

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN
MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA**

**LUIS EDUARDO PÉREZ PIÑERES
MICHAEL YESID RIVALDO VILLAMIZAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO- QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE
MATERIALES
BUCARAMANGA
2007**

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE
UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA**

**LUIS EDUARDO PÉREZ PIÑERES
MICHAEL YESID RIVALDO VILLAMIZAR**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

**Director del Proyecto:
Ing. Afranio Cardona Granados**

**Codirector del Proyecto:
Ph. D. C. Luis Emilio Forero Gómez.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO- QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE
MATERIALES
BUCARAMANGA
2007**

A Dios, por guiar mis pasos,

A mis padres Eduardo y Azucena por su apoyo incondicional durante toda mi carrera, por su paciencia, tesón y sobretodo su amor, sin ellos hubiera sido imposible este trabajo tan importante en mi vida.

Al señor Jacques Smeulders y su esposa Mirna Smeulders por su apoyo moral y material para alcanzar mis ideales.

A mi hermano Oscar y a mi abuela rosa por su paciencia y comprensión sobre todo en los momentos difíciles.

A Claudia y Valentina, por su inmensurable amor y apoyo.

Luis Eduardo Pérez Piñeres.

A Dios, por que me dio fortaleza, el impulso para lograr que mis sueños se hicieran realidad en mi vida.

A mi madre y mi hermano por creer y confiar en mí, brindándome su apoyo incondicional, moral y material; por ser guías bondadosas y colaboradores en la realización de mis ideales.

A todas aquellas personas que de una o de otra forma contribuyeron con la realización de este trabajo.

Michael Yesid Rivaldo Villamizar.

AGRADECIMIENTOS

A **Michel Baikrich, Ing. Faé**, copropietario de **Poly Armor Company S.A.**, por su apoyo desinteresado al desarrollo de la ciencia.

A **José Fernando Duque y Esteban tous** Representantes de **ANDERCOL S.A.**, por suministrar la resina e información sobre la misma.

A **Jairo Edgardo Arias**, Ingeniero Electrónico, por su valiosa ayuda, motivación y comprensión, en los momentos difíciles del desarrollo de este trabajo.

A **Luis Emilio Forero Gómez**, Ph. D. C, Ms.C, Ingeniero Metalúrgico, director del centro de investigación en BIOMATERIALES, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A **Afranio Cardona Granados**, Ingeniero Metalúrgico, director del proyecto, por su constante apoyo y dedicación.

A **Javier**, Técnico del laboratorio de Resistencia de materiales de la escuela de ingeniería civil.

A **Mauricio**, Técnico del laboratorio de Diseño Industrial de la escuela de diseño industrial.

A **Freddy Rincón Osorio**, Ingeniero Mecánico, Jefe del laboratorio de resistencia de materiales de la universidad santo tomas.

A **Wilson Vesga**, Ingeniero Metalúrgico, por su colaboración para llevar a cabo las pruebas mecánicas.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MATERIALES COMPUESTOS	18
2. MATERIAS PRIMAS	20
2.1 POLYTENEX	20
2.1.1 Características	20
2.1.3 Propiedades físicas	21
2.2 RESINA DE POLIÉSTER INSATURADA	22
2.2.1 Características	22
2.2.2 Propiedades mecánicas	23
2.3 CATALIZADOR	23
3. DISEÑO DEL MATERIAL	25
3.1 Contenido de constituyentes y Secuencia del laminado	25
4. FABRICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	27
4.1 Moldeo por contacto	27
4.2 Aspecto final del material fabricado	28
5. ENSAYOS MECÁNICOS	29
5.1 Ensayo de tracción	30
5.2 Ensayo de compresión	31
5.3 Ensayo de flexión	31

