las resinas obtenidas con ácidos alifáticos saturados, las que menor resistencia tienen y las obtenidas con ácido fumarico en combinacion con maleico o ftálico las de mayor resistencia, ya que pueden alcanzar valores de 32,100 psi.

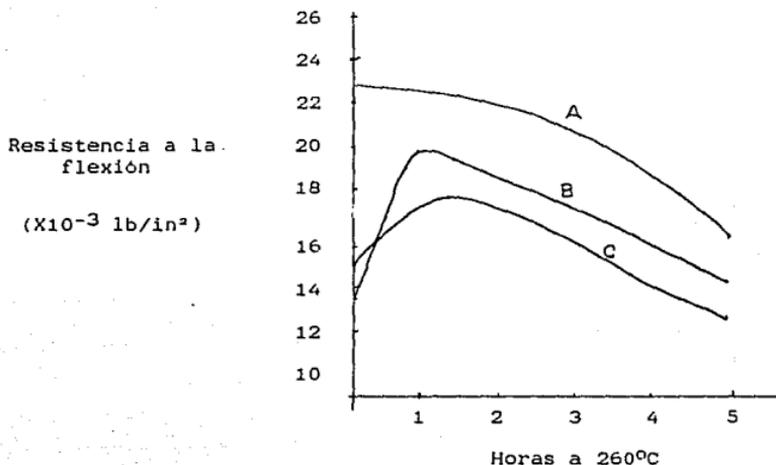
Resistencia al Impacto. Esta propiedad no esta muy relacionada con el tipo de ácido y varia con la longitud de la cadena, de tal forma que a mayor longitud, mayor resistencia al impacto y viceversa, como se ilustra en la tabla II.5

EFECTO DEL TIPO DE ACIDO SOBRE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAMINADOS DE RESINAS POLIESTER	
ACIDO	RESISTENCIA AL IMPACTO (ft - lb)
Azelaico	11
Sebásico	9
Pimélico	5.1
Isosebásico	3.7
Adipico	3.2
Succinico	2.7
Ftálico	2.0
Glutárico	1.8
Isoftálico	1.7

TABLA II.5

Resistencia al calor. La resistencia al calor depende básicamente de la insaturación del polímero, ya que cuando ésta es removida de las cadenas de poliéster la resistencia a deterioración por calor se incrementa. El efecto de varios ácidos insaturados sobre la resistencia a la flexión de laminados a una temperatura dada en un lapso de tiempo se muestra en la gráfica 2E.

EFFECTO DEL TIPO DE ACIDO SOBRE RESISTENCIA AL CALOR DE LAMINADOS DE RESINA POLIESTER



- A. Acido Fumárico
- B. Acido Itacónico
- C. Acido Maléico

Gráfica 2E

Resistencia Química. Esta propiedad está afectada significativamente por la absorción de agua que tenga el poliéster. Como regla general a mayor longitud de cadena ácida menor absorción de agua, lo cual es debido a la concentración de grupos ester polares a lo largo de estas cadenas. De la misma manera los poliésteres preparados a partir de ácidos aromáticos presentan poca absorción de agua. Pruebas con diversos poliésteres han demostrado que los que se preparan a partir de ácido isoftálico tienen alta resistencia al ataque químico.

2.4.2 Efecto del Glicol.

Los glicoles usados en la elaboración de resina poliéster, juegan un papel muy importante en las propiedades del producto y afectan principalmente a la rigidez y flexibilidad de la resina.

El propilenglicol es el componente más usado, ya que es un material de bajo costo que imparte excelentes propiedades físicas y químicas. El poliéster así obtenido puede ser modificado para

dar un rango amplio de propiedades adicionando algún componente. Así por ejemplo, es posible impartir una alta flexibilidad de poliéster obtenido con propilenglicol adicionando otros glicoles tales como el dietilenglicol, trietilenglicol o glicoles de larga cadena.

A continuación se analizan algunas propiedades y el efecto del glicol en cada una de ellas.

Dureza. El propilenglicol y dietilenglicol se utilizan para optimizar la dureza de la resina, ya que cuando aumenta el contenido de propilenglicol aumenta la dureza. Sin embargo, esto puede afectar a la resistencia, a la flexión y tensión para lo cual se utiliza el dietilenglicol que equilibra estas propiedades, ya que a un mayor número de uniones éter presentes en la cadena del poliéster disminuye la dureza.

Resistencia a la Flexión y Tensión. El uso de dietilenglicol ocasiona altos valores de resistencia a la flexión y tensión al igual que el uso de alcoholes trifuncionales y disminuye conforme aumenta el número de oxígeno éter. Sin embargo, esta propiedad varía en mayor grado con el contenido del monómero de estireno.

Resistencia al Impacto. La resistencia al impacto se incrementa al usar dioles de cadena larga, alcanzando un máximo cuando se utilizan glicoles no ramificados. En la tabla II.6 se muestra el efecto de diferentes glicoles sobre la resistencia al impacto.

EFECTO DEL TIPO DE GLICOL SOBRE RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAMINADOS DE RESINAS POLIESTER		
GLICOL		RESISTENCIA AL IMPACTO (ft lb/in)
1.5	Pentanodiol	11.2
1.3	Butanodiol	5.7
1.4	Butanodiol	3.7
	Dipropilenglicol	3.7
1.5	Pentanodiol	3.4
1.2	Propanodiol	2.5
2.3	Butanodiol	1.9

TABLA II.6

Resistencia Química La resistencia química de resinas poliéster se obtiene por medio de la

sustitución parcial del propilen o dietilenglicol por dioles ciclicos como bisfenol hidrogenado o ciclohexanodiol.

Absorción de Agua. La absorción de agua en el poliéster depende de las uniones éter, los grupos colgantes y las cadenas largas de glicol, dicha influencia se ilustra en la tabla II.7.

EFECTO DEL TIPO DE GLICOL SOBRE ABSORCION DE AGUA DE RESINA POLIESTER			
Tipo de Glicol	% de Absorción de Agua		
	Ftalico Maleico	Succinico Maleico	Adipico Maleico
Dietilenglicol	2.6	7.5	-
Dipropilenglicol	1.0	2.5	1.8
1,5 Pentanodiol	0.8	1.3	0.6
1,3 Butanodiol	0.6	1.8	1.5
Propilenglicol	0.25	1.4	1.6
Etilenglicol	0.15	-	-

TABLA II.7

El uso de glicoles que contienen anillos aromáticos, estructuras ciclicas o tioéteres, imparten una alta resistencia al agua.

La sensibilidad al agua de las resinas curadas también depende de la cantidad relativa de grupos terminales hidróxilo o carboxilo. Los grupos hidróxilo tienen una mayor tendencia a la hidrolización que los grupos carboxilo.

Temperatura de distorsión al calor. Esta propiedad se ve incrementada por la presencia de grupos metilo colgantes en la cadena, mientras que ésta disminuye con la presencia de oxígeno éter. Los productos alifáticos tienen una menor temperatura de distorsión que los aromáticos.

2.4.3. Efecto del Monómero de Estireno.

El monómero más empleado en la formulación de resinas poliéster es el estireno, debido a su bajo costo y a su facilidad de copolimerización por adición con las cadenas del poliéster.

El efecto del monómero de estireno sobre las propiedades de resina poliéster se menciona a

continuación.

Dureza. La dureza de las resinas poliésteres aumenta cuando se incrementa el grado de entrecruzamiento, el cual varía directamente con el contenido de estireno.

Resistencia a la flexión. Esta propiedad disminuye al incrementar la concentración de estireno. Cuando la resina tiene un bajo grado de insaturación, este efecto es inverso.

Resistencia a la tensión. Esta se incrementa al aumentar la concentración de estireno en la resina, excepto cuando la resina contiene un exceso de insaturaciones en cuyo caso el efecto es inverso.

Resistencia a la rotura. Esta propiedad se incrementa al aumentar la concentración de estireno, excepción hecha para resinas de bajo peso molecular.

Resistencia química. Depende del contenido de estireno, ya que un poliéster entrecruzado teóricamente en todas sus insaturaciones tiene la mayor resistencia al ataque químico y a la penetración de solventes.

Absorción de agua. Disminuye al aumentar el grado de entrecruzamiento y por lo tanto la concentración de estireno.

En la Tabla II.8 se muestran los efectos principales de los componentes básicos de una resina poliéster sobre sus propiedades, y en la Tabla II.9 se muestra un resumen de propiedades para una resina poliéster de uso común.

EFFECTO DE COMPONENTES DE RESINAS POLIESTER SOBRE SUS PROPIEDADES

PROPIEDAD	EFFECTO DEL ACIDO	EFFECTO DEL ALCOHOL	EFFECTO DEL ESTIRENO
Dureza	Aumenta con el uso de ácidos aromáticos. Aumenta con el uso de ácidos de cadena corta. Aumenta al existir menor cantidad de grupos colgantes en el ácido. Disminuye al usar ácidos insaturados (maleico).	Aumenta conforme aumenta la cantidad de propilenglicol. Aumenta con el uso de glicoles aromáticos. Aumenta a menor número de uniones éter en el glicol	Aumenta a mayor cantidad de estireno.

TABLA II.8

EFFECTO DE COMPONENTES DE RESINAS POLIESTER SOBRE SUS PROPIEDADES

PROPIEDAD	EFFECTO DEL ACIDO	EFFECTO DEL ALCOHOL	EFFECTO DEL ESTIRENO
Resistencia a la Flexión	Llega a un máximo al aumentar el grado de insaturación.	Aumenta conforme disminuye el número de oxígenos éter. Aumenta con el uso de glicoles trifuncionales.	Aumenta a menor concentración de estireno.
Resistencia a la tensión	Aumenta al agregar ácido isoftálico.	Aumenta con el uso de glicoles trifuncionales.	Aumenta al aumentar la concentración de estireno.
Resistencia a la compresión	Aumenta al utilizar ácido fumárico. Disminuye al usar ácidos alifáticos saturados.	Aumenta al utilizar glicoles cíclicos.	-----
Resistencia a la rotura	-----	-----	Aumenta al aumentar la concentración de estireno.
Resistencia química	Aumenta al utilizar ácido isoftálico.	Aumenta al usar dioles cíclicos (bisfenol).	Aumenta al aumentar el contenido de estireno.
Resistencia al Impacto	Aumenta al aumentar la long. de la cadena del ácido.	Aumenta al utilizar glicoles no ramificados de cadena larga	Aumenta al aumentar el contenido de estireno.
		Aumenta con el uso de dioles de cadena larga.	

TABLA II.8
(Cont.)

EFECTO DE COMPONENTES DE RESINAS POLIESTER SOBRE SUS PROPIEDADES			
PROPIEDAD	EFECTO DEL ACIDO	EFECTO DEL ALCOHOL	EFECTO DEL ESTIRENO
Absorción H ₂ O	Aumenta con el uso de ácido isoftálico.	<p>Aumenta al usar glicoles con uniones éter.</p> <p>Aumenta al usar glicoles conteniendo grupos colgantes.</p> <p>Aumenta al usar glicoles de cadena larga.</p> <p>Aumenta con el uso de glicoles con grupos terminales hidróxido.</p> <p>Disminuye con el uso de glicoles aromáticos con estructura ciclica o tióteres.</p>	Aumenta a menor cantidad de estireno.
Resistencia al calor	Aumenta al tener un menor grado de insaturación.	<p>Aumenta al usar glicoles conteniendo grupos metilo colgantes.</p> <p>Aumenta al usar glicoles aromáticos.</p>	

TABLA II.8
(Cont.)

PROPIEDADES DE UNA RESINA POLIESTER COMUN	
Gravedad específica, gr/cm ³	1.25 - 1.26
Encogimiento %	6 - 10
Temperatura de Deformación °C	120°C
Propiedades mecánicas	Elevadas
Absorción de agua, %	0.15 - 0.25
Particularidad	Buenas propiedades dieléctricas

TABLA II.9

CAPITULO III.

MATERIALES DE REFUERZO

3.1 Definición y Clasificación.

Los materiales de refuerzo generalmente son en forma fibrosa, y se adicionan a resinas plásticas, para de esta manera formar plásticos reforzados de alta resistencia física y mecánica.

Los materiales de refuerzo se clasifican en:

Naturales	[Orgánicos - algodón, rayón
		Inorgánicos - asbesto
Sintéticos	[Orgánicos - nylon
		Inorgánicos - fibra de vidrio

Por sus propiedades, el asbesto y la fibra de vidrio son los materiales de refuerzo más empleados.

3.2 Fibra de Vidrio.

El vidrio es un producto inorgánico de fusión, el cual se enfría a una condición rígida sin que ocurra una cristalización, lo que le confiere sus propiedades de transparencia debido a su bajo índice de refracción, similar al del medio ambiente y a que está formado por una masa uniforme y no por un conjunto cristalino.

De acuerdo a su composición, el vidrio se clasifica en seis tipos y los de uso principal en la fabricación de fibra de vidrio se ilustran en la tabla III.1.

COMPOSICION DE TIPOS DE VIDRIO MAS UTILIZADOS			
TIPO DE OXIDO	COMPOSICION EN % EN PESO		
	TIPO A	TIPO C	TIPO E
SiO ₂	72.5	60.0	52.5
Al ₂ O ₃	1.5	5.0	14.4
CaO	12.5	18.0	21.8
MgO		7.0	10.5
B ₂ O ₃		7.0	10.5
Na ₂ O	13.5	10.0	0.8
	-----	-----	-----
	100.0	100.0	100.0

TABLA III.1

Cada uno de estos tipos de vidrio presentan propiedades específicas que los distinguen, mismas que se mencionan en la tabla III.2

PROPIEDADES GENERALES DE TIPOS DE VIDRIO	
TIPO DE VIDRIO	PROPIEDADES
A	Alta absorción de humedad
E	Baja absorción de humedad
C	Alta resistencia química
S	Alta resistencia a la tensión
K	Alta resistencia a los álcalis
AR	Alta resistencia a los álcalis

TABLA III.2

La fibra de vidrio, además de clasificarse de acuerdo al tipo de vidrio de que sea obtenida, se clasifica de acuerdo a su longitud, entre las cuales se tienen:

- o Fibra Corta
- o Fibra Continua

La de mayor uso es la fibra continua, ya que durante su aplicación puede ser cortada, molida, tejida, etc.

3.2.1 Proceso de Obtención de Fibra de Vidrio.

La elaboración de fibra de vidrio involucra un proceso mecánico muy simple, que de acuerdo al producto obtenido se clasifica en:

- o Fibra continua (por fusión directa)
- o Fibra para velos o filtros
- o Fibra corta para refuerzo

Los procesos utilizan el mismo principio y varían solo en la presentación del producto.

3.2.2 Descripción del Proceso.

La fabricación de la fibra de vidrio consiste en los siguientes pasos:

- o Formulación de la fibra de vidrio de acuerdo a las propiedades requeridas
- o Homogenización y mezclado mecánico de los componentes
- o Fundición de componentes
- o Extrusión del vidrio obtenido
- o Aplicación de agentes de acoplamiento (apresto)
- o Almacenamiento de fibra

En la figura 3.1 se ilustra el proceso de fabricación de fibra continua para refuerzo obtenida por fusión directa, el cual es el sistema empleado en México.

PROCESO DE FABRICACION DE FIBRA CONTINUA PARA REFUERZO POR EL SISTEMA DE FUSION DIRECTA

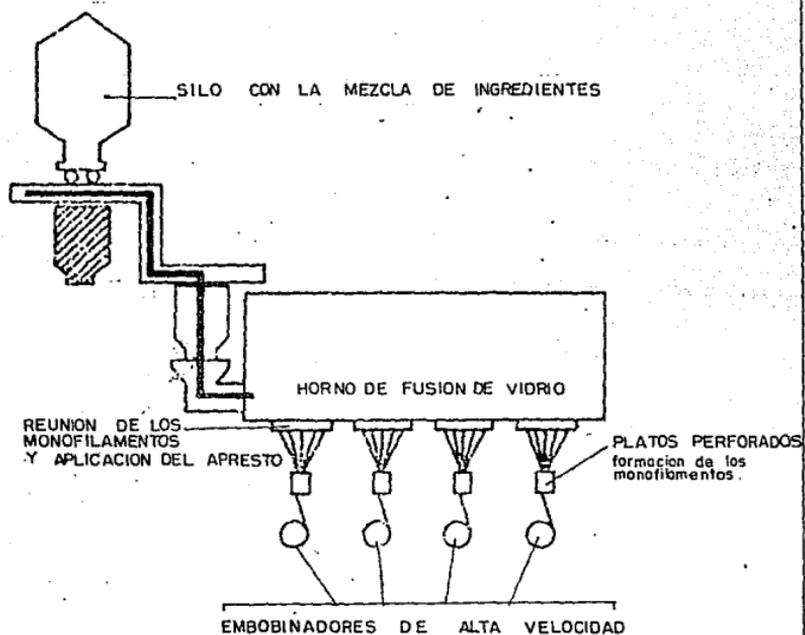


Figura 3.1

La formulación del vidrio se escoge de acuerdo a las propiedades requeridas del mismo, variando entre los tipos A, C, E, S, K, AR, etc.

La homogenización de los componentes se hace directamente en el silo de almacenamiento y la fundición en hornos de tipo eléctrico. La extrusión tiene la finalidad de convertir el vidrio fundido en masa a pequeños filamentos o fibras mediante un proceso de flujo a presión en platos perforados, por los cuales se obliga a fluir al vidrio fundido en masa.

El agente de acoplamiento también conocido como apresto, tiene la función de proporcionar las siguientes propiedades a la fibra:

- . Resistencia al doblado, torcido, tejido, etc.
- . Hacer un puente de enlace entre fibra y resina poliéster para transmitir las propiedades mecánicas y físicas del vidrio a la mezcla obtenida o plástico reforzado.

Los compuestos usados comunmente como aprestos son los silanos, de los cuales se dan algunos ejemplos en la Tabla III.3.

