



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Evaluación de propiedades mecánicas en materiales
compuestos a base de fibra de vidrio y resina
poliéster”



TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO



Presentada por:

FABRICIO RENE BERREZUETA ALVARADO

Guayaquil – Ecuador

Año - 2001

AGRADECIMIENTO



A mi familia, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a todos sus profesores, al Ing. José Pacheco y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización y culminación exitosa de este trabajo.

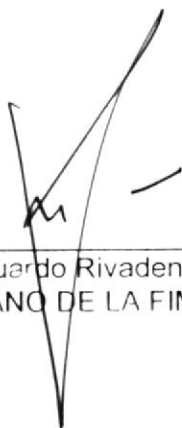
DEDICATORIA



A Dios.

A mis padres Edgar y Judith, mis hermanos Edgar y Tatiana, a Mercedes Margarita, a Karen, y a todos mis amigos que siempre estuvieron brindando su apoyo incondicional en todo momento.

TRIBUNAL DE GRADUACION



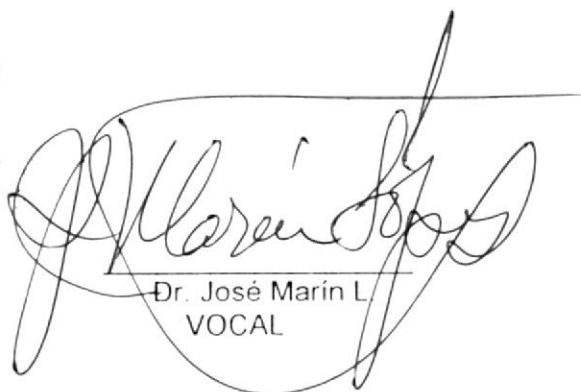
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. José Pacheco M.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Omar Serrano V.
VOCAL

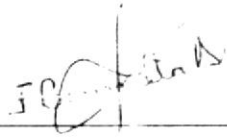


Dr. José Marín L.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Fabricio Berrezueta Alvarado



RESUMEN



El presente proyecto está orientado a la determinación de las propiedades mecánicas de material compuesto a base de fibra de vidrio en una resina poliéster. Este tipo de material es el más utilizado en la actualidad en nuestro país, por lo que hemos decidido realizar pruebas para de esta manera obtener mayor información sobre su comportamiento y su posible uso.

Para cumplir con este objetivo, primeramente se elaboraron laminas de material compuesto, luego se obtuvieron las respectivas probetas, se realizaron los ensayos respectivos de tracción, flexión, corte, impacto y compresión, bajo normas ASTM y finalmente se analizó los resultados obtenidos.

La determinación de propiedades mecánicas del material, está en función de la variación del porcentaje de fibra y porcentaje de la resina, para lo cual el espesor de los laminados será constante.

Con esta variación se pretende establecer un porcentaje aceptable entre fibra y resina, el cual indique mejores resultados en propiedades mecánicas y en costos de fabricación.

Además de indicar cual debe ser el procedimiento a seguir para obtener un mejor acabado en las piezas moldeadas por contacto a mano dando a conocer los posibles defectos que se pueden dar en este tipo de moldeo, indicando sus causas y soluciones. y presentar un estudio acerca de los riesgos que se corre al trabajar con este tipo de materiales, los problemas que pueden ocasionar en la salud de las personas



INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGIA	XIII
INDICE DE FIGURAS	XIV
INDICE DE TABLAS	XVI
INTRODUCCION	1



I. CONSTITUCION DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

1.1 Fibras

1.1.1 Fibra de vidrio

1.1.2 Fibras Orgánicas

1.1.3 Otras fibras

1.2 Matrices

1.2.1 Resinas Termoestables

1.2.1.1 Resinas poliéster insaturadas

1.2.1.2 Resinas epoxi

1.2.1.3 Otras resinas

1.2.2 Resinas Termoplásticas

1.2.3 Interfase fibra matriz

1.3 Cargas y Aditivos

1.3.1 Cargas

1.3.2 Aditivos

1.4 Recubrimientos

**II. FABRICACION, CARACTERISTICAS Y USO DE LOS MATERIALES
COMPUESTOS**

2.1- Fabricación

2.1.1 Procesos de molde abierto

2.1.2 Procesos de molde cerrado

2.2 Características

2.2.1 Propiedades mecánicas

2.2.2 Comportamiento ante el medio ambiente

2.2.3 Comportamiento ante concentración de tensiones

2.2.4 Comportamiento frente a fatiga

2.2.5 Capacidad de absorción de energía

2.2.6 Tolerancia al daño

2.3 Usos

2.3.1 Aeronáutica y espacio

2.3.2 Transporte terrestre

2.3.3 Marina

2.3.4 Industria militar



2.3.5 Otros usos

III. EXPERIMENTACION

- 3.1 Determinación de materias primas, tipo de moldeo y sus características
- 3.2 Procedimiento para elaboración del laminado
 - 3.2.1 Preparación de molde y de materias primas
 - 3.2.2 Colocación de la fibra de vidrio y la resina poliéster
- 3.3 Elaboración de probetas de fibra de vidrio – resina poliéster
- 3.4 Pruebas Mecánicas
 - 3.4.1 Ensayo de Tracción
 - 3.4.2 Ensayo de Flexión
 - 3.4.3 Ensayo de Corte
 - 3.4.4 Ensayo de Impacto
 - 3.4.5 Ensayo de Compresión
- 3.5 Análisis e interpretación de resultados

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ABREVIATURAS

ASTM	American Society Testing of Materials
BMC	Moldeo por compresión de cuerpos
°C	Grado centígrado
dm ³	decímetro cúbico
DMA	Dimetilanilina
DEA	Dietilanilida
DMPT	Dimetilparatoluidina
g	gramo
GPa	Giga –Pascal
hr	Hora
Kg	Kilogramo
Km	Kilometro
°K	Grado Kelvin
μ	micras
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
min	minuto



mm	milímetro
MEK	Metil etil cetona
MPa	Mega-Pascal
PVC	Polivinilcloruro
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PMMA	Polimetacrilato de metilo
PA	Poliámidas
PETP	Poliésteres termoplásticos
RIM	Moldeo por inyección reacción
RRIM	Moldo por inyección reacción con refuerzo
RTM	Moldeo por transferencia de resina
s	segundo
SMC	Moldeo por compresión de preimpregnados
T _g	Temperatura de transición vítrea
HDT	Temperatura de distorsión

SIMBOLOGIA

A_0	Area inicial
b	ancho
W	Carga máxima
P_y	Carga punto fluencia
ρ	Densidad
%El	Deformación unitaria
L	Distancia
d	Espesor
σ	Esfuerzo
φ	Humedad relativa
E	Módulo de elasticidad
P	Presión
m	Pendiente
T	Temperatura
V	Velocidad
R	Velocidad del cabezal
μ	Viscosidad
σ	Esfuerzo
S_{ur}	Resistencia a la tracción
S_y	Resistencia a la fluencia



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Características de las fibras	2
Figura 1.2 Hilado del vidrio	4
Figura 1.3 Presentación de la fibra de vidrio	7
Figura 1.4 Fibra de aramida	8
Figura 1.5 Fibra de Carbono	10
Figura 1.6 Etapas de curado de una resina	17
Figura 2.1 Máquina para colocar cintas	44
Figura 2.2 Enrollamiento	45
Figura 2.3 Moldeo por contacto a mano	46
Figura 2.4 Proceso de Centrifugación	48
Figura 2.5 Prensa	52
Figura 2.6 Máquina para inyección de termoestables	61
Figura 3.1 Probeta de tracción	80
Figura 3.2 Curva de tracción (P1 a P5).....	83
Figura 3.3 Curva de tracción (P6 a P10).....	84
Figura 3.4 Curva de tracción (P11 a P15).....	85
Figura 3.5 Probeta de flexión	90



Figura 3.6	Curva de flexión (P1 a P5).....	94
Figura 3.7	Curva de flexión (P6a P10).....	95
Figura 3.8	Curva de flexión (P11 a P15).....	96
Figura 3.9	Probeta de Impacto	100
Figura 3.10	Probeta de Compresión	103
Figura 3.11	Curva de compresión (P1 a P5).....	106
Figura 3.12	Curva de compresión (P6 a P10).....	107
Figura 3.13	Curva de compresión (P11 a P15).....	108
Figura 3.14	Curva ensayo de tensión (Carga vs. Velocidad del papel)	112
Figura 3.15	Curva ensayo de flexión (Carga vs. Velocidad del papel)	113
Figura 3.16	Curva ensayo de compresión (Carga vs. Velocidad del papel)	114
Figura 3.17	Comparación de resistencia última a la tensión.....	115
Figura 3.18	Comparación del módulo de elasticidad.....	116
Figura 3.19	Comparación del módulo tangente de elasticidad.....	117
Figura 3.20	Comparación de la resistencia al impacto.....	118
Figura 3.21	Comparación del módulo de compresión.....	119



INDICE DE TABLAS



	Pág.
Tabla I Tipos de fibra según su origen	2
Tabla II Características de la fibra de vidrio	4
Tabla III Presentaciones industriales de la fibra de vidrio	6
Tabla IV Comparación de propiedades entre kevlar 29 y 49	9
Tabla V Comparación de propiedades entre fibras de polietileno	9
Tabla VI Propiedades de la fibra de carbono	11
Tabla VII Características de la fibra de boro	12
Tabla VIII Clasificación de matrices utilizadas en materiales compuestos	16
Tabla IX Clasificación de resinas en función de la temperatura	18
Tabla X Cantidades de componentes	61
Tabla XI Resultados del ensayo de tracción (Laminado # 1)	86
Tabla XII Cálculo del módulo de elasticidad (Laminado # 1)	86
Tabla XIII Resultados del ensayo de tracción (Laminado # 2)	87
Tabla XIV Cálculo del módulo de elasticidad (Laminado # 2)	87
Tabla XV Resultados del ensayo de tracción (Laminado # 3)	88
Tabla XVI Cálculo del módulo de elasticidad (Laminado # 3)	88
Tabla XVII Resultados del ensayo de flexion (Laminado # 1)	97
Tabla XVIII Resultados del ensayo de flexion (Laminado # 2)	97
Tabla XIX Resultados del ensayo de flexion (Laminado # 3)	98

Tabla XX Resultados del ensayo de impacto (Laminado # 1)	102
Tabla XXI Resultados del ensayo de impacto (Laminado # 2)	102
Tabla XXII Resultados del ensayo de impacto (Laminado # 3)	102
Tabla XXIII Resultados del ensayo de compresión (Laminado # 1)	109
Tabla XXIV Módulo de compresión (laminado # 1)	109
Tabla XXV Resultados del ensayo de compresión (Laminado # 2)	110
Tabla XXVI Módulo de compresión (Laminado # 2)	110
Tabla XXVII Resultados del ensayo de compresión (Laminado # 3)	111
Tabla XXVIII Módulo de compresión (Laminado # 3)	111

INTRODUCCION

El término compuesto es usado para describir dos o más materiales que están combinados para formar una estructura más fuerte y resistente que la presentada por sus componentes.

El uso de materiales compuestos para diversas aplicaciones especialmente en la construcción de elementos de bajo peso y alta resistencia ha sido el principal objetivo para que se desarrollen nuevos productos y técnicas.

La finalidad de este trabajo es dar a conocer la importancia que tienen los materiales compuestos hoy en día, especialmente en donde se requiere altas prestaciones en condiciones críticas de trabajo.

Dentro de materiales compuestos existe una amplia variedad de materiales que pueden conformarlos, como son las fibras, resinas, cargas y aditivos, etc.

El objetivo principal de este trabajo consiste en la evaluación de propiedades mecánicas en materiales compuestos a base de fibra de vidrio y resina poliéster.



Esta combinación de materiales es la que más se utiliza en nuestro medio a nivel industrial, por lo que la información que se obtenga al evaluar este material, será de mucha ayuda en el momento de diseñar.

Las pruebas consistirán en determinar los valores de resistencia a tracción, compresión, flexión, corte e impacto. De esta manera se puede comparar los diferentes valores que cada prueba arroje y así establecer una mejor utilización de estos materiales compuestos.

CAPITULO 1

1. CONSTITUCION DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

1.1 Fibras

La fibra es el componente de refuerzo del material compuesto. Aporta resistencia mecánica, rigidez, dureza y va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes de las fibras en los materiales compuestos son su resistencia a la tracción específica (esfuerzo/densidad (MPa/g/dm^3)) y su elevado módulo específico (módulo elástico / densidad (GPa/g/dm^3)). (Figura 1.1).

Las fibras son usadas para reforzar matrices y formar compuestos estructurados y moldeados, con esto se pretende alcanzar excelentes propiedades mecánicas, físicas y químicas. Los tipos de fibras de refuerzo se pueden clasificar según su origen:

TABLA I
TIPOS DE FIBRA SEGUN SU ORIGEN

ORIGEN MINERAL	Fibras cerámicas (carburo de silicio)
	Fibras metálicas
	Fibra de origen inorgánico (Carbono, Vidrio, Boro)
ORIGEN ORGÁNICO	Aramida, Polietileno.

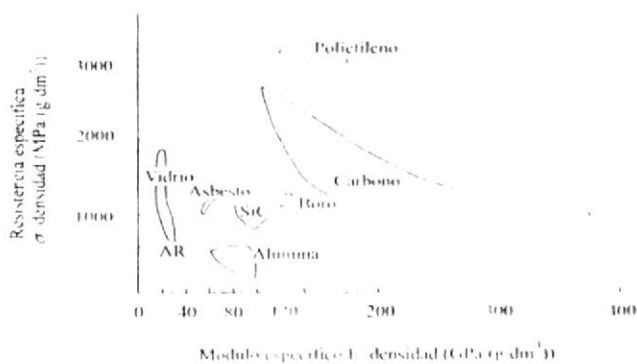


FIGURA 1.1 Características de las fibras

Cuando combinadas con una matriz, las fibras de refuerzo son las que dan el primer esfuerzo para la estructura compuesta.

Los principales materiales de los cuales las fibras pueden ser producidas económicamente para uso de compuestos con requerimientos de alto esfuerzo y rigidez son: vidrio a base de silicio

de alta resistencia (vidrio E) y de alto esfuerzo (vidrio S), carbón: grado grafitizado, boro, poliamidas aromáticas o aramidas.

Las fibras utilizadas en materiales compuestos, modernos se pueden clasificar de forma general en tres categorías:

1) Fibra inorgánicas. 2) Fibras poliméricas. 3) Fibras de carbono.

1.1.1 Fibra de Vidrio

Es el refuerzo más utilizado actualmente en la fabricación de materiales compuestos, sobre todo en aplicaciones industriales, esto se debe a su gran disponibilidad, sus buenas características mecánicas y su bajo costo.

Cuando se eleva suficientemente la temperatura, el vidrio en general puede ser fibrado y de esta manera se obtiene los filamentos para la fabricación de las diferentes presentaciones industriales de este material.

La fibra de vidrio está formada fundamentalmente por sílice, que se asocia a diversos óxidos (alúmina, alcalinos y

alcalinotérreos), y se obtiene por fusión de la mezcla de estas materias primas, pasando por la hilera y sometiéndose a una operación de estirado.

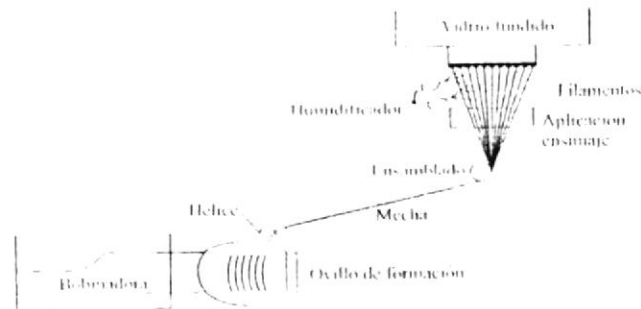


Figura 1.2 Hilado del vidrio

Los principales tipos son: **Vidrio E** (Eléctrico), **vidrio A** (Alto contenido en Alkali), **vidrio AR** (Alkali resistente), **vidrio C** (Químico), **vidrio R ó S** (Resistencia), **vidrio D** (Dieléctrico).

Las principales características de la fibra de vidrio son:

- Alta adherencia fibra-matriz, gracias a recubrimientos apropiados para la mayoría de las matrices orgánicas

- Resistencia mecánica, siendo su resistencia específica (tracción /densidad) superior a la del acero.
- Características eléctricas. Es aislante eléctrico incluso en espesores reducidos. Tiene buena permeabilidad dieléctrica. Permeable a las ondas electromagnéticas.
- Incombustibilidad, materia mineral, la fibra de vidrio es incombustible por naturaleza. No propaga la llama, no origina con el calor humos y no es tóxico.
- Estabilidad dimensional, poco sensible a variaciones ambientales, tiene un bajo coeficiente de dilatación.
- Compatibilidad con las materias orgánicas. Su aptitud de recibir diferentes ensimajes creando un puente de unión entre el vidrio y la matriz le confieren la posibilidad de asociarse a numerosas resinas sintéticas, así como a ciertas matrices minerales (yeso o cemento).

TABLA II

CARACTERISTICAS DE LA FIBRA DE VIDRIO

Tipo	Vidrio A	Vidrio E	Vidrio S	Vidrio R
Diámetro de hilo (μm)	5-13	10-20	10	10
Densidad (Kg/m^3)	2500	2580	2480	2590
Módulo de elasticidad (Gpa)	69	72.5	86	85
Resistencia a la tracción (Gpa)	3.1	3.4	4.59	3.4 – 4.4
Módulo específico	28	28	34	33
Coeficiente de expansión	8.6	5	5.1	5

La fibra de vidrio se presenta en diferentes formas:

TABLA III
PRESENTACIONES INDUSTRIALES DE LA FIBRA DE VIDRIO

MAT	Superficie, hilos cortados, hilos continuos
MECHAS	Directo, ensamblado Voluminizado, texturizado
TEJIDO	Equilibrado, orientado, unidireccional
HILOS CORTADOS	Refuerzo, termoplásticos, refuerzo escayolas, usos varios
VARIOS	Fibra molida, complejos mat-tejido



Figura 1.3 Presentación de la fibra de vidrio

1.1.2 Fibras Orgánicas

Fibra de Aramida

Son fibras de origen orgánico y sintético, se obtienen por hilado de poliamidas aromáticas del tipo politereftalato de polifenilendiamina.

Este grupo de fibras de aramida es relativamente nuevo y potencialmente importante, basado en la alta resistencia y rigidez que es posible obtener en polímeros completamente alineados.

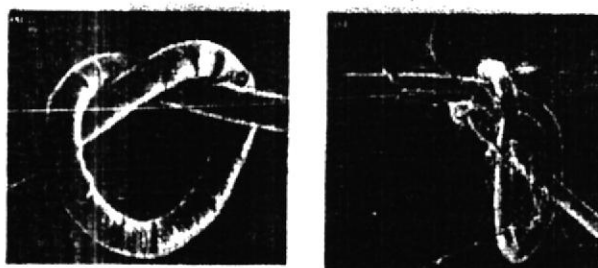


Figura 1.4 Fibra de aramida

Según el procedimiento de fabricación que pueden ser por extrusión o por hilado, se distinguen dos tipos de fibras en función de su rigidez: fibras de bajo módulo ($E=70\text{GPa}$), u fibras de alto módulo ($E=130\text{MPa}$). Los materiales

compuestos son fibra de aramida son considerados de altas prestaciones, ya que sus características mecánicas son muy elevadas.

- Fibras de bajo módulo ($E=70$ GPa).
- Fibras de alto módulo ($E=130$ GPa).



Las tres principales fibras de aramida son:

Kevlar RI®, Kevlar 29®, Kevlar 49®.

TABLA IV

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES ENTRE KEVLAR 29 Y 49

Designación	Kevlar [®] 29	Kevlar [®] 49
Diámetro de hilo (μm)	12	12
Densidad (Kg/m^3)	1440	1450
Módulo de elasticidad (Gpa)	60	128
Resistencia a la tracción (Gpa)	1.92	2.94 3.6
Módulo específico	41	88

Fibra de Polietileno

Al igual que la aramida, la fibra de polietileno, es una fibra orgánica, cuyas propiedades son muy similares. Tiene una densidad muy baja ($970 \text{ Kg}/\text{m}^3$) y presenta una muy

pobre adherencia a la matriz, lo que hace que las propiedades a la compresión y a cortante sean muy limitadas. Sus propiedades disminuyen rápidamente con el aumento de temperatura.

TABLA V
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES ENTRE FIBRAS DE POLIETILENO

Designación	Spectra 900	Spectra1000
Densidad (Kg/m ³)	970	970
Módulo de elasticidad (Gpa)	117	172
Resistencia a la tracción (Gpa)	2.6	2.9 3.3
Elongación a la rotura	3.5	0.7
Módulo específico	120	177

1.1.3 Otras Fibras

Fibra de Carbono

Muchas formas de fibras de carbono están disponibles, son de bajo costo, producidas por pirólisis de muchos materiales orgánicos fibrosos bajo condiciones controladas. Los materiales compuestos formados por matrices de resinas plásticas tales como epoxi, reforzadas con fibras de carbono se caracterizan por dar una combinación ligera, de gran resistencia y consistencia

(módulo de elasticidad). También en condiciones estáticas sus propiedades son muy elevadas tanto en las fibras de alto módulo como en las de alta resistencia.

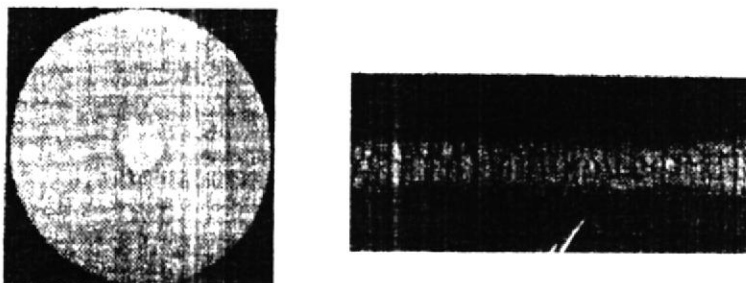


Figura 1.5 Fibra de Carbono



A partir de las temperaturas del tratamiento de calentamiento se han identificado tres tipos:

1. La fibra de alto módulo (HM) es la más rígida y requiere la mayor temperatura en el tratamiento
2. La fibra de alta resistencia (HR) es la más fuerte, se carboniza a la temperatura que proporciona la mayor resistencia tensil.
3. Fibra de carbono (HI): barata, rigidez menor que las anteriores, su resistencia es buena. La temperatura de tratamiento es la más baja.

TABLA VI
PROPIEDADES DE LA FIBRA DE CARBONO

Designación	Alta Resistencia (HR)	Alto módulo (HM)	III
Diámetro de hilo (um)	8	7	7-8
Densidad (kg/m ³)	1740-1760	1810-1870	1820
Módulo de elasticidad (GPa)	230	390	290
Resistencia a tracción (GPa)	2,6-5	2,1-2,7	3,1
Elongación	2	0,7	1,1
Módulo específico	130	210	160

Fibra de Boro

La mayor parte del boro que se comercializa se hace en forma de preimpregnados boro-epoxy. Los filamentos de boro son unidireccionales. El volumen de fibra suele ser entre el 30% y el 35%. Todos estos materiales son almacenados en cámaras frigoríficas.

TABLA VII
CARACTERISTICAS DE LA FIBRA DE BORO

Designación	Boro
Densidad Kg/m ³	2570
Diámetro del hilo (μm)	100 – 140
Módulo de elasticidad (GPa)	400
Resistencia a tracción (GPa)	3.6
Módulo específico	155

Fibra de Carburo de Silicio

Son filamentos de 10 a 15 micras de diámetro, son muy estables incluso en atmósferas oxidantes. Generalmente utilizado para reforzar aleaciones metálicas de aluminio y titanio, también ha sido utilizado para refuerzos de matrices orgánicas y cerámicas. Su costo es menor que el boro, por ello se lo utiliza con mayor frecuencia.