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1 Tracción	33
6.1.1. Diseño 1. Material compuesto con fracción en peso del 14%	33
6.1.2. Diseño 2. Material compuesto con fracción en peso del 20%	35
6.1.3 Comparación de resultados obtenidos en los dos diseños	37
6.2 Compresión	39
6.3 Flexión	41
7. CONCLUSIONES	45
8. RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFIA	48
ANEXOS	50

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades físicas del Polytenex	21
Tabla 2. Propiedades típicas del CRISTALÁN 4807 curado (sin reforzar)	23
Tabla 3. Contenido en peso de los constituyentes del material compuesto	25
Tabla 4. Ensayos para este programa experimental	29
Tabla 5. Resultados en tracción con porcentaje en peso del 14%	33
Tabla 6. Resultados en tracción con porcentaje en peso del 20%	35
Tabla 7. Resultados en compresión con porcentaje en peso del 14%.	39
Tabla 8. Resultados en flexión con porcentaje en peso del 14%.	42
Tabla A 4. Efecto del contenido de fibra de vidrio en las propiedades de los laminados moldeados por contacto	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diseño en CAD del material compuesto	26
Figura 2. Orientación de las fibras en el refuerzo	26
Figura 3. Proceso de fabricación del material compuesto	27
Figura 4. Fotomicrografías del laminado fabricado	28
Figura 5. Máquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU	29
Figura 6. Prensos en tracción en lámina de Polytenex	30
Figura 7. Tipo de probeta definitiva para el ensayo de tracción	30
Figura 8. Tipos de probeta para el ensayo de compresión	31
Figura 9. Tipos de probeta para el ensayo de flexión	32
Figura 10. Diagrama Esfuerzo (MPa) vs Deformación (%).PT1-4	34
Figura 11. Diagrama Esfuerzo (MPa) vs Deformación (%).PT2-5	36
Figura 12. Secuencia del ensayo de tracción	37
Figura 13. Fotomicrografía con 20% refuerzo (A) y 14% de refuerzo (B)	38
Figura 14. Fractografía con 14% refuerzo y 20% de refuerzo	38
Figura 15. Diagrama Esfuerzo (Mpa) vs Deformación (%).PC-5	40
Figura 16. Secuencia del ensayo de compresión	41
Figura 17. Diagrama Esfuerzo (Mpa) vs Deformación (%).PF-5	43
Figura 18. Secuencia del ensayo de flexión	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Literatura técnica CRISTALÁN 4807. ANDERCOL S.A	50
Anexo 2. Desmoldantes	52
Anexo 3. Procedimiento de encerado	53
Anexo 4. El plástico reforzado como material estructural	55

Acelerador. Sustancia o agente que activa o acelera una reacción, en particular la que conduce al endurecimiento de los materiales plásticos termoestables; se denomina también activador o promotor.

ASTM. Abreviación de “American Society for Testing and Materials”, organización estadounidense para la normalización de las especificaciones y los métodos de ensayo de los productos industriales.

Capa. Porción de una cosa (tejido, cera, resina etc.), de exiguo espesor, dispuesta en forma de hoja extendida como de hoja plana.

Catalizador. Ver iniciador.

Curado. Proceso que conduce el endurecimiento de una sustancia.

Delaminación. Acción de henderse o dividirse los materiales reforzados, a lo largo de un plano paralelo a sus capas.

Desmoldante o agente de despegue. Sustancia que impide la adhesión del laminado al molde y facilita su extracción o separación.

Endurecedor. Agente de curado o de endurecimiento químico. Se aplica generalmente a las resinas epóxicas.

Fibra. Uno o más filamentos en una ensambladura pedida.

Filamento. Una forma fibrosa de materia con un cociente de aspecto >10 y un diámetro eficaz <1 milímetro.

Interfase (inglés). La superficie límite de contacto entre el refuerzo y la matriz; teóricamente la superficie de todos los filamentos primarios que compone el refuerzo de un laminado.

Laminado. Se dice de cualquier elemento o pieza de material compuesto obtenido por las superposiciones sucesivas de capas de refuerzo impregnadas con resina.