A P R E S T O S		
NOMBRE	COMPOSICION	POLIMERO PARA EL CUAL SE RECOMIENDA
Viniltrimetoxisilano	$\text{CH}_2=\text{CH Si}(\text{OCH}_3)_3$	Poliéster
Viniltriclorosilano	$\text{CH}_2=\text{CH Si Cl}_3$	Poliéster
Feniltrietoxisilano	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	Poliéster

TABLA III.3

Se pueden adicionar al apresto otros componentes para mejorar sus propiedades, entre los que se tienen:

- . Polímeros formadores de película (acetato de polivinilo), el cual mejora la cohesión.
- . Plastificantes - Los que modifican la rigidez.
- . Lubrificantes que facilitan el vaciado.
- . Agentes antiestáticos.

La fibra de vidrio se almacena en bobinas. Después de lo cual se pueden cortar, tejer, colorear, etc.

3.2.3 Propiedades.

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio se deben a la extremada finura de los mono-filamentos que lo constituyen y al proceso mediante el cual son obtenidos, ya que los cambios bruscos de velocidad y temperatura que sufre el vidrio fundido al pasar a través de los orificios del equipo de extrusión aumenta su velocidad unas 200 veces y cambia su temperatura bruscamente de 1400°C hasta 100°C. Esto causa que la fibra reduzca su tamaño entre 40,000 y 50,000 veces el tamaño del orificio (2mm de diámetro).

Las propiedades, ventajas y desventajas de las fibras de vidrio, de acuerdo a su tipo se dan en la tabla III.4.

PROPIEDADES DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO						
TIPO DE FIBRA DE VIDRIO	GRAVEDAD ESPECIFICA g/cm ³	TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO °C	RESISTENCIA A TENSION (PSI x 10 ³)	MODULO DE YOUNG (PSI x 10 ⁶)	VENTAJAS	DESVENTAJAS
A	2.45-2.49	720 - 730	440 -479	10.5 -11	Economía	Alto contenido alcalino Alta absorción de humedad
C	2.48-2.49	690	420 -540	10 -10.5	Alta resistencia química	Alto costo
E	2.54-2.56	750 - 800	400 -540	10.5 -11	Excelentes prop. eléctricas. Resistencia química Resistencia mecánica Índice de refracción similar al poliéster	---

TABLA III.4

En esta tabla se observa que las mejores propiedades de los vidrios utilizados para elaborar fibras, las tienen el vidrio tipo E por lo que éste es el que más se utiliza para reforzamiento.

En la tabla III.5 se muestran las propiedades de este tipo de vidrio.

PROPIEDADES DE FIBRA DE VIDRIO TIPO E	
- Tensión de Monofilamento recién formado	65,000 Kg/cm ²
- Resistencia a la tensión de diseño	7,000 Kg/cm ²
- Módulo de elasticidad a la tensión	35,000 Kg/cm ²
- Peso específico	2.54
- Absorción de humedad	Hasta 0.3%
- Tenacidad (hilo seco)	54 - 66 g/TEX 6 - 7.3 g/den
- Tenacidad (hilo mojado)	35-42.3 g/TEX 3.9-4.7 g/den
- Relación de Poisson	0.22
- Histéresis	Ninguna
- % Elongación a ruptura	3 - 4
- Recuperación elástica	100%
- Coeficiente de expansión lineal	5.04 x 10 ⁻⁶ cm °C
- Coeficiente de conductividad térmica	3.5 cal/hr cm ² °C
- Calor específico	0.19 cal/gr °C
- Punto de ablandamiento	800°C
- Constante dieléctrica a 22°C y 10 ³ ciclos (Hertz)	6.42
- Constante dieléctrica a 22°C y 10 ¹⁰ ciclos (Hertz)	6.11
- Factor de poder a 22°C y 10 ³ ciclos (Hertz)	0.0042
- Factor de poder a 22°C y 10 ¹⁰ ciclos (Hertz)	0.0060
- Índice de refracción	1.549

TABLA III.5

La resistencia a la tensión del monofilamento con respecto a la de una fibra, siempre es mayor debido a que los monofilamentos son sometidos a desgaste mecánico durante el proceso de obtención del hilo o conjunto de monofilamentos.

Las propiedades que la fibra de vidrio transmite a la matriz polimerizable son:

- o Estabilidad dimensional
- o Resistencia química
- o Buenas propiedades dieléctricas
- o Alta tenacidad
- o Histéresis mínima
- o Por ciento de elongación de ruptura
- o Coeficiente de expansión lineal
- o Buena conductividad térmica

3.2.4 Presentación Comercial de la Fibra de Vidrio.

La fibra de vidrio continua se encuentra comercialmente en diferentes presentaciones, variando de acuerdo a éstas, el efecto de reforzamiento.

Las presentaciones más comunes son:

- o Hilo cortado
- o Mecha (hilo en bobina)
- o Fieltro (colchoneta)
- o Petatillo (hilo tejido)

Hilo Cortado. El hilo cortado consiste de un cabo formado por filamentos que han sido fragmentados a longitudes determinadas entre las que se encuentran las mostradas en la tabla III.6

LONGITUDES ESTANDAR DE HILO DE FIBRA DE
VIDRIO CORTADO

FULGADAS

1/4

1/2

1

2

TABLA III.6

La acción reforzante que transmite este material a la matriz polimerizable es de tipo multidireccional.

El hilo cortado interviene en la fabricación de premezclas de todo tipo procesadas en prensa con dado metálico a alta presión y temperatura. Ejemplos de piezas fabricadas por este sistema son: sillas, muebles en general, partes automotrices, partes eléctricas, cascos de seguridad, etc.

La figura 3.2 corresponde al hilo cortado.

HILO CORTADO

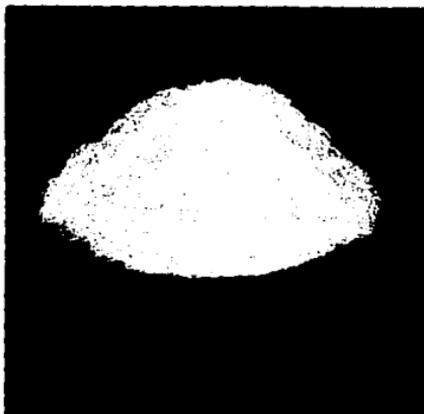


Figura 3.2

Mecha en Bobina. La mecha es un conjunto de 30 a 60 hilos entrelazados y de longitud indefinida, la cual se fabrica en diferentes tipos de acuerdo a la forma de union de los hilos, ya sea en forma paralela o en forma de embobinado continuo (helicoidal). La accion reforzante obtenida mediante este material puede ser unidireccional o multidireccional.

En la figura 3.3 se muestra la mecha en bobina.

MECHA EN BOBINA

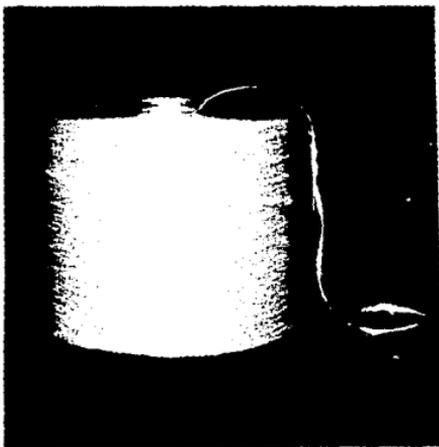


Figura 3.3

Este material reforzante se utiliza en sistemas de moldeo abierto, entre los cuales el mas comùn es el de espreado y otros procesos que utilizan mecha son el de extrusiòn con tiraje forzado y el de moldeo cerrado o de doble molde. Ejemplos de piezas fabricadas con este tipo de reforzante son herramientas para manejo de lineas electricas, garrochas deportivas, cañas de pescar, tanques, tuberias, etc.

La mecha con refuerzo multidireccional se utiliza para la fabricacion de cualquier pieza que no sea de area pequena, y cuyo volumen a producir sea de consideracion, ademàs en donde el espesor no sea critico como es el caso de partes de autobuses, domos, tanques y muebles.

Fieltro o Colchoneta. Este material reforzante es un conjunto de hilos cortados y aglutinados en forma de hoja presentada en forma de rollos. Los hilos que lo conforman tienen una longitud promedio de 5 cms. y el tipo de reforzamiento obtenido con este material es multidireccional.

En la figura 3.4 se ilustra el fieltro.

FIELTRO

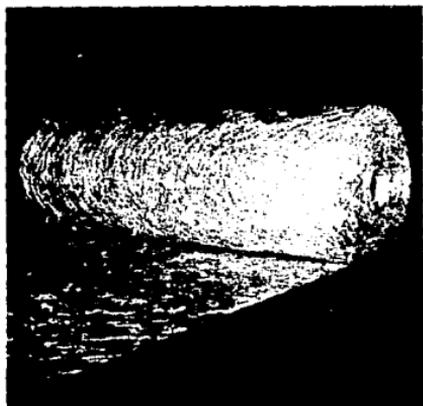


Figura 3.4

El uso mas comun del fieltro es el de elemento de reforzamiento para la fabricacion de laminas planas y acanaladas, embarcaciones marinas, muebles y juguetes.

El proceso en el que mas se utiliza es el de impregnacion manual, empleando el sistema de moldeado abierto.

Petatillo. El petatillo es una tela tejida con mecha de hilos continuos paralelos, lo cual provoca un efecto de reforzamiento bidireccional.

En la figura 3.5 se ilustra la forma de petatillo.

PETATILLO

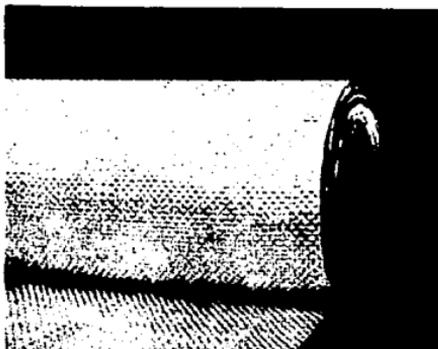


Figura 3.5

El petatillo se utiliza básicamente en los procesos de impregnación manual con molde abierto y los artículos más comunes que se fabrican con este reforzante son las embarcaciones marinas, partes de carrocerías automotrices y tanques de alto volumen.

En la tabla III.7 se ilustran los procesos, orientación de fibra y aplicaciones en las que normalmente se utilizan los diversos tipos de fibra.

PROCESOS QUE UTILIZAN FIBRA CONTINUA			
TIPO DE FIBRA DE VIDRIO	MATERIAL AL QUE REFUERZA	PROCESO Y ORIENTACION DE LA FIBRA EN LA PIEZA	ARTICULO FINAL
Hilo Cortado	Poliéster Epóxicos Termofijos	Premezclas en forma de masillas o laminados para alimentar en prensa caliente de alta presión (Acabado por todos los lados). Refuerzo multiorientado.	Articulos varios de plástico
Hilo Molido	Termofijos	Colados simples y otros sistemas. La fibra constituye aqui una carga reforzante. Refuerzo multidireccional.	Articulos varios de plástico.
Roving	Resina Poliéster	Obtencion de preformas aglutinadas para alimentar prensas calientes y a temperatura ambiente. La fibra cortada por la máquina queda multiorientada.	Articulos acabados por ambos lados.
Fetatillo	Resina Poliéster	Moldeo manual (picado). Acabado de un lado. Refuerzo biorientado.	Moldes, embarcaciones, carrocerias, tanques, piezas de gran tamaño
	Resina fenólica	Moldeo especial	Refuerzo de discos abrasivos
Fieltro (Colchoneta)	Resina Poliéster y Epóxica	Moldeo manual (picado). Acabados de un lado. Refuerzo multiorientado.	Articulos varios de plástico
	Resina Poliéster	Moldeo con prensa a temperatura ambiente o con calentamiento. Acabado por todos lados. Refuerzo multidireccional.	Articulos varios de plástico
	Resina Poliéster	Moldeo rotacional. Acabado exterior. Refuerzo multidireccional.	Tubos y tanques

TABLA III.7

PROCESOS QUE UTILIZAN FIBRA CONTINUA			
TIPO DE FIBRA DE VORIO	MATERIAL AL QUE REFUERZA	PROCESO Y ORIENTACION DE LA FIBRA EN LA PIEZA	ARTICULO FINAL
Hilo Torcido	----	Diversos: Refuerzo uniorientado Refuerzo multiorientado Refuerzo biorientado (telas).	Forro conductores eléctricos, cuerdas de llantas, refuerzo papel engozado y cintas celulósicas, refuerzo de mallas impermeables, mallas de mosquitero, sacos, trajes de protección
Roving	Resina Poliéster	Aspersión con pistola (acabados de un lado). La fibra cortada por la pistola tiene refuerzo multidireccional.	Artículos varios de plástico.
	Resina Poliéster y Epóxica	Embobinado de filamentos acabado interior. Refuerzo biorientado si se toman dos vueltas en ciego.	Cuerpos de revolución (cilindros, conos, esferas, tanques y tuberías).
	Resina Poliéster y Epóxica	Extrusión con tiraje (acabados por todos lados). Fibra uniorientada o en orientación combinada.	Elementos de acción constante (perfiles sólidos y huecos).
	Resina Poliéster y Acrilica	Formación continua de lámina (roving cortado), la fibra cortada por la máquina queda multiorientada.	Láminas acanaladas translúcidas.
Filtro	Resina Poliéster	Sistema RTM (Transferencia de resina y molde cerrado y cargado con colchoneta). Acabado por todos lados. Refuerzo Multidireccional.	Artículos varios.

TABLA III.7 (CONT.)

3.3 Fibra de Asbesto.

El nombre de fibra de asbesto se le da a un conjunto de silicatos fibrosos que pueden ser de origen mineral o natural.

La clasificación del asbesto se hace de acuerdo a su composición química y se describe en la tabla III.8

CLASIFICACION DE ASBESTOS	
Crisotilo (blanco)	$3\text{MgO}, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$
Anfibolico	Amosito ($3.5 \text{FeO}, 1.5 \text{MgO}, 8 \text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$) Tremolito ($2\text{CaO}, 5\text{MgO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$) Antofilito ($7\text{MgO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$) Actinolito ($2\text{CaO}, 4\text{MgO}, \text{FeO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$) Crosidolito (Azul) $\text{Na}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{FeO}, 8\text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$

TABLA III.8

Los tipos de asbesto mas utilizados para reforzamiento son el amosito, crosidolito y crisotilo.

3.3.1 Procesos de obtención.

Los asbestos se obtienen de yacimientos naturales, siendo en el caso del asbesto crisotilo, minas abiertas o superficiales, y en caso del anfibolito, minas profundas.

Una vez extraido el asbesto del yacimiento, es triturado en molinos, lavado y separado de la roca inerte. El asbesto triturado, lavado y seleccionado se somete después a un proceso de mayor trituramiento y los fragmentos de fibra y roca se separan mediante mallas ondulatorias, después de lo cual se desmenuza la fibra y se almacena en sacos impermeables.

El asbesto es una fibra que fue muy utilizada, pero poco a poco ha ido perdiendo mercado debido a que presenta problemas de toxicidad en cuanto a que provoca efisema pulmonar y a que sus propiedades mecánicas son menores que las de fibra de vidrio, por ser el asbesto un material cristalino.

3.3.2 Propiedades.

Las propiedades de la fibra de asbesto estan determinadas por su composición química y su origen, ya que al contrario de la fibra de vidrio, la longitud de la fibra de asbesto depende del yacimiento de origen.

En la tabla III.9 se dan las propiedades de los asbestos utilizados como refuerzo para plásticos.

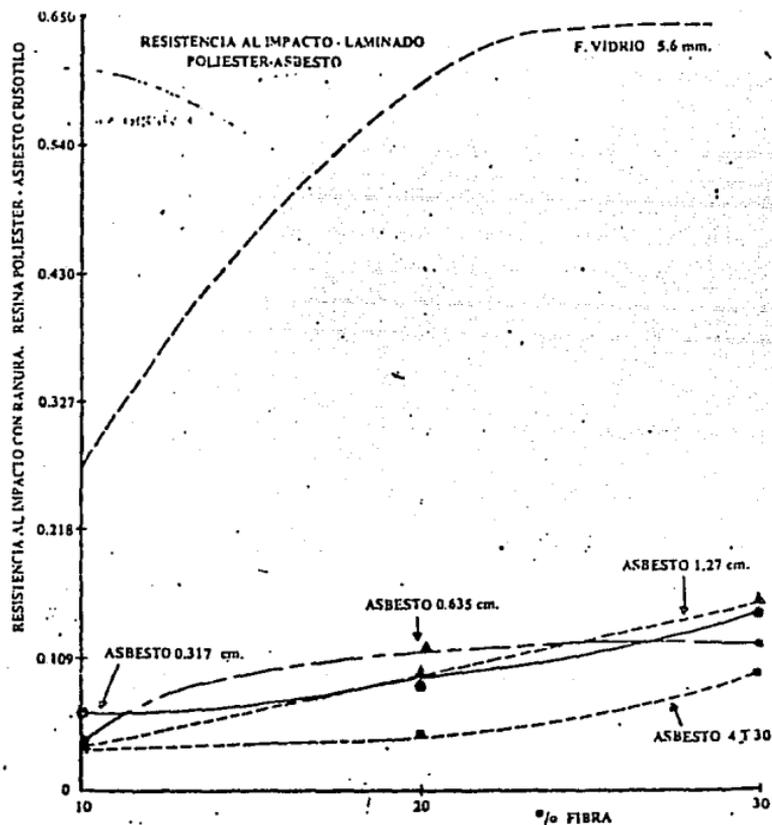
En cuanto a las propiedades de resistencia mecánica, resistencia al impacto y resistencia a la flexión, se ilustran en las gráficas 3A, 3B y 3C respectivamente, y en forma comparativa con fibra de vidrio a diferentes porcentajes de fibra.