Fibra de Cuarzo

Tiene un alto contenido de sílice SiO_2 , 99.9 %. Producidas a partir de cristales de cuarzo natural, los cristales son producidos en forma de barritas, a partir de estos cristales se crean los filamentos. Alrededor de 200 filamentos combinados dan lugar a una fibra flexible y con alta resistencia



Fibras Cerámicas

Las fibras cerámicas se desarrollaron debido a la necesidad de refuerzos en el campo aeroespacial que

tengas elevadas prestaciones en altas temperaturas. Existen fibras cerámicas basadas en nitruros, óxidos y carburos. Las fibras cerámicas han sido utilizadas para el refuerzo de aleaciones ligeras desde los años 60. A lo largo de los años se han ido mejorando las propiedades de dichas fibras a altas temperaturas, pasando de los 400°C, que pueden soportar las fibras de carbono, hasta los 1000°C, capaces de soportar las fibras de carburo de silicio sin variar sus propiedades mecánicas.

Fibras Metálicas

Tienen la desventaja de su densidad y costo, pues salvo el acero, son todas más caras que la fibra de vidrio. Pueden obtenerse mediante técnicas diferentes, como laminado, trefilado o proyección del líquido. Se aplican generalmente en matrices metálicas y las principales fibras metálicas son:

- Hierro y aleaciones
- Aceros inoxidables
- Titanio, tantalio y níquel.



- Cobre y aleaciones
- Aluminio y aleaciones
- Plata, oro, metales preciosos

1.2 MATRICES

La matriz en un compuesto, cumple tres funciones principales: mantener a las fibras juntas, distribuir la carga entre ellas y protegerlas del ambiente.

Las matrices orgánicas, en general, son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, producto de reacciones de polimerización por adición o condensación de diferentes compuestos. Las macromoléculas pueden ser unidas entre sí mediante fuerzas de diversa intensidad. Así, cuando sean de baja intensidad, podremos superarlas con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido. Los polímeros con estas características son los llamados termoplásticos los cuales se funden o plastifican con un suministro de calor, es decir, con un incremento de temperatura. Cuando las fuerzas de unión de estos filamentos entre sí son tan intensas que llegan a igualar a las de construcción de ellos mismos, se romperán antes de separarse, lo que implica que al incrementar la temperatura

no podrán cambiar de estado sólido a líquido, denominando a estos polímeros termoestables.

TABLA VIII
CLASIFICACIÓN DE MATRICES UTILIZADAS EN MATERIALES
COMPUESTOS

INORGANICAS	CEMENTO, GEOPOLIMEROS, YESO MATRICES CERAMICAS MATRICES METALICAS	
ORGANICAS	TERMOESTABLES	EPOXY, VINILESTER, POLIESTER, FENOLICA, ESTER CIANTO, BISMALEIMIDAS, POLIIMIDAS, POLIETERAMIDA
	TERMOPLASTICAS	POLICLORURO DE VINILO(PVC), COPOLIMEROS DE ESTIRENO (ABS, SAN), POLIETILENO (PE), POLIPROPILENO (PP), POLICARBONATO (PC), POLIMETACRILATO DE METILO(PMMA), ACETATO, PLIESTIRENO (PS), POLIOXIMETILENO (POM), PBT, POLIEREIMIDA, PET, NYLON, POLIAMIDA, PEEK, PEKK, PAI, PAS.



1.2.1 Resinas Termoestables

Los tipos de resinas más importantes utilizadas en materiales compuestos son las resinas líquidas termoestables, algunas veces llamadas químico estables. Las resinas termoestables, son líquidas a temperatura ambiente y deben curarse para alcanzar el estado sólido. Esto se puede llevar a cabo por

medios químicos a temperatura ambiente, mediante calentamiento a elevada temperatura o mediante diferentes tipos de radiación como las ultravioletas, haz de electrones altamente cruzados.

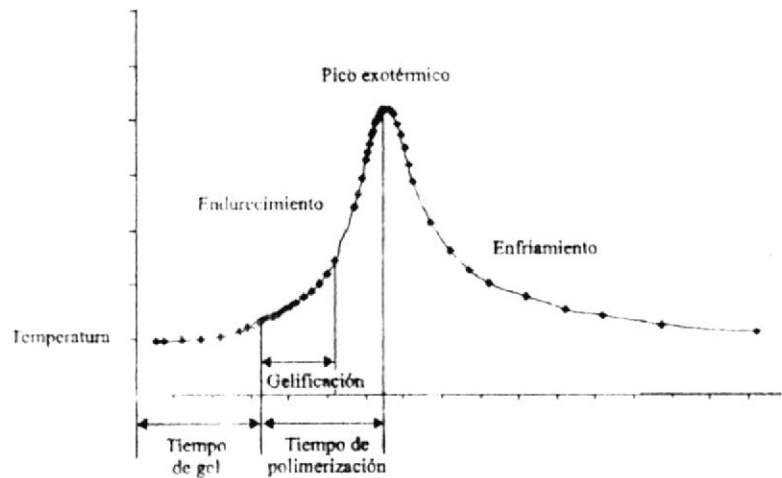


Figura 1.6 Etapas de curado de una resina

Estas no pueden volverse a fundir sin sufrir una seria degradación, además generalmente, son insolubles. Sin embargo pueden ser atacados por solventes, que pueden provocar un ablandamiento y reducción de la temperatura máxima de operación. Uno de los factores críticos en las prestaciones de todas las matrices resinosas es la máxima temperatura a la que pueden ser utilizadas en condiciones de servicio. Este valor viene caracterizado por la temperatura de transición vítrea (T_g) o por la temperatura de distorsión (HDT).

Los polímeros termoestables se fabrican normalmente a partir de precursores líquidos o semisólidos que endurecen irreversiblemente; esta reacción química es conocida como policondensación, polimerización o curado y al final del proceso, la resina líquida se convierte en un sólido duro. Las unidades moleculares que forman la red y la longitud y la densidad de los eslabones en cruz de la estructura influirán en las propiedades mecánicas del material:

TABLA IX
CLASIFICACION DE RESINAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Bajas Temperaturas	Poliéster
Medias Temperaturas	Vinilester Epoxy
Media - Alta Temperatura	Fenólica
Altas Temperaturas	Bismaleimida Poliimida Esteres cianato Polieteramida



1.2.1.1 Resinas poliéster insaturadas

Las resinas poliéster insaturadas constituyen la familia más importante de las resinas termoestable utilizadas en los materiales compuestos. Las resinas comerciales se disponen en un amplio rango de viscosidades según

las diferentes operaciones de procesado a que va a ser sometida y según los diferentes requerimientos de prestaciones exigidas. Las prestaciones de las resinas también están influenciadas por la elección y proporciones de los ingredientes principales, así como por el número de aditivos y modificadores que se utilizan.

Existen cientos de diferentes formulaciones de poliéster comercialmente. Esto permite a los diseñadores y fabricantes seleccionar la resina adecuada al producto que se va a fabricar.

La familia de las resinas poliéster insaturadas es por tanto el sistema más versátil que puede ser adaptado a muchos procesos y a especificaciones de prestaciones finales. Los materiales que curan a temperaturas ambiente tienen unos valores de T_g relativamente bajos y pueden ser susceptibles de ser atacados por algunos solventes. La configuración y la composición química de las resinas poliéster endurecida, determinan sus

características y sus propiedades (flexibilidad, dureza, resistencia mecánica, química térmica).

Mediante una elección cuidadosa según uno o varios parámetros es posible variar de forma importante una o varias características de la resina elegida.

No es posible definir las propiedades genéricas de las resinas poliéster. Sin embargo, es posible saber que características particulares tendrá una resina en función de sus constituyentes base y recíprocamente cuál será el tipo de resina a elegir para una aplicación determinada.

Las resinas poliéster son productos inestables, por lo que las condiciones de almacenamiento deben ser consideradas con atención. Se pueden almacenar en recipientes de acero ordinario a condición de que la superficie interior esté exenta de herrumbres, ya que en este caso se favorecería la polimerización espontánea.

Para la preparación de las mezclas de resinas, aceleradores, catalizadores, etc., es suficiente con observar las siguientes precauciones:

- Orden de introducción de los diferentes constituyentes, hay que introducir el acelerador y homogeneizar la mezcla, a continuación las cargas volviendo a homogeneizar, introduciendo y homogeneizando por último el catalizador.
- Protección de ojos y manos con gafas y guantes de seguridad adecuados.
- Ventilación suficiente, al preparar grandes cantidades y en caso de aplicación a grandes superficies donde la evaporación del monómero será importante.
- Recipientes para el catalizador, utilizando recipientes de acero inoxidable, polietileno, aluminio puro vidrio o porcelana para almacenar los catalizadores peroxídicos. No hay que devolver al recipiente original el peróxido no utilizado.



Material de dosificación: No hay que utilizar jamás el mismo útil para la dosificación de catalizador y activador. En caso de medir catalizador por volumetría, no pipetear nunca con la boca.

El endurecimiento es un fenómeno resultante de la adición de moléculas de poliéster y de monómero entre ellas. El endurecimiento de la resina de poliéster se efectúa en presencia de un catalizador, de dos formas diferentes:

- A temperatura ambiente, con la ayuda de un acelerador.
- A temperaturas elevadas.

Los catalizadores tienen por objeto llevar a la molécula de poliéster a un nivel energético tal, que la reacción de copolimerización se haga posible en las condiciones de transformación elegidas.

Los aceleradores químicos utilizados dependen del tipo de catalizador y son:

- Sales metálicas de metales pesados y en particular sales de cobalto, casi siempre naftenato u octoato, en disolución 6 %.

- Aminas terciarias aromáticas: dimetilnilina (DMA), dietilnilida (DEA), o dimetilparatoluidina (DMPT).
- Agentes reductores (sales complejas, etc).

Los parámetros de energía, tiempos y velocidades de endurecimiento son los principales criterios de elección de un sistema catalítico y se elegirán en función del procedimiento del moldeo empleado.

Los diversos tipos de catalizadores deben responder a características tales como ser solubles en el monómero y no reaccionar con él y ser relativamente estables a temperatura ambiente.

Las cantidades utilizadas serán función de la reactividad de la resina y de los tiempos de gel y curado requeridos. Para los catalizadores se utiliza generalmente del 1 al 3% con relación a la resina, mientras que para los aceleradores las cantidades varían entre el 0.1 y el 0.5 % de soluciones comerciales.



1.2.1.2 Resinas Epoxi

Las resinas epoxi son termoendurecibles que contienen en su molécula dos o varias funciones epoxídicas o glicídicas

La dureza de este tipo de resina es superior a la de las resinas poliéster y, por ello, pueden operar a temperaturas más altas. Tiene buena adherencia a muchos sustratos, baja concentración durante la polimerización. Esto permite moldeos de calidad, con buena tolerancia dimensional para ser fabricada.

Las resinas epoxi se caracterizan por tener una baja retracción, un buen comportamiento a temperatura elevada, hasta 180 °C y una buena resistencia a los agentes químicos.

La resina se cura por reacción con un agente de curado y la reacción a menudo se controla mediante el uso de catalizadores y aceleradores.

El principal desafío en la formulación de resinas epoxi es equilibrar sus prestaciones a elevadas temperatura, especialmente la resistencia a tracción (en caliente o húmedo) del material compuesto, con su dureza y tolerancia al daño medida mediante una compresión después del ensayo de impacto. Al mismo tiempo, se debe mantener una adecuada procesabilidad del material.

Formulaciones



Las resinas epoxi son versátiles y pueden ser usadas en una gran variedad de aplicaciones.

La formulación de la resina debe satisfacer los requerimientos de fabricación y cumplir unas características mecánicas determinadas. Se puede distinguir las siguientes:

- Resinas para laminado
- Resinas para enrollamiento filamentario
- Resinas para Moldeo por Transferencia de Resina (RTM)

- Preimpregnados de curado a 60, 120 y 175 °C

1.2.1.3 Otras resinas

Resinas Viniléster

Las resinas termoendurecibles viniléster son recientes y están llamadas a tener un gran desarrollo, a pesar de su elevado costo, 1.5 a 2 veces superior al de las poliéster elásticas. Se presentan en disolución con un 30% a 40% de monómeros reactivos, generalmente estireno y se utilizan de la misma forma que las resinas de poliéster con los mismos aceleradores y catalizadores.

Resinas de Esteres Cianato

Las resinas esteres cianato son matrices versátiles que ofrecen una elevada resistencia, dureza y propiedades eléctricas y muy baja absorción de humedad. Además mejoran la estabilidad dimensional,

eliminan la corrosión provocada por las impurezas de la resina y tienen una buena reparabilidad.

Resinas Polieteramida

Existe una nueva familia de resinas termoestables de polieteramida. Están diseñadas para competir en costo y prestaciones con las resinas epoxi, bismaleimidas y poliimidas para aplicaciones de alta temperatura. Las inherentes formulación termoestable de gran dureza ofrece estabilidad ante la oxidación para altas temperaturas. Su resistencia a la tracción está en el orden de los 195 MPa.

Resinas fenólicas



Tienen aplicaciones en componentes aislantes de equipos eléctricos, reductores y materiales que sufran desgaste (especialmente donde la lubricación es mínima).

Las ventajas de las resinas fenólicas vienen dadas por su excelente estabilidad a elevadas temperaturas y

especialmente en su retardo a la llama y baja emisión de humo y gases tóxicos cuando son expuestas al fuego.

Al utilizarlas con refuerzos modernos (fibras de vidrio o de carbono), las propiedades mecánicas son menores que cuando se utilizan refuerzos con resinas epoxi, pero su comportamiento frente al fuego, llama y su comportamiento referente a las emisiones tóxicas es superior.

Los sistemas basados en resinas fenólicas se especifica generalmente en aplicaciones con requerimientos críticos de comportamiento frente al fuego.

Resinas de Bismaleimida y Poliimida

Las resinas poliimidadas tienen la prestación de la temperatura mas elevada, pero son relativamente difíciles de procesar. Estas resinas básicas poseen baja viscosidad y curan térmicamente de forma rápida y

predecible. Son relativamente costosas de sintetizar. Se utilizan con frecuencia en materiales compuestos de matriz orgánica para aplicaciones de alta temperatura normalmente en aeronáutica y misiles, así como en circuitos eléctricos.

1.2.2 Resinas Termoplásticas

Las matrices termoplásticas reforzadas con altas prestaciones se han desarrollado con el doble objetivo de obtener materiales aptos para altas temperaturas y conseguir elevadas resistencias al impacto. Estas matrices son muy diferentes a los materiales termoplásticos convencionales, los cuales presentan propiedades muy bajas a altas temperaturas a diferencia de las matrices termoplásticas de altas prestaciones cuyas características son superiores a la matrices epoxi. Estas matrices son muy duras y presentan mayores resistencias que las matrices termoestables. Debido a sus altas deformaciones de rotura, permiten la incorporación de fibras de carbono de alta resistencia y módulo medio.



Por definición, las resinas termoplásticas son sólidas a temperatura ambiente y se debe aumentar su temperatura hasta el estado líquido cuando se van a utilizar en cualquier proceso. Aparte del cambio de estado de sólido a líquido y viceversa, no sufren cambio químico y el ciclo de fundición solidificación se puede repetir indefinidamente.

Las matrices termoplásticas no absorben cantidades significativas de agua, pero su resistencia a los solventes orgánicos es un problema para la mayor parte de termoplásticos no cristalinos. Este tipo de resinas es de gran interés debido a las propiedades de resistencia al impacto, a la delaminación, dureza, reducción de costos de proceso y mayor facilidad de reciclaje que para matrices termoestables.

Entre los principales tenemos:

Policloruro de vinilo (PVC)

Polietileno (PE)

Polipropileno (PP)

Poliestireno (PS)

Polimetacrilato de metilo (PMMA)

Poliamidas (PA)



Poliésteres termoplásticos (PETP)

Policarbonato

Plásticos fluorados

1.2.3 Interfase fibra-matriz

Los refuerzos deben estar fuertemente unidos a la matriz, de forma que su resistencia y rigidez sean transmitidas al material compuesto. El comportamiento a fractura depende de la resistencia de la interfase. Una interfase débil da como resultado un material con baja rigidez y resistencia pero alta resistencia a la fractura, mientras que una interfase fuerte resulta en un material rígido y resistente pero con una frágil resistencia a la fractura.

La interfase es importante tanto si el refuerzo esta en forma de fibra continua, fibra corta, whiskers o partículas aunque el papel de la interfase difiere según el tipo de refuerzo. Las características de la interfase están determinadas por la discontinuidad en propiedades y por lo tanto son específicas para cada combinación fibra matriz.

Impregnabilidad

La impregnabilidad puede definirse como la capacidad de un líquido para extenderse por una superficie sólida.

Está claro que la adhesión fibra-matriz depende totalmente de la fabricación del material compuesto, la fibra y la matriz deben ser llevadas a un contacto íntimo. En algunas etapas de la fabricación del material compuesto, la matriz se debe comportar como un líquido. Una buena impregnabilidad significa que la matriz fluirá perfectamente por la superficie del refuerzo y desplazará todo el aire.

Un buen impregnado se dará cuando la viscosidad de la matriz no sea muy alta y cuando exista un descenso en la energía libre del sistema.

Unión en la interfase

La unión de la interfase tendrá lugar una vez que la matriz haya impregnado el refuerzo. Pueden aparecer distintos tipos de unión. Además para un mismo sistema puede darse varios tipos de unión.

Unión mecánica

Unión electrostática:

Unión química: .

1.3 CARGAS Y ADITIVOS

En la industria de los materiales compuestos se utilizan diferentes productos que pueden ser incorporados al material compuesto fibra-resina para aportar al material características particulares o reducir el costo del mismo.

La cantidad de productos añadidos es variable según se trate de cargas y aditivos. Las propiedades aportadas por cada uno de los productos añadidos al material compuesto son las siguientes:

- Mejoran en producto acabado
- Mejoran la procesabilidad de material compuesto



Los efectos de las cargas sobre las resinas son las que se detallan a continuación:

- Aumento de la viscosidad de la mezcla
- Aumento de la densidad

- Aumento del módulo de elasticidad
- Aumento de la dureza
- Aumento de la estabilidad dimensional

Generalmente disminuyen la resistencia a la tracción y a la flexión, en cuanto a la resistencia a la compresión, está permanecerá casi invariable. La elección de una carga y aditivo para una aplicación dada debe hacerse en función de:

- Constitución química: Neutralidad, compatibilidad con la fibra y resina, buena resistencia a químicos y buena unión con la resina
- Sus propiedades físicas: Dimensión, forma, superficie, distribución de partículas, densidad, estabilidad térmica, no ser abrasiva para no deteriorar los equipos de fabricación (máquinas y moldes)
- Su costo, manipulación y disponibilidad

1.4 RECUBRIMIENTOS

El diseño y el color de las piezas de materiales compuestos son dos conceptos estrechamente vinculados. Igualmente la protección de la superficie, junto con un buen acabado de la misma son exigencias que la mayoría de los fabricantes ponen en sus productos.

Normalmente, los recubrimientos o capas superficiales de resina son suficientes para resolver la mayoría de los problemas medioambientales (ataques químicos, agua y humedad).

Sin embargo, cuando el material compuesto está sometido a abrasión o altas temperaturas, lo más eficiente es ejecutar la pieza de materiales compuestos como si no hubiera tal requerimiento y posteriormente añadir el recubrimiento adecuado. A continuación se presentan los tipos de recubrimientos más usados:

Recubrimiento (Gel coat)



Este recubrimiento es la primera capa que se aplica al molde preparado, y constituye el acabado de una de las superficies del laminado, proporcionándole protección contra productos químicos, la intemperie o la humedad.

Químicamente, este recubrimiento, es del tipo poliéster, normalmente isoftálica, con pigmentos y aditivos en suspensión. Si bien el uso del recubrimiento es opcional y el color final de la pieza se puede conseguir por otros métodos (pintado, coloración en mas de la resina), es evidente que debe ser utilizado cuando las

especificaciones de la pieza exijan una o varias de las características siguientes:

- Calidad y estabilidad de color
- Resistencia a la intemperie
- Resistencia al agua
- Resistencia al calor
- Resistencia a la abrasión
- Ausencia de porosidad superficial
- Alto brillo, permanente en el tiempo
- Resistencia a los productos químicos

La baja absorción de agua de los recubrimientos, reduce al mínimo el peligro de que se formen burbujas en la superficie de la pieza. La buena estabilidad de los colores y el alto brillo superficial mantienen el aspecto inicial de las piezas durante mucho tiempo.

La resistencia al agua y a la intemperie en las más duras condiciones climatológicas, sin perder la flexibilidad, son condiciones a menudo exigibles a las piezas de materiales compuestos, sobre todo en aquellas en que son sometidas a fuerzas dinámicas.

CAPITULO 2

FABRICACION, CARACTERISTICAS Y USO DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

2.1 Fabricación

2.1.1 Procesos de molde abierto



Moldeo por vacío con autoclave. Los preimpregnados

Dos son las funciones principales de un autoclave en este proceso: la aplicación simultánea de presión y calor. Este proceso se controla mediante manipulación de variables como temperatura, presión y el vacío.

El preimpregnado es un material que se presenta bajo determinadas formas (láminas, tejidos unidireccionales) que ha

sido impregnado antes de su uso, esto se da generalmente a bajas temperaturas (-20°C).

Tienen un buen control sobre el porcentaje fibra/matriz, lo que implica que sean usados ampliamente en aeronáutica, energía eólica, etc.

Elimina la necesidad del impregnado en el lugar de trabajo, con lo que el proceso de laminado se simplifica mucho.

Colocación automática de cintas y fibras

Las ventajas técnicas que proporciona son reducción de tiempos, uniformidad de presiones sobre todo en piezas de gran dimensión.

En este proceso se tomará en cuenta factores como la geometría, la adherencia del material, el retirado de la película protectora, la exactitud del posicionamiento y la compactación de las capas para eliminar las posibles burbujas de aire que pueden quedar atrapadas.

pueden quedar atrapadas.

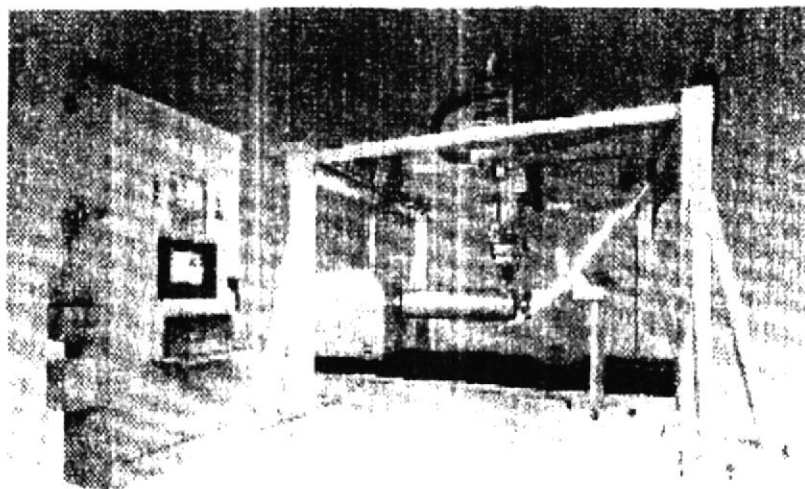


Figura 2.1 Máquina para colocar cintas

Procesado de preimpregnados sin autoclave

Este proceso es mediante laminación o enrollado, obteniéndose materiales de elevadas y medias prestaciones con propiedades muy buenas.

Actualmente existen en el mercado preimpregnados de fibra de vidrio-poliéster, fibra de vidrio-epóxica, fibra de vidrio-fenólicas y aramida-epóxica a precios muy competitivos.