Tejido. Suelen tener entre el 95 y el 98% de las fibras en dirección longitudinal y entre el 2% y el 5% en la dirección transversal, para efectuar el cosido e impedir el

deshilachado de los longitudinales. Los tejidos suelen tener un espesor de entre 0,13 y 0,30 mm, con gramaje de entre 200 y 800 g/m³. Se suelen presentar con anchos de entre 30 y 60 cm, en rollos de entre 40 y 100 m, que posteriormente se cortan en obra a las dimensiones deseadas.

Termoestable. Polímero compuesto por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras de redes tridimensionales. Estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Estos no tienen una temperatura de fusión fija y es difícil reprocesarlos.

Termoplástico. Polímero que se compone de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas o monómeros y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil. Al ser calentados a temperaturas elevadas, estos polímeros se ablandan y se conforman por flujo viscoso.

Tiempo de curado. Tiempo que se requiere a partir del inicio de la gelación para el endurecimiento completo de las resinas (normalmente el desmolde se realiza bastante antes de completarse el curado de la respectiva pieza).

Tixotrópica. Capacidad de un material parte líquido y parte sólido, para conservar su forma hasta que se le aplica un esfuerzo, que lo hace fluir como líquido.

RESUMEN

TITULO. DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA*

AUTORES: LUIS EDUARDO PÉREZ PIÑERES
MICHAEL YESID RIVALDO VILLAMIZAR**

PALABRAS CLAVES: Tensión, Compresión, Material compuesto Flexión

DESCRIPCIÓN

En esta investigación se analiza el comportamiento en tracción, compresión y flexión de un material compuesto con matriz polimérica de poliéster insaturada, reforzado con una nueva opción avanzada para protección balística denominado Polytenex en el cual las fibras longitudinales no se entrelazan con las fibras transversales, como es usual.

En el desarrollo de este tipo de materiales existe un gran número de parámetros que afectan tanto sus propiedades físicas y químicas como a su comportamiento mecánico, esto hizo que para la presente investigación el diseño del material se realizara tomando como parámetro el porcentaje en peso del refuerzo en el compuesto. En esta línea, para la fabricación del material se implementó un procedimiento que permitió obtener una solución única para el espesor y el acabado superficial del material compuesto.

Por lo tanto, los estudios de caracterización mecánica son un primer acercamiento y la resistencia mecánica del material puede ser mejorada, aumentando el porcentaje de refuerzo en el material compuesto hasta lo máximo posible. Por otra parte las diferencias en el grado de polimerización, la existencia de tensiones internas por efectos del curado, la adherencia fibra – matriz y los parámetros dimensionales, son las causas que justifican los resultados presentados.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico – químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica

SUMMARY

TITLE. DESIGN, FABRICATION AND CHARACTERIZATION MECHANICAL OF A COMPOSITE MATERIALS OF POLYMERIC MATRIX*

AUTHORS: LUIS EDUARDO PÉREZ PIÑERES
MICHAEL YESID RIVALDO VILLAMIZAR**

KEYBOARDS: Test, tensile, compression, flexure, composite materials.

DESCRIPTION

In this research is analyzed the behavior in traction, compression and flexure of a composite material with a polymeric unsaturated matrix of polyester, reinforced with a new advanced for ballistic protection called polytenex®, in which the longitudinal fibers don't interlacing with a cross way fibers, as usually.

In the develop of this kind of materials there is large number of parameters that affect as its physical an chemical properties as its mechanical behavior, this realized that for this research, the design of the material was made taking the weight percent of reinforcement in the composite material. In this line, for this fabrication of the material was made a procedure that allowed to get an only solution for the thickness and the final superficial of the composite material.