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE ASBESTOS MINERALES

PROPIEDAD	AMOSITO	CROSIDOLITO	CRISOTILO
Color	Gris	Azul	Blanco
Long. Fibra Natural (mm)	3 - 70	3 - 70	1 - 40
Diámetro de Fibra (μ)	0.1 - 1	0.1 - 1	0.01 - 1
Sistema Cristalino	Monoclinico	Monoclinico	Monoclinico y Ortorombico
Indice de Refraccion	1.657 - 1.698	1.657 - 1.698	1.50 - 1.55
Gravedad Especifica	3.2 - 3.45	3.47	2.55
Dureza (Escala Mohs)	5.5 - 6.0	4	2.5 - 4.0
Calor Especifico	0.913	0.201	0.266
Resistencia a la Tension (km cm ⁻²)	25,000	35,000	31,000
Modulo de Young (km cm ⁻²)	1.65 x 10 ⁶	1.9 x 10 ⁶	1.65 x 10 ⁶
Punto de Fusion (°C)	1,100	1,000	1,500
Carga Superficial	Negativa	Negativa	Positiva
Resistencia al Calor:			
Resis. residual a 200°C	100	100	100
Resis. residual a 400°C	37	38	100
Resis. residual a 600°C	7	18	16

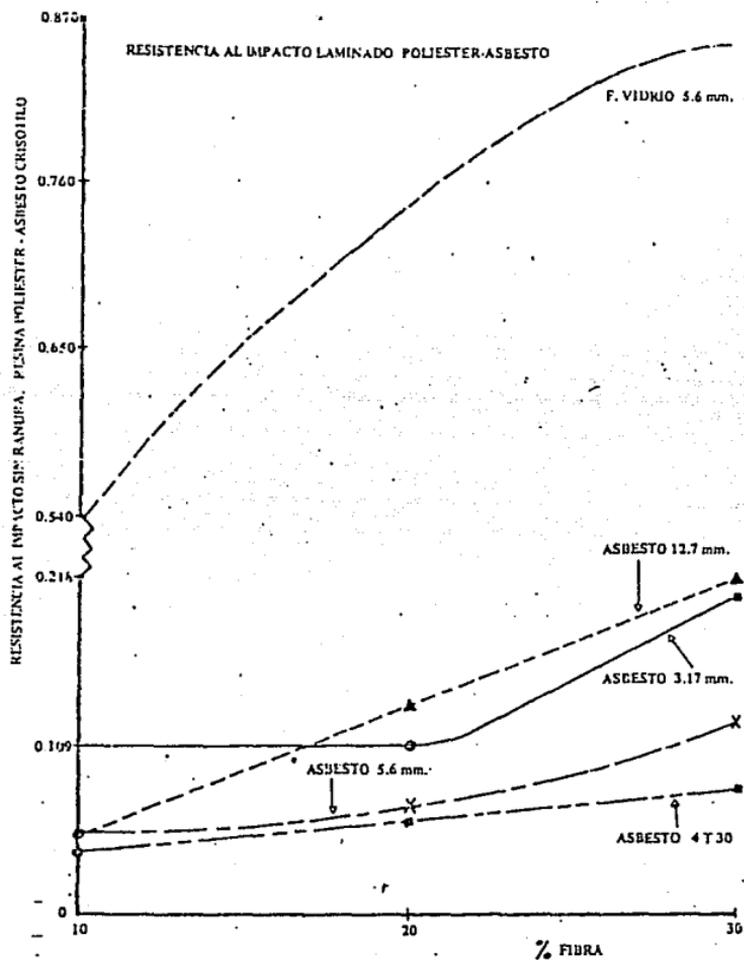
TABLA III.9

RESISTENCIA AL IMPACTO DE LAMINADOS DE RESINA POLIESTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y FIBRA DE ASBESTO



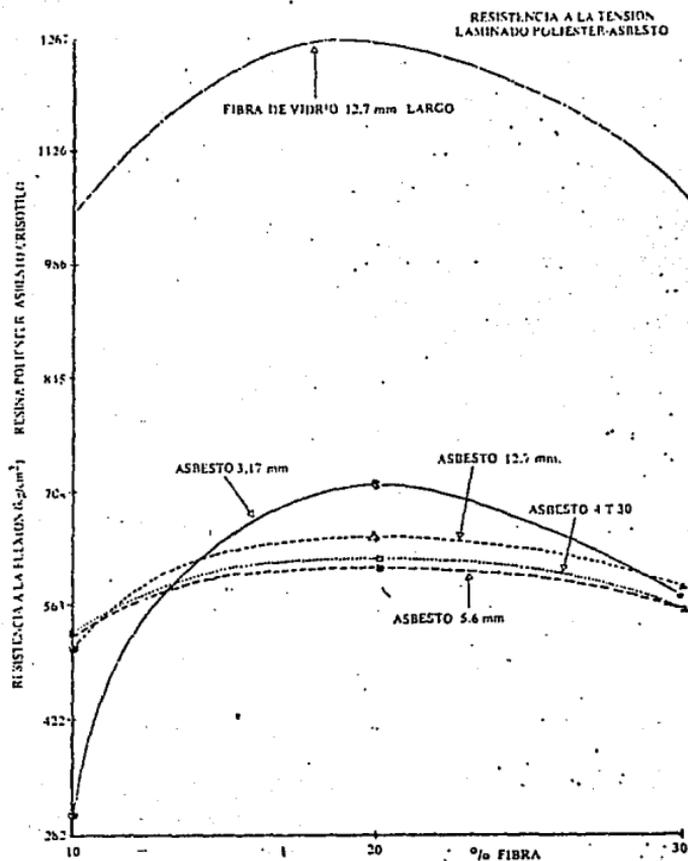
Gráfica 3.A

RESISTENCIA AL IMPACTO SIN RUPTURA EN LAMINADOS DE RESINAS POLIESTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y ASBESTO



Gráfica 3.B

RESISTENCIA A LA FLEXION DE LAMINADOS DE RESINA POLIESTER
 REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y ASBESTO



Gráfica 3.C

POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO

4.1. Definición

El poliéster reforzado es una mezcla de una matriz polimerizable (resina poliéster) con un material de refuerzo fibroso (fibra de vidrio), la cual se somete a procesos de curado y moldeo para así obtener piezas rígidas.

4.2. Procesos de Curado

El curado es el proceso que se lleva a cabo para convertir una resina poliéster del estado líquido al sólido. Este proceso se efectúa mediante la reacción de copolimerización por adición del monómero de estireno con los grupos insaturados presentes en las cadenas poliméricas del poliéster, involucrando éste las siguientes etapas:

4.2.1. Etapas de Iniciación.

En esta etapa se rompen las dobles ligaduras presentes en el monómero de estireno, por influencia de variables, tales como el calor, luz solar, movimiento cinético de las moléculas presentes y el efecto del catalizador.

Al romperse la doble ligadura, se obtiene una molécula activada que reacciona a su vez con otras dobles ligaduras, ya sea del monómero o de la cadena poliéster insaturada. Este paso se lleva a cabo en cadena, causando un incremento en la viscosidad de la mezcla, debido al entrecruzamiento de cadenas poliéster. Para controlar la reacción se requiere la adición de compuestos inhibidores, que reaccionen con los radicales libres para mantener la resina a la viscosidad deseada, hasta que se requiera el curado completo, el cual se obtiene mediante la adición de compuestos catalíticos, los que a su vez se descomponen mediante la adición de aceleradores.

Inhibidores. Son compuestos que se utilizan para mantener la estabilidad de la resina en estado líquido durante el almacenamiento, los de mayor uso son los del tipo retardante y tipo estabilizador.

Los retardantes son agentes reductores capaces de donar átomos de hidrógeno para evitar la formación

de radicales libres. Algunos ejemplos de éstos son: fenoles, aminas aromáticas, benzaldehido, alfa-naftol, resorcinol y compuestos de azufre. La proporción en que se utilizan es de alrededor del 1% en base al peso total de la resina.

Los estabilizadores tienen como función incrementar el tiempo de almacenamiento de la resina después de haber sido adicionado el catalizador. Algunos ejemplos de estos compuestos son: Sales sustituidas de hidrazina, sales cuaternarias de amonio y para-benzoquinonas sustituidas.

En la tabla IV.1 se muestra el efecto de los retardantes con y sin catalizador sobre el tiempo de gelado en resinas poliéster.

EFFECTO DE DIVERSOS INHIBIDORES SOBRE EL TIEMPO DE GELADO DE RESINAS POLIESTER

INHIBIDORES	TEMP, 65°C SIN CATALIZADOR DÍAS	A 25°C CON PEROXIDO DE BENZOILO HORAS	25°C CON 0.1% DE HIDROPEROXIDO TERCIARIO DE BUTILO HORAS	A 25°C CON 0.5% DE HIDROPEROXIDO TERCIARIO DE BUTILO HORAS
0.1% Cloruro de Lauril de piridonio	8	11 - 15	4.5	2
0.1 Bromuro de trimetil cetil de amonio	8	4 - 8	4	2
0.1% Cloruro de trimetil fenil de amonio	8	17	4	2
0.1% Cloruro de trimetil bencil de amonio con 0.0012% de quinona	8 9	11 - 15 -	4 7	1.5 2
5% Hidróxido de trimetil bencil de amonio	1.5	-	-	-
0.1% Hidroquinona	8	192	216	192
0.1% 4-butil catecol	8	192	216	72
0.1% Catecol	8	192	216	72
0.1% Acido ascórbico	gela al momento	-	gela al momento	gela al momento
0.1% Alfa naftol	0.5	-	34	34
0.1% butil catecol terciario con n-butil amina	9	-	72	72
0.1% dibeta - naftil para fenil diamina	9	48 - 120	34	34

TABLA IV. 1

En la tabla IV.2 se muestra el efecto de los estabilizadores sobre el tiempo de gelado.

TIEMPO DE GELADO EN VARIAS RESINAS CON Y SIN SALES DE HIDRAZA SUSTITUIDAS, USADAS COMO ESTABILIZADORES		
COMPONENTES DE RESINA	TIEMPO DE GELADO A 65°C	TIEMPO DE GELADO A 21°C
Acido maléico,acido ftálico propilen-dietilenglicol	1 día	30 días
Acido maleico, ácido ftálico propilen-dietilenglicol con 0.015% de hidrocioruro de fenilhidrazina	18 días	180 días
Acido fumarico,dietilenglicol y dietileno	1 día	30 días
Acido fumarico,dietilenglicol y dietileno con 0.15% de hidro- cloruro de fenilhidrazina	50 días	180 días
Acido maléico,dietilenglicol y propileno	1 día	30 días
Acido maléico,dietilenglicol y propileno con 0.01% de hidrocioruro de fenilhidrazina	50 días	180 días

TABLA IV.2

Catalizadores. Son compuestos que promueven la reacción de entrecruzamiento de las cadenas poliméricas activadas de poliéster, debido a que se descomponen en radicales libres muy reactivos.

Los compuestos más utilizados como catalizadores para el curado de resinas poliéster son los peróxidos orgánicos y su selección depende de las siguientes variables:

- o Temperatura de curado
- o Velocidad de curado
- o Medio de activación (calor, acelerador, luz ultravioleta)
- o Masa a curar
- o Tipo de inhibidor presente
- o Costo de catalizador

Los peróxidos más utilizados y sus estructuras se muestran en la tabla IV.3.

PEROXIDOS ORGANICOS				
CATALIZADOR	FORMULA	FORMA FISICA	PEROXIDO ENSAYO %	OXIGENO ACTIVO MIN %
Peróxido de Benzóilo	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{C-O-O-C} \\ / \quad \backslash \\ \text{C}_6\text{H}_5 \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $	Pelva	96	6.30
Peróxido de Lauróilo	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{-C-O-O-C}(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3 \end{array} $	Grano suave	95	3.76
2.4 diclorobenzóil peróxido compuesto con dibutil ftalato	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{C-O-O-C} \\ / \quad \backslash \\ \text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2 \quad \text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2 \end{array} $	Pasta espesa	50	2.10
p-clorobenzóil peróxido	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{C-O-O-C} \\ / \quad \backslash \\ \text{C}_6\text{H}_4(\text{Cl}) \quad \text{C}_6\text{H}_4(\text{Cl}) \end{array} $	Granos fines	95	4.9
Peróxido de ácido succínico	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{-C-O-O-C}(\text{CH}_2)_2\text{COOH} \end{array} $	Pelva	90	6.15

TABLA IV. 3

PEROXIDOS ORGANICOS				
CATALIZADOR	FORMULA	FORMA FISICA	PEROXIDO ENSAYO %	OXIGENO ACTIVO MIN %
Peróxido de metil etil cetona	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{C}_2\text{H}_5 \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} $	Líquido	60	11.0
Peróxido de Hidroxiheptil	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3(\text{CH}_2)_5 \quad \text{CH}-\text{O}-\text{O}-\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} $	Pulvo	95	5.8
Diperfalata de diterbutil	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C} (\text{CH}_3)_3 \\ \\ \text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C} (\text{CH}_3)_3 \\ \\ \text{O} \end{array} $	Líquido	95	7.8
Perbenzoato de terbutil	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C} (\text{CH}_3)_3 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $	---	---	---
Hidropéroxido de terbutil	$ (\text{CH}_3)_3 \text{COOH} $	Líquido	60	10.6

TABLA IV.3 (Cont.)

Aceleradores. Son compuestos que se adicionan a la resina poliéster para acelerar la descomposición del catalizador en radicales libres, y actúan a temperaturas menores que las que requiere el catalizador para descomponerse por sí solo.

La utilización de aceleradores se requiere cuando el curado se lleva a cabo a bajas temperaturas como en los siguientes casos:

La pieza a curar es grande y se dificulta el calentamiento.

Para evitar adelgazamientos o roturas por efectos de calentamiento.

Al usar moldes, insertos o rellenos que no toleran altas temperaturas.

Los aceleradores se clasifican de acuerdo al tipo de catalizador sobre el cual actúan y se tienen los siguientes ejemplos:

<u>CATALIZADOR</u>	<u>ACELERADOR</u>
Tipo Peróxido	Sales Metálicas (Mn, Co)
Tipo Hidroperóxido	Anilinas
Tipo Peróxido - Hidroperóxido	Mercaptanos

La tabla IV.4 muestra los sistemas acelerador - catalizador más efectivos para promover el curado a bajas temperaturas para una resina poliéster.

SISTEMA ACELERADOR - CATALIZADOR	
ACELERADOR	TIPO DE CATALIZADOR MAS EFECTIVO CON:
Sales Metálicas	Hidroperóxidos
Naftenato de Cobalto	Peróxido de metil etil cetona
Naftenato de Manganeso	Hidroperóxido de cumino
Anilina	Peróxidos
Dimetil Anilina	Peróxido de Benzoilo
Dietyl Anilina	Peróxido de Benzoilo
Aminas Cuaternarias	Hidroperóxidos
Varios Tipos	Peróxido de metil etil cetona
Mercaptanos	Hidroperóxidos
Dodecil Mercaptano	Peróxido de metil etil cetona

TABLA IV.4

4.2.2. Etapa de Propagación.

En esta etapa se lleva a cabo la reacción de polimerización por adición entre en monómero vinílico presente en radicales libres y las cadenas insaturadas del poliéster.

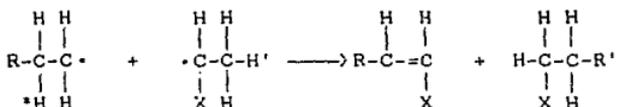
En la mezcla, existen monómeros con buena reactividad hacia la copolimerización, es decir que tienen preferencia de reaccionar con monómeros diferentes, sin embargo esta reactividad es compleja de determinar, ya que es difícil detener la reacción para analizar la proporción entre los componentes reaccionados y no reaccionados. Se ha demostrado que la reacción entre monómero de estireno y poliéster presenta una probabilidad mayor a que ocurra, que la homopolimerización de estireno y aún menos probable es la homopolimerización de cadenas insaturadas, debido a efectos estéricos.

4.2.3. Etapa de Terminación.

Al propagarse la reacción de polimerización en cadena a través del sistema, las dobles ligaduras continúan uniéndose hasta que se presenta alguna de las siguientes reacciones que terminan con el crecimiento del polímero.

- o Transferencia de hidrógeno
- o Reacción de adición
- o Transferencia de cadena
- o Agotamiento

Transferencia de Hidrógeno. Se presenta cuando se transfiere un átomo de hidrógeno de un radical libre en posición α a otro radical libre, formándose en uno el doble enlace al final de la cadena y en otro un sistema saturado.

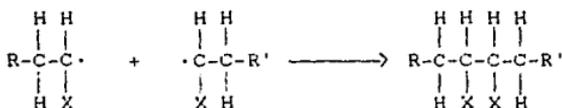


*Hidrogeno en posición α

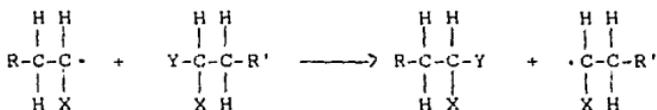
Doble enlace al final de la cadena

Sistema saturado

Reacción de Adición. Ocurre cuando las unidades de dos cadenas en crecimiento reaccionan entre sí para dar lugar a una cadena continua.



Transferencia de cadena. Se presenta cuando una cadena en crecimiento choca con otra, transfiriéndole energía, pero sin unirse a ella. La molécula activada origina una nueva cadena.



Agotamiento. Tiene lugar cuando se han terminado todas las moléculas reactivas, ya sea porque han

reaccionado con otras moléculas, o bien, cuando la inmovilidad en el sistema no permite que las moléculas reactivas reaccionen con otras.

4.2.4. Variables que afectan el curado.

Las variables que tienen efectos sobre el proceso de curado de una resina poliéster son básicamente las siguientes:

- o Tiempo de curado
- o Temperatura de curado
- o Contracciones y expansiones durante el curado

Las tres variables están relacionadas entre sí y la que tiene mayor influencia es la temperatura, y de acuerdo a ésta, los procesos de curado se clasifican en: Proceso a temperatura ambiente (10° a 40°C) y proceso a alta temperatura ($>40^{\circ}\text{C}$).