El enrollado es un proceso de fabricación de tubos. Este proceso se está utilizando para la fabricación de tubos de pequeños y medios diámetros y de gran longitud (6m), y bajo espesor de pared. Es un método de operación simple.

Enrollamiento filamentario

Es un proceso de fabricación en el que refuerzos continuos en forma de mechas, monofilamentos impregnados o bandas, son enrollados a grandes velocidades y de forma precisa sobre un mandril que rota en torno a su eje de giro.



Figura 2.2 Enrollamiento

Las estructuras que se pueden fabricar son necesariamente de revolución, con simetría cilíndrica, esférica y cónica. Estas

estructuras se diseñan para condiciones de carga específicas, como presión interna o externa para el caso de depósitos y tuberías, flexión y compresión.

Moldeo por contacto a mano.

Con carácter general podemos decir que el moldeo de un plástico reforzado con fibra de vidrio consta de tres fases, que pueden ser simultáneas o alternativas, en función del procedimiento que se elija:

Estos pasos son los siguientes:

- Impregnación del refuerzo por la resina, que corresponde a la constitución de un material compuesto exento de inclusión de aire.
- Adaptación de dicho material compuesto a las formas y dimensiones deseadas, con la ayuda de un molde.
- Endurecimiento del material y desmolde de la pieza final.

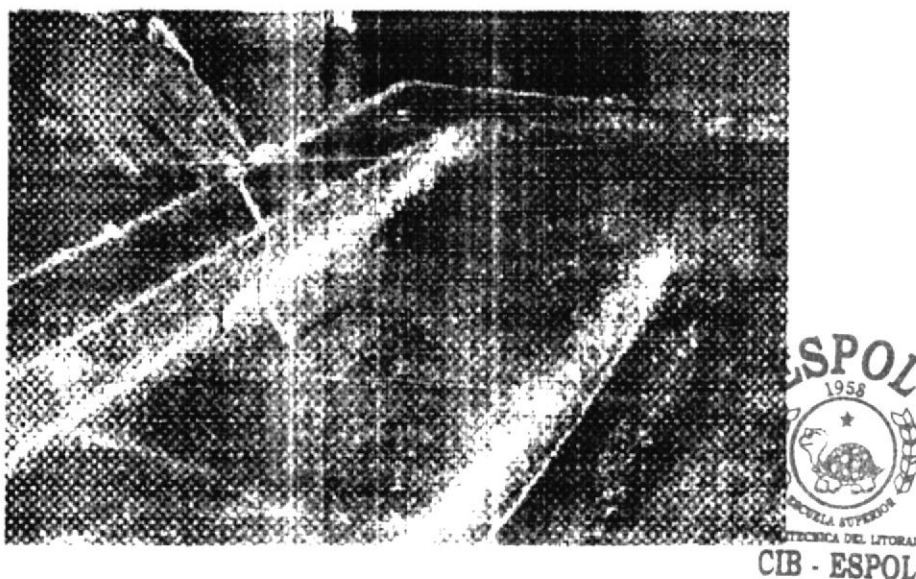


Figura 2.3 Moldeo por contacto a mano

En el proceso de moldeo por contacto a mano, el curado o solidificación de las resinas se inicia partiendo del estado líquido de las mismas mediante aditivos químicos (sistema catalítico), pasando siempre por estados intermedios de gelificación hasta llegar a la estructura final completamente en estado sólido.

Esta transformación química es irreversible, y se produce a temperatura ambiente, aunque la aportación de calor en la fase final del proceso permite reducir los tiempos de polimerización y por lo tanto de moldeo. El moldeo por colocación manual o

moldeo por contacto es denominado así debido a las bajas o nulas presiones que necesita y fue la primera técnica que se empleó en el laminado de los plásticos reforzados con fibra de vidrio, siendo todavía uno de los procesos más utilizados.

En producciones de series industriales cortas o de piezas de gran superficie es el método más económico al presentar las ventajas de su relativa sencillez y no requerir mano de obra excesivamente especializada ni inversiones elevadas. Por el contrario, presenta los inconvenientes de un ambiente de trabajo molesto, producción lenta, mayor necesidad de mano de obra, acabado fino solo por caras, y calidad final sometida a la especialización y sensibilidad del operario.

Centrifugación

Permite obtener cuerpos huecos cilíndricos con la ayuda de la fuerza centrífuga. Esta fuerza tiene diferentes funciones:

- Colocación y sujeción del refuerzo en el molde
- Distribución y desburbujeo del material compuesto

- Dar la presión necesaria en el caso de querer obtener elevados porcentajes de vidrio.

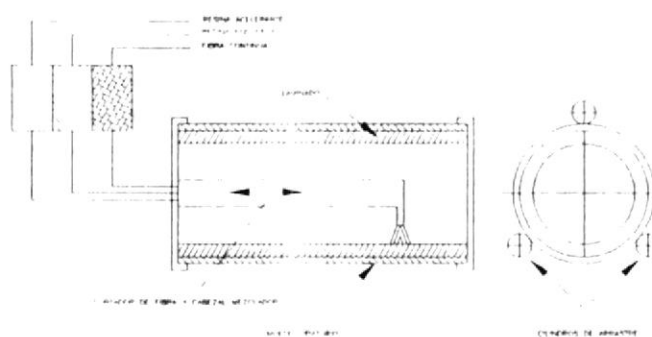


Figura 2.4 Proceso de Centrifugación

Las velocidades de rotación requeridas son grandes. La velocidad lineal de la periferie del molde varía entre 900 y 1200 m/min. La operación debe estar exenta de vibración.

2.1.2 Procesos de molde cerrado

Pultrusión

Es un proceso de fabricación de estructuras de materiales compuestos automáticos continuo y muy versátil, obteniéndose perfiles de sección constante.

En todos los casos se usa una fibra de refuerzos que va dentro de una resina termoestable, que reacciona químicamente cuando se le aplica calor, generando una reacción exotérmica.

El proceso de fabricación puede ser comparado con la extrusión convencional. Sin embargo en vez de empujar el material a través de una determinada sección, se tira de él para evitar roturas y desalineamiento de la fibra.

Prensa

Existen dos tipos de moldeo: prensa en frío y en caliente. El moldeo por prensa en frío es un proceso que utiliza baja presión y molde con ausencia de calor.

Es un procedimiento adaptado a series entre 1000 y 10000 al año. Su aplicación puede ser cualquier producto con relativa forma simple.

Básicamente el procedimiento en caliente es similar al anterior con la diferencia de que el molde es calentado.



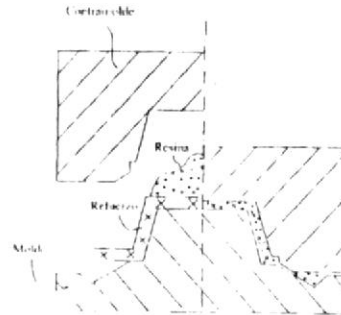


Figura 2.5 Prensa

SMC y BMC

Moldeo por compresión de preimpregnados (SMC) consiste en el moldeo de una resina termoestable reforzada generalmente con fibra de vidrio presentado en forma de hilos cortados, obteniendo la pieza final a través de la polimerización de la resina mediante un proceso combinado de presión y temperatura. Sus características principales son una buena estabilidad dimensional, un excelente acabado superficial por ambas caras. Posibilidad de obtener unas geometrías complejas y una alta capacidad de automatización, esto es ideal para la producción de grandes series.

En el procedimiento de BMC, la formulación de estos materiales permite que puedan ser diseñados para diversidad de usos específicos debido a la gran variedad de materias termoestables y tipos de refuerzos. Dentro de las propiedades obtenidas tenemos: excelente comportamiento eléctrico, resistencia al calor y la llama, estabilidad dimensional, curado rápido, baja contracción en el moldeo, se puede moldear con espesores variables y es de bajo costo.

Moldeo por inyección de termoestables

El proceso de inyección de termoestables requiere materiales que sean perfectamente compatibles con la máquina de inyección.

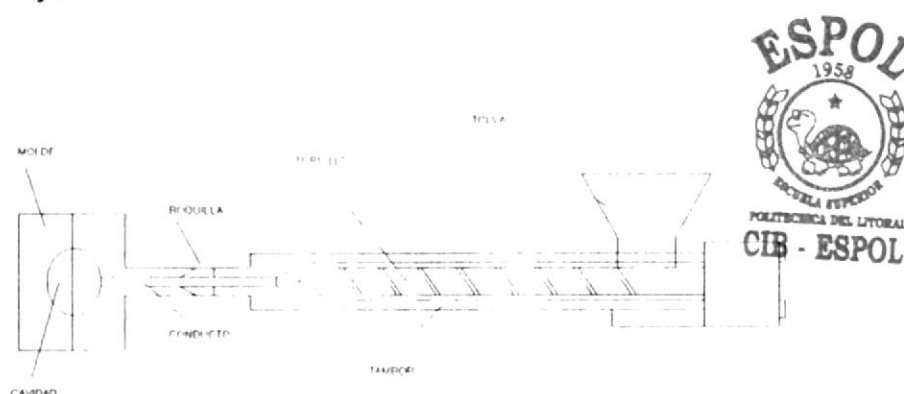


Figura 2.6 Máquina para inyección de termoestables

Es decir, deben ser apropiados para la alimentación de ésta, soportando presiones en el transporte con una resistencia al fluir adecuado. Es por ello que no pueden utilizarse resinas con alto peso molecular ni fibras largas como refuerzo. El proceso de inyección comprende etapas bien diferenciadas que son: la alimentación del material a presión adecuada, inyección en el molde y finalmente el movimiento del flujo del material dentro del propio molde.

La consideración más importante para el éxito de la inyección de un termoestable en el molde es que el nivel de curado del material conforme avanza en la cantidad no este muy avanzado. Un curado prematuro implica un llenado incompleto del molde.

RIM y RRIM

El RIM (Moldeo por inyección - reacción), es un proceso de moldeo por inyección en el que dos reactivos de baja densidad se mezclan previamente y son inyectados a baja presión en un molde previamente cerrado. Dentro del molde, se produce la reacción de los reactivos produciendo la polimerización y el

curado final de la pieza formandose un producto sólido. Es un método para grandes series.

El RRIM (Moldeo por inyección – reacción con refuerzo), es parecido al RIM pero añadiendo refuerzo en el molde. Esta suele ser fibra molida o hilos cortados en un porcentaje alrededor del 20%. Se utiliza principalmente en resinas termoendurecibles con densidades aparentes elevadas ($> 1 \text{ Kg} / \text{dm}^3$).

SRIM

Es un proceso de moldeo por inyección derivado del proceso RIM en el que, al igual que en el RRIM, se añade refuerzos.

La diferencia con el proceso RRIM es que en este, el material de refuerzo es una estructura preformada, consiguiéndose mejores características mecánicas de las piezas y busca un proceso más automatizado de producción. En general, se puede elaborar cualquier tipo de forma y tamaño de las piezas, las mismas que poseen características de gran calidad superficial con altos grados de resistencia a la deformación,

pueden ser de espesores variables, sus dos caras son lisas, no necesita mano de obra especializada, ciclos de curado son cortos.

2.2 Características

2.2.1 Propiedades mecánicas



Las principales propiedades mecánicas en materiales compuestos están dadas por la fibra, pues ellas aportan resistencia mecánica, rigidez y dureza.

Los compuestos manifiestan numerosas ventajas cuando se les compara con metales o plásticos que carecen de fibras de refuerzo, de manera particular en aplicaciones donde la ligereza es deseable.

Con relación a los dos parámetros importantes, resistencia y rigidez, es posible seleccionar compuestos que producirán diseños más ligeros que aquellos que pueden obtenerse en metales y plásticos.

Los materiales compuestos presentan una elevada resistencia específica a la tracción, poseen buena estabilidad mecánica en un amplio rango térmico, tienen un alto módulo de elasticidad, presentan gran tenacidad, no son frágiles, tienen una alta resistencia al impacto y una alta capacidad de absorción de energía.

2.2.2 Comportamiento ante el medio ambiente

Los efectos ambientales generan en los materiales compuestos unas repercusiones, que en general son menores que en los materiales metálicos. Los materiales compuestos son susceptibles de registrar alteraciones en su comportamiento en las siguientes situaciones.

- Exposición al aire húmedo o a un líquido.
- Degradación debida a las radiaciones ultravioletas de los rayos UV.
- Ataques químicos.
- Envejecimiento.



Cuando una matriz orgánica de un material compuesto es expuesta a aire húmedo o a un líquido, tanto el contenido de

humedad como la temperatura del material pueden cambiar con el tiempo. Estos cambios a su vez, afectan a las propiedades térmicas y mecánicas, implicando una disminución en las prestaciones. Por lo tanto, con objeto de utilizar de forma eficiente el potencial de los materiales compuestos debe conocerse su respuesta ante una exposición ambiental.

Las propiedades térmicas de los materiales compuestos son importantes cuando éstos tienen un carácter estructural.

La conductividad térmica de los polímeros es baja; por tanto, los polímeros reforzados con fibras de espesor suficiente son buenos aislantes.

El límite de temperatura en el cual las resinas comienzan a perder su rigidez, es conocido como temperatura de distorsión (HDT). Si la resina está reforzada, el valor sube alrededor de 20°C. La temperatura de distorsión representa un factor límite en el diseño dada la tendencia al agrietamiento de material bajo carga cuando se aproxima a esta temperatura.

Las matrices con mejores propiedades químicas son la resina

de epoxi y las resina viniléster.

El agua se absorbe muy lentamente por parte de los materiales compuestos y alcanza el equilibrio después de un año. Hay una reducción en resistencia conforme al agua penetra dentro del polímero.

Los polímeros que están expuestos a condiciones climáticas naturales sufrirán un deterioro que depende de factores como:

- Tipo de resina usada para el recubrimiento y para la laminación del material compuesto
- Orientación del material compuesto respecto a los rayos del sol.
- Componente ultravioleta de la luz solar.
- Acción del tiempo atmosférico sobre el material compuesto en diferentes climas situaciones
- Proporción de impurezas en el polímero (aditivos, retardantes del fuego)
- Las precauciones en el nivel de control de calidad requerido para asegurar un ambiente de producción

conveniente, un proceso de fabricación correcta y un curado adecuado de la resina.

La resistencia a la abrasión depende de la dureza y resistencia del material compuesto. Las resinas poliéster y epoxi son polímeros duros y asociados con la fibra de vidrio tienen un efecto sobre las propiedades físicas del material compuesto.

2.2.3 Comportamiento ante concentración de tensiones

La presencia de discontinuidades en los materiales compuestos laminados constituye un parámetro crítico a la hora del diseño de estructuras que incluyen este tipo de materiales. Los problemas de concentración de tensiones en las placas isótropas han sido extensamente estudiadas, incluye diversos tipos de aberturas y cargas. En el caso de materiales anisótropos, la distribución de tensiones se ha estudiado para cosas más comunes como aberturas de forma circular y elíptica. Para el caso de geométrica más complejas se ha llegado a plantear soluciones aproximadas.



Las primeras pruebas de concentración de tensiones se la ha realizado en laminas delgadas planas con aberturas circular en 4 sistemas de materiales.

- Carbono – epoxi
- Vidrio – epoxi
- Aramida – epoxi
- Material isotrópico

Es de indicar que el comportamiento del material para cada uno de los casos es diferente dependiendo del tipo de apertura de inclusión. Además este comportamiento dependerá mucho de los tipos de materiales usados en su fabricación, como de la forma que han sido elaboradas.

2.2.4 Comportamiento frente a fatiga

La fatiga es la condición por la cual un material se agrieta o falla como resultando de esfuerzos repetidos. La fatiga se la define como el cambio de estructuras permanentes localizado y progresivo que tiene lugar en un material sujeto a

deformaciones repetidas o fluctuantes. La fatiga puede afectar prácticamente a todos los materiales de ingeniería sujeta a esfuerzos cíclicos. En estos esfuerzos se incluyen los que producen las cargas externas repetitivas y los esfuerzos térmicos que resultan del calentamiento y enfriamientos alterados.

La respuesta de un material compuesto frente a cargas cíclicas es significativamente diferente a los metales.

Generalmente para los materiales compuestos la fatiga no es una consideración crítica de diseño en comparación con los materiales metálicos

Naturaleza de la fatiga en materiales compuestos: mecanismos de degradación.

En general, el efecto fatiga es la reducción de la resistencia a la rigidez residual y la posible rotura, tras aplicar un número finito de ciclos de carga. Para los materiales compuestos que resultan interesantes en aplicaciones ingenieriles, especialmente aquellos con fibras de alto módulo o con

partículas, los distintos micro sucesos que contribuyen al desarrollo del proceso de degradación se clasifican en las siguientes categorías:

Formación de microgrietas, degradación química, deformación plástica, separación de fibra matriz, rotura de interfase.

Generalmente se escoge un material de refuerzo que proporcione gran resistencia o rigidez al compuesto, mientras que el material de la matriz suele elegirse por su capacidad para transferir carga a nivel microscópico, su resistencia a factores ambientales y su facilidad para ser trabajado. Existen dos propiedades de los materiales compuestos laminados que influyen de modo decisivo en la forma de representar el mecanismo de degradación por fatiga: la no homogeneidad y la anisotropía.

La heterogeneidad es el factor principal en la respuesta de estos materiales ante cargas cíclicas, de acuerdo al comportamiento posee dos características, una es que contribuye a que los materiales compuestos presenten una



buena resistencia a la fatiga, y otra es que es el factor más condicionante en el inicio de degradación a nivel microscópico. Es evidente que la anisotropía influye en gran medida en el desarrollo del daño por fatiga. El efecto más interesante de la anisotropía es la compleja re-distribución interna de tensiones asociada a la degradación.

2.2.5 Capacidad de absorción de energía.

La elevada capacidad específica de absorción de energía de los materiales compuestos los convierte en una solución excelente en el diseño de elementos para la absorción de energía cinética en un choque.

La capacidad de estos materiales de matriz orgánica durante un choque es consecuencia de los complejos modos de falla que el material puede exhibir de forma simultánea, mientras que por el contrario, los metales solo absorben energía asociada al choque mediante la deformación plástica.

El primer parámetro a considerar al analizar la absorción de energía en de materiales compuestos es el tipo de fibra y

resina utilizada. En cuanto a fibras, para una misma resina, las energías absorbidas con refuerzo de carbono superan por lo general a las de vidrio, y estas a las de aramida. Con relación a resinas los más altos niveles de absorción de energía suelen obtenerse con epoxi, viniléster, poliéster y fenólicas.

La orientación de la fibra es un factor que influencia en el nivel de absorción de energía. La mejor disposición es a 0° (axial) en combinación con capas interiores y exteriores con presencia de fibra a 90° .

2.2.6 Tolerancia al daño

Se define como la capacidad de la estructura para resistir un nivel razonable de daño o defectos que puedan producirse durante la fabricación o la vida en servicio, sin arriesgar la seguridad de la estructura.

El objetivo de obtener un determinado nivel de tolerancia al daño, es determinar con seguridad que la estructura fallará catastróficamente, manteniendo siempre la máxima eficiencia

estructural, es decir mínimo peso con un mínimo costo de fabricación y mantenimiento.

Un diseño eficiente será aquel que proporcione una resistencia residual mínima después del daño. Por lo tanto, si el daño ocurre, la estructura tendrá un nivel suficiente de resistencia residual para no fallar.

Característica de los Materiales Compuestos que influyen en la tolerancia al daño:

- **Orientación de las láminas:** Si las láminas en las que se produce un impacto son rígidas, es decir poseen un porcentaje elevado de laminas orientadas en la dirección de la carga, el fallo se producirá con una deformación inferior que si se tratase de láminas más flexibles.
- **Coefficiente de Poisson:** Mientras que en los metales este parámetro suele valer 0.7, en los M C presenta un rango muy variable dependiendo de la combinación particular de las láminas.



- **Sensibilidad frente a defectos:** En los materiales aparecen grietas y cortes debido al proceso de fabricación o su vida en servicio, estas cargas a lo largo del espesor resultan muy favorables frente a cargas de tracción y cargas cíclicas, pero no son muy importantes en los M C como en los metales, esto debido a que las fibras en el plano actúan como fronteras efectivas que resisten la propagación de las grietas a lo largo del espesor.

2.3 Usos

2.3.1 Aeronáutica y espacio

El principal objetivo de utilizar materiales compuestos en aeronáutica se justifica por la necesidad de ahorrar peso.

Mientras que en el espacio, se utilizan estos materiales debido a los requerimientos de bajo coeficiente de expansión térmica, elevada rigidez y resistencia específicas y reducción de peso

Aeronáutica civil:

AIRBUS 340: Se utilizan 4000 Kg de materiales compuestos(13% del peso total).

BOEING 777: Entre las piezas fabricades en materiales compuestos tenemos: estabilizadores horizontales (carbono endurecido/epoxi), timón de dirección y de profundidad (carbono/epoxi).

AIRBUS A 300-600 ST: El piso encargado de soportar la carga está fabricado mediante una estructura de aramida, fibra de vidrio/poliimida.

Aeronáutica militar:

F-22 RAPTOR: Contiene 150 piezas fabricadas mediante RTM en fibra de carbono/bismaleimida en estructura y componentes del motor.

BOMBARDERO B-2: El requerimiento de invisibilidad al radar y sus altas prestaciones mecánicas hacen necesaria la utilización de un volumen alto de materiales compuestos.

RAH-66 COMANCHE: La estructura de este helicóptero de combate está compuesta de 73.1% de materiales compuestos.

Espacio:

TRANSBORDADOR ESPACIAL X-34. Estructura fabricada en materiales compuestos, debido a sus exigencias de rigidez, resistencia a altas temperaturas y reducción en peso

LANZADERA ESPACIAL: Tanques de combustible realizados en fibra de carbono/epoxi preimpregnado mediante un proceso de enrollamiento continuo en fase seca.

NAVE X-38 (NASA): Destinado al retorno de la tripulación de las estaciones espaciales a la tierra. Su estructura secundaria está fabricada mediante paneles de fibra de carbono/cianatoéster preimpregnado.

SATELITE DE COMUNICACIONES: La estructura secundaria está realizada en fibra de carbono/epoxi debido a requerimientos de permeabilidad a ondas electromagnéticas y reducción de peso.



2.3.2 Transporte terrestre

El ahorro de peso y la resistencia a la corrosión son los principales argumentos en el transporte terrestre. Los materiales compuestos se utilizan en este tipo de aplicación por su capacidad de generar series largas, bajo costo, mayor ligereza y mejor amortiguación de ruidos y vibraciones.

Vehículo industrial:

AEROMAX FORD CLASE 8: Utiliza 220 Kg de fibra de vidrio/epoxi mediante SMC.

T-2000 KENWORTH CLASE 8: Utiliza 400 Kg de fibra de vidrio/epoxi mediante SMC.

VOLVO 220: Utiliza 300 Kg de fibra de vidrio/poliéster.

Autobuses:

BUS DE TRANSITO: Toda su estructura está fabricada mediante RTM asistida por vacío en vidrio/ viniléster. 250

piezas metálicas han sido sustituidas por cuatro de materiales compuestos

AUTOBUS INTERURBANO: La estructura delantera es realizada mediante RM en fibra de vidrio y resina fenólica, reduciendo el número de piezas a una solamente comparada con la anterior.



Vehículo turismo:

CHEVROLET CORVETTE: Fabricado con fibra de vidrio y estructuras de núcleo de madera de balsa

JEEP CHEROKEE: Presenta numerosos componentes en materiales fabricados mediante RTM, como el portón trasero, las puertas y la capota, obteniendo cualidades superficiales equivalentes a los materiales metálicos de modelos anteriores.

MERCEDES BENZ CLASE C: La estructura del asiento posterior está hecha en material compuesto, lo que ofrece ventajas sobre la estructura anterior en peso y una mejor simplicidad en el proceso productivo.

2.3.3 Marina

US NAVY: Mástil sensor construido de fibra de vidrio/epoxi. Tiene 26 m de altura, 10 m de ancho y pesa 40 toneladas. Incorpora en su interior equipos de comunicaciones por lo que la penetrabilidad a las ondas magnéticas es un requerimiento.