By the way, studies of mechanical characterization are the first step and the mechanical resistance of the material could be improve, increasing the percent of reinforcement in the composite material as the most possible. By the other hand the differences in the polymerization grade, the existence of the internal tensions by curate effects, are causes that give reasons to the introduced results.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico – químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos o composites se han empleado desde el inicio de la civilización; en el antiguo Egipto se mezclaba la paja con la arcilla para mejorar la resistencia al agrietamiento en las construcciones. Sin embargo los principales avances en la comprensión y utilización de este tipo de materiales han ocurrido durante los últimos cuarenta años, esto se debe en gran parte a la creciente demanda de la industria aeronáutica y aeroespacial por materiales estructurales que cumplan con ciertas propiedades, tales como alta dureza y rigidez, pero bajo peso estructural.

La primera aplicación estructural de los materiales compuestos modernos fue la fabricación de depósitos a presión, por medio de enrollamiento continuo de fibras de vidrio; a lo largo de la década de los 60 aparecieron los filamentos de boro siendo su objetivo primordial fomentar su uso en las estructuras aeronáuticas. Sin embargo, en los últimos 20 años el uso de materiales compuestos se ha extendido a múltiples campos de la industria con la aparición de las fibras de vidrio, kevlar, fibra de carbono, y Polietileno Tereftalato (PET) que le proporcionan al material alta resistencia a la tracción envueltas en una matriz que suele ser una resina epoxica o poliéster la cual se encarga de ligar las fibras.

Los materiales compuestos ofrecen grandes ventajas con relación a los diseños de otros materiales, debido a la posibilidad de diseñar conjuntamente la estructura y sus materiales constitutivos, estableciendo mejoras en las propiedades mecánicas en direcciones específicas.

El presente proyecto comprende el diseño y caracterización de un material compuesto que consiste en una matriz polimérica no saturada y una fase dispersa de Polietileno tereftalato modificado estructuralmente (POLYTENEX[®]) enfatizando en sus propiedades mecánicas mediante la ejecución de ensayos de: tensión, compresión, y flexión.

El diseño y fabricación del material se realizó tomando como parámetro la fracción en peso del refuerzo en el compuesto, enfatizando en sus propiedades mecánicas. La evaluación se realizó mediante pruebas de laboratorio que contribuirán junto con la fundamentación teórica a establecer la aplicación de este nuevo material en diversas industrias.

1. MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto es la combinación de dos o más materiales insolubles entre sí, donde existe una interfase perfectamente definida. Los compuestos constan de una matriz y refuerzos de diferentes formas geométricas y con una determinada proporción entre ellos, para obtener características y propiedades específicas. Las cuales son por lo general mejores que las de sus constituyentes por separado; aquí no solamente se habla de las propiedades mecánicas sino también de las térmicas, eléctricas entre otras.

Las dos características más importantes de los compuestos son: el factor resistencia – peso y la anisotropía. Las fibras proveen resistencia a lo largo de su línea longitudinal. Los composites reforzados en una sola dirección proveen máxima resistencia en esta dirección. Los materiales compuestos reforzados en dos dimensiones proveen resistencia en dos ejes direccionales; sin embargo la resistencia en cada dirección es aproximadamente la mitad de la correspondiente en forma unidireccional. [1]. Finalmente, el refuerzo isótropo provee resistencia en todos los ejes direccionales, pero a una tercera parte del valor unidireccional.

La resistencia de los compuestos aumenta a medida que la razón longitud / diámetro crece ya que es difícil producir fibras muy largas sin incrementar el número de defectos presentes en las fibras. [1]. Debido a esto y aunque las fibras continuas son más fáciles de orientar en una dirección específica que las fibras cortas, los composites de fibra corta pueden igualar y aún sobrepasar la resistencia de los materiales compuestos de fibra continua.