El curado a temperatura ambiente se lleva a cabo a 25°C con un rango mayor o menor. Este proceso se recomienda cuando la masa a curar es grande, ya que esto provoca que la distribución de calor no sea uniforme a través de toda la masa cuando se utiliza un medio externo de calentamiento causando que haya picos exotérmicos en determinadas zonas, presentándose por esto, grietas o deformaciones, además de afectar las resistencias al esfuerzo y tensión.

En el proceso a temperatura ambiente es muy importante definir la variable que relaciona el tiempo en que la resina permanece en estado líquido después que han sido adicionados los catalizadores requeridos para el proceso de curado, esta variable se conoce como (pot life). En las especificaciones de la resina debe de indicarse este valor, ya que permite al fabricante medir el tiempo requerido para realizar las operaciones de preparación del molde y vaciado de resina antes que se inicie el curado.

El (pot life) está determinado por:

- o Sistema resina-catalizador
- o Calor exotérmico generado por la polimerización
- o Edad de la resina

En la gráfica 4.A se ilustran los diferentes pot life de una resina poliéster laminada y catalizada con peróxido de metil-etil-cetona al 0.5% en un horno a 52°C y con un acelerador de nftenato de cobalto.

La gráfica 4.B ilustra el efecto del porcentaje de catalizador de peroxido de metil-cetona adicionado a una resina poliéster sobre el (pot life) y a una temperatura constante de 52°C.

El curado a alta temperatura se requiere en producciones a gran escala, ya que es necesario reducir el tiempo de curado lo cual se logra incrementando la temperatura del proceso.

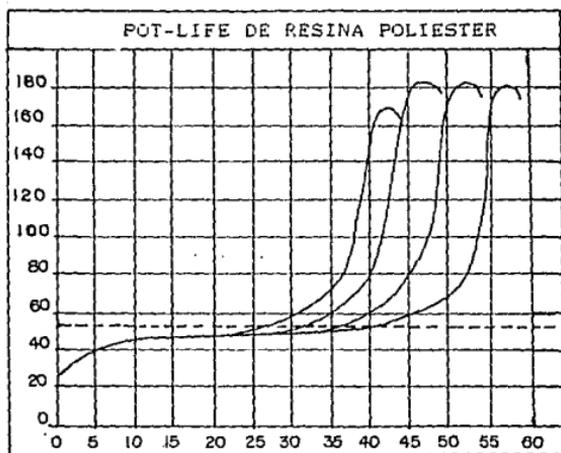
Para seleccionar un proceso de curado a altas temperaturas es necesario considerar los siguientes factores:

- o Masa total de resina
- o Naturaleza de la resina
- o Tipo de molde

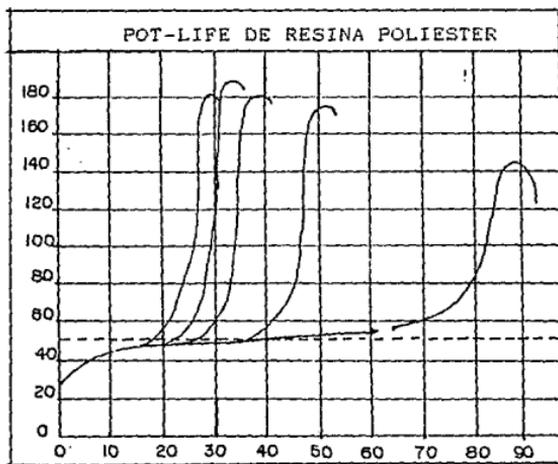
La masa total de la resina es importante debido a que es un mal conductor de calor que ocasiona grietas, poco uniformidad cuando el calor no se distribuye en forma homogénea.

En cuanto a la naturaleza de la resina, si ésta contiene un número alto de cadenas insaturadas, causará una alta generación de calor, y por lo tanto, una contracción rápida del material, lo cual se evita con el curado a bajas temperaturas y con un sistema catalizador-acelerador que permite ampliar el tiempo de curado.

El tipo de molde requerido para un proceso de curado a alta temperatura, no debe retener un excesivo calor, por lo que su conductividad debe ser alta, permitiendo así que el calor sea conducido fácilmente a través de todo el sistema, evitando con esto grietas y contracciones.



Gráfica 4.A



Gráfica 4.B

4.3. Procesos de Moldeo

Existen diversas formas de aplicación de la mezcla de resina poliéster y el material reforzante en un determinado molde para después del curado obtener la forma de poliéster reforzado.

Estos métodos de moldeo se seleccionan de acuerdo a las características de los productos que se desean elaborar, entre las que se tienen que considerar:

- o Cantidad de Piezas
- o Tamaño de piezas
- o Grado de dificultad
- o Consideraciones económicas (capital, precio, costo, etc.)

En la siguiente lista se presentan los principales métodos de moldeo de poliéster con reforzamiento:

- o Proceso Manual (Hand Lay-up)
- o Proceso de Aspersión (Spray-up)
- o Proceso a Presión y Temperatura (Matched Die Molding)
- o Proceso de Embobinado de Filamento Continuo (Filament Winding)
- o Proceso de Centrifugación
- o Proceso de Prensado en Frio (Cold Molding)
- o Proceso con Bolsa a Presión (Pressure Bag Molding)
- o Proceso de Moldeo por Vacío (Vacuum Molding)
- o Proceso con Macho Elástico
- o Proceso por Extrusión

La mayoría de estos procesos requieren de moldes que pueden ser metálicos, de madera o de plástico reforzado, siendo estos últimos los más empleados.

Los moldes se fabrican de acuerdo a planos y especificaciones proporcionados por el cliente y dependiendo del grado de dificultad de la pieza se utiliza yeso o madera.

Cuando el molde es terminado, se eliminan las asperezas mediante el uso de papel abrasivo (lija) y se les aplica un sellador que elimina la porosidad (laca nitrocelulosa), ya seca la película selladora se aplica un agente desmoldeante, el cual tiene la función de evitar que la resina poliéster se adhiera a las paredes del molde. Algunos agentes desmoldeantes son: alcohol polivinílico, silicón, ácido esteárico, estearato de zinc, celofán, teflón, etc. Ya aplicado el desmoldeante, se adiciona la resina poliéster junto con el reforzamiento y se procede al curado, se separa la pieza y se ajusta para servir como molde en el proceso de obtención de más piezas con las características deseadas.

4.3.1. Proceso Manual (Hand Lay-up).

Es el proceso de moldeo más económico, ya que no requiere el uso de equipo especializado y se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- a) Preparación del molde con agente desmoldeante.
- b) Aplicación de capa de acabado (gel coat).
- c) Colocación del reforzamiento (colchoneta de fibra de vidrio) sobre la capa de acabado ya curado.
- d) Aplicación mediante la brocha de la resina poliéster sobre el material reforzante (la resina debe contener monómero vinílico, acelerador, cargas, agentes tixotrópicos, color y catalizador).
- e) Antes de que la resina aplicada cure, se procede al rolado, es decir, se pasa un rodillo plástico o metálico generalmente ranurado para extraer el aire ocluido entre la resina y el material de refuerzo para obtener una buena adherencia de la resina y la capa final de acabado.

En la figura 4.1 se muestra un corte transversal, ilustrando las diversas capas de materiales que conforman el poliéster reforzado.

La capa de acabado es una base de resina pigmentada con color, cuyas funciones son:

- o Formar una superficie uniforme que permita, de ser necesario, la aplicación de recubrimiento o pintura sobre ella.

- o Impedir que el material de refuerzo aflore en la superficie.
- Mejora las propiedades de resistencia al intemperismo (resistencia química, al agua, a la luz, a contaminantes, etc.).
- Los espesores de la película de acabado están determinados por el uso y características de la pieza a obtener. En la tabla IV.5 se dan recomendaciones de espesores de esta capa de acuerdo a su aplicación.

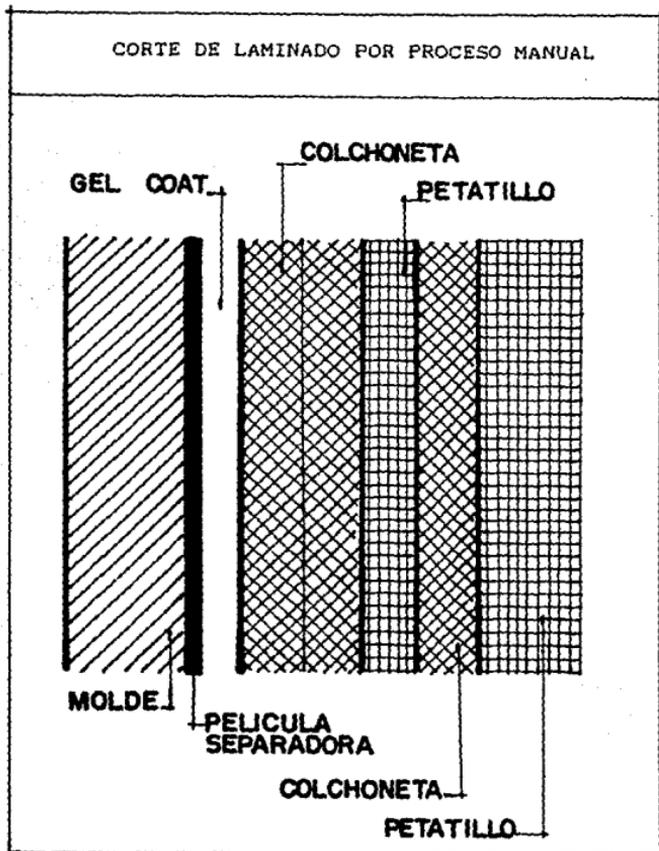


Figura 4.1

ESPEORES SUGERIDOS PARA PELICULA DE ACABADO

APLICACION	ESPESOR DE CAPA DE ACABADO (mm)		
Fabricación de moldes	0.4	-	0.5
Piezas que serán pintadas	0.25	-	0.3
Resistencia al intemperismo o retardante al fuego	0.45	-	0.55
Articulos de uso doméstico (muebles, cocina, etc.)	0.5	-	0.9

TABLA IV.5

4.3.2. Proceso por Aspersión (Spray-up).

Este proceso es similar al proceso manual y se realiza en las siguientes etapas:

- a) Preparación del molde con desmoldeante.
- b) Aplicación de capa de acabado.
- c) Aplicación de resina y material de refuerzo, mediante la utilización de un equipo de aspersión que consiste de una pistola de aire que mezcla en su salida la resina previamente formulada y la fibra de vidrio de tal forma que esta mezcla se logra antes de depositarse en el molde.
- d) Ya depositada la mezcla en el molde, se procede al rolado en forma similar al proceso de moldeo manual.

El proceso de moldeo por aspersión se ilustra en la figura 4.2.

MOLDEO POR ASPERSION

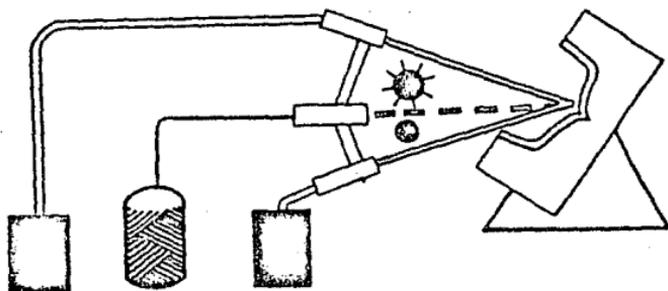


Figura 4.2

4.3.3. Proceso a Presión y Temperatura (Matched Die Molding).

A. Con Preforma.

Este proceso de moldeo es el más utilizado para producción de gran escala y sus ventajas principales son:

- o Piezas con contenido alto de material de refuerzo.
- o Excelente acabado en superficie externa e interna.
- o Alta capacidad de producción.
- o Mínimo desperdicio.
- o Poca mano de obra en acabados.
- o Excelente reproducibilidad.
- o Bajos costos de elaboración.

En cuanto a sus a sus desventajas se tienen el alto costo del equipo utilizado en este proceso (prensa, molde, sistema de calentamiento y además de la preforma que se requiere en piezas complicadas).

La preforma es utilizada en este proceso, a menos que la pieza deseada sea plana o alguna donde se puede utilizar colchoneta como reforzamiento.

La preforma consiste en obtener la forma de la pieza a moldear mediante la aglutinación de la fibra o el material reforzante con una emulsión de acetato de polivinilo o bien con una resina fenólica.

Una vez fabricada la preforma se procede a la obtención de la pieza de acuerdo al siguiente proceso:

- a) Se coloca la preforma sobre el molde de la prensa.
- b) Se vierte sobre ella la resina poliéster previamente formulada.
- c) Se inicia el proceso de moldeo a las condiciones especificadas de presión, temperatura y tiempo.

- d) Se extrae la pieza fabricada del molde mediante aire comprimido.
- e) Se quitan imperfecciones y rebabas para el terminado final.

B. Con Premezcla.

En este proceso el material de refuerzo está incluido en la formulación con resina poliéster, por lo que no requiere preforma.

Los pasos que siguen a este proceso son:

- a) Se mezcla la resina, carga, desmoldeante, catalizador y fibra de vidrio (filamento) en un recipiente con agitación para lograr el mezclado homogéneo de los componentes.
- b) La masa obtenida se coloca en el molde hembra de la prensa.
- c) Se procede al moldeo a las condiciones especificadas de temperatura, presión y tiempo.

Las ventajas del proceso con premezcla con respecto al moldeo con preforma son:

- o Bajo costo de operación (menor desperdicio).
- o Mayor facilidad para la obtención de piezas complejas.

Entre las desventajas se tienen:

- o Menor dureza y menor resistencia mecánica.
- o Menor dispersión y contenido de fibra de vidrio (alrededor de un 5%).

C. Con Laminado Impregnado

En este proceso de moldeo, la mezcla de materiales se presenta en forma de hoja o laminado cubierto con una película protectora de polietileno, por lo que no requiere preforma.

Los pasos que constituyen este proceso de moldeo son:

- a) Mezcla de la resina, carga, desmoldeante y catalizador.

- b) Se vierte la pasta obtenida sobre una banda transportadora cubierta con polietileno.
- c) Al mismo tiempo se adiciona el hilo cortado de fibra de vidrio para formar una colchoneta.
- d) La colchoneta obtenida se pasa a través de rodillos a presión para lograr el espesor deseado en la hoja, la cual se cubre con polietileno.
- e) Se corta la sección de la hoja obtenida de acuerdo a la superficie total de la pieza.
- f) La película protectora se retira y se introduce la mezcla resina-reforzamiento en el molde de la prensa y se fijan las condiciones de temperatura, presión y tiempo.

La ventaja de este proceso es que proporciona piezas terminadas con excelentes características físicas y mecánicas.

4.3.4. Proceso de Embobinado de Filamento Continuo (Filament Winding).

Este proceso de moldeo es el que se emplea en la fabricación de tubos y tanques de plástico reforzado y, consiste básicamente en enrollar el material de refuerzo (mecha) a un eje o mandril que actúa como molde y al que previamente se le aplica un separador que puede ser polietileno, polipropileno, etc. o un tubo de cartón comprimido de acuerdo al diámetro deseado.

El material de refuerzo y un recipiente que contiene la resina poliéster formulada de acuerdo a requisiciones, se encuentran colocadas en una plataforma que se desplaza en forma paralela al eje o mandril.

La figura 4.3 ilustra este proceso.

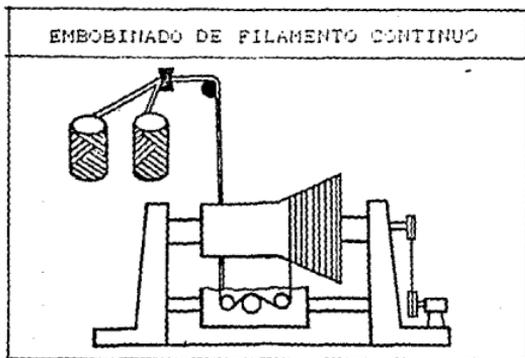


Figura 4.3

4.3.5. Proceso de Centrifugación.

Este proceso de moldeo se aplica en la fabricación de tanques y tuberías con limitación en tamaño (1.5 a 6 metros de diámetro y longitud respectivamente) y se lleva a cabo en los siguientes pasos:

- a) En un cilindro de acero, a cuyo interior se le ha aplicado un desmoldeante, se coloca el material reforzante (colchoneta de fibra de vidrio).
- b) Se hace girar el cilindro de 1,000 a 1,800 rpm y se adiciona la resina poliéster preparada, manteniendo la velocidad del molde por espacio de 5 a 8 minutos o hasta que la resina haya impregnado el material reforzante, disminuyendo entonces la velocidad de rotación.
- c) Cuando la mezcla se encuentre en etapa de gelación, se procede a colocar otra capa de refuerzo, repitiendo la operación hasta obtener el espesor deseado.
- d) Antes de que la pieza haya alcanzado el curado completo, se procede a desmontar el cilindro, lo cual se facilita si el molde se encuentra seccionado.

Una ventaja de este método de moldeo, es que las piezas fabricadas con él tienen variaciones mínimas.

4.3.6. Proceso por Fransado en Frio (Cold Molding).

Este proceso de moldeo requiere temperatura ambiente y baja presión.

El proceso se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- a) Preparación del molde de fibra de vidrio.
 - o Fabricación de molde de yeso.
 - o Aplicación de agente desmoldeante y capa de acabado.
 - o Aplicación de colchoneta de fibra de vidrio y resina, cuando ya haya curado la capa de acabado.
 - o Instalación de sistema de enfriamiento.
 - o Recubrimiento de sistema de enfriamiento con resina epoxica y granalla de zinc.
 - o Llenado de cavidad con resina epóxica, arena silica y cuarzo cuando se haya curado el recubrimiento del sistema de enfriamiento.
 - o Desprendimiento del yeso y limpieza del molde.

Este proceso se utiliza para moldes hembras y machos.