M-649 CAZAMINAS: Si casco está realizado mediante un laminado sólido de fibra de vidrio/poliéster debido a su carácter amagnético de este material, así como su alta resistencia al choque de las explosiones submarinas.

2.3.4 Industria militar

TUBO LANZA MISILES: Se fabrican mediante un proceso de enrollamiento continuo con vidrio/epoxi y se utilizan moldes de altas prestaciones para obtener óptimas calidades superficiales interiores.

VEHICULOS MILITARES: Están fabricados íntegramente con paneles de carbono/aramida. Es un sistema altamente resistente al impacto.

2.3.5 Otros usos

Energía:

- Turbinas de túnel de viento (carbono/epoxi).
- Palas de generadores eléctricos (vidrio/epoxi).

Construcción e ingeniería civil:

- Puentes peatonales (fibra de vidrio/poliéster y cables de aramida).
- Puentes vehiculares (vidrio/poliéster)
- Reparación de vigas de concreto (carbono/epoxi).
- Refuerzos anti sísmicos (vidrio/aramida/carbono/epoxi).

Industria del petróleo:

- Plataformas petrolíferas (vidrio/poliéster).
- Elementos de bombeo de crudo: aramida/ epoxi).
- Tuberías (vidrio/poliéster).



Industria química:

- Torres de refrigeración metalotextil (vidrio/ policloruro de vinilo).
- Tuberías enterradas (vidrio/poliéster).

Deporte:

- Bicicletas, raquetas, autos de formula uno, palos de golf, cañas de pescar, cascos de ciclistas

Electrónica:

- Núcleos de alternadores (vidrio/poliéster).
- Circuitos impresos electrónicos (vidrio/epoxi).

Medicina:

- Equipo de rayos X (carbono/epoxi).
- Equipos de tomografía (carbono/epoxi).

CAPITULO 3

3. EXPERIMENTACION

3.1 Determinación de materias primas, tipo de moldeo y sus características

MATERIAS PRIMAS

FIBRA:



Tipo de fibra: Fibra de vidrio tipo E

Peso : 800 g/m²

Tipo de presentación: Tejido equilibrado (entrecruzado a 0° y 90° alternadamente)

Cantidad de filamentos por mecha: 200

Dimensiones:

Ancho: 1 m

Longitud: Variable

Espesor: 0.8 a 1 mm

RESINA Y ADITIVOS:

RESINA

Tipo de producto: Poliéster insturada para laminar.

Materiales no volátiles: 63.5%

Densidad (25°C): 1.147 g/cm³.

Tiempo de gel: 16 minutos

Pico exotérmico: 121°C

Tiempo de alcance exotérmico: 17 minutos

AGENTE DE ENTRECruzAMIENTO

Tipo de agente: Estireno.

Estado: Líquido

Características: Incoloro, olor penetrante, insoluble en agua, es flamable, tóxico.



ACELERADOR

Tipo de acelerador: Sal metálica.

Nombre: Octoato de Cobalto

Estado: Líquido

CATALIZADOR

Tipo de catalizador: Peróxido con temperatura de reacción 25°C

Nombre: Peróxido de metil etil cetona.

Estado: Líquido

TIPO DE MOLDEO



Se ha elegido el moldeo por contacto a mano, siendo el más utilizado en nuestro medio.

Este tipo de moldeo no requerir mano de obra calificada y es el de menor costo.

Para un mejor entendimiento, revisar el apéndice A.

3.2 Procedimiento para elaboración del laminado

Se realizarán tres laminados variando el contenido de fibra y resina.

Esta variación será de la siguiente manera:

LAMINADO 1:

(25 % Fibra - 75% Resina)

Número de capas: 2 (50 x 50)

Tipo de capa: tejido de fibra de vidrio

Peso de la fibra: 400 g/m²

Tipo de resina: Poliéster no saturada

Peso de la resina con estireno: 1200 g

Espesor del laminado: 2.9

Area del laminado: 500 mm x 500 mm

LAMINADO 2:

(37.5% Fibra – 62.5% Resina)

Número de capas: 3 (50 x 50)

Tipo de capa: tejido de fibra de vidrio

Peso de la fibra: 600 g/m²

Tipo de resina: Poliéster no saturada

Peso de la resina con estireno: 1000 g

Espesor del laminado: 3.1mm

Area del laminado: 500 mm x 500 mm

LAMINADO 3:

(50% Fibra – 50% Resina)

Número de capas: 4

Tipo de capa: Tejido de fibra de vidrio, tipo equilibrado.

Peso de la fibra: 800 g/m²

Tipo de resina: Poliéster no saturada

Peso de la resina : 800 g

Espesor del laminado: 3.1 mm

Area del laminado: 500 mm x 500 mm

3.2.1 Preparación de molde y de materias primas

Molde:

Se ha elegido hacer el molde de madera por ofrecer las mejores ventajas. Debido a que los laminados son planos, se facilita la elaboración del mismo.

La superficie de la madera será completamente lisa, se le aplicarán dos capas de cera y dos capas de desmoldante.

(Revisar Apéndice B).

Fibra:

El tejido de fibra fue cortado en capas de 500 mm X 500 mm, se utilizaron tijeras, cuchillas y reglas. Aquí hay que tener cuidado al momento de cortar, ya que se debe evitar que la tela se deshile. El corte se lo lleva a cabo en la mesa de trabajo.

Preparación de resina:



Las cantidades recomendadas por los fabricantes son:

Resina de poliéster	100%
Estireno	0 –20%
Octoato de cobalto al 6% (acelerador)	0.3 - 0.5%
Metil etil cetona (MEK) (catalizador)	1 - 1.5 %

Las cantidades de cada componente para cada laminado son mostradas en la siguiente tabla:

TABLA X
CANTIDADES DE COMPONENTES

Producto	Laminado #1	Laminado #2	Laminado #3
Resina Poliéster	800 g	1000 g	1200 g
Estireno	80 g	100 g	120 g
Acelerador	4 g	5 g	6 g
Catalizador	8 g	10 g	12 g

La preparación de la resina debemos realizarla con cuidado, mezclando cada componente en un orden, teniendo en cuenta que el último aditamento debe ser el catalizador, ya que en el momento que se lo mezcla empieza el proceso de endurecimiento del laminado. (Revisar Apéndice A)

3.2.2 Colocación de la fibra de vidrio y la resina poliéster

- Una vez preparado el molde, con sus respectivas capas de desmoldante, se coloca la primera capa de tejido de fibra de vidrio
- Luego con una brocha se aplica la primera capa de resina, esto se debe hacer con mucho cuidado, pues la resina debe empapar la tela, para que sea absorbida por las fibras, tratando de no dejar acumulación de resina

- Luego se coloca alternadamente la capa de fibra y resina, siempre tratando de evitar la acumulación de aire entre capa y resina.
- Cuando se trabaja con fibras tejidas, no se necesita rodillos para eliminar las bolsas de aire, pero si es el caso, se las puede utilizar
- Una vez que se han colocado todas las capas y toda la resina preparada, se deja curar a temperatura ambiente
- Todo el procedimiento no debe tardar demasiado tiempo, ya que la resina puede empezar su gelificación, y si ocurre esto, la resina preparada ya no podrá ser utilizada
- La elaboración del laminado debe ser realizado de modo que se permita con facilidad la colocación de las capas de fibra y resina
- El desmoldeo se debe realizar con cuidado evitando dañar la superficie del compuesto

3.3 Elaboración de probetas de fibra de vidrio – resina poliéster

Las probetas han sido tomadas de los laminados anteriormente descritos. Las diferentes probetas para los cinco ensayos tienen medidas específicas bajo normas ASTM. (Revisar Apéndice C)



Una vez obtenido la ubicación de cada probeta, se procede al corte de cada una de ellas. Este procedimiento se lleva a cabo con una máquina cortadora de acrílico, que consta de un disco giratorio. El disco de corte, no provoca delaminación en las muestras ni desgarramiento de fibras.

El corte de las probetas se realiza a sobre-dimensión, para luego ser llevadas a una pulidora automática con lijas de grano fino, las cuales se encargan de dejar un acabado apropiado, a la medida exacta. Se utilizan calibradores Vernier, para poder realizar las respectivas medidas

3.4 Pruebas Mecánicas



Todas las muestras utilizadas en las pruebas mecánicas son tomadas de material compuesto de fibra de vidrio tipo tejido en matriz polimérica en este caso poliéster insaturado.

Los resultados que se obtendrán con estas pruebas, servirán para establecer una comparación entre los diferentes tipos de laminados que se han construido, variando su fracción en peso.

3.4.1 Ensayo de Tracción

NORMA ASTM D 638M - 93

Objetivo:

Este ensayo cubre la determinación de las propiedades en tensión de plásticos reforzados y no reforzados bajo condiciones definidas de pre-tratamiento, temperatura, humedad y velocidad de máquina de prueba.

Referencias:

NORMA ASTM D 618 (Pruebas de condiciones en plásticos)

NORMA ASTM D 882(Pruebas de esfuerzo de tensión en plásticos delgados)

NORMA ASTM D 883 (Definiciones de términos relacionados a plásticos)

Equipos:



- Máquina de ensayo que tiene movimiento constante y que consta de las siguientes partes: a) miembro fijo b) miembro

móvil c) mordazas c) mecanismo hidráulico e) celda de carga.

- Instrumentos de medición (Calibrador Vernier)

Dimensión de las probetas:

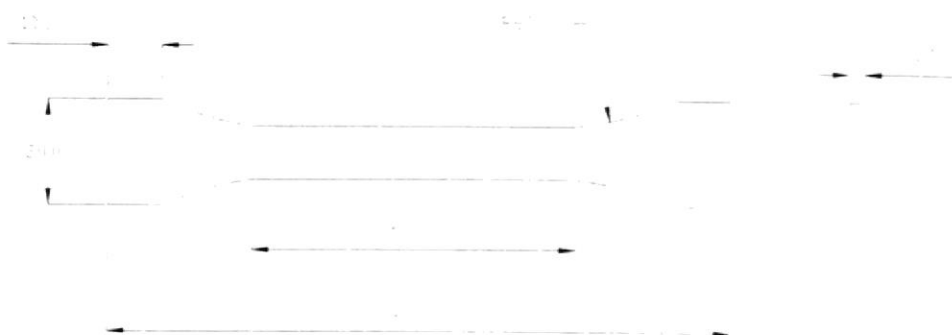


Figura 3.1 Probeta de tracción

W = ancho sección angosta = $10 \text{ mm} \pm 0.5$

L = Longitud de sección angosta = $60 \text{ mm} \pm 0.5$

W_0 = Ancho total = 20 mm

L_0 = Longitud total = 150 mm

D = Distancia entre mordazas = $115 \text{ mm} \pm 5$

R_0 = Radio exterior = $60 \text{ mm} \pm 1$



Procedimiento:

- Medir ancho, espesor y longitud de las probetas.
- Tomamos las probetas en las mordazas de la máquina, de manera que estén alineadas respecto a sus ejes longitudinales.
- Se escoge la velocidad de carga según la norma. En este caso es de 50 mm / min.
- Encender la máquina.
- Grabar la curva carga – velocidad del papel.
- Transformamos la curva dada por la máquina a una curva carga-deformación.
- Marcamos la carga - deformación en el punto de fluencia, además de la carga - deformación en el momento de la ruptura.

Cálculos:

- Resistencia a la tracción:

$$S_w = \frac{Wl_0}{A_0 l_0}$$

Donde:

W = Carga máxima

A₀ = Sección transversal inicial de la sección angosta

L_u = Longitud inicial de la probeta

L_0 = Longitud final de la probeta

- Deformación unitaria

$$\%EI = \frac{L_u - L_0}{L_0} * 100$$

- Módulo de elasticidad

Trazamos curva esfuerzo deformación unitaria para cada probeta. En la parte lineal tomar dos puntos obteniendo una diferencia de esfuerzo ΔS y la correspondiente diferencia de deformaciones unitarias $\Delta \epsilon$. Este paso se realiza para cada curva.

- Resistencia a la fluencia

$$S_y = \frac{P_y}{A_0}$$



Donde:

P_y = carga en el punto de fluencia.

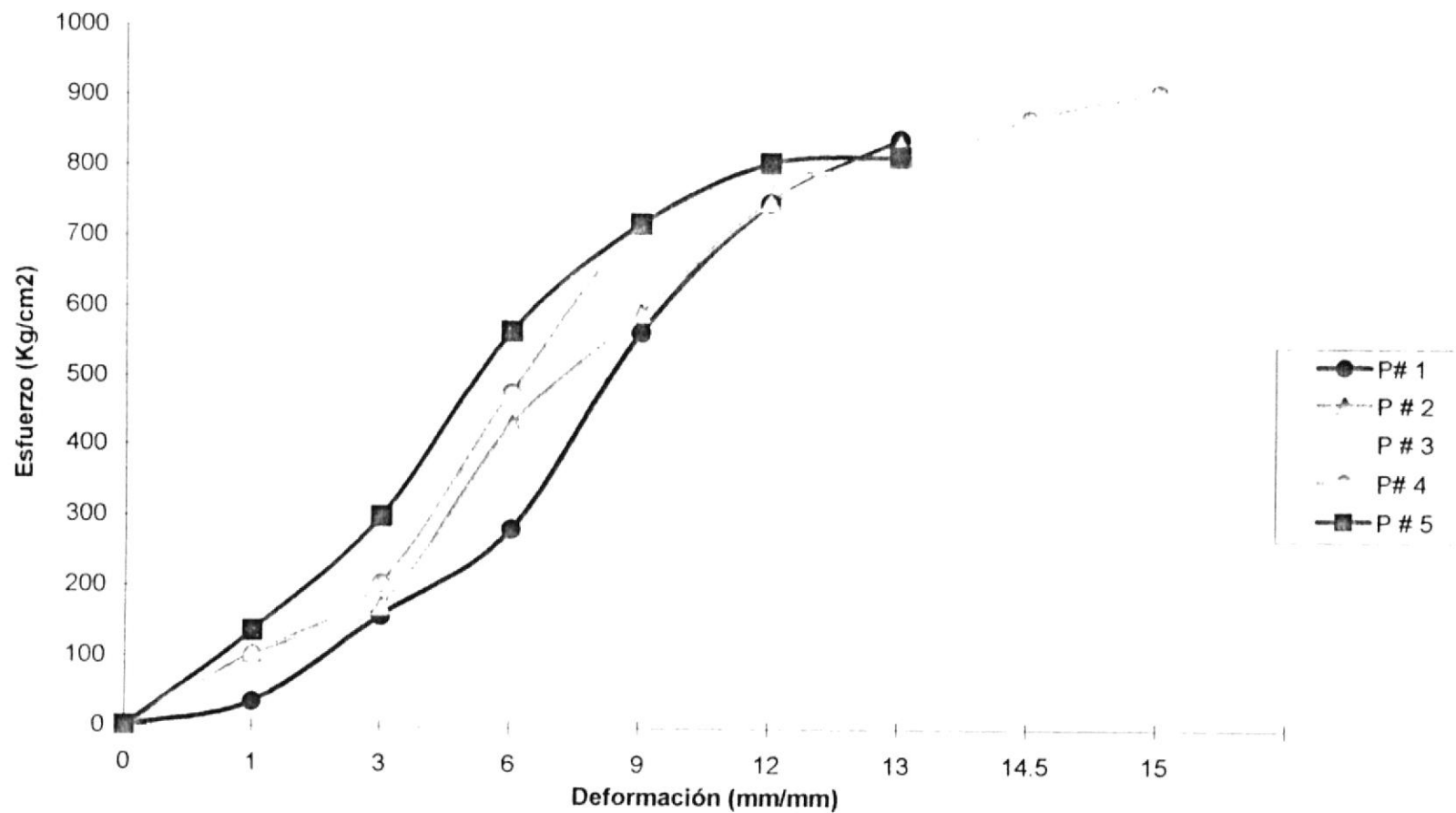


FIGURA 3,2 Curvas de tracción P1, P2, P3, P4, P5

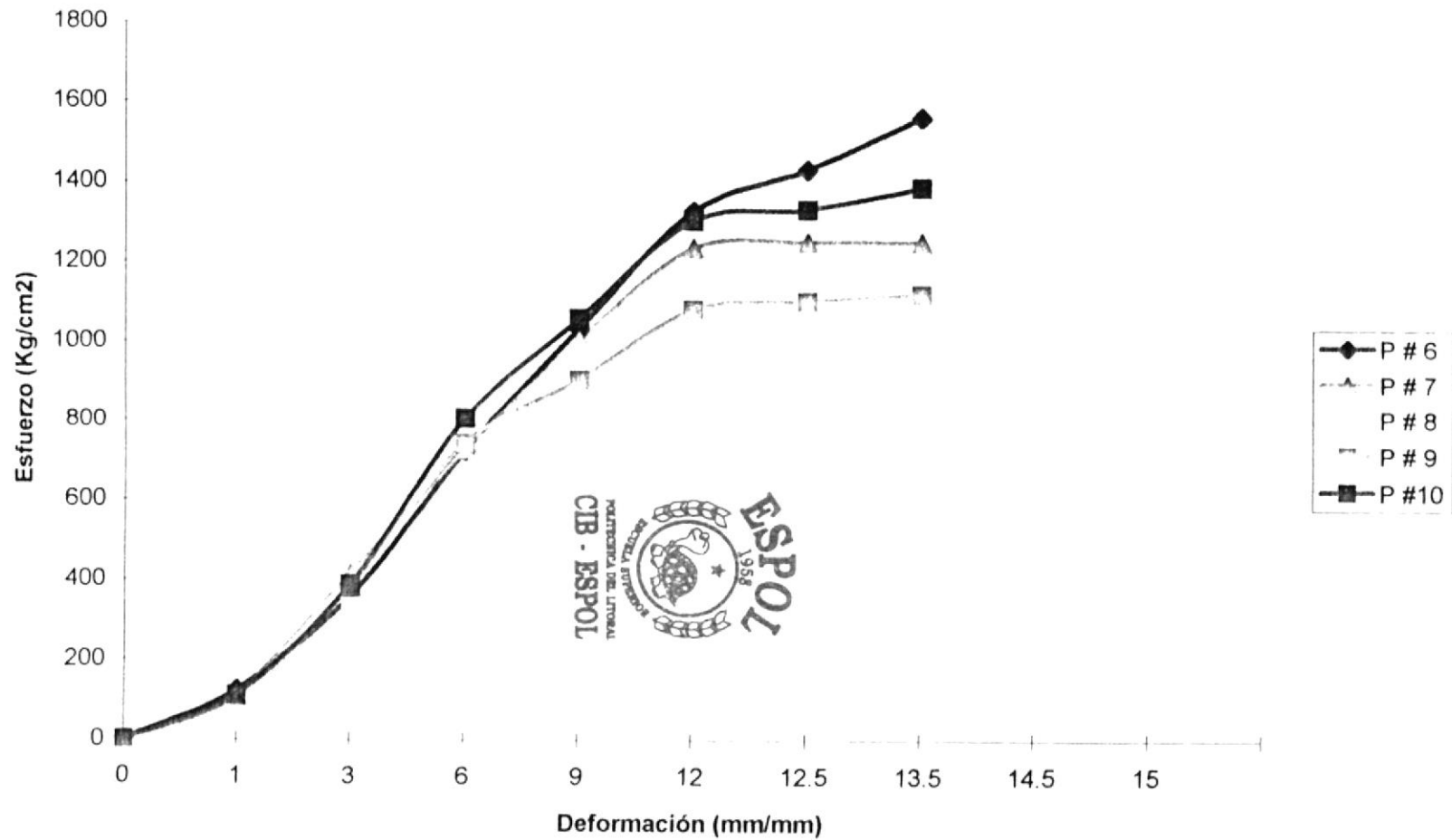


FIGURA 3,3 Curvas de tracción P6, P7, P8, P9, P10

**TABLA XI
RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCION (Laminado # 1)**

Probeta	e (mm)	Ancho (mm)	A ₀ (mm ²)	L _U (mm)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	P _y (Kg)	W (Kg)	E (%)	S _{ut} (Kg/mm ²)	S _y (Kg/mm ²)
#1	2.8	10	28.28	115.1	128.1	13	238	238	11.29	7.56	7.56
#2	2.9	10	29	114.9	129.4	14.5	242	242	12.61	7.40	7.40
#3	2.9	9.9	28.71	114.8	126.8	12	228	228	10.45	7.18	7.18
#4	2.9	10.1	29.29	115	130	15	266	266	13.04	8.03	8.03
#5	3	10	30	115.1	127.6	12.5	246	246	10.86	7.39	7.39

**TABLA XII
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (Laminado # 1)**

Probeta		Módulo de Elasticidad					E (Kg/mm ²)
# 1	ΔS (Kg/mm ²)	32	41.3	40	40.6	28	21.66
	ΔE (%)	1.88	1.78	1.30	1.81	1.84	
# 2	ΔS (Kg/mm ²)	53.2	89.5	45.16	48.3	48.3	19.58
	ΔE (%)	1.87	4.82	2.26	3.17	3.06	
# 3	ΔS (Kg/mm ²)	48	88.6	56	38.6	40	21.07
	ΔE (%)	1.87	4.02	2.46	1.67	3.46	
# 4	ΔS (Kg/mm ²)	88	131.2	46.4	72	64	26.69
	ΔE (%)	3.51	4.66	1.74	2.55	2.60	
# 5	ΔS (Kg/mm ²)	60	107.2	72	27.2	48.8	26.08
	ΔE (%)	2.38	4.19	2.66	0.99	1.9	

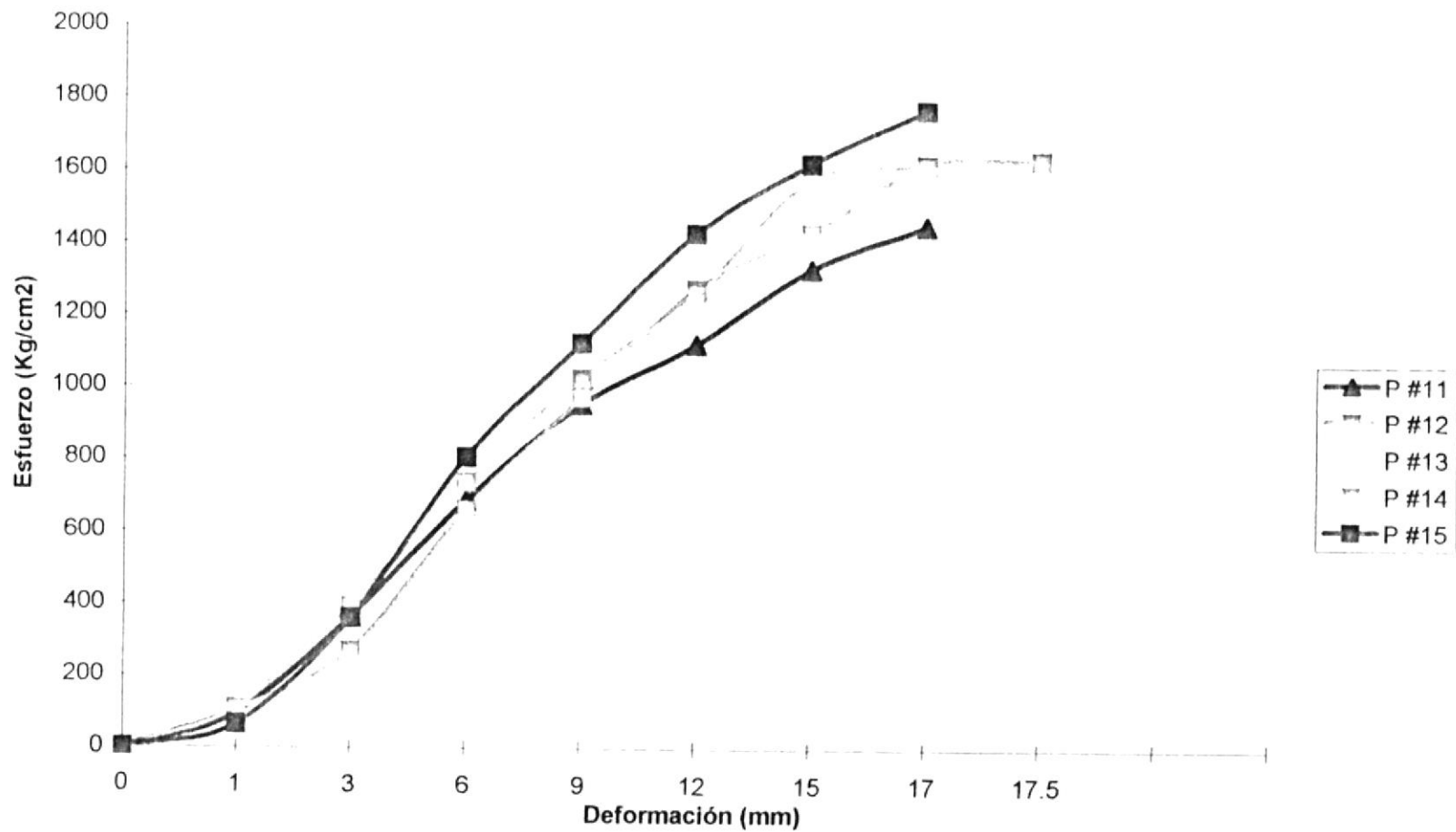


FIGURA F3 Curva de tracción P11, P12, P13, P14, P15)