Para resumir, el uso de los materiales compuestos trae consigo los siguientes beneficios:

- Alta resistencia mecánica
- Baja densidad
- Estabilidad dimensional
- Consolidación de partes
- Excelente acabado
- Bajo costo de maquinado

2. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas que constituyen el material compuesto en estudio son el tejido denominado polytenex[®] y la resina de poliéster insaturada cristalan 4807 presentados a continuación:

2.1 POLYTENEX[®]

El polytenex[®] es una nueva opción avanzada en protección balística contra armas de tipo TECTONIX (armas cortas: revolver, pistola hasta sub.-ametralladora) y KINETIX como parte del compuesto con acero, cerámicas etc. En blindaje contra municiones BALL & AP de armas largas (carabinas, fusiles hasta ametralladoras de calibre 7.62). El polytenex es un tejido de bajo costo, destinado al mercado de kits para la protección balística de los vehículos, escudos para chalecos blindados, trajes antiminas y escudos anti-motines y para la construcción de paneles divisionarios en aplicación arquitectónica.

El polytenex[®] se hizo teniendo en cuenta las estrictas especificaciones de Polyarmor Inc. SA, donde se observó que las telas tejidas con filamentos de Poliéster de alta tenacidad son muy adecuadas, gracias a su alta resistencia mecánica, módulo de deformación y baja fluencia ante aplicaciones de cargas permanentes a través del tiempo, para la elaboración de paneles blindados de tipo compacto comprimido a alta presión, modificando su estructura.

2.1.1 Características. El polytenex[®] es producido con multifilamentos orientados de Poliéster de alta tenacidad de alto peso molecular (mayor a 25.000 g/mol y grupos carboxilos finales menores a 30) los cuales poseen una alta relación resistencia a la tensión deformación y muy baja fluencia.

La tecnología con la cual se produce la tela polytenex® es un sofisticado sistema de tejido en el cual las fibras que van en el sentido longitudinal no se entrelazan con las fibras que van en el sentido transversal, como es usual; por esta razón, el tensionamiento de las fibras es inmediato, directo y puede absorber los esfuerzos a muy baja elongación [1].

Además de las ventajas que otorga este procedimiento, se modifica la estructura de las fibras de la tela de Poliéster (material inerte y no tóxico) con un proceso de compresión a muy alta presión para darle una mejor compactación, aumentando así su resistencia a la deformación por esfuerzos brutales causados por los impactos de proyectiles. Este panel compacto, por el efecto macizo, tiene igualmente un excelente comportamiento, a las elevadas temperaturas y una extraordinaria estabilidad a los ataques químicos, biológicos y a la luz U.V.

2.1.2 Propiedades físicas. En la Tabla 1 se muestran algunas propiedades físicas del polytenex®, en ella se encuentra especificado el tipo de ensayo y la referencia de la norma seleccionada para su ejecución.

Tabla 1. Propiedades físicas del Polytenex®.

DESCRIPCIÓN	NORMA	POLYTENEX
Tipo de polímero	ASTM	PET
Densidad específica	ASTM	443 g/m ²
Punto de ablandamiento	ASTM D 276	240° C
Tamaño de abertura	ASTM D 4751	0.42

Poly-armor S.A.

2.2 RESINA DE POLIÉSTER INSATURADA

El CRISTALÁN 4807[®] es una resina poliéster ortoftálica, tixotrópica y preacelerada. Presenta un rápido curado y desarrollo de la dureza, además de una excelente impregnación en procesos de moldeo por contacto, que minimizan los requerimientos de mano de obra y permite obtener laminados de mejor desempeño mecánico por las altas relaciones fibra/resina obtenidas, redundando en elevados beneficios por reducción de costos. [2]

2.2.1 Características. El CRISTALÁN 4807[®] reduce el tiempo de empape e impregnación de la fibra de vidrio hasta en un 20%. Debido a la facilidad de impregnación del refuerzo, permite obtener reducciones en el consumo de resina hasta de un 10% sobre los sistemas convencionales de laminación, lográndose obtener laminados con alto contenido de vidrio y con propiedades mecánicas alrededor de 10% superiores a dichos sistemas [2].