- b) Colocación del molde en prensa.
- c) Aplicación de capa de acabado y desmoldeante.
- d) Colocación del material de refuerzo en molde interior (hembra).
- e) Se vierte la resina poliéster ya formulada.
- d) El prensado de las piezas en este proceso se realiza a una presión de 1.4 - 5.0 kg/cm² y a temperatura entre 45 y 50°C, la cual se mantiene con el sistema de enfriamiento del molde.

Entre las ventajas de este proceso se tienen:

- o Piezas con superficies uniformes en todos sus lados.

- o Menor costo que con el proceso de prensado a temperatura y presión.
- o Proceso más rápido que el proceso de aspersión.

En cuanto a desventajas, este método tiene limitaciones en el tamaño de la pieza que se desea fabricar.

4.3.7. Proceso con Bolsa a Presión (Pressure Bag Molding).

Este método requiere de una bolsa o cámara generalmente fabricada de vinilo y la cual tiene la forma de la pieza por obtener.

El proceso se lleva a cabo en los siguientes pasos:

- a) Colocación en el molde del material de refuerzo (colchoneta) y la resina para el laminado.
- b) Colocación sobre la capa de refuerzo y resina de una bolsa inflada con aire hasta que alcanza una presión de 1.5 a 3.5 kg/cm², la cual se mantiene hasta el curado de la resina.
- c) Ya curada la resina se libera la presión de la bolsa y se procede al desmoldeo de la pieza obtenida.

El proceso de moldeo con bolsa a presión se muestra en la figura 4.4.

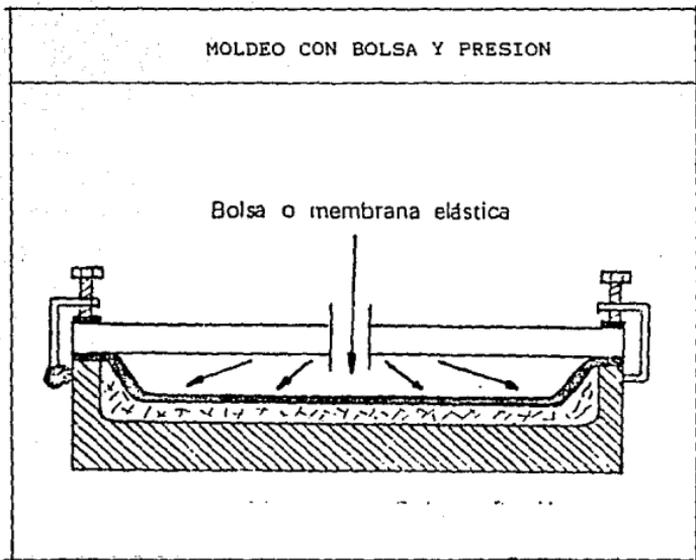


Figura 4.4

4.3.8. Proceso de Moldeo por Vacío (Vacuum Molding).

Este moldeo requiere de una bolsa o cámara al igual que el moldeo con bolsa a presión. La diferencia consiste en que se aplica vacío al molde, el cual tiene orificios en comunicación con la bomba de vacío.

Este método tiene la ventaja de que elimina en forma total las burbujas de aire ocluidas en la resina o en el material de refuerzo, proporcionando así un mejor acabado del producto.

El vacío requerido es de 0.7 a 1.0 kg/cm² y el proceso se esquematiza en la figura 4.5.

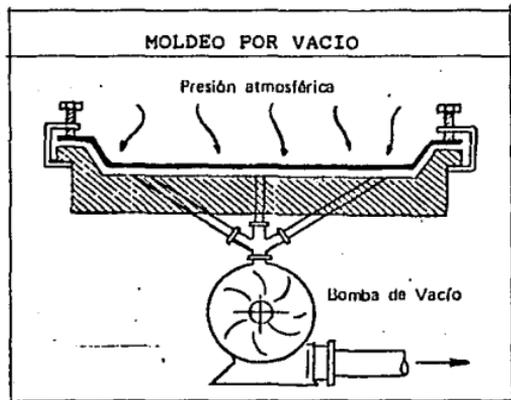


Figura 4.5

4.3.9. Proceso con Macho Elástico.

Este proceso de moldeo consiste en aplicar presión con un macho elástico sobre el material de refuerzo, colocado en un molde hembra, generalmente metálico.

El macho montado en una prensa hidráulica o neumática es más estrecho y largo que la cavidad del molde hembra, a fin de que el primer contacto se lleve a cabo en la parte más profunda del molde hembra y la resina y el aire sean expulsados hacia arriba cuando se comprima totalmente.

El proceso se ilustra en la figura 4.6.

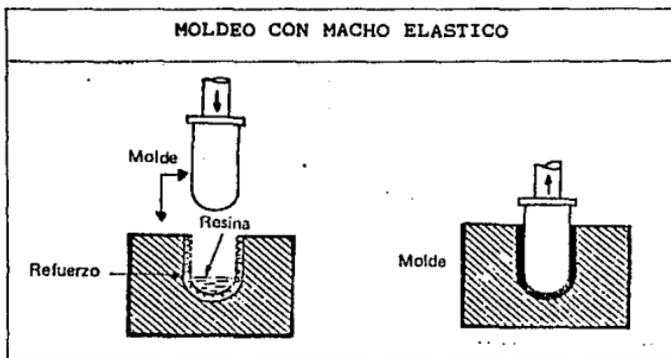


Figura 4.6

4.3.10. Proceso por Extrusión.

Al igual que otros tipos de plásticos, la resina poliéster reforzada se extruye para formar perfiles, tubos, cubos, ángulos, etc. El proceso consiste en la impregnación del material de refuerzo con la resina, el cual se hace pasar por un dado o matriz que lo preforma para que inmediatamente pase a un horno en donde la resina se cure completamente.

Este proceso es continuo y se pueden obtener altas concentraciones de refuerzo (70%) por lo que las piezas que se obtienen con este método tienen alta resistencia mecánica.

El proceso se ilustra en la figura 4.7.

En la tabla IV.6 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes procesos de moldeo, así como las características y propiedades que proporcionan.

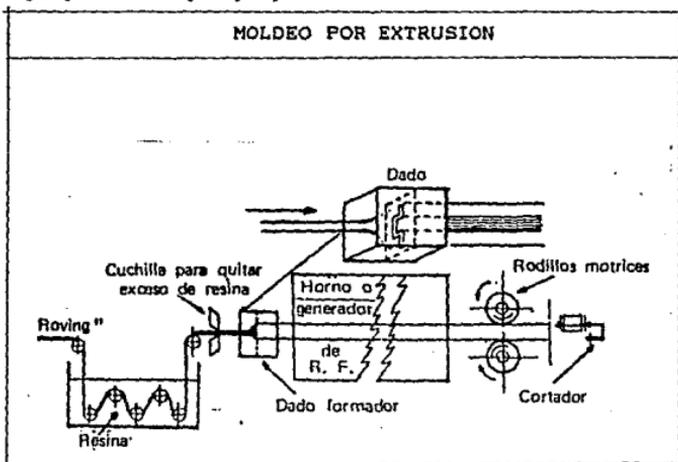


Figura 4.7

PROCESOS DE MOLDEO

PLASTICO REFORZADO		MOLDES REQUERIDOS (MUEBROS)	CARAS CON ACABADO DEFINIDO	SE PUEDEN OBTENER FORMAS COMPLEJAS	SE PUEDEN FABRICAR PIEZAS GRANDES	INVERSION (I)	MANO DE OBRA (II)	PRODUCCION DE MOLDES (III)	PRODUCCION DE PIEZAS (III)	ALTA EFICIENCIA DEL USO DE MATERIAS PRIMAS	PORCENTAJE EMPLEADO DE FIBRA DE VIDRIO	FORMAS DE VITROFIBRAS MAS COMUNMENTE EMPLEADAS
SISTEMA	PROCESO											
Moldeo Abierto	Manual	1	1	Si	Si	B	G	R	L		30-40	Fieltro, petatillo, telas.
	Aspersión	1	1	Si	Si	M	G	R	L		30-50	Mecha
	Embobinado	1	1		Si	A	P	I		Si	60-90	Mecha
	Vaciado Centrifugo	1	1		Si	M					30-40	Fieltro
Moldeo Cerrado	Prensa en frio	2	2			M	P	I	I		20-30	Fieltro, telas premezclas
	Prensa con presión y temperatura	2	2	Si		A	P	L	R	Si	25-50	Fieltro, telas premezclas
	Inyección	2	2	Si		A	P	L	R	Si	20-40	Hilo cortado
Moldeo Continuo	Laminado continuo	2	2		Si	A	P		R	Si	25-35	Fieltro, mecha
	Extrusión con tiraje forzado	2	162	Si		A	P	I	R	Si	50-80	Mecha, fieltro, petatillo telas.

NOTAS I:

A: Inversión Alta
M: Inversión Mediana
B: Inversión Baja

NOTAS II:

P: Poca mano de obra
G: Gran cantidad de mano de obra

NOTAS III:

R: Producción rápida
I: Producción intermedia
L: Producción lenta

TABLA IV.6

4.4 Propiedades del Poliéster Reforzado.

Las propiedades de una resina poliéster (UP), una epóxica (EP) y el acero 1020 se enlistan en la tabla IV.7. Ambas resinas son reforzadas con Fibra de Vidrio.

COMPARACION DE PROPIEDADES					
PROPIEDAD	SIMBOLO	UNIDAD	UP	EP	ACERO 1020
Peso Específico	γ	g/cm	1.35	2.00	7.86
Ultimo Esfuerzo a la Tensión (MIN)	σ	Kg/cm	750	7500	4545
Módulo de Elasticidad	E	Kg/cm*10	0.06	0.20	2.1
Coefficiente de Dilatación Lineal	λ	1/ C*10	31	7	12
Coefficiente Dilatación Térmica	α	Kcal/mh C	0.2	0.35	41
Resistividad Eléctrica	ρ		10	10	10
Contenido de Fibra de Vidrio (Peso)	γ	%	35	75	-

TABLA IV.7

De acuerdo a los valores de la tabla anterior se observa que los plásticos reforzados son menos pesados que el acero debido a su menor peso específico, el cual es de 3.9 a 5.8 veces menor.

La resistencia a la tensión es mayor para los plásticos y en algunos casos es el doble. Esta variación va de acuerdo con el contenido de fibra en la resina además de su orientación.

La relación entre el esfuerzo último a la tensión y el peso específico (σ / γ) es un parámetro de importancia para la fabricación de piezas con alta resistencia a la tensión y bajo peso. En estos casos los poliésteres reforzados son ideales para la fabricación de piezas tales como partes de avión, automóvil, domos y recipientes industriales.

La capacidad de los poliésteres reforzados para absorber la energía causada por impactos es baja en relación a la de los metales, sin embargo tienen la propiedad de absorber esta energía en forma elástica lo cual es básico para la fabricación de piezas de barcos y automóviles.

En cuanto a su comportamiento térmico, el poliéster reforzado tiene mayor dilatación que el acero lo que es de mucha importancia para laminados, ya que no se presentan variaciones bruscas debidas a efectos térmicos.

Los poliésteres reforzados con fibra de vidrio son excelentes aislantes eléctricos debido a su alta resistividad eléctrica comparada con la del acero, lo cual evita que se adicionen aislantes en las piezas o equipos fabricados con este material.

Con respecto a su resistencia a la luz, los poliésteres reforzados son sensibles a radiaciones ultravioletas, sin embargo en su formulación se adicionan absorbedores de esta radiación para retardar su deterioro.

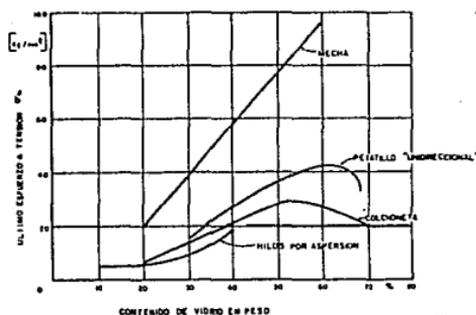
Otras propiedades de los poliésteres reforzados son su alta resistencia a la corrosión y su transparencia, además de su resistencia a la flama.

4.4.1. Factores que determinan las propiedades del Poliéster Reforzado.

A. Contenido de Fibra de Vidrio.

Las propiedades del poliéster reforzado varían dentro de ciertos intervalos de acuerdo al poliéster utilizado y al tipo o presentación de fibra de vidrio de refuerzo. La proporción en que se combinan se expresa de acuerdo al contenido de fibra de vidrio en volumen o en peso. En la gráfica 4.C se ilustra la acción reforzante de la fibra con respecto a su porcentaje en peso.

RESISTENCIA A LA TENSION EN FUNCION DEL CONTENIDO DE FIBRA DE VIDRIO



Gráfica 4.C

Es notorio en la gráfica 4.C que al aumentar el porcentaje de refuerzo, se incrementa el valor del esfuerzo último de tensión hasta un límite para después decrecer. Otro factor de importancia es la presentación de la fibra, la cual influye determinadamente en el valor de dicha propiedad. Dependiendo del tipo de refuerzo, el valor óptimo se alcanzará entre 35% y 80% de contenido en peso de fibra de vidrio.

En forma similar, se modifican otras propiedades mecánicas tales como la resistencia a la compresión, flexión e impacto y en cuyos caso tiene un efecto importante la longitud de los filamentos de fibra utilizados.

Por otra parte, mientras mayor sea el contenido de fibra, mayor es el coeficiente de transmisión térmica y menor es el coeficiente de dilatación lineal.

B. Orientación del Material de Refuerzo.

Al reforzar una resina con fibra de vidrio pueden utilizarse tipos de refuerzo cuyo acomodo en el compuesto sea indiferente. Un ejemplo de esto es la elaboración de laminados utilizando únicamente colchoneta de fibra de vidrio. En este caso puede considerarse que el material es isotrópico, esto es que sus propiedades son independientes de la dirección en que se midan.

Por el contrario al incluir en la resina otros tipos de refuerzo tales como el petatillo o la mecha, el compuesto presenta características de anisotropía. Esto se debe a que el contenido de vidrio varía con la dirección puesto que el material de refuerzo está orientado en determinada forma.

Para caracterizar un compuesto anisótropo es por tanto insuficiente la obtención de sus propiedades en solamente una dirección, sino que deberá conocerse la variación que sufren las propiedades con la dirección. Esta variación puede expresarse mediante un diagrama polar, como el mostrado en la figura 4.8. En ella puede observarse como varía el módulo de elasticidad con la dirección de aplicación de la carga en un laminado en el que se utilizó únicamente petatillo. La figura 4.9 muestra los valores de último esfuerzo a tensión en dos direcciones que se obtienen en laminados anisótropos.

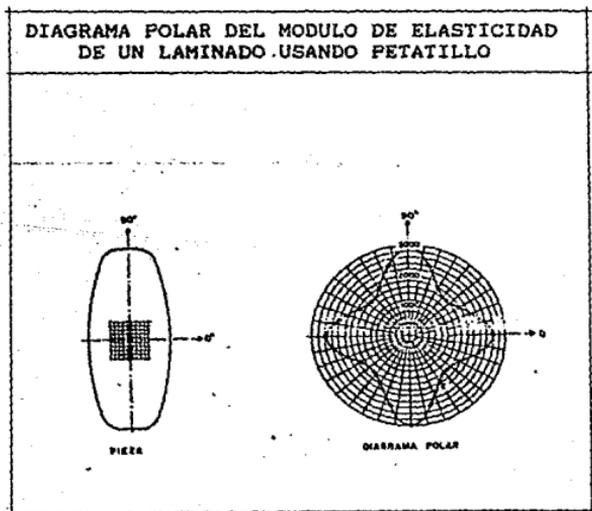


Figura 4.8

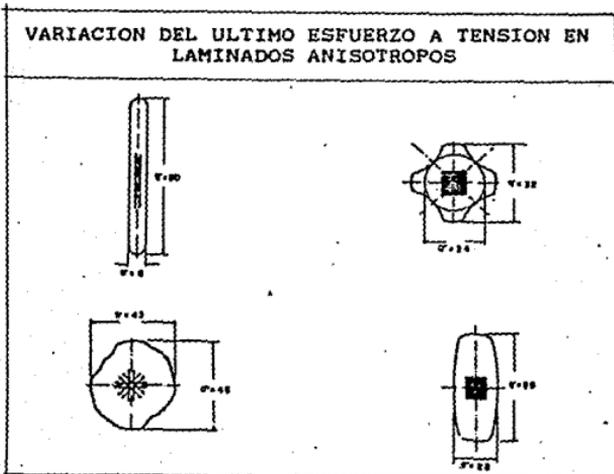


Figura 4.9

De las figuras 4.8 y 4.9 se deduce que las propiedades de los laminados pueden adecuarse variando el acomodo del material de refuerzo. El constructor de equipos con estos materiales deberá acomodar el material de refuerzo de forma tal que la dirección de mayor contenido de vidrio coincida con la dirección en que el compuesto esté sujeto al mayor esfuerzo.

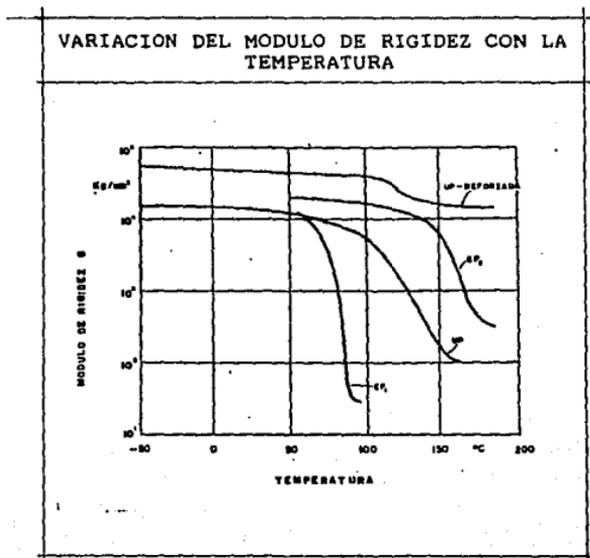
4.4.2. Factores que Modifican las Propiedades del Poliéster Reforzado.