**TABLA XIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCION (Laminado # 2)**

Probeta	e (mm)	Ancho (mm)	A ₀ (mm ²)	L _U (mm)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	P _y (Kg)	W (Kg)	E (%)	S _{ut} (Kg/mm ²)	S _y (Kg/mm ²)
#6	3.1	9.9	30.69	115.1	132.1	13.5	450	450	11.38	13.16	13.16
#7	3.1	10.1	31.31	115	130.74	12.5	392	392	10.57	11.32	11.32
#8	3.3	10	33	115	132.49	14	365	365	11.81	9.89	9.89
#9	3.4	9.9	33.66	114.8	131.67	13.5	378	378	11.42	10.07	10.07
#10	3.6	10	36	114.9	131.77	13.5	500	500	11.41	12.46	12.46

**TABLA XIV
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (Laminado # 2)**

Probeta	Módulo de Elasticidad						E (Kg/mm ²)
	ΔS (Kg/mm ²)	ΔE (%)	ΔS (Kg/mm ²)	ΔE (%)	ΔS (Kg/mm ²)	ΔE (%)	
# 6	169.6	4.64	81.6	2.19	35.2	1	32.89
	44.8	1.83	140.8	4.51			
# 7	150	4.19	73.1	2.38	102.3	3.29	31.64
	40.47	1.35	104.7	3.54			
# 8	131.9	4.12	109.5	2.12	175.5	21.16	35.07
	74.46	2.74	114.8	4.64			
# 9	131.9	2.54	109.6	2.16	175.5	3.77	45.75
	74.4	1.7	114.9	3.74			
# 10	276.8	5.67	177.6	3.4	91.2	1.74	50.49
	147.2	2.9	179.2	3.67			



**TABLA XV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCION (Laminado # 3)**

Probeta	e (mm)	Ancho (mm)	A ₀ (mm ²)	L _U (mm)	L ₀ (mm)	ΔL (mm)	P _y (Kg)	W (Kg)	E (%)	S _{ut} (Kg/mm ²)	S _y (Kg/mm ²)
#11	3.6	9.9	35.64	115.2	132.2	17	518	518	14.75	12.66	12.66
#12	3.7	10	37	115.1	132.6	17.5	605	605	15.20	14.19	14.19
#13	3.7	9.9	36.63	115	128.5	13.5	522	522	11.73	12.75	12.75
#14	3.8	10	38	115	131	16	615	615	13.91	14.20	14.20
#15	3.6	10	36	114.9	131.9	17	638	638	14.79	15.41	15.43

**TABLA XVI
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (Laminado # 3)**

Probeta	Módulo de Elasticidad						E (Kg/mm ²)
	ΔS (Kg/mm ²)						
# 11	ΔS (Kg/mm ²)	250.8	139.7	101.58	146.03	184.12	40.16
	ΔE (%)	6.25	3.3	2.47	3.7	4.8	
# 12	ΔS (Kg/mm ²)	360.3	192.45	130.18	154.7	243.4	41.08
	ΔE (%)	8.84	4.40	3.83	3.83	6.02	
# 13	ΔS (Kg/mm ²)	380.8	163.2	112	180.8	220.8	46.13
	ΔE (%)	7.96	3.55	2.42	3.96	4.90	
# 14	ΔS (Kg/mm ²)	266.6	288.8	114.8	148.1	248.1	38.28
	ΔE (%)	6.4	4.72	3.05	4.21	4.69	
# 15	ΔS (Kg/mm ²)	281.5	201.85	294.44	194.4	262.96	46.02
	ΔE (%)	5.6	4	6.4	4.54	6.47	

3.4.2 Ensayo de Flexión

NORMA ASTM D 790M - 93

Objetivo:

Determinar las propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados, incluyendo compuestos de alto módulo.

Referencias:

NORMA ASTM D 618 (Pruebas de condiciones en plásticos)

NORMA ASTM E 4 (Verificación de máquinas de ensayo)

Equipos:



- Máquina de ensayo, con error en la celda de carga menor al 1 % de la máxima carga posible.
- Apoyos y puntos de carga, que son superficies cilíndricas con radio de 10 mm.

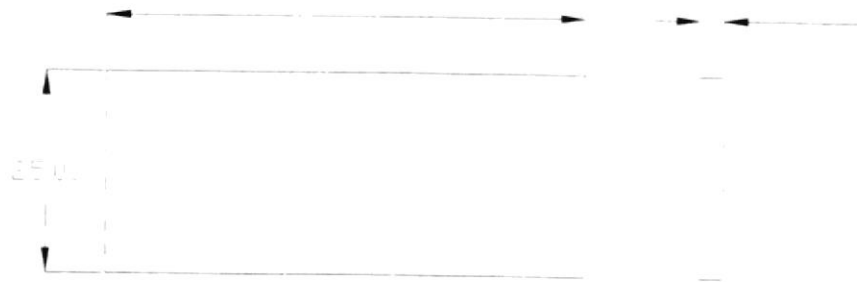
Dimensión de las probetas:

Figura 3.2 Probeta de Flexión

$l = 60 \text{ mm}$

$b = 25 \text{ mm}$

$d = 3 \text{ mm}$

Relación $L/d = 16$

Distancia entre apoyos $L = 48 \text{ mm}$

Radio de soportes y puntos de carga = 10 mm

Número de probetas:

Cinco

Procedimiento:

- Medir ancho, espesor y longitud de las probetas, además marcamos el centro de las mismas.
- Determinamos la distancia entre apoyos.
- Determinamos la velocidad de movimiento de cabezal según la siguiente formula

$$R = \frac{0.21ZL}{d}$$



Donde:

R = velocidad de movimiento del cabezal

d = espesor de la probeta

z = 0.01 = relación de deformación unitaria en las fibras externas en mm/ mm min.

- Alineamos el punto de carga y apoyos de manera que los ejes de la superficies cilíndricas sean paralelos. La carga se ejerce sobre la superficie lisa.
- Aplicamos la carga con una velocidad R y tomamos datos simultáneos de carga deflexión.

- Graficamos la curva carga – deflexión para determinar el esfuerzo de fluencia a la flexión, el módulo tangente o secante de elasticidad.

Cálculos:

- Resistencia en las fibras:

$$S = \frac{PL}{b d^2}$$

Donde:

P = carga máxima de la curva L-D

L = distancia entre apoyos

d = espesor de la probeta

b = ancho de la probeta

- Módulo tangente de elasticidad

Se lo calcula trazando una tangente a la parte lineal de la curva

L- D, utilizando la siguiente ecuación:

$$E_B = \frac{0.21L^3m}{bd^3}$$

Donde:

E_B = módulo de elasticidad en flexión

L = distancia entre apoyos

b = ancho de probeta

d = espesor de la probeta

m = pendiente de la tangente a la curva carga deformación

Resultados obtenidos:



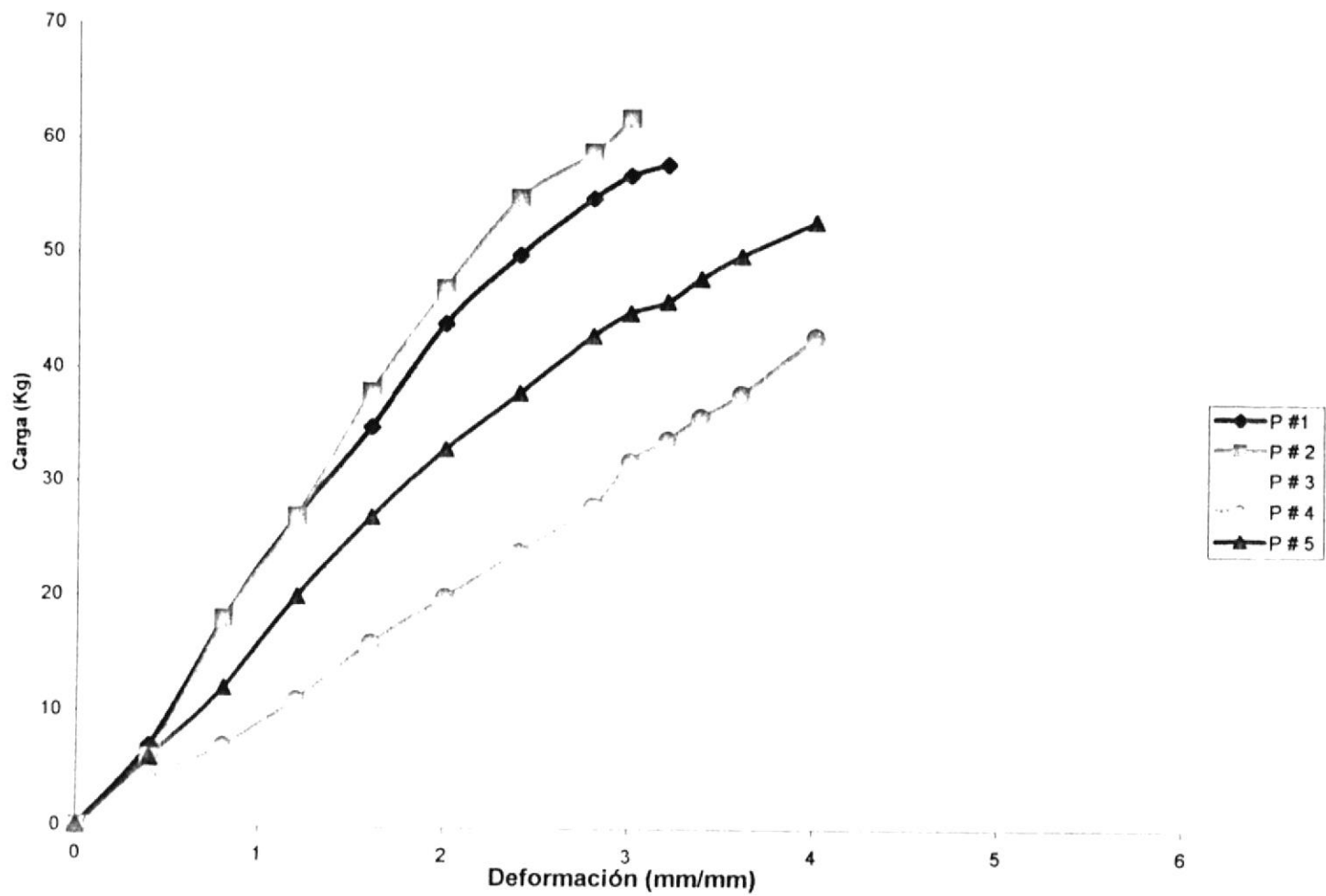


FIGURA 3,6 Curvas de flexión P1, P2, P3, P4, P5

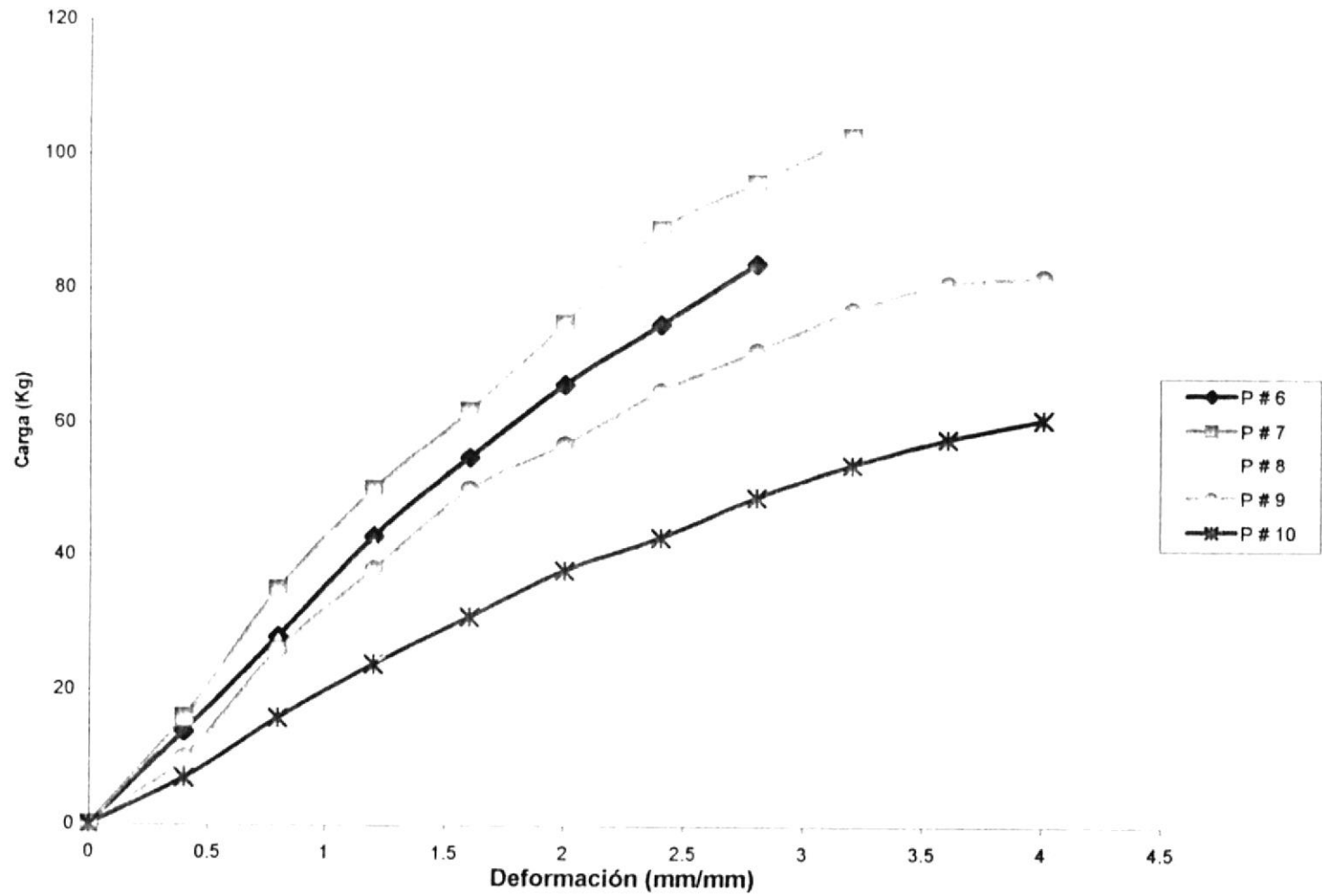


FIGURA 3,7 Curvas de flexión P6, P7, P8, P9, P10

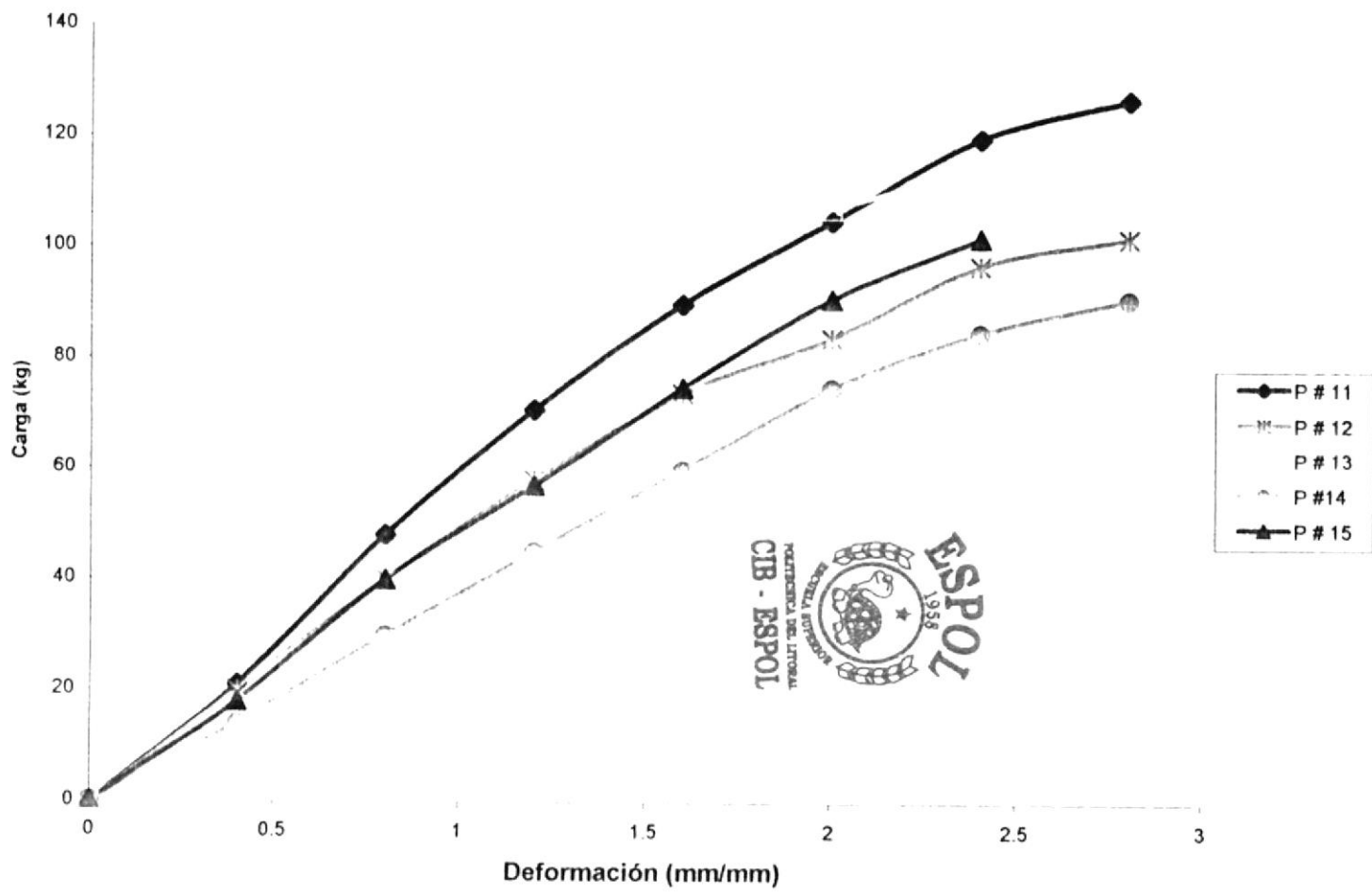


FIGURA 3,8 Curva de flexión P11, P12, P13, P14, P15

TABLA XVII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION (Laminado # 1)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga (N)	S (N/m ²)	m.	E _B (N/m ²) (10) ⁴
# 1	3.4	24.5	62	31.523 (10) ⁶	25.05	660.25
# 2	3.3	24.3	58	31.561 (10) ⁶	24	613.04
# 3	3	25	44	28.161 (10) ⁶	16.23	558.41
# 4	3.5	25.3	75	34.847 (10) ⁶	11.58	247.92
# 5	3.5	25.4	54	24.991 (10) ⁶	15.34	327.14



TABLA XVIII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION (Laminado # 2)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga (N)	S (N/m ²)	m.	E _B (N/m ²) (10) ⁴
# 6	3.5	24.3	83	20.075 (10) ⁶	37.5	835.91
# 7	3.6	24.3	103	23.548 (10) ⁶	18.65	382.24
# 8	3.4	25.4	80	19.617 (10) ⁶	31.12	723.95
# 9	3.2	24.7	81	23.055 (10) ⁶	29.42	847.61
# 10	3.1	24.6	64	19.491 (10) ⁶	20.04	635.7

TABLA XIX

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXION (Laminado # 3)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga (N)	S (N/m ²)	m.	E _B (N/m ²) (10) ⁴
# 11	3.3	25	127	33.587 (10) ⁶	66.66	1723.16
# 12	3.4	25	105	26.159 (10) ⁶	28.18	666.05
# 13	3.6	24.8	118	25.762 (10) ⁶	55.50	1113.93
# 14	3.4	24.7	97	24.459 (10) ⁶	40.1	921.97
# 15	3.2	25.2	105	24.291 (10) ⁶	43.34	1218.93



3.4.3 Ensayo de Corte

Este ensayo no se pudo realizar por no existir los aditamentos necesarios para cumplir con este objetivo.

3.4.4 Ensayo de Impacto Izod

NORMA ASTM D 256 – 93a

Objetivo:

Determinar la cantidad de energía absorbida por las probetas de fibra de vidrio en resina poliéster.

Equipos utilizados:

- Máquina de impacto
- Aditamento de impacto
- Soportes
- Cuchilla par muesca



Dimensión de probetas:

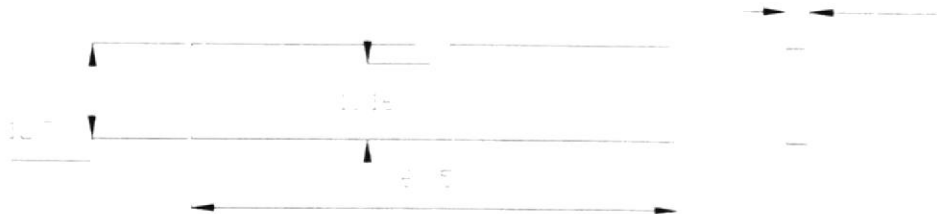


Figura 3.3 Probeta de Impacto

$$A = 10.16 \pm 0.05$$

$$B = 32.50 \text{ a } 31.5 \text{ mm}$$

$$C = 63.5 \text{ a } 60.3 \text{ mm.}$$

$$D = 0.25R \pm 0.05 \text{ mm}$$

$$E = 12.7 \pm 0.15 \text{ mm}$$

$$W = \text{ancho} = 12.7 \text{ mm}$$

$$L = \text{Longitud} = 63.5 \pm 0.5 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ a } 12.7 \text{ mm}$$



Número de probetas:

Cinco

Procedimiento:

- Medir las dimensiones de las probetas y asegurarse de que son las mismas que la norma indica
- Elaboramos la muesca en la probeta.
- Tomamos medidas de condiciones ambientales.
- Colocamos la máquina en posición de impacto y se coloca la probeta como indica la norma.
- Soltamos el péndulo y tomamos la lectura de energía absorbida en Kg*m. Dato suministrado por la máquina
- Observamos luego el tipo de fractura que ha sufrido la probeta.