La alta capacidad de impregnación y la menor temperatura exotérmica del CRISTALÁN 4807[®] permite la aplicación de varias capas consecutivas de resina y refuerzo obteniéndose, en consecuencia, una rata de producción mayor y un menor tiempo en el ciclo completo de moldeo [2].

La excelente tixotropía del CRISTALÁN 4807[®] evita el chorreo en superficies verticales o inclinadas cuando se opera con fibra de vidrio. Adicionalmente se puede aplicar sin modificación en la mayoría de los equipos de aspersion, requiriéndose solamente operar el equipo a más bajas presiones que las utilizadas con las resinas convencionales de aspersion.

2.2.2 Propiedades mecánicas. La Tabla 2 incluye las propiedades mecánicas de la resina cristalan 4807[®].

Tabla 2. Propiedades típicas del CRISTALÁN 4807[®] curado (sin reforzar)

Elongación en la ruptura	2.4%
Esfuerzo tensil	40Mpa
Modulo tensil	3.4GPa

Cristalan 4807[®], Andercol S.A

2.3 CATALIZADOR

Para producir un objeto moldeado o laminado, una resina de poliéster tiene que fraguar, que es el proceso general de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue esto o bien mediante el uso de un catalizador y calor o a la temperatura normal del cuarto de trabajo empleando un catalizador y un agente acelerante.

Los catalizadores para las resinas de poliéster son generalmente peróxidos orgánicos, los catalizadores puros son inestables químicamente y susceptibles de descomponerse en violencia explosiva. Se suministran por eso en forma de dispersión en pasta [3].

Los catalizadores más utilizados son el metil etil cetona peróxido o mek peróxido y el benzoil peróxido o BPO. Contrario a lo que ocurre con el BPO, El sistema catalizador usado para este proyecto es a base de mek peróxido, no posee una fórmula químicamente definida, siendo fabricado con diferentes mezclas de hidroperóxidos, lo que explica la diferencia de actividad entre catalizadores obtenidos de fuentes diferentes. [3].

Para los sistemas catalizadores con mek peróxido, es más común utilizar sales organoetálicas de cobalto como el nafteno de cobalto o el octoato de cobalto para que actuen como aceleradores.

3. DISEÑO DEL MATERIAL

Muchas de las propiedades de los materiales compuestos son fuertemente dependientes de parámetros dimensionales tales como el diámetro longitud, distribución de longitudes, fracción en peso de las fibras, la orientación y ordenación de conjunto de las mismas [4]. El diseño del material se realizó tomando como parámetro la fracción en peso del refuerzo en el compuesto.

3.1 CONTENIDO DE CONSTITUYENTES Y SECUENCIA DEL LAMINADO

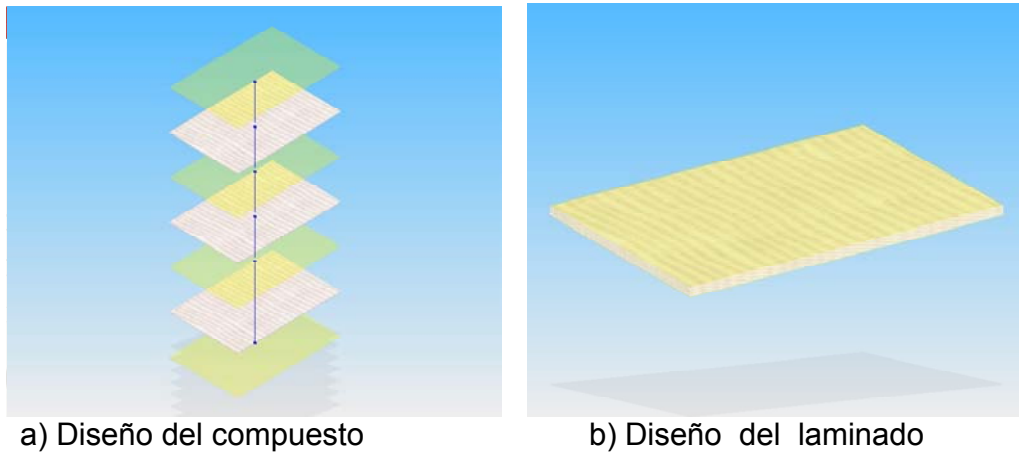
El diseño se realizó con base a la relación costo beneficio refuerzo – resina, ya que esta última presenta un menor costo. En la Tabla. 3 se presenta el contenido en peso de los constituyentes correspondiente al valor global para todo el laminado. Los contenidos en peso de cada constituyente se obtuvieron de acuerdo a las relaciones de la micromecánica de compuestos presentadas brevemente en la norma ASTM D3171 [5].