Existen diversos factores externos como son la temperatura del medio ambiente, humedad, tipo de trabajo al que será sometida la pieza y otros que modifican las propiedades del poliéster reforzado.

A. Temperatura.

Las resinas poliéster se caracterizan como muchos otros plásticos por tener poca resistencia a altas temperaturas y es importante considerar este efecto, ya que sus propiedades varían significativamente en intervalos pequeños de temperatura.

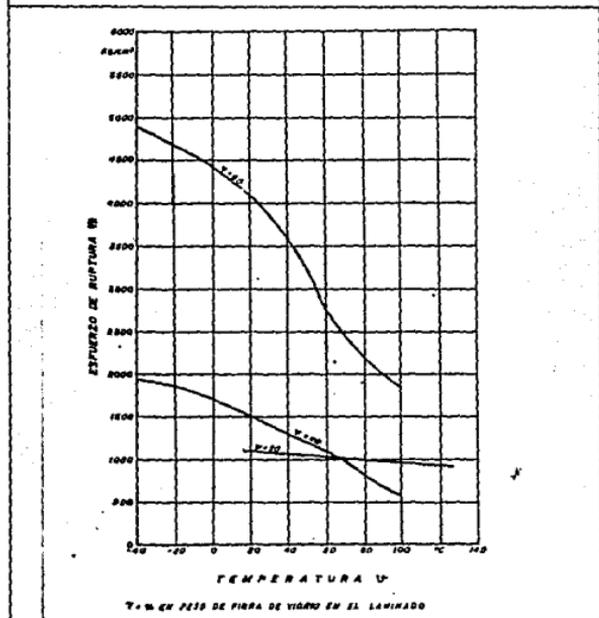
La gráfica 4.D muestra la variación del módulo determinante de rigidez con la temperatura en resinas poliéster (UP) y epóxicas (EP) reforzadas y sin refuerzo.



Gráfica 4.D

En esta gráfica se observa como afecta la adición del refuerzo, haciendo más rígido el compuesto y manteniendo este efecto en un intervalo de temperatura más amplio. La temperatura afecta además el esfuerzo de ruptura, dicha variación se muestra en la gráfica 4.E.

VARIACION DEL ESFUERZO DE RUPTURA CON LA TEMPERATURA



Gráfica 4.E

De esta gráfica se concluye que a mayor contenido de fibra de vidrio se obtendrá mayor variación del esfuerzo a la ruptura al incrementar la temperatura.

B. Tiempo.

Para determinar el efecto del tiempo sobre las propiedades de resistencia mecánica, se realizan pruebas denominadas de fluencia, en las cuales la muestra es expuesta a un esfuerzo de tensión constante midiendo la elongación a través del tiempo.

Lo anterior se muestra en la figura 4.10 en donde la pieza se deforma en L_0 constantemente hasta L .

ENSAYO DE FLUENCIA

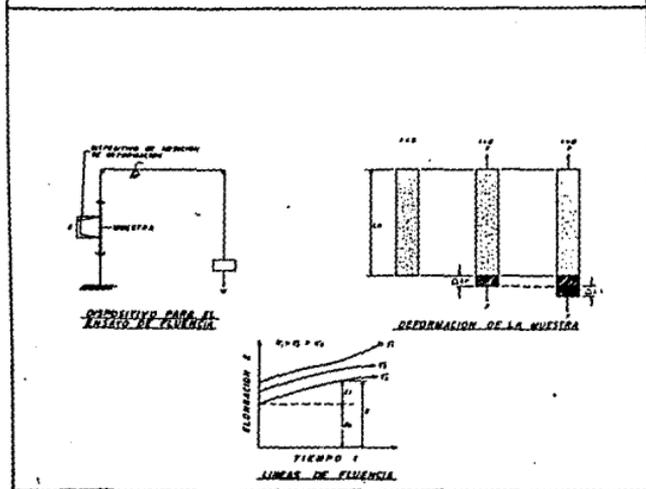


Figura 4.10

En la gráfica 4.F se muestran las líneas de fluencia de un laminado con 33% de contenido en peso de fibra sometida a temperatura ambiente.

El laminado fue sujeto a esfuerzos constantes con valores de 25 a 1200 Kg/cm² durante un año de tiempo máximo.

Los laminados sujetos a 1200 Kg/cm² se rompieron a las 40 horas después de sujetarse a la carga. Los que fueron sujetados a 400 Kg/cm² no alcanzaron el límite de ruptura, presentando microrasgaduras después de 500 horas de exposición.

Estas microrasgaduras no constituyen un rompimiento físico sino que es un efecto de difracción de luz. Las zonas que presentan este fenómeno tienen menor densidad, lo cual conduce a posibles fallas en presencia de ambientes

corrosivos. Las piezas sujetas entre 25 y 200 Kg/cm² no presentaron ninguna alteración durante el ensayo.



Gráfica 4.F

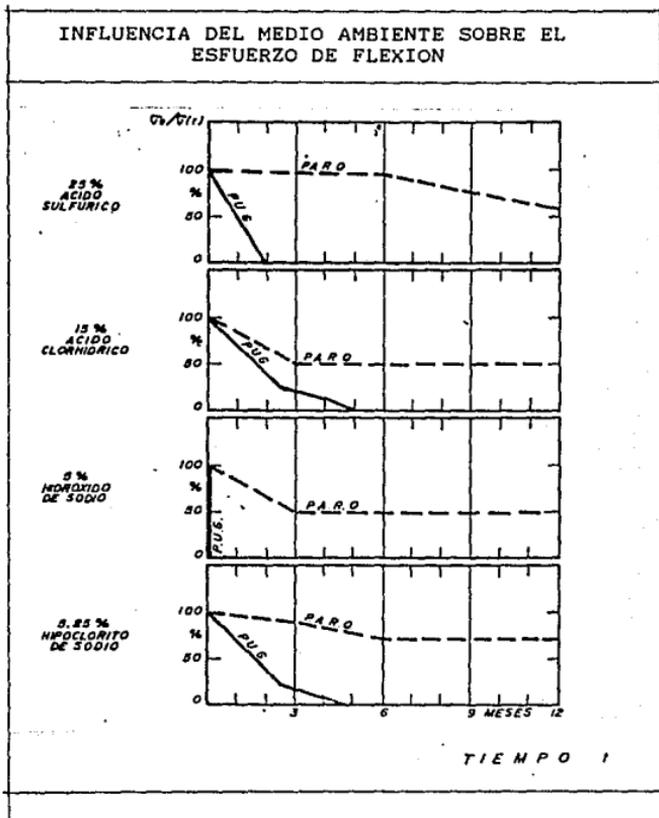
C. Medio Ambiente.

Entre los factores más importantes del medio ambiente que afectan las propiedades del poliéster reforzado están la radiación ultravioleta y la difusión de líquidos en el interior del plástico en presencia de solventes.

Estos efectos son conocidos en forma cualitativa solamente ya que su medición es compleja debido a que los efectos varían de acuerdo al tipo de resina empleada, así como al grado de entrecruzamiento alcanzado en la polimerización y la temperatura de exposición.

La gráfica 4.G muestra la influencia del medio ambiente sobre el esfuerzo de flexión en laminados con dos tipos de resinas.

En esta gráfica se observa que las resinas poliéster de uso general (ortoftálicas PUG) pierden rápidamente su resistencia mecánica comparadas con las resinas poliéster de alta resistencia química (isoftálicas PARQ).



Gráfica 4.G

CAPITULO V

PERSPECTIVAS DE DESARROLLO PARA EL POLIESTER REFORZADO EN MEXICO

5.1. Escenario de México con respecto al Mercado Mundial.

La producción de poliéster reforzado en México en 1988 fue de 18,988 toneladas, alcanzándose un consumo aparente de 18,750 toneladas, lo cual equivale a un consumo per capita de 0.23 Kg. Las importaciones y exportaciones estuvieron presentes a muy baja escala.

Haciendo un análisis comparativo en base a la población de los principales productores de Resina Poliéster, podemos observar que a pesar de que nuestro país representa el 8.65% con respecto a la población total de los países mencionados, sólo producimos el 0.82% de la producción total, lo cual se representa en la tabla V.1 y figuras 5.1, 5.2 y 5.3.

CONSUMO PER CAPITA EN DIFERENTES PAISES				
	POBLACION MM	PRF EN 1987 M TONS	PRF/CAPITA KGS	PRF / ACERO
AUSTRALIA	16.20	36.10	2.23	0.60
BRASIL	140.70	70.20	0.50	0.50
CANADA	25.80	73.70	2.86	0.60
FINLANDIA	4.90	14.50	2.96	0.70
JAPON	122.70	453.90	3.70	0.60
MEXICO	84.30	21.40	0.25	0.30
U.S.A.	245.10	1004.00	4.10	1.00
EUROPA OCC.	335.00	940.00	2.81	0.80
T O T A L	974.70	2613.80	2.68	0.80

TABLA V.1

POBLACION EN MILLONES

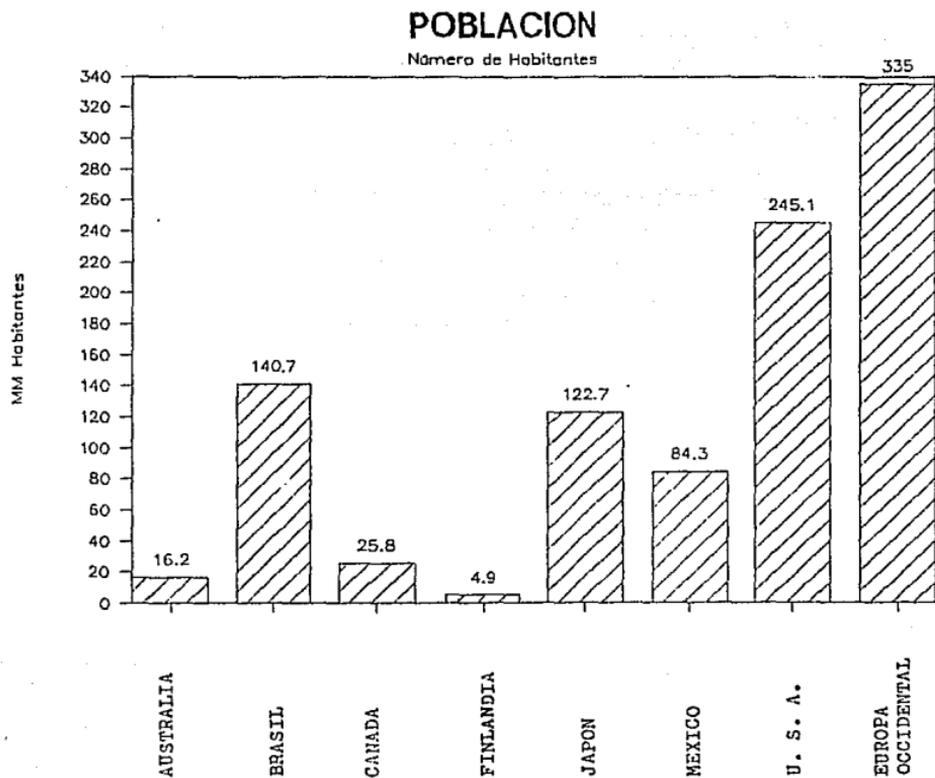


Figura 5.1

PLASTICO REFORZADO EN 1987

PLASTICO REFORZADO EN 1987

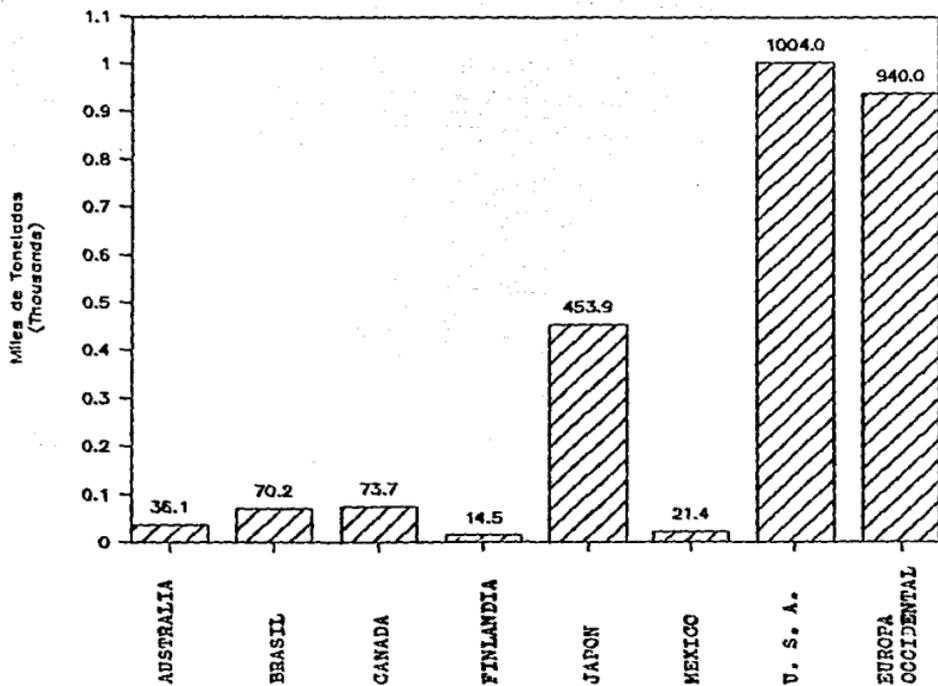


Figura 5.2

PLASTICO REFORZADO PER CAPITA

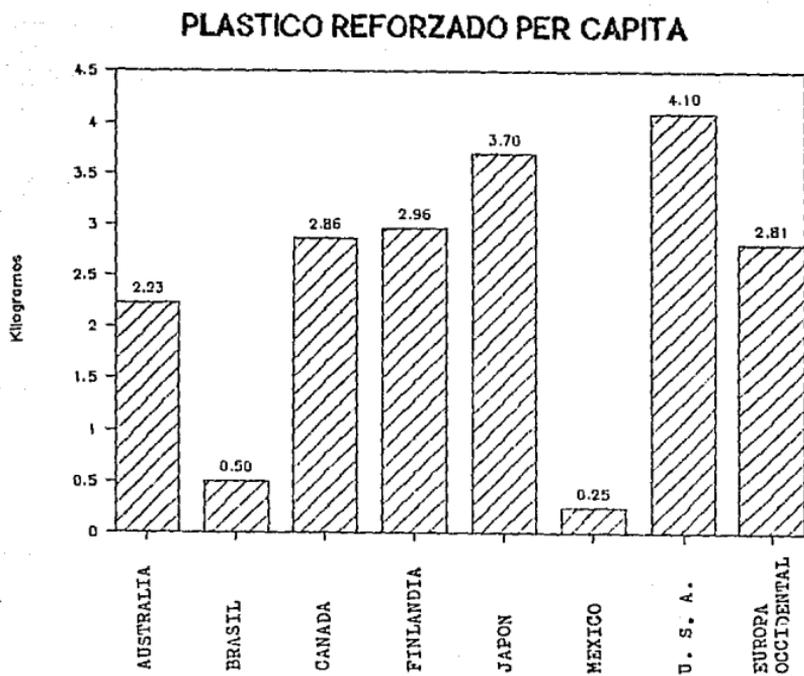


Figura 5.3

Un indicador para calcular el desarrollo del plástico reforzado es la comparación del consumo de éste con respecto al acero. En países altamente industrializados los consumos de estos materiales son equiparables.

En este aspecto México presenta la relación menor entre dichos consumos, lo cual se muestra en la figura 5.4.

CONSUMO DE PLASTICO REFORZADO VS ACERO

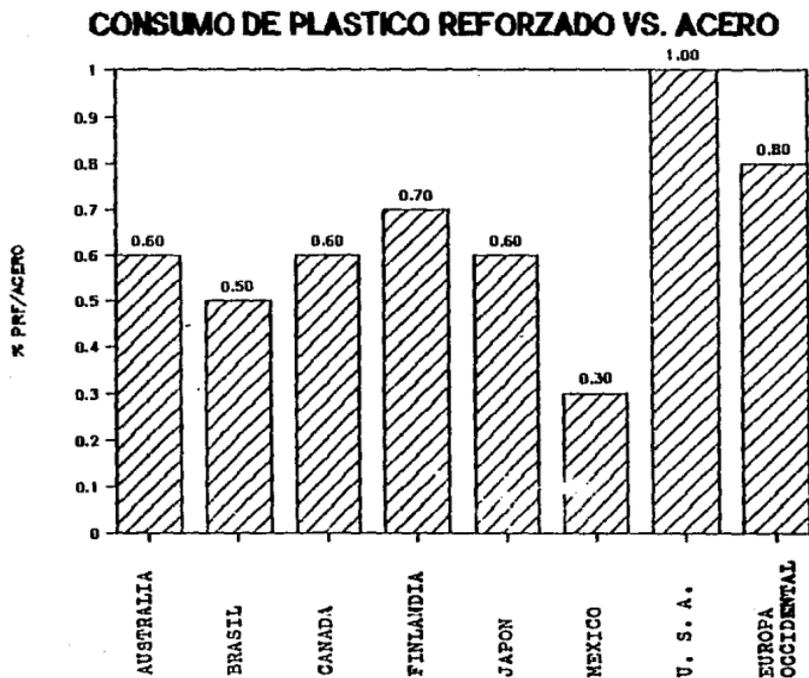


Figura 5.4

5.1.1. Distribución del Consumo.

La distribución del consumo para los países industrializados, en vías de industrialización y en México se muestran en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7.