Resultados obtenidos:

TABLA XX

RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO (Laminado # 1)

Probeta	Espesor (mm)	Energía Potencial (J)	Energía Absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de fractura
# 1	2.7	2.7231	2.2070	919.60	Parcial
# 2	2.5	2.7231	2.6549	1061.9	Parcial
# 3	2.8	2.7231	2.7056	1104.3	Parcial
# 4	2.9	2.7231	2.7047	1020.6	Parcial
# 5	2.7	2.7231	2.7059	1002.2	Parcial

TABLA XXI

RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO (Laminado # 2)

Probeta	Espesor (mm)	Energía Potencial (J)	Energía Absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de fractura
# 6	3	2.7231	2.7231	902.02	Parcial
# 7	3.2	2.7231	2.7064	845.74	Parcial
# 8	3.2	2.7231	2.7060	845.62	Parcial
# 9	3.1	2.7231	2.7058	872.83	Parcial
# 10	3.2	2.7231	2.5465	795.78	Parcial



TABLA XXII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO (Laminado # 3)

Probeta	Espesor (mm)	Energía Potencial (J)	Energía Absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de fractura
# 11	3.1	2.7231	2.7064	876.02	No fractura
# 12	3.2	2.7231	2.7063	845.73	No fractura
# 13	3.2	2.7231	2.7064	845.76	No fractura
# 14	3.3	2.7231	2.7064	820.12	No fractura
# 15	3.3	2.7231	2.7064	820.12	No fractura

3.4.5 Ensayo de Compresión

NORMA ASTM D 695

Referencias:

NORMA ASTM D 618 (Pruebas de condiciones en plásticos)

NORMA ASTM E 4 (Verificación de máquinas de ensayo)

Equipos:

- Máquina de ensayo, capaz de mantener un movimiento constante y que consta además de un celda de carga capaz de mostrar la carga total de compresión en la probeta.

Dimensión de las probetas:

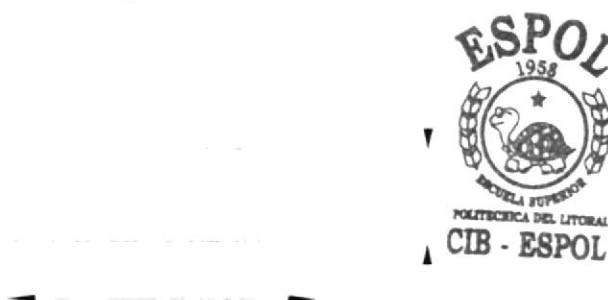


Figura 3.4 Probeta de Compresión

W = ancho = 12.7

L = Longitud = 33mm

e = 3 mm

Número de probetas

Cinco



Procedimiento:

- Medir el ancho, longitud y espesor de cada probeta.
- Colocar las probetas en la máquina de ensayo. Deben estar alineadas a los ejes de la misma.
- Determinamos la velocidad de movimiento de cabezal. De acuerdo a normas la velocidad es de 1.3 mm/min hasta la fluencia, momento en que se aumenta si es posible a 5 mm/min.
- Obtener las curvas de carga - deformación a partir de las curvas carga -velocidad del papel.

Cálculos:

- Resistencia a la compresión: Se la obtiene dividiendo la máxima carga de compresión para el área mínima original.
- Resistencia a la fluencia en compresión: Se la obtiene dividiendo la carga en el punto de fluencia para el área mínima original.

- Módulo de compresión

Se lo obtiene trazando una tangente a la porción lineal inicial de la curva carga deformación, seleccionando un punto de la recta y dividiendo el esfuerzo de compresión en dicho punto para la deformación unitaria

Resultados obtenidos:

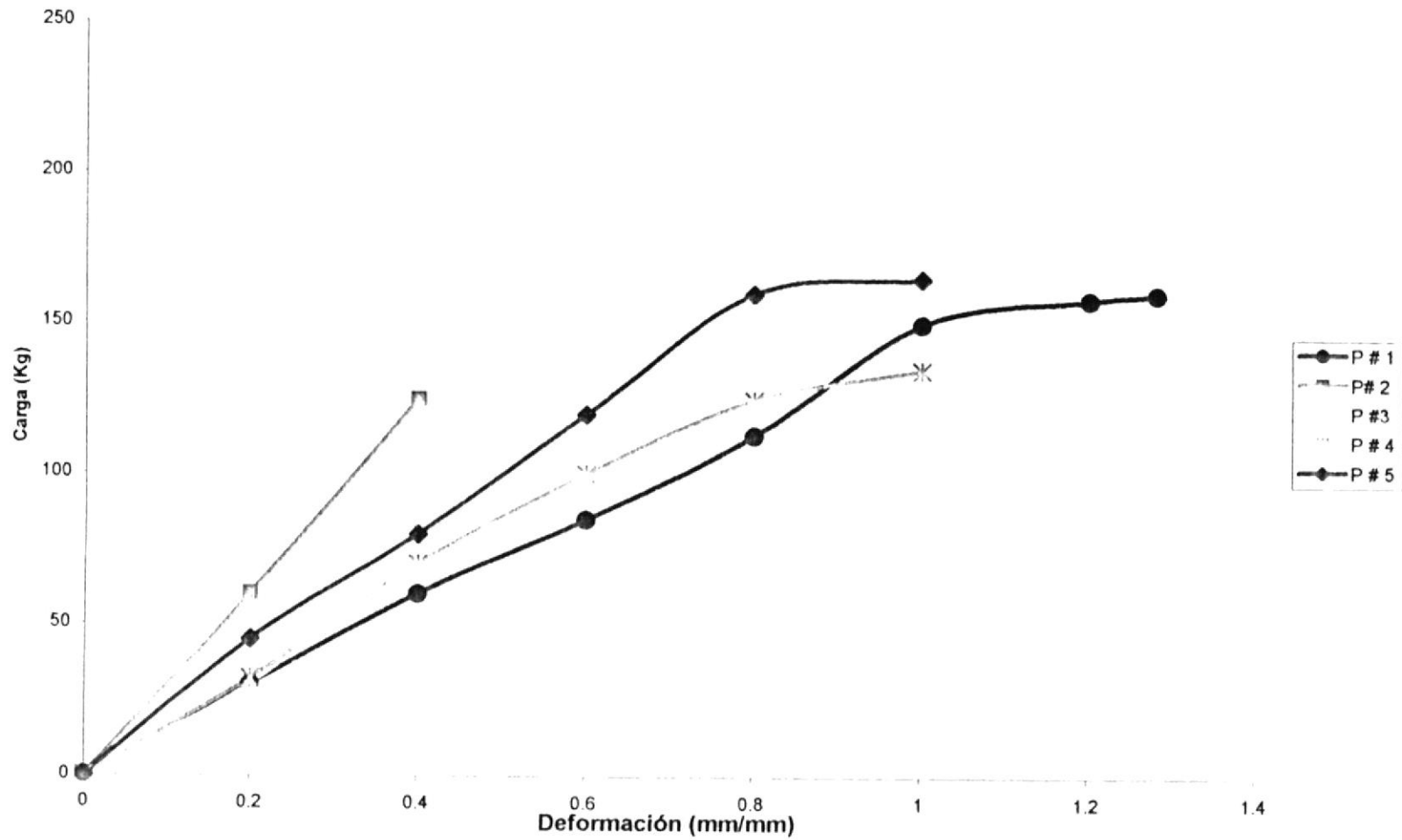


FIGURA 3,11 Curvas de compresión P1, P2, P3, P4, P5

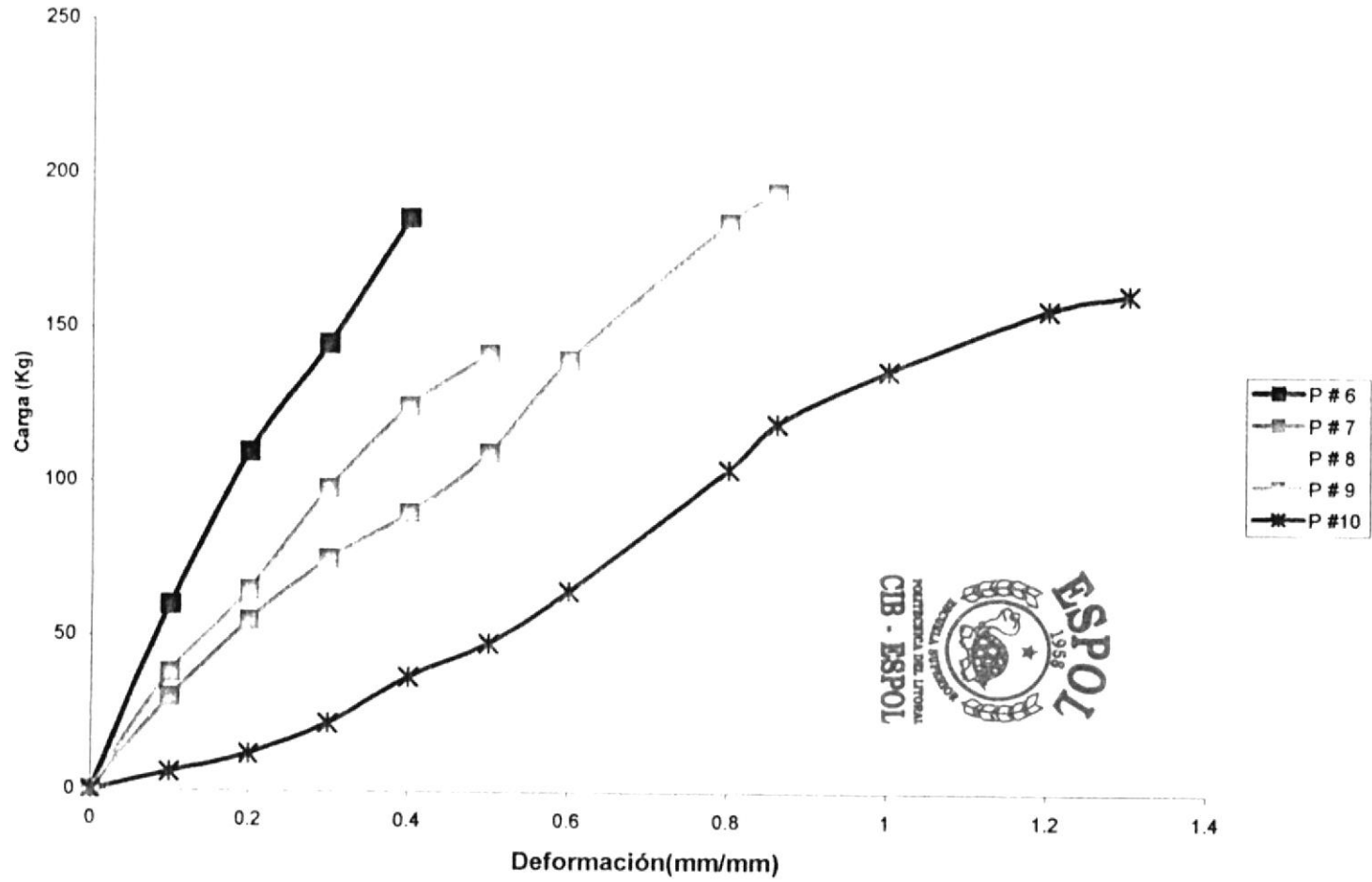


FIGURA 3,12 Curva de compresión P6, P7, P8, P9, P10



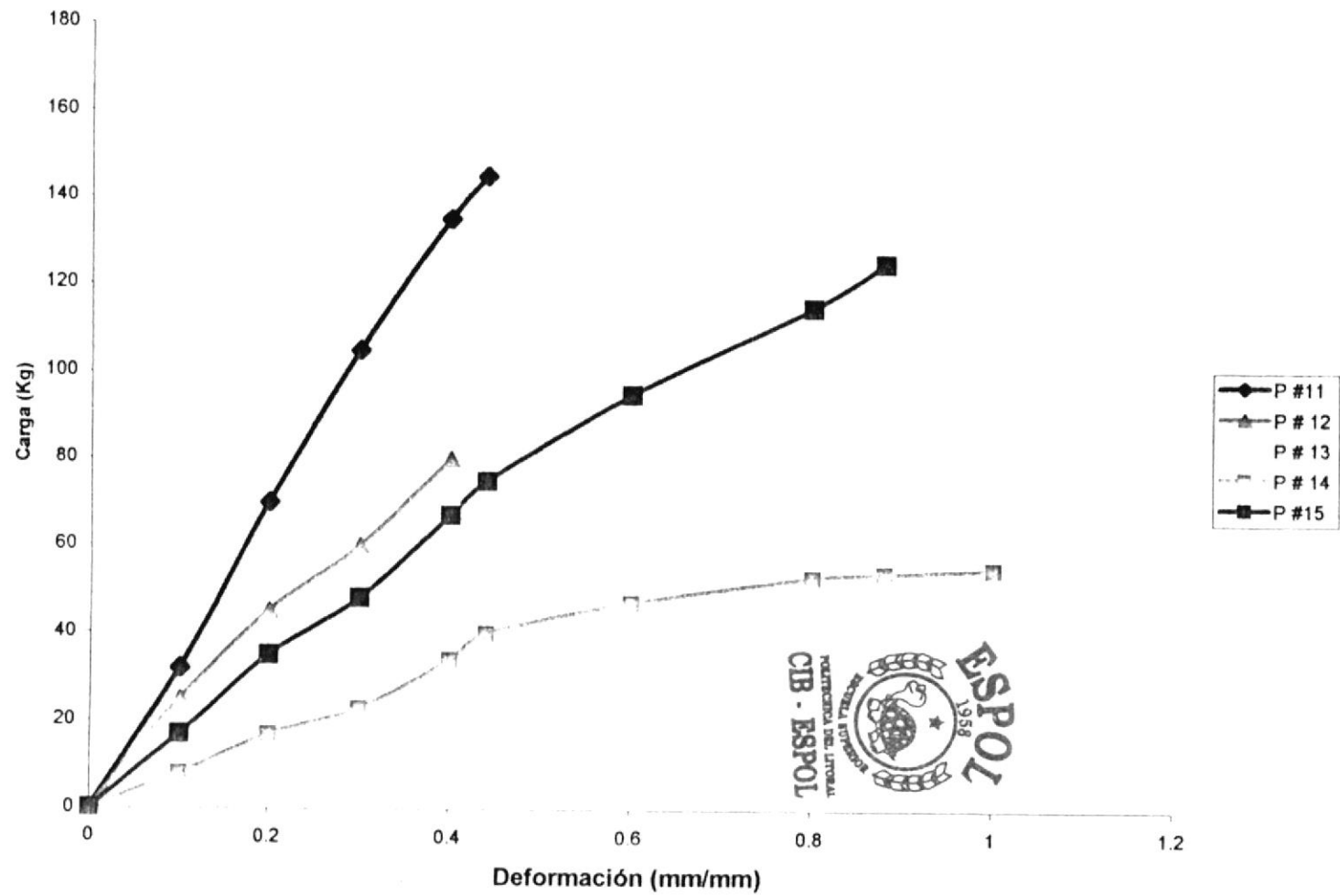


FIGURA 3,13 Curva de Compresión P11, P12, P13, P14, P15



TABLA XXIII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESION (Laminado # 1)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	A ₀ (mm ²)	P _{max.} (Kg)	P _{fluencia} (Kg)	S _{UC} (Kg/mm ²)	S _{YC} (Kg/mm ²)
# 1	2.9	12.5	36.25	159	159	4.386	4.386
# 2	3	12.6	37.8	165	165	4.365	4.365
# 3	3.1	12.7	39.4	108	108	2.857	2.857
# 4	3	12.7	38.4	135	135	3.515	3.515
# 5	3	12.5	37.5	165	165	4.401	4.401

TABLA XXIV

MODULO DE COMPRESION (Laminado # 1)

Probeta	P' (Kg)	L' (mm)	S' (Kg/mm ²)	E (%)	E _C (Kg/mm ²)
# 1	40	0.27	1.103	0.81	136.17
# 2	60	0.21	1.587	0.62	255.96
# 3	50	0.27	1.269	0.83	15.2.89
# 4	40	0.24	1.042	0.73	142.74
# 5	40	0.22	1.066	0.67	159.10



TABLA XXV

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESION (Laminado # 2)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	A ₀ (mm ²)	P _{max.} (Kg)	P _{fluencia} (Kg)	S _{UC} (Kg/mm ²)	S _{YC} (Kg/mm ²)
# 6	2.9	12.6	36.54	182	182	4.981	4.981
# 7	2.8	12.6	35.28	197	197	5.584	5.584
# 8	2.9	12.7	36.83	152	152	4.127	4.127
# 9	3.1	12.8	39.69	140	140	3.527	3.527
# 10	3	12.7	38.1	161	161	4.226	4.226



TABLA XXVI

MODULO DE COMPRESION (Laminado # 2)

Probeta	P' (Kg)	L'	S' (Kg/mm ²)	E (%)	E _c (Kg/mm ²)
# 6	60	0.102	1.642	0.3138	523.26
# 7	50	0.1325	1.417	0.4077	347.56
# 8	60	0.430	1.629	1.32	123.41
# 9	40	0.109	1.007	0.324	310.80
# 10	40	0.421	1.049	1.307	80.260

TABLA XXVII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESION (Laminado # 3)

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	A ₀ (mm ²)	P _{max.} (Kg)	P _{fluencia} (Kg)	S _{UC} (Kg/mm ²)	S _{YC} (Kg/mm ²)
# 11	3	12.5	37.51	145	145	3.866	3.866
# 12	3.1	12.6	39.06	95	95	2.432	2.432
# 13	3.1	12.6	39.06	167	167	4.275	4.275
# 14	3	12.5	37.51	80	80	2.133	2.133
# 15	2.9	12.7	36.83	125	125	3.394	3.394

TABLA XXVIII

MODULO DE COMPRESION (Laminado # 3)

Probeta	P' (Kg)	L' (mm)	S' (Kg/mm ²)	E (%)	E _c (Kg/mm ²)
# 11	40	0.1175	1.066	0.3615	294.88
# 12	30	0.118	0.768	0.3522	218.05
# 13	40	0.230	1.024	0.7077	144.77
# 14	20	0.235	0.533	0.7014	75.99
# 15	40	0.225	1.086	0.692	156.93

ENSAYO DE TENSIÓN

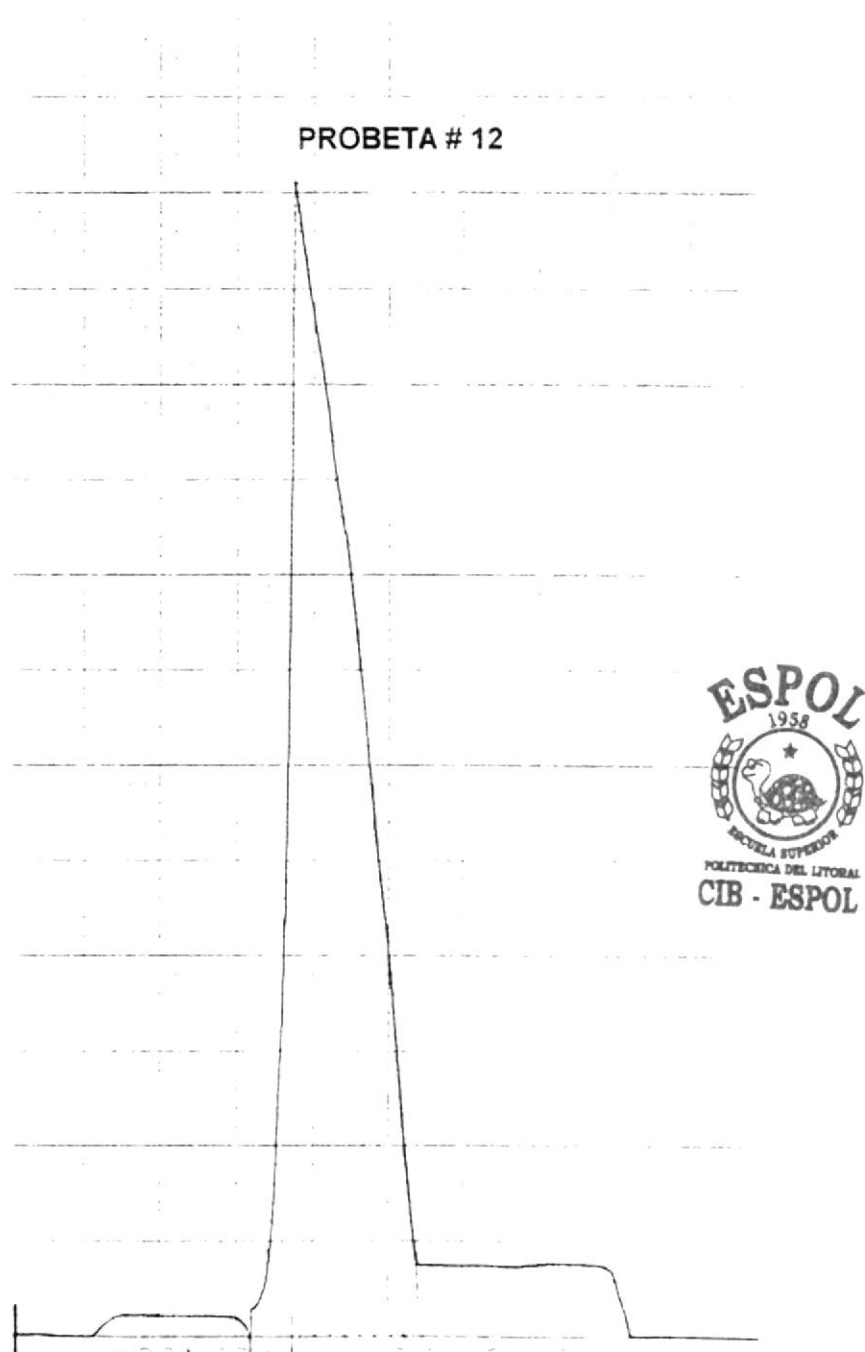


Figura 3.14 Curva de ensayo de Tensión (Carga / Velocidad del papel)

ENSAYO DE FLEXION

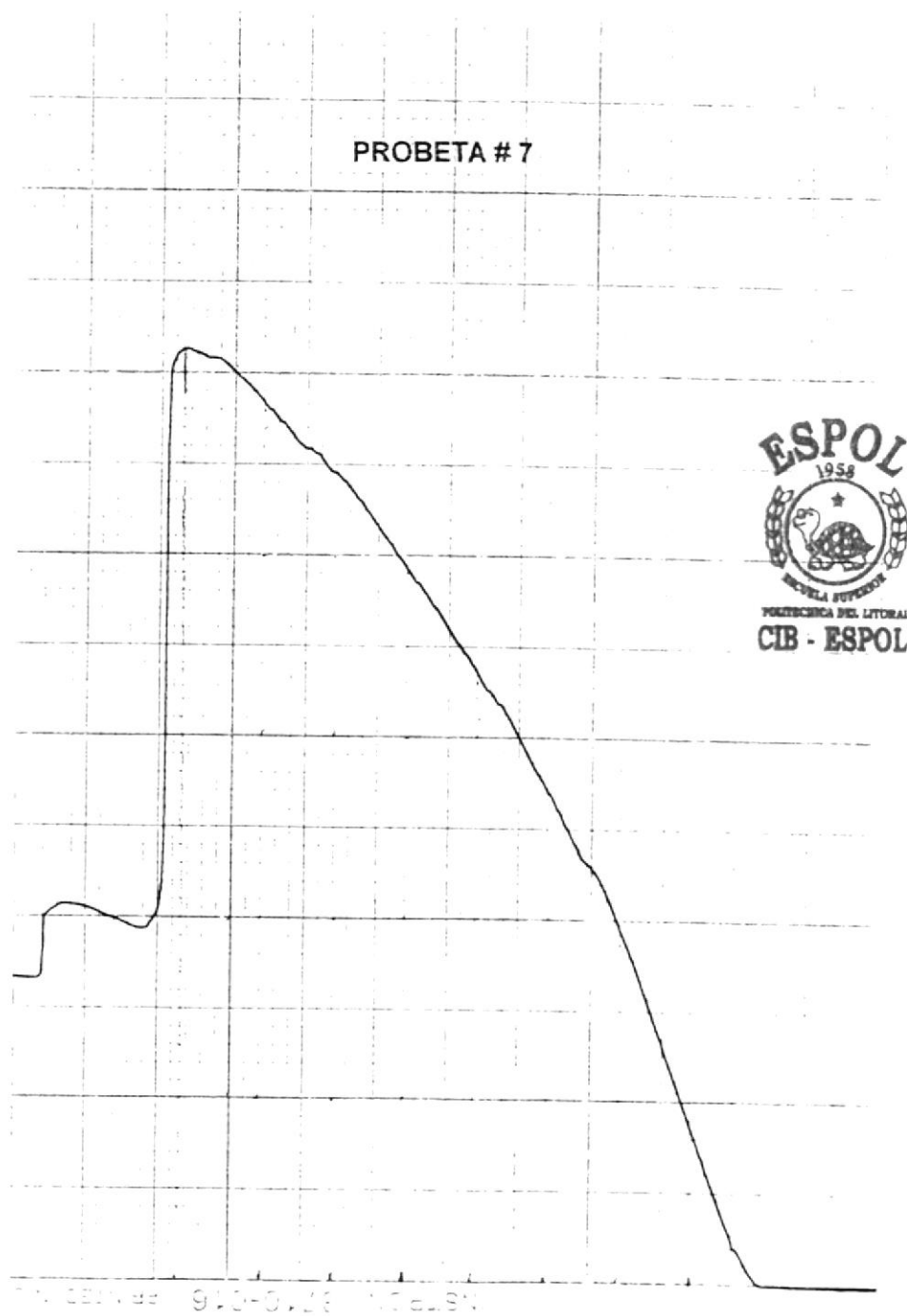


Figura 3.15 Curva de ensayo de Flexión (Carga / Velocidad del papel)