Tabla 3. Contenido en peso de los constituyentes del material compuesto.

DISEÑO	% Wr (Porcentaje en peso del refuerzo)	% Wm (Porcentaje en peso de la matriz)
1	14	86
2	20	80

La Figura 1 (a) muestra el los constituyentes del compuesto (b) presenta el diseño del laminado.

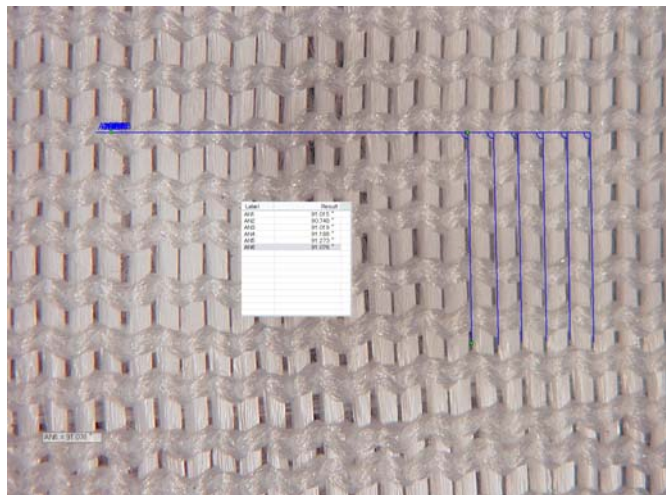
Figura 1. Diseño en CAD del material compuesto.



El procedimiento para determinar la estructura del laminado consistió en la medición del ángulo de orientación de las fibras del refuerzo.

La Figura 2 presenta una imagen de las mediciones del ángulo de orientación de las fibras en el refuerzo, usando en este caso el programa Eye dynamic Plus 3D del equipo HIROX KH 7700.

Figura 2. Orientación de las fibras en el refuerzo.



4. FABRICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

El proceso de fabricación incide sobre las propiedades finales de los materiales compuestos debido a su efecto en la microestructura y en las tensiones internas.

4.1 Moldeo por contacto. En primer lugar se aplica una capa de cera desmoldante al molde abierto. La resina mezclada con catalizadores se aplica a continuación mediante vertido [4]. Se coloca manualmente en el molde una capa de Polytenex[®] (en forma de tejido). Se usan unos rodillos para mojar el refuerzo con la resina y eliminar el aire atrapado. Se ponen en contacto capas hasta que se llegue al espesor de diseño. En la Figura 3 se ilustra este método.

Figura 3. Proceso de fabricación del material compuesto.



Figura. (a) Aplicación de cera

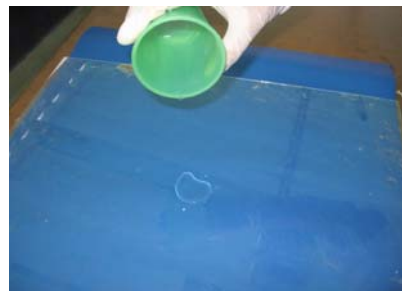


Figura. (b) Aplicación de resina



Figura. (c) Impregnación



Figura. (d) Curado del material.