PARTICIPACION DE APLICACIONES DEL PLASTICO REFORZADO PAISES INDUSTRIALIZADOS 1985 - 1987

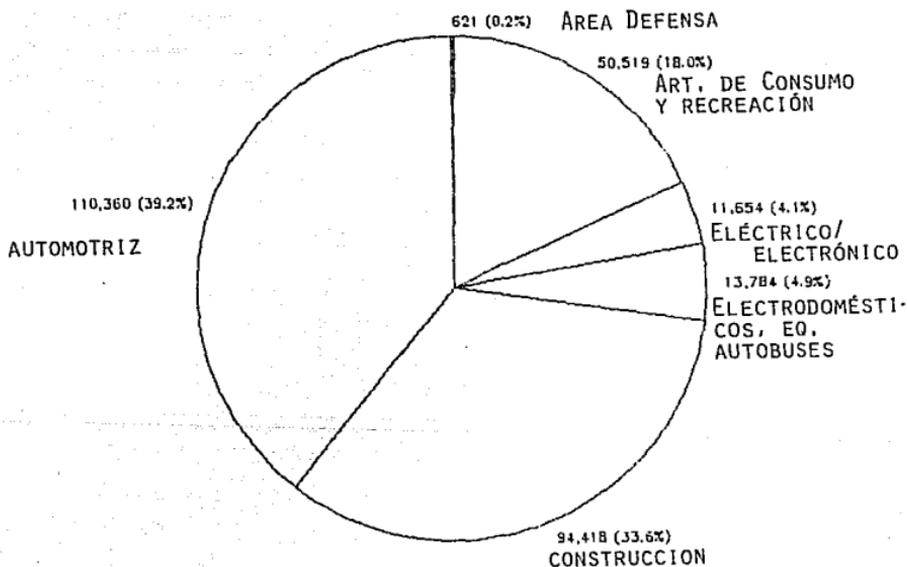


Figura 5.5

PARTICIPACION DE APLICACIONES DEL PLASTICO REFORZADO
PAISES EN VIAS DE INDUSTRIALIZACION
1985 - 1987

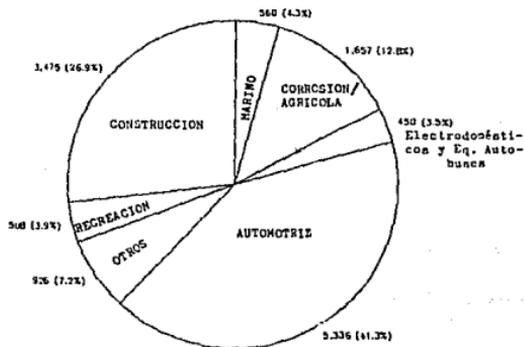


Figura 5.6

CONSUMO DE PLASTICO REFORZADO
EN MEXICO

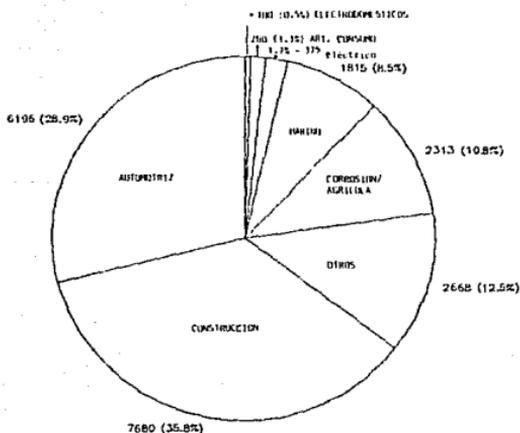


Figura 5.7

En las gráficas anteriores se puede observar que las aplicaciones del plástico reforzado en los países industrializados muestra una marcada diferencia en lo que respecta al campo de artículos de consumo y recreación.

En los países en vías de desarrollo y México, el uso del plástico reforzado para el sector agrícola y anticorrosión ocupa un porcentaje considerable siendo que este campo de aplicación ha desaparecido totalmente en los países industrializados.

Esto puede deberse a que el uso del plástico reforzado para artículos de consumo y recreación requiere procesos de fabricación más sofisticados y de alta tecnología.

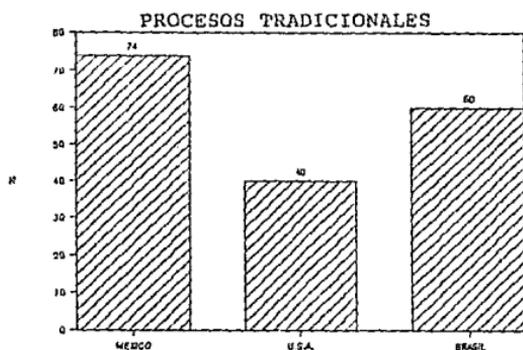


Figura 5.89

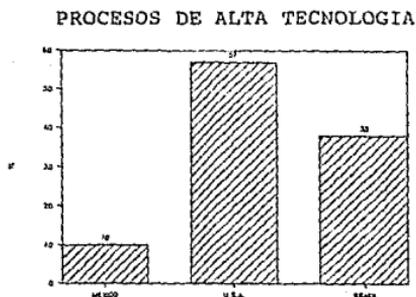


Figura 5.9

CONSUMO DE PLASTICO REFORZADO EN MEXICO POR PROCESO (%)

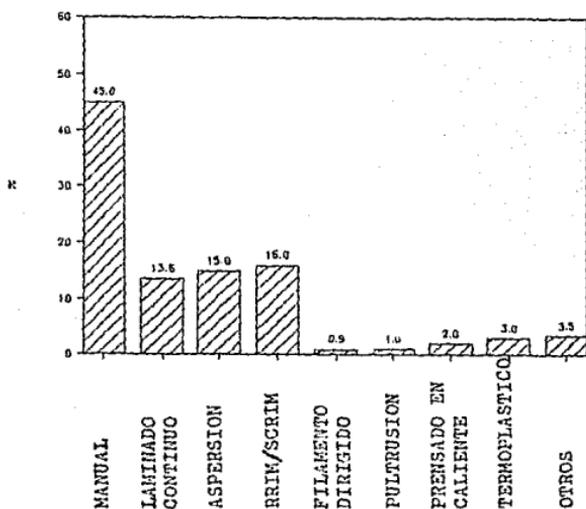


Figura 5.10

5.2. Escenario del Mercado Nacional.

5.2.1. Capacidad Instalada.

La fabricación de plástico reforzado se realiza en su mayoría en pequeños talleres, lo que dificulta obtener datos exactos en cuanto a capacidad instalada de esta industria. Sin embargo, el volumen de producción alcanzado en 1987 fue de 21,400 toneladas.

5.2.2. Disponibilidad de Materias Primas.

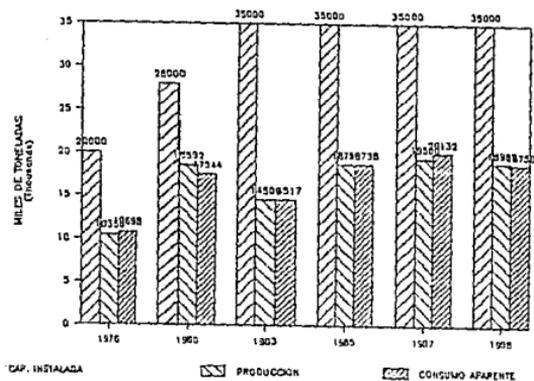
Las materias primas básicas para la producción de plástico reforzado son resina poliéster insaturada y fibra de vidrio.

A. Resina Poliéster

El mercado de la resina poliéster mostró una consistencia bien definida en cuanto al consumo en la última década (1977-1987). Tabla V.2 y Gráfica 5.A

RESINAS POLIESTER INSATURADAS (Toneladas)							
AÑO	CAPACIDAD INSTALADA	PRODUCCION	VAR % PRODUC.	IMPORTAC.	EXPORTAC.	CONSUMO APARENTE	VAR % C. AP.
1976	20,000	10,350	5.9	529	181	10,698	2.9
1977	20,000	11,000	6.3	162	97	11,065	3.4
1978	24,300	12,100	10.0	1,876	294	13,682	23.6
1979	28,000	15,000	24.0	196	7	15,189	11.0
1980	28,000	18,592	23.9	124	1,172	17,544	15.5
1981	35,000	20,515	10.3	79	1,000	19,594	11.7
1982	35,000	19,700	(4.0)	107	15	19,792	1.0
1983	35,000	14,500	(26.4)	18	1	14,517	(26.7)
1984	35,000	18,000	24.1	58	-	18,058	24.4
1985	35,000	18,750	3.7	30	-	18,738	4.6
1986	35,000	19,200	(4.4)	11	1,300	17,911	(4.8)
1987	35,000	19,500	(12.4)	1,052	420	20,132	7.7
1988	35,000	18,988	(6.9)	300	625	18,750	

TABLA V. 2
POLIESTER INSATURADO



Gráfica 5.A

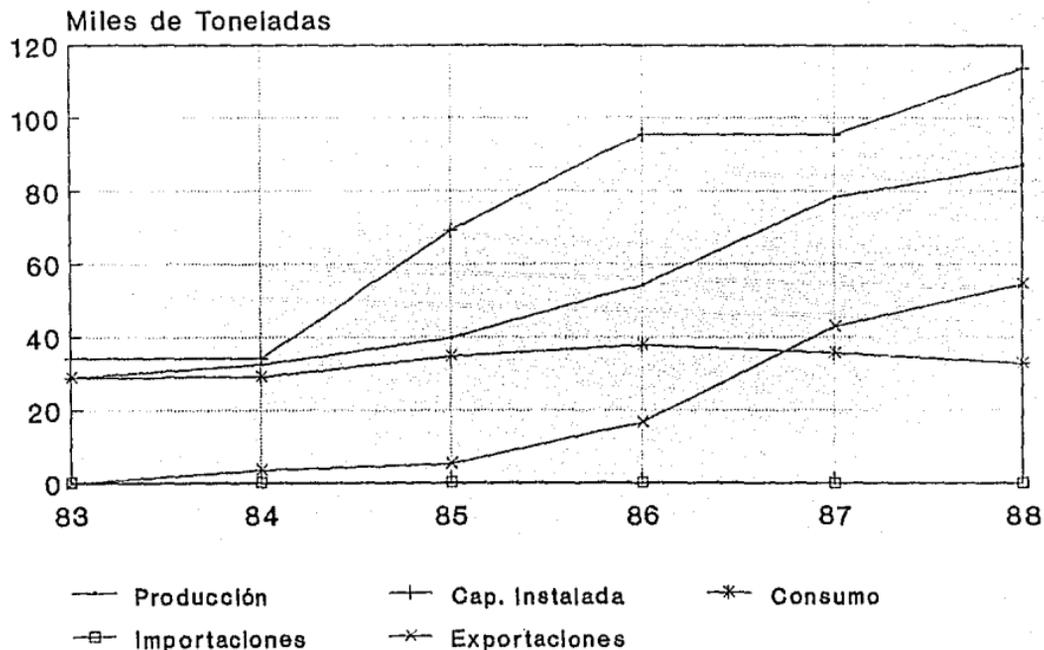
Puede afirmarse que el mercado nacional de Resina Poliéster fue adecuadamente satisfecho con la producción nacional. Las importaciones que se registran corresponden a especialidades de bajo consumo individual.

La producción de Resina Poliéster depende en gran parte de la disponibilidad de las materias primas requeridas para su elaboración. En las gráficas SB a SE se muestra la producción, consumo y capacidad instalada de las principales materias primas.

Como puede observarse en las gráficas, la capacidad instalada satisface los requerimientos del mercado.

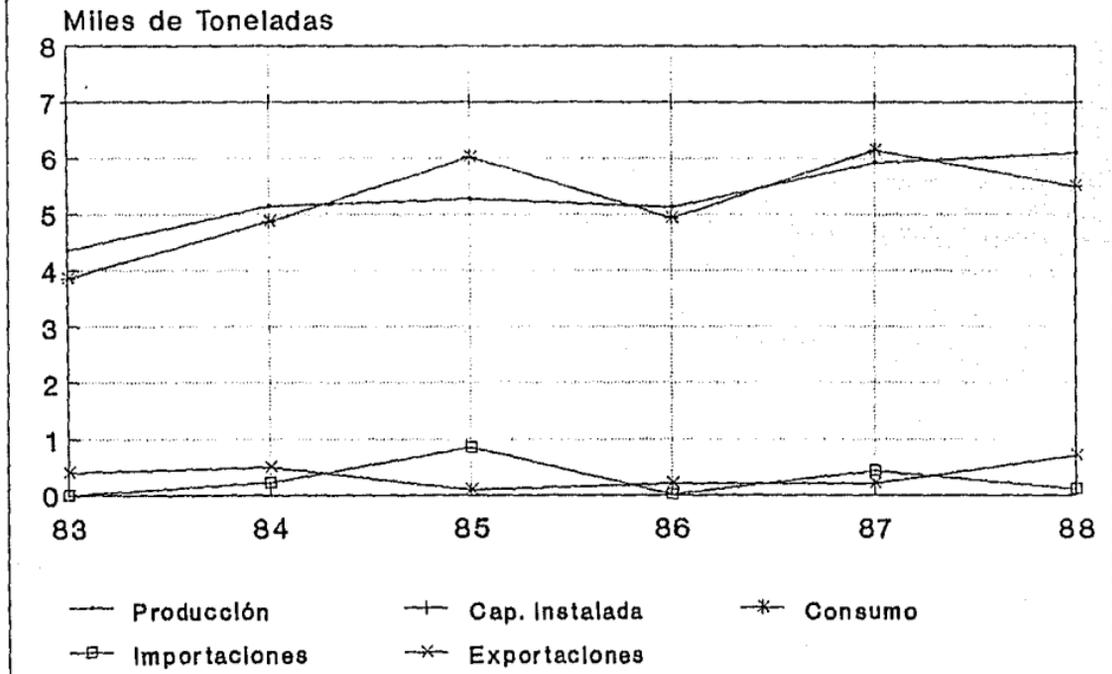
En la tabla V.3 se muestran los principales productores de materias primas en nuestro país.

ANHIDRIDO FTALICO



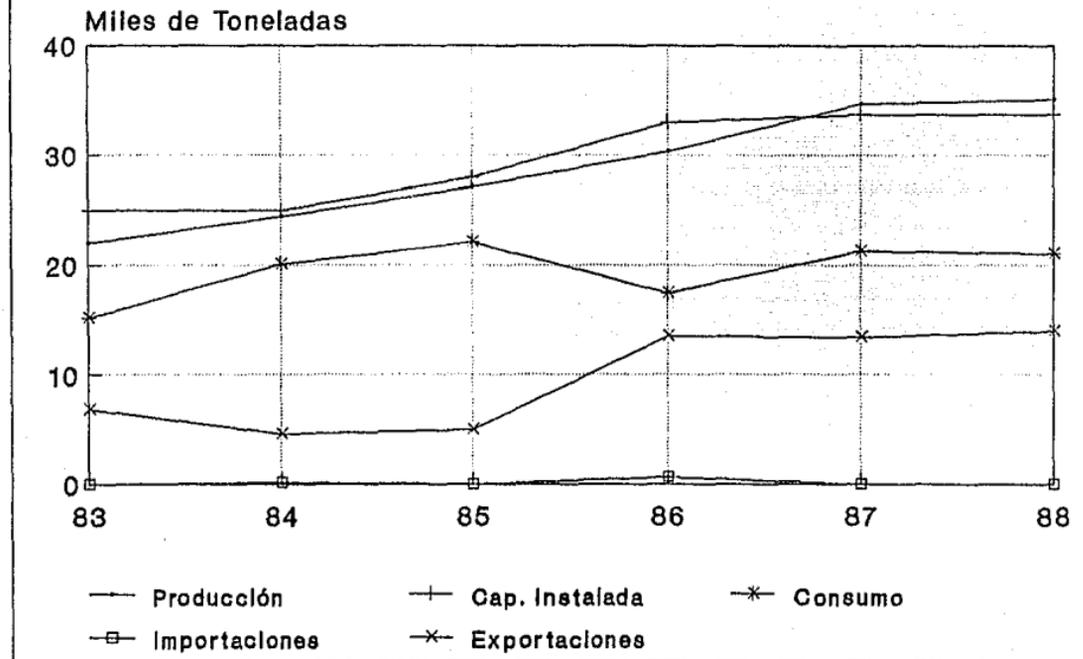
Gráfica 5.B

ANHIDRIDO MALEICO



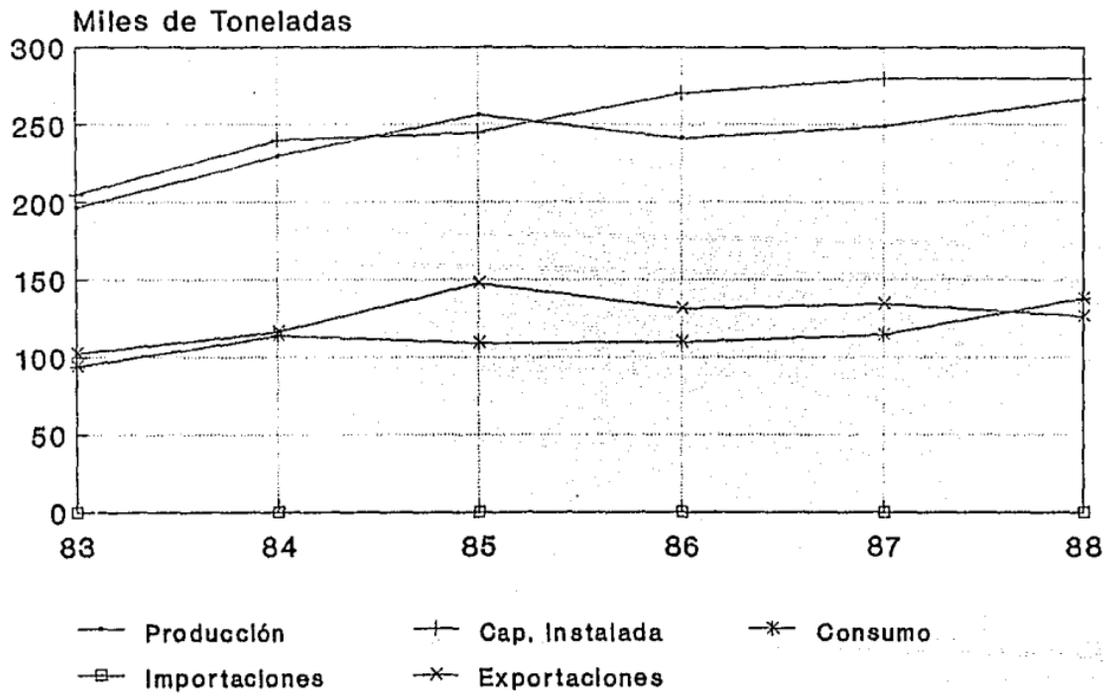
Gráfica 5.C

ETILENGLICOL



Gráfica 5.D

ACIDO TEREFTALICO



Gráfica 5.E

MATERIAS PRIMAS EN MEXICO

<u>Materia Prima</u>	<u>Principales Productores</u>
Anhidrido Ftálico	Celanese Mexicana, S.A. Grupo Primex, S.A. de C.V. Síntesis Orgánicas, S.A. Química Avangar, S.A. de C.V.
Anhidrido Maleic	Derivados Maleicos
Acido Tereftálico	Petrocel, S. A. Tereftalatos Mexicanos, S.A.
Etilenglicol	Industrias Derivados del Etileno, S.A. Poliolios, S.A. Glicoles Mexicanos, S.A.
Estireno	Pemex

TABLA V.3

Basándose en los datos obtenidos de consumo, la proyección para los próximos años es la siguiente:

AÑO	1987	1990	1998
	TONELADAS		
Tasa Histórica (10.6%)	20,000	27,058	60,581
Tasa Estimada (5.0%)	20,000	23,152	34,207

La capacidad instalada actual es de 35,000 toneladas.