ENSAYO DE COMPRESION

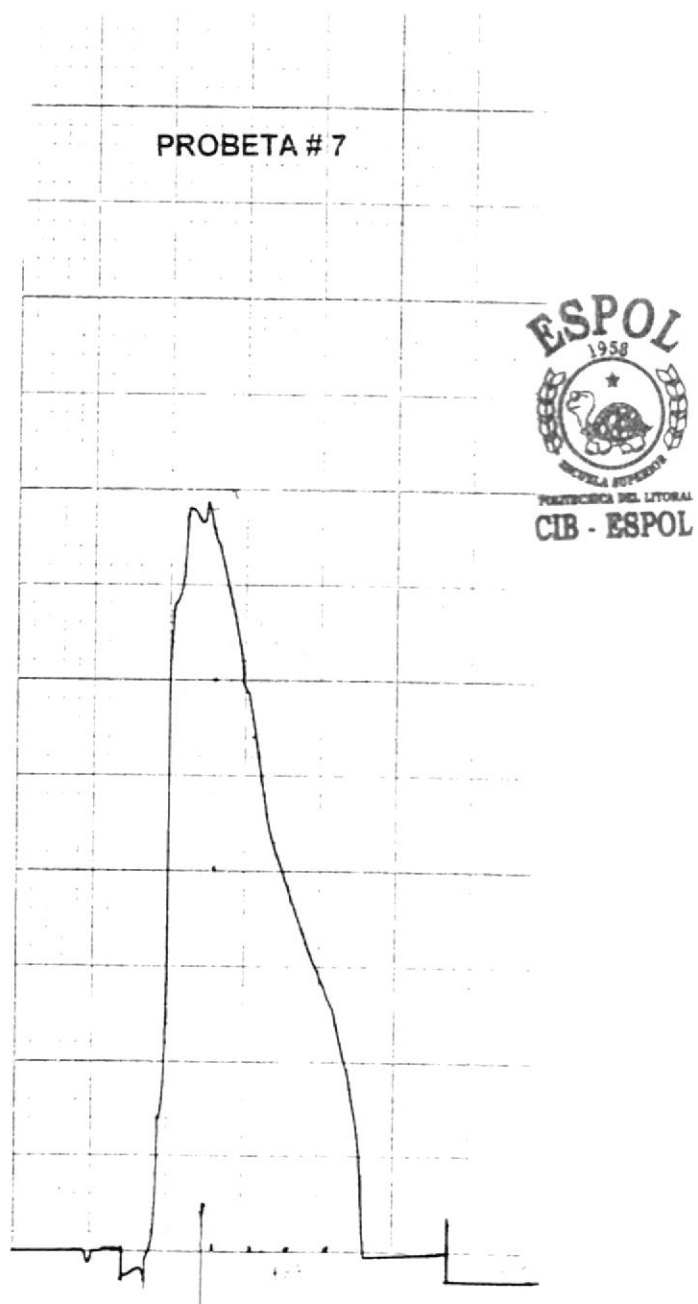


Figura 3.16 Curva de ensayo de Compresión (Carga / Velocidad del papel)

3.5 Análisis e interpretación de resultados

En las pruebas mecánicas se observó que los valores de la resistencia a la tracción, flexión e impacto están dentro del rango estimado para este tipo de laminados

El comportamiento del material a los ensayos de tracción es lineal inclusive en algunas de las pruebas se comportó lineal hasta alcanzar su rotura. El punto de fluencia es prácticamente el mismo de rotura por lo que al momento de utilizar estos valores para diseño, se usa el esfuerzo último a tracción

En los cuadros siguientes podemos observar los valores obtenidos para cada tipo de material compuesto:

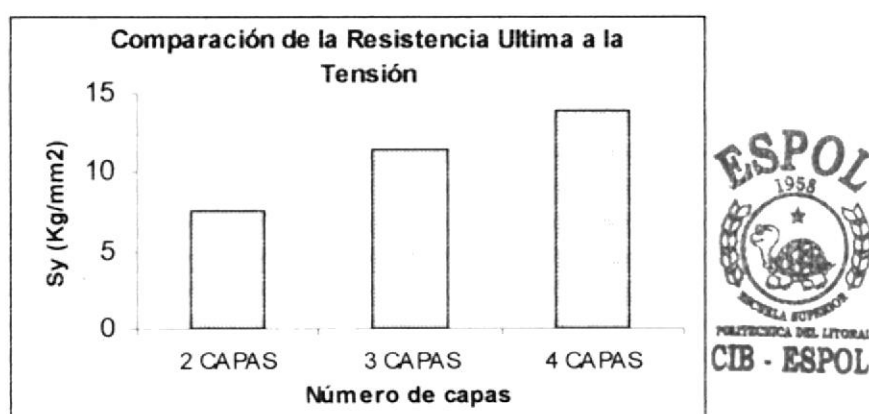


Figura 3.17 Comparación de Resistencia última a la Tensión

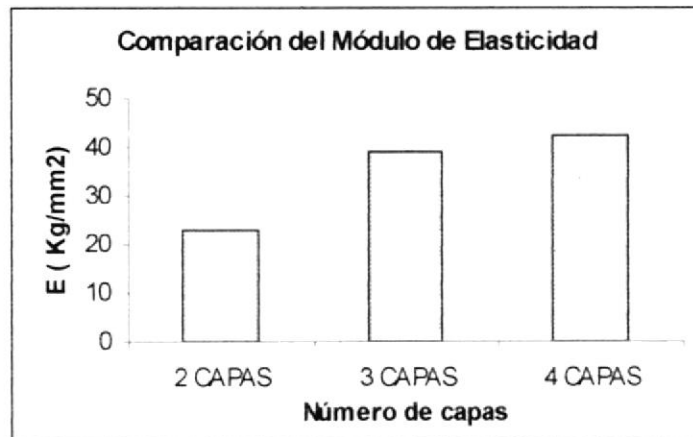


Figura 3.18 Comparación del Módulo de Elasticidad

En ambos casos el aumento de capas ayuda a que los valores de resistencia última a la tensión y el módulo de elasticidad aumenten.

Comparando los tres laminados podemos darnos cuenta que existe una diferencia considerable entre el laminado #1 y los dos restantes en relación al esfuerzo último de tracción, lo que indica que el aumento de capas pasado un cierto límite no influye en el aumento de resistencia a la tracción.

En el ensayo de flexión se observa que al aumentar el número de capas el valor de módulo de elasticidad aumenta lo que indica que el material se vuelve más dúctil.

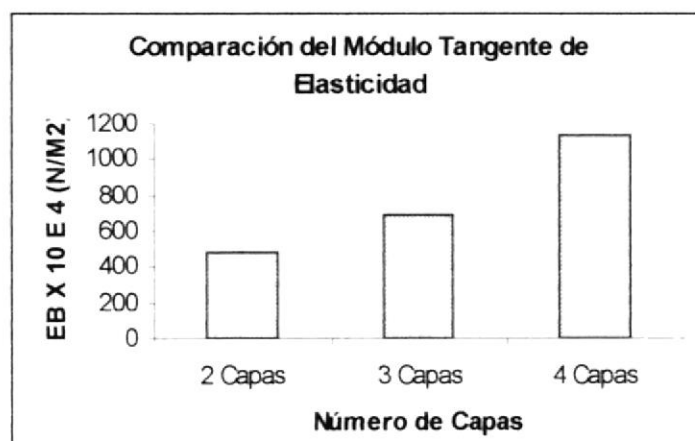


Figura 3.19 Comparación del Módulo Tangente de Elasticidad

En cuanto a las pruebas de impacto, podemos indicar que la que absorbió mayor cantidad de energía fue el laminado #1, esto se debe principalmente a que este laminado posee la mayor cantidad en peso de resina, lo que influye en la absorción de energía.

Además estos valores indican que no necesariamente al aumentar el número de capas, se aumenta la capacidad de absorción de energía, lo que si nos indica es que el tipo de fractura es diferente en cada ensayo.

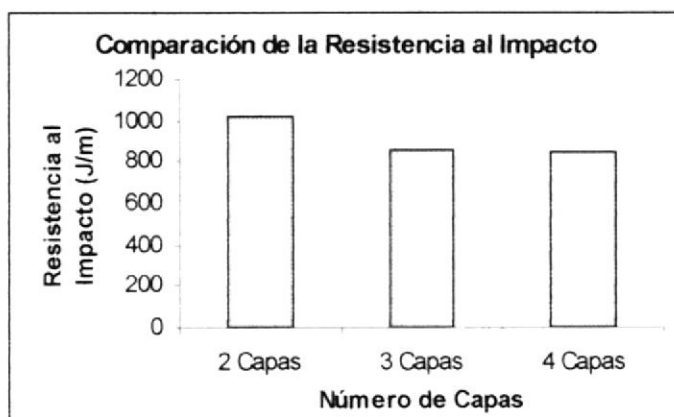


Figura 3.20 Comparación de la Resistencia al Impacto

En cuanto a resistencia a la compresión el valor obtenido es menor que el rango esperado, sin embargo este resultado se debe a lo difícil de obtener caras paralelas para las probetas a causa de su pequeño espesor, lo que origina una concentración de esfuerzos en las zonas sobre las cuales la máquina hace contacto.

Cuando el material es sometido a compresión la falla se produce por una separación de capas de refuerzo, lo que indica que la falla ocurre debido a la resina. En este ensayo hubo separación de las capas exteriores.



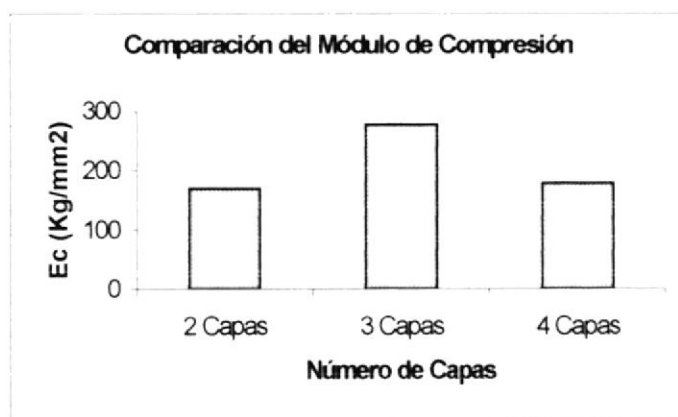


Figura 3.21 Comparación del Módulo de Compresión

En general las propiedades de este tipo de material compuesto son buenas, aunque sus prestaciones pueden aumentar fundamentalmente eligiendo bien todos los componentes, condiciones ambientales en que se los realice del tipo de moldeo utilizado.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES



1. Los materiales compuestos son una alternativa eficiente, que presenta muy buenas prestaciones en su utilización. Lo importante es tener claro, cuales serán las condiciones de trabajo, ya que de esta manera se podrá llegar a decidir cuales serán los mejores componentes que deben conformar el material compuesto.
2. El uso de materiales compuestos de fibra de vidrio en una resina poliéster, es común en nuestro medio, el problema está que quienes lo utilizan lo hacen de una manera inadecuada, principalmente al momento de preparar la resina. La resina y sus componentes, deben guardar cierta proporción, la cual no debe pasar los límites indicados por los fabricantes, pues se



corre el riesgo de obtener elementos con muchos problemas principalmente en acabado superficial y unión entre refuerzo y resina.

3. En relación a los ensayos y resultados obtenidos en el presente trabajo, nos indican que estos materiales, presentan muy buenas características mecánicas, principalmente por el tipo de refuerzo que hemos utilizado y la formulación adecuada de la resina.
4. Para el ensayo de tracción podemos observar que la disminución de capas incide directamente en la resistencia a la tracción, lo que indica que a menor valor en el módulo de elasticidad, menor rigidez.
5. En el ensayo de impacto, el aumento de capas incide inversamente en la capacidad de resistencia al impacto, lo que nos indica claramente que en este caso la resina es la que aporta resistencia al compuesto.
6. En el ensayo de flexión, los valores más altos de resistencia de las fibras se los obtuvo del laminado de dos capas, pero el valor del módulo de elasticidad en flexión es el mas bajo, lo cual indica que el laminado de menor número de capas posee una baja rigidez volviéndose menos frágil.

7. Los comportamientos que hemos indicado, no se generalizan para todos los materiales compuesto, ya que dependiendo de muchos factores como tipo, orientación de la fibra, tipo de resina, tipo de elementos adicionados, tipos de moldeo, incidirán de una u otra manera en el comportamiento de un material. El comportamiento es exclusivamente para materiales compuestos de fibra de vidrio E, tipo tejido, en una resina poliéster isoftálica.



RECOMENDACIONES

1. Realizar este mismo procedimiento de ensayo para las distintas presentaciones de fibra de vidrio que se comercializan en nuestro país, principalmente con el mat de fibra de vidrio, además no solo trabajar con un solo tipo de presentación sino alternar es decir realizar los denominados híbridos, que son una mezcla de tejidos, mechas, mats de diferentes materiales como puede ser kevlar, fibras vegetales, etc.
2. Al momento de realizar la laminación se tenga muy en cuenta las indicaciones de los fabricantes en cuanto a cantidades de elementos que se adicionan, tratando de seguir con detenimiento el procedimiento correcto y de utilizar el equipo necesario para evitar daño en la salud del operario.
3. Se recomienda que se realice un control de tiempo de gelificación de la resina antes de empezar el moldeo de la pieza o piezas si es el caso, para tener el tiempo suficiente en realizar el laminado, sin que ocurra desperdicio de material.



BIBLIOGRAFIA

- 1 M. M. SCHWARTS, Composite Materials Handbook, Segunda Edición, New York, Mc Graw-Hill, 1992
- 2 B. C. HOSKIN, A. A. BAKER, Composite Materials for Aircraft Structures, Aeronautical Research Laboratory, Melburne Australia, 1991.
- 3 CINDY FOREMAN, Advanced Composites, Jeppesen, 1991
- 4 P. A. THORTON, V. J. COLANGELO, Ciencia de Materiales para Ingeniería, Primera Edición, México, Prentice –Hall Hispanoamericana, 1985
- 5 A. MIRAVETE, Materiales Compuestos, (Primera Edición, Zaragoza, INO Producciones, 2000
- 6 GARCIA AURELIO, Diseño y Construcción de Recipientes de plástico reforzado con fibra de vidrio para agua. (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. 1982)

- 7 R. A. FLINN, P. K. TROJAN, Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones, Tercera Edición, 1994
- 8 WILLIAM SMITH, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, 1998
- 9 Annual Book of ASTM Standards, Sección 8, Plásticos, 1994
- 10 www.specgem.com.br
- 11 www.vetrotex.com
- 12 www.composites.com



APENDICES



APENDICE A

MOLDEO POR CONTACTO



El moldeo de un polímero reforzado con fibra de vidrio consta de tres fases, que pueden ser simultáneas o alternativas, en función del procedimiento que se elija:

- a. Impregnación del refuerzo por la resina, que corresponde a la constitución de un material compuesto exento de inclusión de aire.
- b. Adaptación de dicho material compuesto a las formas y dimensiones deseadas, con la ayuda de un molde.
- c. Endurecimiento del material y desmolde de la pieza final.

En el proceso de Moldeo por Contacto a mano, el curado o solidificación de las resinas se inicia partiendo del estado líquido de las mismas, mediante aditivos químicos (sistema catalítico), pasando siempre por estados intermedios de gelificación hasta llegar a la estructura final.

Esta transformación química es irreversible, y se produce a temperatura ambiente, aunque la aportación de calor en la fase final de proceso permite reducir los tiempos de polimerización y por lo tanto de moldeo.

Este método consta de las siguientes fases:

- a) Preparación del molde
- b) Preparación del refuerzo
- c) Aplicación del recubrimiento
- d) Preparación de la resina
- e) Realización del estratificado
- f) Endurecimiento
- g) Desmolde
- h) Desbarbado de la pieza
- i) Control de calidad

Preparación de molde

(Revisar Apéndice B)

Preparación del refuerzo

Antes de iniciar la fase de laminación es necesario disponer de todo el refuerzo que se va a utilizar cortado según formas aproximadas al desarrollo de la pieza final. En la preparación del refuerzo se utilizarán plantillas con objeto de reproducir el proceso todo lo posible, utilizando los útiles necesarios (tijeras, cuchillas, etc.).

Si el laminado consta de varias capas de refuerzo, todas ellas estarán listas para su aplicación correlativa, ya que la operación de estratificación puede y debe hacerse sin necesidad de esperar a la gelificación de las capas anteriores.

Cuando se trata de piezas que exijan dos o más trozos de mat o tejido para completar la misma capa (el ancho del rollo no permite realizar el desarrollo completo de una sola vez), y el estratificado esta compuesto por varias capas: se procurara calcular y cortar las partes de refuerzo de modo que al colocar sobre el molde las capas siguientes no coincidan los solapes, para evitar sobre espesores. En las piezas con formas donde la adaptación de los tejidos se realice con dificultad será necesario elegir el gramaje y la armadura adecuados que favorezcan su deformidad evitando el corte de los mismos y los sobre espesores que originan, así como la pérdida de continuidad en las mechas que lo componen y por tanto la disminución de propiedades mecánicas del laminado.

Aplicación del recubrimiento



Cuando se requiera un acabado superficial óptimo (por necesidades de rugosidad superficial, protección química color, etc.), será necesario una primera capa del recubrimiento antes de la estratificación de la pieza.

Para ello, se prepara la cantidad necesaria de recubrimiento, teniendo en cuenta que una cantidad de 400 a 500 gramos por metro cuadrado, equivalente a 0.4 milímetros de espesor, proporciona a la pieza un acabado óptimo. La aplicación de la capa de recubrimiento se realizara de la manera mas uniforme posible, con un espesor comprendido entre 0.2 y 0.5 mm, bien a brocha, rodillo o pistola según el tamaño del molde, la preparación del operador o el tipo de recubrimiento.

Su aplicación a brocha no ofrece ninguna dificultad técnica, pero en estos casos es necesario preparar el recubrimiento parcialmente y en pequeñas cantidades (1 kg.) acelerándolo primero (0,2 a 0,4%), añadiendo y mezclando el catalizador (2%) a continuación. En el caso de que sea necesario diluirlo, debe utilizarse estremo en una proporción que no debe superar nunca el 20%.

Antes de pasar a la etapa siguiente de impregnación y apilamiento de las distintas capas de fibra sobre el molde, debe dejarse curar un poco el recubrimiento hasta un estado sólido, semi - pegajoso (estado "mordiente") que debe alcanzarse al cabo aproximadamente de 20 o 30 minutos desde la aplicación. En cualquier caso la aplicación del recubrimiento es un paso opcional, pero muy necesario en muchos casos, por aportación al aspecto final de la superficie de las piezas, y lo que es más importante, a su

comportamiento frente a los ataques del medio en el que la pieza va a ser utilizada.



Preparación de la resina

La resina a utilizar para la estratificación se prepara con los aditivos oportunos, acelerada y catalizada inmediatamente antes de iniciar el moldeo.

Calcularemos la cantidad de resina en función de los tipos de refuerzos a utilizar, teniendo en cuenta que la proporción en peso de fibra esta comprendida entre el 30% y 35% cuando se utilicen mats y del 45% al 55% cuando se utilicen tejidos.

En base al tipo de fibra, gramaje, numero de capas y superficie del molde es posible calcular el peso de la fibra y por tanto, el de la resina a preparar, en función de las relaciones anteriores que son aproximadas.

La fase de incorporación del sistema catalítico es un punto critico en el desarrollo del proceso, y debe realizarse con la mayor exactitud, empleando para ello los útiles de medida al efecto, cuidando de su limpieza en todo momento.



La vida útil de una resina es limitada. Depende fundamentalmente de las condiciones de almacenaje (temperatura, humedad...) y de si esta o no acelerada para el caso de las resinas de poliéster. Por ello se recomienda par este tipo de resinas acelerar únicamente la cantidad que se vaya a usar diariamente. Una vez catalizada un resina su tiempo de vida en estado liquido hasta que se alcanza el punto de gel es muy corto, por lo que debe prepararse únicamente la cantidad que puede aplicarse sobre la fibra en ese tiempo. Una vez que la resina ha sido acelerada y catalizada debe aplicarse inmediatamente sobre el molde y la fibra.

Es conveniente catalizar la resina en pequeñas cantidades. Preparando cantidades pequeñas se consigue, además, que el tiempo de gel sea suficiente para que la resina moje a la fibra. Moviéndose dentro de los porcentajes señalados de acelerador y catalizador puede variarse ligeramente el tiempo en que tarda la resina en gelificar que es función, además, de la temperatura y humedad ambientes.

En cualquier caso, para decidir la cantidad de resina que se debe catalizar de una sola vez hay que tener en cuenta el tipo de moldeo y la eficacia del sistema catalítico. Si el moldeo es lento debido a la complejidad de forma o el curado rápido, la resina a catalizar se prepara en pequeñas cantidades de resina a catalizar sin peligro de una gelificación prematura.



Realización del estratificado

Para la correcta realización del estratificado es necesario comenzar con una capa de resina sobre el molde, aplicada con la ayuda de un pincel o rodillo de lana, colocando a continuación la primera capa de refuerzo, previamente cortada según la forma y dimensiones aproximada de la pieza a moldear, sin dar lugar a la gelificación de la resina.

Se adapta al molde la primera capa de refuerzo y se favorece su impregnación mediante la aplicación de más cantidad de resina sobre el mismo. Es usual empezar con un mat de bajo gramaje que se adapte fácilmente a las formas de la superficie del molde, con lo cual reduciremos las posibilidades de huecos entre esta primera capa y la del recubrimiento.

En todo proceso de estratificación deben seguirse tres etapas para que la impregnación del vidrio se realice correctamente:

1. "Humectación a través" que consiste en que la resina ha pasado de un lado al otro del fieltro de vidrio cubriendo totalmente las dos caras del mismo.

2. "Consolidación" obtenida por la acción del rodillada, eliminando el aire y disolviendo el agente de unión, dejando las hebras de vidrio en libertad de movimiento. Esta es la fase mas importante de las tres, puesto que depende directamente de la actuación del operario.
3. "Humectación total" caracterizada por un perdida del color característico blanco del vidrio, que se "moja" con la resina volviéndose casi transparente.