Debido a la recesión económica, el consumo de este tipo de resina ha sufrido una disminución considerable, ya que los principales consumidores como Diesel Nacional y la industria de la construcción se encuentran a bajos niveles de producción.

Como resultado de esta situación se estima que la tasa de crecimiento será del 5.0% anual, por lo que la capacidad instalada es suficiente para satisfacer la demanda hasta 1998.

En la tabla V.4 se dan los principales productores de Resina Poliéster en nuestro país, así como las marcas comerciales que maneja cada uno de ellos.

RESINA POLIESTER INSATURADA	
<u>Industria</u>	<u>Marca</u>
Reichhold Química de México, S. A.	Polylite
Canamex (ICI de México S.A.)	Atlac
Industria Química Delgar, S. A.	Polydel
DSM Resinas de México S.A. de C.V.	Synolite
Polifos S.A.	Hetron
Química Monsayer S.A.	Mongel, Resinol, Monsalon, Monsalete
Reactivos y Resinas S.A.	RG
Mexicana de Resinas	CLAVES
Polipas S.A.	CLAVES

TABLA V.4

B. Fibra de Vidrio

El mercado de la Fibra de Vidrio mostró un crecimiento del 12% promedio anual durante el lapso 1970-1980, comportamiento ligeramente superior al registrado en la producción.

El principal productor de fibra de vidrio es Vitrofibras. El consumo aparente, producción, importación y exportación de la fibra de vidrio se muestra en la tabla V.5. En los últimos años las importaciones registraron un incremento sustancial, debido por una parte al aumento de la demanda y por otra a la poca capacidad productiva experimentada por la industria a causa de problemas técnicos, lo cual hace que aún teniendo la capacidad instalada suficiente (10,200 tons.) no se produzcan las cantidades requeridas por el mercado.

EVOLUCION DEL MERCADO DE FIBRA DE VIDRIO
PARA REFUERZOS

	PRODUCCION	IMPORTACION	EXPORTACION	CONSUMO APARENTE
1970	1,643	183	40	1,786
1971	2,252	93	73	2,222
1972	2,319	153	571	1,901
1973	2,329	192	80	2,441
1974	2,989	581	241	3,329
1975	2,800	406	228	2,978
1976	3,100	144	299	2,945
1977	2,800	335	748	2,387
1978	3,500	441	660	3,281
1979	3,600	582	274	3,908
1980	4,800	930	165	5,565
1981	5,532	595	384	6,511
1982	5,290	805	442	6,537
1983	3,910	840	75	4,825
1984	5,287	670	45	6,002
1985	5,350	608	30	5,988
1986	5,430	90	433	5,953
1987	5,550	615	526	6,691

TABLA V.5

Basándose en los datos de consumo obtenidos, la proyección para los próximos años es la siguiente:

	1985	1990	2000
Tasa Histórica (12%)	9,807	17,284	53,681
Tasa Estimada (5%)	7,102	9,064	14,765

Considerando que la capacidad instalada actual es de 10,200 toneladas, es posible satisfacer el mercado hasta 1990.

5.2.2. Distribución del Consumo.

El mercado del poliéster reforzado en nuestro país puede ubicarse dentro de las siguientes áreas de la actividad económica:

. Automotriz	29.0 %
. De la Construcción	36.0
. Eléctrico	1.8
. Marino	8.5
. Electrodoméstico	0.5
. Recreativo y Consumo	1.3
. Corrosión y Agrícola	10.8
. Otros	12.45

La distribución del consumo de resinas poliéster con fibra de vidrio es aproximadamente el 56% para la industria automotriz y el 44% restante para el sector de la construcción, industrial y otros en ese orden. Ejemplos de aplicaciones específicas se muestran en la tabla V.6.

PLASTICO REFORZADO

APLICACIONES

Sector Automotriz	Copetes de Autobuses Tapas de Distribuidor Salpicaderas Parrillas Cascos
Sector Eléctrico	Antenas Parabólicas Interruptores Carcazas Circuitos
Sector de la Construcción	Fachadas Canceles Paneles Techos Paredes
Sector Marino	Veleros Lanchas
Sector Industrial	Tanques de Almacenamiento Recipientes de Presión tubería
Sector Recreativo	Tinas de Hidromasaje Casas Camper Cascos Albercas Esquíes
Sector Agrícola y Ganadero	Canalones Cobertizos Bebederos Silos
Varios	Duplicado de piezas ar- queológicas Señalamientos de calles y caminos Encapsulados Artesanías Macetas Botones Emblemas Barnices Sillas

TABLA V.6

5.3. Costos Comparativos con otros Materiales.

El plástico reforzado no es la panacéa universal en la fabricación de equipo, es simplemente otro material donde escoger de entre la gran gama de productos que se encuentran a nuestra disposición.

El empleo del plástico reforzado en la construcción de equipos industriales se debió más que a un problema de economía, a la necesidad de combatir los graves trastornos que la corrosión causaba y que en muchos casos no podía resolverse ni aún usando aleaciones costosas de los metales conocidos.

Sin embargo, conforme se avanzó en la utilización de estos materiales, las técnicas de construcción y el desarrollo de nuevas y mejores resinas dieron también como resultado ventajas económicas.

Al efectuar estudios comparativos de costos, con respecto a otros materiales, éstos deben hacerse en base a los costos que tendrían los equipos en periodos de 5 años o más, debido a que los plásticos reforzados tienen un tiempo de vida media superior a otros materiales, más no siempre un costo inicial de adquisición inferior a éstos.

Al comparar al plástico reforzado con otros materiales, se puede concluir:

5.3.1. Costo Inicial.

El precio de un equipo de acero inoxidable es de 1 1/2 a 3 veces mayor que el de su equivalente en plástico reforzado y el del mismo equipo Hastelloy (o aleaciones equivalentes) es hasta 5 veces mayor, además de que para algunos casos específicos la resistencia química es aún mejor en plásticos reforzados que en estos materiales caros.

5.3.2. Costo de Instalación.

La ligereza del plástico reforzado (1/4 parte del peso de los aceros) facilita las maniobras, fletes y acarreos, la instalación y las estructuras necesarias para soportarlos, lo cual abate dichos costos.

5.3.3. Costo de Mantenimiento.

El plástico reforzado por su mayor duración disminuye automáticamente los costos de mantenimiento en la planta. Las reparaciones en caso de requerirse son rápidas y fáciles, se hacen

en frío y no requieren de equipos costosos ni complejos.

5.3.4. Costos de Producción.

Al no haber fallas en estos equipos, se evitan los paros de planta, los arranques generalmente caros y complicados, y las pérdidas de materiales en proceso.

5.3.5. Costo de Renovación.

Obviamente una mayor vida útil del equipo ayuda a minimizar estos costos.

La principal desventaja de la utilización de plásticos reforzados es el desconocimiento de técnicas apropiadas para la reparación y mantenimiento del equipo.

5.4. Áreas de Oportunidad

Existen diversos mercados ampliamente explotados ya en otros países y que no se han desarrollado en nuestro país, lo cual significa una amplia gama de áreas de oportunidad para el desarrollo del poliéster reforzado en México, según se muestra en la tabla V.7.

Asimismo existen factores y circunstancias en el futuro de nuestro país que traerán como consecuencia la necesidad de desarrollar este tipo de materiales tanto para satisfacción de mercado nacional como para el mercado externo. Entre éstos podemos citar los siguientes:

En el mercado nacional:

- a) En el año 2000 la población en México será de 100 millones el 70% estará entre 20 y 70 años de edad.
- b) Los materiales tradicionales metal, madera, vidrio y papel se escasearán y encarecerán.
- c) Se vivirá en ciudades cada vez más urbanizadas.
- d) El poder adquisitivo será medio.
- e) 25 estados de la República tienen incipiente industria de plásticos.
- f) La imagen del plástico es cada vez de mayor aceptación por sus satisfactores prácticos y económicos.
- g) Plantas multipropósitos desarrollándose en el país.

En el mercado exterior:

- a) El país tendrá la mano de obra técnica especializada más barata de América.
- b) Frontera con el mayor consumidor de plásticos del mundo.
- c) Puertos a ambos lados del país.
- d) Petróleo.
- e) Apertura de proveedores de materia prima, equipos, herramientas y tecnología de fuera hacia adentro y viceversa.
- f) Plantas multipropósitos.

SUMARIO DE OPORTUNIDADES

<u>SECTOR DE MERCADO</u>	<u>PAISES LIDERES</u>	<u>OPORTUNIDADES PARA MEXICO</u>	<u>PROCESOS</u>
AEREO/DEFENSA	EUA, EUROPA Y JAPON	GRANADAS Y MORTEROS CULATAS PARA ARMAS DE LIGERA CONTERIA	MMDM Y F.W. F.W., MMDM, PULTRUSION F.W.
MARINO	FINLANDIA	EMBARCACIONES DE TRABAJO, RECREATIVAS Y DE LUJO ACCESORIOS DE DEPORTES ACUATICOS	H.LU Y SU MMDM PULTRUSION RTH
CONSTRUCCION	JAPON	FOSAS SEPTICAS, BAOS Y COCINAS INTEGRALES, TINAS Y SPAS	H.LU, SU + TERMOFORMADO MMDM RTH CM
AUTOMOTRIZ	EUA, CANADA, JAPON Y EUROPA	PARTES ESTRUCTURALES PARA AUTOS Y CAMIONETAS ACCESORIOS PARA SUSPENSION	MMDM FM ERIM PULTRUSION TERMOFIJOS INYECCION TERMOPLASTICOS
ELECTRODOMESTICOS	JAPON	PARTES P/REFRIGERADORES, LAVADORAS HORNOS MICROONDAS, TOSTADORES ASPIRADORAS, PLANCHAS, ETC.	MMDM TERMOFIJOS INYECCION TERMOPLASTICOS
APARATOS DE NEGOCIO	EUROPA Y AUSTRALIA	GABINETES DE COMPUTADORAS, DE MAQUINAS DE ESCRIBIR, DE COPIA- DORAS, CALCULADORAS, ETC.	MMDM RTH

NOTA: BRASIL Y TAIWAN PERDIERON LIDERAZGO

TABLA V.7

CONCLUSIONES

De acuerdo a la información en esta tesis podemos concluir que la situación de la industria del poliéster reforzado en México se puede desarrollar no existiendo limitaciones por falta de capacidad en materias primas, sin embargo, se requiere mejorar su tecnología ya que el proceso de transformación se realiza en forma manual, lo que limita su campo de aplicación.

En México existe un importante potencial de desarrollo del Poliéster Reforzado debido a factores tales como crecimiento de población, escasez de materiales naturales, mayor urbanización, mayor competitividad a nivel internacional y posible ingreso a mercados comunes con los Estados Unidos, Canadá y países Iberoamericanos.

BIBLIOGRAFIA

1. Vitro Fibras, S. A., "Memorias del Encuentro Técnico de la Industria del Plástico".
2. Vitro Fibras, S. A., "Vitronoticias", (1985), 16, 7-13.
3. Vitro Fibras, S. A., "El Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio como Material de Construcción", (1985), 2-5.
4. Vitro Fibras, S. A., "Aislamientos Termoacústicos de Fibra de Vidrio", (1986), 3-6.
5. Vitro Fibras, S. A., "Vitronoticias", (1986), 30, 3-8.
6. Vitro Fibras, S. A., "Aplicaciones del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio", (1986), 3-12.
7. Vitro Fibras, S. A., "Plásticos Reforzados", (1985), 8-15.
8. Vitro Fibras, S. A., "Procesos de Fabricación" (1986), 4-7.
9. Calzada, P., Flores, H., Palacios, J., Lazcano, M., López, N., Zúñiga, M., "Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio y sus Aplicaciones", Soc. Química Mexicana, (1985), p. 43-50, 60-67, 142-152, 170-181.
10. Simonds, With, Bigelow, "Handboo, of Reinforced Plastic", 2a. Edición, D. Van Nostrand, Company Inc., (1976), p. 140-152.
11. Bjorksten, J., "Polyesters and their Applications", New York, Reinhold Publishing Corp., (1956), p. 10-20, 40-50, 54-65, 70-75.
12. Parrilla, F., "Resinas Poliéster, Plásticos Reforzado", 6a. Ed., (1978), p. 60-100.
13. Monroe, S., Chitwood, B., "Processing Methods", (1975), p. 174-178.
14. Morgan, P., "Glass Reinforced Plastics" New York, Philosophical Library, (1954), p. 175-177, 320-340.
15. Lawrence, "Polyester Resins", New York, Reinhold Publishing Corp., (1964) p. 33-40, 79-103.
16. Asociación Nacional de la Industria Química, "Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana, 1988", Talleres de Artes y Litografía de la ANIQ (1989), p. 130.

APENDICE

1. Parrilla, F., "Resinas Poliéster, Plásticos Reforzados", 6a. Ed. (1978).

Tabla II.2	pàg. 72
Figura 4.1	pàg. 70
Tabla IV.5	pàg. 63
Figura 4.4	pàg. 100
Figura 4.5	pàg. 101
Figura 4.6	pàg. 102
Figura 4.7	pàg. 93

2. Lawrence, "Polyester Resins", New York, Reinhold Publishing Corp., (1964).

Figura 2.2	pàg. 79
Tabla IV.3	pàg. 92, 93
Tabla IV.4	pàg. 100

3. Simonds, Weith, Bigelow, "Handbook of Reinforced Plastic", 2a. Edic., D. Van Nostrand, Company Inc., (1976).

Gràfica 2A	pàg. 142
Gràfica 2B	pàg. 142
Gràfica 2C	pàg. 142
Tabla II.3	pàg. 147
Tabla II.4	pàg. 148
Gràfica 2D	pàg. 149
Tabla II.5	pàg. 150
Gràfica 2E	pàg. 151
Tabla II.6	pàg. 143
Tabla II.7	pàg. 145

4. Vitro Fibras, S.A., "Aplicaciones del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio" (1986).

Tabla II.9	pàg. 10
------------	---------

5. Calzada, P., Flores, H., Palacios, J., Lazcano, M., López, N., Zúñiga, M., "Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio y sus Aplicaciones", Soc. Química Mexicana, (1985).

Tabla III.1	pàg. 43
Tabla III.2	pàg. 43
Figura 3.1	pàg. 46
Tabla III.3	pàg. 48
Tabla III.4	pàg. 50
Tabla III.4	pàg. 55
Tabla III.7	pàg. 60,61
Tabla III.8	pàg. 67
Tabla III.9	pàg. 67

Gràfica 3.A	pàg. 65
Gràfica 3.B	pàg. 66
Gràfica 3.C	pàg. 67
Tabla IV.7	pàg. 147
Gràfica 4.C	pàg. 144
Figura 4.8	pàg. 146
Figura 4.9	pàg. 147
Gràfica 4.D	pàg. 148
Gràfica 4.E	pàg. 149
Figura 4.10	pàg. 150
Gràfica 4.F	pàg. 151
Gràfica 4.G	pàg. 152

6. Bjorkesten, J., "Polyesters and their Applications", New York, Reinhold Publishing Corp., (1956).

Tabla IV.1	pàg. 56
Tabla IV.2	pàg. 54
Gràfica 4.A	pàg. 71
Gràfica 4.B	pàg. 71

7. Monroe, S., Chitwood, B., "Processing Methods", (1975).

Figura 4.2	pàg. 174
Figura 4.3	pàg. 176

8. Vitro Fibras, S.A., "Vitronoticias", (1985), 16.

Tabla III.6	
Figura 3.2	
Figura 3.3	
Figura 3.4	
Figura 3.5	

9. Vitro Fibras, S.A., "Vitronoticias", (1986), 30.

Tabla IV.6	
------------	--

10. Vitro Fibras, S.A., "Memorias del Encuentro Técnico de la Industria del Plàstico"

Tabla V.1	
Figura 5.1	
Figura 5.2	
Figura 5.3	
Figura 5.4	
Figura 5.5	
Figura 5.6	
Figura 5.7	

Figura 5.8
Figura 5.9
Figura 5.10
Tabla V.3
Tabla V.4
Tabla V.5
Tabla V.6
Tabla V.7

11. Asociación Nacional de la Industria "Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana, 1988", Talleres de Artes y Litografía de la ANIQ (1989).

Tabla V.2 pàg. 130
Gràfica 5.A pàg. 130
Gràfica 5.B pàg. 130
Gràfica 5.c pàg. 130

12. Sin referencia:

Tabla II.1
Figura 2.3
Tabla II.8