La impregnación se efectuará con la ayuda de pinceles y rodillos de lana. Los primeros se usan lateralmente para extender la resina, y de punta para que penetre la resina y se compacte el laminado. Con la aplicaciones e los rodillos de arandelas o acanalados se eliminan las burbujas de aire ocluido en el refuerzo, se completa la impregnación y se consigue la total adaptación de la fibra impregnada a las formas del molde.

A continuación se procede a la colocación de la segunda capa y se repite la operación tantas veces como sea necesario hasta obtener el espesor deseado, pudiendo alternar el mat y el tejido en función de los cálculos establecidos.

Atención: una vez que la resina ha comenzado a gelificar no se debe continuar trabajando sobre el molde con el rodillo del desburbujeo, ya que se



consigue remover la resina de un lado a otro y dejar vacíos entre las capas del laminado, vacíos o inclusiones de aire que resulta muy difícil extraer de la resina gelificada y que quedaran en el interior del laminado.

Se aconseja trabajar en ambientes secos, exentos de humedad, puesto que se inhibe la reacción de polimerización.

Curado de las piezas



Una vez que la pieza ha sido moldeada, es necesario esperar un tiempo variable (entre 45 minutos y varias horas) en función del tipo de resina, condiciones de curado, tamaño de la pieza, rigidez de la misma.

El tiempo de polimerización puede acortarse con la aplicación de calor mediante horno, estufas, lámparas de infrarrojos, lámparas solares (si se usa un catalizador de acción fotopolimerizable) etc. No debe sin embargo, acelerarse mucho el período de gelificación puesto que la pérdida rápida de algunas sustancias volátiles de las resinas (el estireno, en caso del poliéster) puede hacer que el endurecimiento no llegue a ser nunca completo. Por otro lado se corre el riesgo de que ese rápido desprendimiento se haga con formación de burbujas incluidas en el estratificado.

Para el curado de las resinas de poliéster no debe superarse durante el tiempo de gel los 35° C – 40° C, para limitar la evaporación excesivas de estireno y formación de ampollas, siendo posible aumentar lentamente las temperaturas de curado hasta 50° - 60° debiendo dirigir el calor aplicado desde el molde hasta la superficie exterior siempre que sea posible.

Desmoldeo



Cuando la pieza ha polimerizado lo suficiente de modo que no se produzcan deformaciones en la misma puede procederse a su desmoldeo, el cual en principio no debe presentar problemas si bien los moldes machos ofrecen mas dificultades por el efecto de la contracción de la resina sobre el molde durante el proceso de curado.

El desmoldeo debe hacerse usando la técnica adecuado que dependerá fundamentalmente del tamaño de la pieza y de su rigidez. En cualquier caso la técnica empleada no deberá causarle ningún daño al laminado. Para desmoldear piezas difíciles con contornos relativamente planos se recomienda el uso de cuñas rígidas, mientras que para piezas contorno curvado son mas adecuadas las cuñas semi-rígidas o flexibles, que se adaptan mejor a la geometría de la pieza sin producirle ningún daño.

En algunos casos en los que los moldes tienen formas profundas, lo que se hace es inyectar aire o agua a presión, (sobre todo si se usa alcohol polivinílico) en ciertos casos caliente, para conseguir separar la pieza del molde. Finalmente la pieza desmoldeada puede directamente almacenarse, pasar a una sala de acabado final, desbarbado o mecanizado, de pintura o montarse directamente en la estructura de la que vaya a formar parte.

Desbarbado y acabado final



Frecuentemente el proceso de impregnación manual del refuerzo va acompañado de un exceso de material en los bordes. Cuando se trata de piezas de poco espesor y el diseño de la periferia del molde lo permita, un primer desbarbado de la pieza se realiza cuando es estratificado no ha llegado a endurecer pero esta suficientemente avanzado en su polimerización, procediendo a eliminar los sobrantes de estratificado. Para esta operación se utilizan diversos tipos de cuchillas con empuñadura.

Posteriormente se efectúa el mecanizado definitivo, el cual se lleva a cabo con la pieza totalmente polimerizada, mediante herramientas adecuadas.

Debe tenerse en cuenta el alto poder abrasivo de la fibra, que destruye rápidamente el filo de corte de estas herramientas. Por ello suelen utilizarse sierras de vaivén o discos diamantados. En general es preferible el mecanizado por abrasión frente al arranque de viruta. Durante las operaciones de mecanizado de las piezas se debe trabajar con un buen sistema de aspiración y provistos de mascarar anti- polvo.

Control de calidad



Cada vez adquiere mayor importancia la etapa de control de calidad. Las variables de estudio mas importantes a tener en cuenta dentro de este control de calidad son las siguientes:

- Aspecto final de la pieza: calidad superficial, rugosidad, burbujas e imperfecciones.
- Aspectos geométricos: formas, dimensiones, tolerancias.
- Distribución de la fibra y de la resina.
- Ausencia de vacíos, aires o inclusiones de impurezas en el laminado.
- Ausencia de zonas despegadas o delaminadas.
- Dureza final adecuada.
- Paredes verticales.

APENDICE B

MOLDES



Los moldes utilizados en este proceso pueden ser fabricados utilizando poliéster reforzado con fibra de vidrio, moldes metálicos, tableros plastificados o vidrios planos en el caso de laminados planos, según la calidad superficial de las piezas finales.

Existen numerosas variantes o técnicas diferentes, en función de factores tales como el tipo de piezas a fabricar (forma y tamaño) o vida del molde deseada (número de piezas a moldear).

En los casos en los que se quiere reproducir con fidelidad detalles de piezas (esculturas, imitaciones de superficies diversas, etc.), se recurre a moldes flexibles a base de silicona, o moldes divididos en varias piezas debidamente ensambladas permiten el moldeo del conjunto y una vez polimerizada la pieza se desmonta fácilmente para el desmoldo.

Para la mayoría de materiales que sirven para fabricar moldes, se siguen los siguientes pasos:

- Fabricación y preparación del modelo (forma complicada)
- Realización y preparación del molde



Fabricación y preparación del modelo

Se construye a partir de un modelo generalmente realizado en madera. Este paso es necesario cuando la forma de la pieza a fabricar es complicada. También pueden emplearse otros materiales tales como yeso, cemento, espumas rígidas, metales, etc.

En el caso utilizar madera para la fabricación del modelo, esta debe ser blanda. Así mismo debe ser regular en su constitución, exenta de nudos que originarían procesos prolongados de enlucido y pulido y cualquiera que sea el tipo de madera que se utilice, debe estar muy seca y con débil absorción de humedad. Se aconseja utilizar madera de tilo o álamo, que responden perfectamente a estas exigencias, así como contrachapado marino.

Utilizando espuma de poliuretano se pueden construir modelos con suma facilidad, ya que la espuma pesa menos que la madera, y por ello su traslado y manipulación resulta mas cómodo. Presenta una resistencia elevada a la comprensión, aguantando bien los golpes, y con una resistencia a la abrasión tal que su moldeo es sencillo.

Los modelos de yeso o cemento se utilizan cuando no se requiere mucha exactitud en las medidas y sobre todo en la fabricación de grandes piezas,

como cascos de embarcaciones, piezas estructurales, etc. En algunos casos, se construye el armazón de ladrillo y después se enlucce con yeso en la superficie. En cualquier caso, el moldeo debe recibir el tratamiento superficial adecuado.

El modelo tendrá la misma forma que la pieza final que se vaya a fabricar, mientras que el molde propiamente dicho tendrá la forma inversa (negativo de la pieza final).

Cuando se realiza laminados planos, no se necesita elaborar modelos previos, pues debido a la forma plana de la pieza a fabricar, se puede utilizar directamente la madera, yeso o cemento como molde.

Una vez obtenido el modelo, la etapa siguiente consiste en la preparación de su superficie, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos se ha utilizado un material más o menos poroso. Para ello se utilizan como aprestos productos específicos a base de resinas termo endurecibles que se aplican a pincel, rodillo o pistola.

Un apresto debe tener una alta capacidad de adherencia y ser resistente al calor, ya que sobre él se realizan posteriormente un laminado a base de resina y fibra

La aplicación debe realizarse de modo que se obtenga un espesor tal que una vez realizadas las operaciones de lijado, pulido y lustrado resulte un espesor final uniforme no superior a 750 – 1.000 micras, con objeto de reproducir lo mas fielmente posible cualquier detalle de formas en la pieza final.

Procediendo de la forma indicada, la superficie del modelo estará seca y lista para trabajar sobre ella a cabo de unas cuatro horas, aunque para mayor seguridad se aconseja dejar evaporar y endurecer hasta el día siguiente:

Realización y preparación del molde



Sobre el modelo tratado y preparado según acabamos de indicar, se inicia la construcción del molde, operación que consta igualmente de varias fases:

- a) **Aplicación del recubrimiento.**- Para que el futuro molde tenga resistencia y duración, las primeras capas, que formaran la cara exterior del mismo están constituidas por recubrimiento específico. El número de capas de recubrimiento normalmente es tres, aplicadas sucesivamente después de secarse la anterior. La cantidad de recubrimiento que se precisa para cada capa es del orden del 400 g/m² obteniéndose de esta forma un espesor de 0.25 mm por capa.

b) **Estratificación.-** El molde de plástico reforzado se compone de capas sucesivas de fibra de vidrio impregnadas con resina de poliéster. Se aconseja poner en contacto directo con el recubrimiento una capa de mat de bajo gramaje, igual o inferior a 300 g/m^2 . Una vez impregnada la primera capa de fibra de vidrio y eliminadas las burbujas de aire, se espera a que alcance un estado avanzado de polimerización antes de aplicar la segunda.

Las dos primeras capas de mat son necesarias al lado del gel coat porque en caso de utilización de tejido en capas posteriores evitan el marcado de este sobre la superficie.

A partir de la segunda capa, pueden utilizarse mats de gramajes superiores (450 o 600). En este caso, se recurre a un mat de uso general de ligante en emulsión como el M 4 (para formas sencillas) o el CM 500 (para formas más complejas).

El número y la composición de las capas posteriores varían en función de la forma y dimensiones del molde a construir. Para un molde de forma simple y de tamaño medio serán suficientes tres capas de mat de 600 g/m^2 , mientras que para piezas más importantes se alternarán sucesivamente capas de mat y tejido.

- c) **Colocación de rigidizadores.**- Según la forma del molde realicemos, tendremos que emplear rigidizadores con el objeto de evitar deformaciones del molde durante la fabricación de las piezas finales.

Estos se colocaran después de haber polimerizado completamente el molde, pero antes del desmoldeo ya que una colocación prematura conduce casi siempre a aparición de marcas en la cara vista del molde, en los lugares donde se asientan los rigidizadores, por efecto de las diferencias de contracción.

Los rigidizadores pueden ser tubos de cartón o piezas de madera o metálicas. La elección del material será función de las formas y dimensiones del molde y los esfuerzos a los que se le someter. Estos rigidizadores se fijan al molde mediante estratificación con fibra y resina sobre los mismos.

- d) **Desmoldeo.**- Tras una polimerización lenta del molde a temperatura ambiente durante dos o tres días, podrá ser separado del modelo.

Esta separación u operación de desmoldeo se efectúa con mayor o menor facilidad según la forma y tamaño del molde. Para moldes sencillos y pequeños basta una simple operación manual si es necesario

valiéndonos de cuñas de madera o plástico semi - rígido que se introducen entre molde y modelo para separarlos.

En casos más complejos se aconseja practicar previamente orificios en el modelo para aplicar aire o agua a presión como ayuda al desmoldeo (estos orificios practicados en el modelo se cubren con papel adhesivo metalizado y reciben el mismo tratamiento que toda la superficie).

- e) **Desbarbado.**- Como en la mayoría de los casos de moldeo de piezas de plástico reforzado con fibra de vidrio mediante procesos manuales, será necesario proceder al desbarbado final, que se realizara con ayuda de útiles adecuados.



APENDICE C

DIVISIÓN DE LOS LAMINADOS

La ubicación de cada una de las probetas a ensayar será tomada de la siguiente manera:

- Se divide la lamina en cuadros de $20 \times 20 \text{ mm}^2$.
- Debido a que el área de cada laminado es de $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, se obtendrán 625 cuadrículas con su respectivo número de identificación.
- No hay que olvidar que para obtener probetas aceptables, no se puede utilizar el material de los bordes, ya que estos pueden sufrir algún tipo de imperfección.
- La determinación de que lugar de la lámina se obtendrá cada probeta será al azar.

Se ha establecido cinco tipo de ensayos:

P1: Probeta para tracción

P2: Probeta para flexión

P3: Probeta para corte

P4: Probeta para impacto



P5: Probeta para compresión

Luego se determina cuatro direcciones

A: Arriba

B: Abajo

I: Izquierda

D: Derecha

Finalmente se obtiene un número del 1 al 625 y se procede a marcar en la lámina.

Este procedimiento se lo realiza solo en un laminado, y para los dos restantes se sigue el mismo patrón.



APENDICE D

DEFECTOS SUPERFICIALES EN MATERIALES COMPUESTOS

Formación de arrugas en la superficie (piel de cocodrilo):

Este defecto aparece cuando se aplica la resina de estratificación antes de que haya solidificado suficientemente el recubrimiento o cuando se aplica prematuramente una segunda capa sin terminar de gelificar. Hay que asegurarse de que el recubrimiento está polimerizado, comprobando a través del tacto si la superficie no se pega.

Las causas de este problema pueden tener orígenes diferentes:

- a) Por diluir el recubrimiento con excesiva cantidad de acetona o estireno, lo cual hace que durante la aplicación o antes de la gelificación el disolvente, no se ha evaporado totalmente, inhibe el proceso de polimerización y reblandece la superficie del recubrimiento dando lugar a las arrugas. Esta situación se evita reduciendo la cantidad de disolvente añadido, incrementando la cantidad de catalizador y acelerador, aumentando la temperatura de trabajo.





- b) Por catalizar de forma insuficiente o con productos en mal estado. Se recomienda efectuar una prueba aparte antes de la aplicación para comprobar que la canalización es la adecuada.

- c) Humedad alta y temperatura de taller baja que hace que el tiempo de gel se alargue excesivamente. En ciertos casos, sobre todo con moldes cóncavos, es necesario aplicar con cuidado y uniformemente un corriente de aire seco sobre el molde, evitando cualquier condensación de agua sobre su superficie.

- d) Aplicación del recubrimiento antes de que haya secado totalmente el alcohol polivinílico. Se soluciona esperando lo suficiente o secando con aire caliente y seco.

- e) Aplicación de la primera capa de fibra y resina antes de que haya curado lo suficiente del gel coat. El estado de curado en el cual puede laminarse es tal que al presionar con el dedo no ha de adherirse aunque se note algo pegadizo. Un comprobación que puede hacerse, consiste en mojar un poco la superficie con estireno y observar que el recubrimiento no se levanta o ablanda.

- f) Agua o aceite en los conductos de aire de proyección. En este caso el líquido extraño se mezcla con el recubrimiento y retrasa o impide la polimerización.

Ojos de pez

Se trata de un defecto consistente en el desplazamiento del recubrimiento formando diminutas depresiones de forma circular con un diámetro de hasta 5 o 6 mm. Este defecto aparece localmente, sobre molde que han sido excesivamente pulidos o cuando se han empleado ceras con siliconas. Generalmente es provocado por la deshumectación por parte del gel de la superficie del molde. La misma causa provoca líneas de ausencia de gel correspondientes a los pelos de la brocha cuando se aplica el gel mediante este método. Son deseables, por tanto, ceras sin siliconas una capa de polivinilo u otro tipo de desmolde antes.

Ampollas

Son burbujas de aire atrapadas entre la capa de gel y la primera capa del laminado que indica una delaminación entre ambas. Si por calentamiento o por mecánica se rompen dejan una huella en forma de cráter.

La causa principal de este defecto es que la capa de recubrimiento es demasiado delgada, de modo que no polimeriza lo suficiente. Al aplicar la resina el estireno puede atacar a las partes de recubrimiento subpolimerizadas formando ampollas. Esto se corrige dando el espesor adecuado, es decir un mínimo de 300 a 400 micras, equivalentes a 400 g/m².

Desconchado



Aparece cuando la superficie del laminado sufre un golpe. Si la adhesión entre la capa de gel y la primera lamina es muy mala puede llegar a desprenderse el recubrimiento por zonas en cuanto se aplica la mínima cantidad de calor. La causa de este defecto radica nuevamente una deficiente adhesión entre el gel y el laminado, en general por dejar que transcurra demasiado tiempo

Poros y picaduras

Son diminutos agujeros que atraviesan la capa de gel, llegando hasta el laminado, debido a las pequeñas burbujas de gases atrapados por el recubrimiento antes de su gelificación. En este caso, el problema también tiene diversos orígenes:

- Inclusión de aire durante la impregnación manual al aplicar el recubrimiento de alta viscosidad.
- Polvo sobre el molde, la capa de gel o en el desmoldeante. Se corrige tapando los moldes cuando no se usen, protegiéndolos de la electricidad estática y manteniendo el ambiente de la sala de moldeo lo mas limpio posible.
- Exceso de catalizador, que hace que la reacción sea fuertemente exotérmica con exceso de concentración de calor. Para evitarlo disminuir la concentración del peróxido.
- Empleo de agentes de desmoldeo con siliconas, que pueden producir deshumectación en puntos muy concretos sobre todo cae algo de polvo sobre la superficie del molde.
- Recubrimiento demasiado viscoso.
- Exceso de disolvente, que queda atrapado en el interior del laminado y llega a “hervir” con tendencia al escapar al exterior.
- Capa de recubrimiento demasiado gruesa, que no permita la evaporación del disolvente.

Cuarteado y grietas.



Se trata de un defecto que puede aparecer tras desmoldear la pieza o al cabo de un tiempo que puede ser incluso de meses frente a exposición ambiente o

productos químicos. Esta formado por pequeñas grietas de la anchura de un cabello humano sobre la superficie del gel y a veces va precedido por una pérdida de brillo superficial. Cuando el cuarteado afecta a alguna capa de mat se denomina agrietamiento y si traspasa el laminado, fractura.

Las causas posibles son las siguientes:

- Capa de gel demasiado gruesa, sobre todo si se realiza un postcurado, debido a la diferencia de contracción de la capa gruesa y el resto del laminado.
- Excesiva cantidad de monómero presente en el gel que produce acumulaciones de vapores de estireno (sobre todo en las partes profundas del molde) que inhiben el curado, por lo que debe tenerse cuidado de no diluir demasiado con este producto.
- Alta velocidad de endurecimiento, lo que produce tensiones de origen térmico en el proceso de dilatación - contracción propio del curado de este tipo de matrices. Es necesario por tanto controlar el tiempo de gel mediante una canalización adecuada y no superar el 2.5% de peróxido.

Estrellado por impacto.

Las figuras estrelladas alrededor de un punto se producen cuando el espesor de la capa de gel no es uniforme y recibe un golpe por la parte mas gruesa por el reverso, por lo que además de controlar la uniformidad del espesor de la capa del recubrimiento hay que evitar dar golpes secos durante el proceso de desmoldeo, utilizando siempre martillos de goma para este fin.

Cambios de tono en el color.

Se trata de un defecto consistente en la flotación del pigmento, bien sea formando bandas alargadas a corros. Puede ser debido a una mala homogeneización de la pasta pigmentaria con la resina o una deficiente mezcla de los distintos productos colorantes entre si el color se ha buscado como mezcla de varios.

Afloramiento de fibras.



Tiene origen en un recubrimiento demasiado delgado o desmoldeado antes de tiempo.

Falta de brillo.

Las causas posibles son:

- a) Molde sucio o con mal acabado superficial.

- b) Escurrido. Puede evitarse alejando un poco la pistola de la superficie de molde o también acelerando su movimiento.
- c) Espesor no uniforme que afecta a la opacidad y al tono de color.
- d) Polvo o impurezas en la resina.

Areas pegajosas.

Es un defecto detectable a mano. La causa es que sobre el molde haya caído acetona o que el recubrimiento no este uniformemente catalizado.

Mala adherencia al molde.

Se produce casi siempre cuando se aplica a pistola por una incorrecta elección de la viscosidad del gel, bien porque esta demasiado diluido o bien por demasiado espeso. En general debe aplicarse siempre que se haga a pistola todo lo concentrado que permita el equipo de aplicación formando una película delgada de 0.4 mm. Como máximo. Si la aplicación se hace demasiado espesa (pistola demasiado cerca, movimientos de la misma lentos, pulverización insuficiente, caudal demasiado rápido) debe aumentarse la presión correspondiente en el bote.

APENDICE E

FIBRA DE VIDRIO Y SALUD

Salud y Seguridad

La responsabilidad social de quienes trabajan con este tipo de materiales debe operar con respeto a los derechos de otros, tanto como a los derechos al medio ambiente.

Esto incluye el entendimiento y la comunicación de la información acerca de la salud y seguridad como el impacto ambiental de todos los productos durante la vida de los mismos.

Durante los últimos 50 años, los investigadores han estudiado intensamente la fibra de vidrio y han concluido que:

- La exposición a las fibras de vidrio han sido históricamente bajas.

- Las fibras de vidrio desaparecen rápidamente. Al ser inhaladas, las fibras de vidrio, desaparecen de los pulmones tan rápido como el polvo que respiramos diariamente.

El aislamiento de fibra de vidrio conserva su casa tibia en invierno, fresca en verano y silenciosa por todo el año. Ayuda a conservar energía, lo cual resulta en economía y reduce la polución.

Y también es ambientalmente agradable. Esta hecha de ingredientes naturales como la arena y contiene por lo menos el 30% de productos reciclados tales como botellas y vidrios de ventana.

También ayuda a reducir las emisiones de gas carbónico a la atmósfera, por cada libra de bióxido de carbono emitido en la producción de aislamiento de fibra de vidrio, se evitan 330 lbs. de bióxido de carbono, con el uso de este aislamiento.

Salud y seguridad en la fibra de vidrio



Más de 50 años de investigación científica, con estudios por la industria y la investigación independiente, han fallado en no encontrar una asociación entre

la exposición a la fibra de vidrio y el cáncer, entre los trabajadores de las fábricas de fibra de vidrio. Por lo tanto, en los estudios más recientes en que aparecen las evidencias científicas presentadas por investigadores de la Escuela de Salud Pública de Harvard se concluye que los datos " tomados en conjunto, indican que los individuos, ocupados y expuestos por lo tanto a las fibras de vidrio en, razón a su trabajo, no parecen aumentar el riesgo de cáncer en su sistema respiratorio"

Los resultados de estos estudios hechos por las Universidades de Georgetown, Harvard y Tulane, indican que las fibras producidas no están asociadas con desgarramientos pulmonares, cáncer de pulmón o mesotelioma.

La fibra de vidrio no es asbesto

La fibra de vidrio es fundamentalmente diferente al asbesto.

- El aislamiento de fibra de vidrio, no ha causado cáncer en animales, cuando hay inhalación, la ruta normal de administración asbestos ha

producido una forma de cáncer denominada mesotelioma, por su inhalación.

- La exposición a los aislamientos de fibra de vidrio, en los lugares de trabajo, ha sido siempre muy baja. Históricamente las exposiciones al asbesto, han variado considerablemente, dependiendo del tiempo, el número de productos, del lugar de trabajo y la forma en que se usaren estos productos.
- La fibra de vidrio común es mucho menos durable que el asbestos, cuando se somete a pruebas dentro del fluido corporal simulado.
- La fibra de vidrio no es lo mismo que asbestos.

Lo que si se ha comprobado es que el polvo producido por la combinación de fibra de vidrio y resinas, para formar los materiales compuestos, causa irritación del sistema respiratorio por lo que se recomienda el uso de equipo adecuado cuando se este manipulando este tipo de materiales.