4.2 ASPECTO FINAL DEL MATERIAL FABRICADO.

La Figura 4 (a) y (b) muestra fotomicrografías del laminado, una vez terminado su proceso de fabricación.

Figura 4. Fotomicrografías del laminado fabricado.



Figura. (a) Fotomicrografía del laminado fabricado.



Figura. (b) Espesor de probeta definitivo para el ensayo de tracción

5. ENSAYOS MECÁNICOS

Se realizaron en la máquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU, equipada con una celda de carga de 100kN, para los ensayos de tracción y compresión, mientras que para el ensayo de flexión se equipo con una celda de 1 KN. En la Figura 5. se muestra la maquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU.

Figura 5. Máquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU



En la Tabla 4 se presenta la matriz de ensayos para este programa experimental, en ella se encuentra especificado para cada ensayo el número de probetas y la referencia de la norma tomada para su ejecución.

Tabla 4. Ensayos para este programa experimental.

Prueba	No. Muestras	Ref. ASTM
Resistencia axial en tensión	5	D 3039-00
Resistencia axial en compresión	5	D 3410-03
Propiedades en flexión	5	D 790-03
Contenido de materiales compuestos	5	D 3171-99

5.1 ENSAYO DE TRACCIÓN.

La caracterización mecánica de las propiedades de tracción de las láminas unidireccionales de compuestos de fibra – resina se hizo mediante la norma ASTM D3039-00. [6]. En la norma se establecen las dimensiones de las probetas a ensayar a tracción, las cuales son: un espesor de 1 mm y ancho de 15mm en láminas con las fibras longitudinales en el sentido de las fuerzas de tracción. Para cumplir con esta norma es necesario cortar las probetas como lo muestra la Figura.6, lo cual trajo como consecuencia la ruptura del material fuera de la longitud efectiva. Finalmente, se realizaron los ensayos en probetas con un cambio de sección como se puede apreciar en la Figura 7.

Figura 6. Preensayos en tracción en lámina de Polytenex®. En el extremo izquierdo se aprecia la rotura del material.

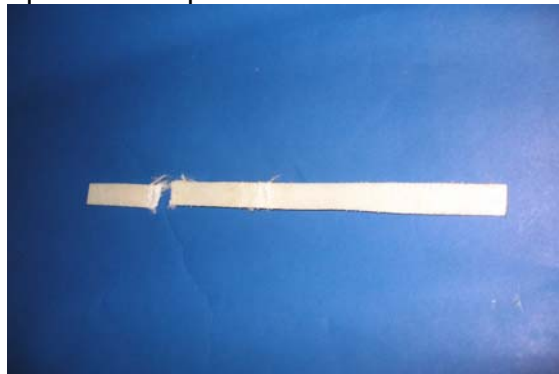
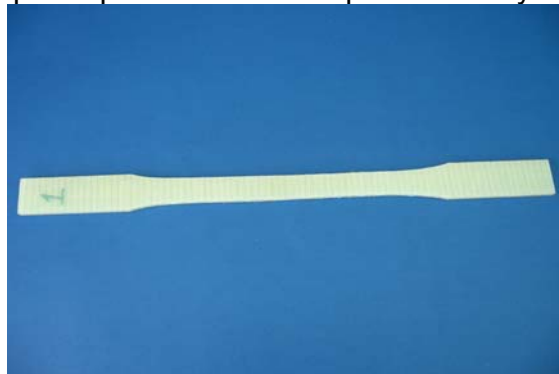


Figura 7. Tipo de probeta definitiva para el ensayo de tracción.



5.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Siguiendo las recomendaciones dadas en la norma ASTM D 3410 [7]. Se ensayaron en compresión probetas con dimensiones 140mm de largo, 10mm de ancho. Para estos ensayos se empleo una maquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU. La Figura 8 contiene imágenes de las probetas utilizadas en compresión.

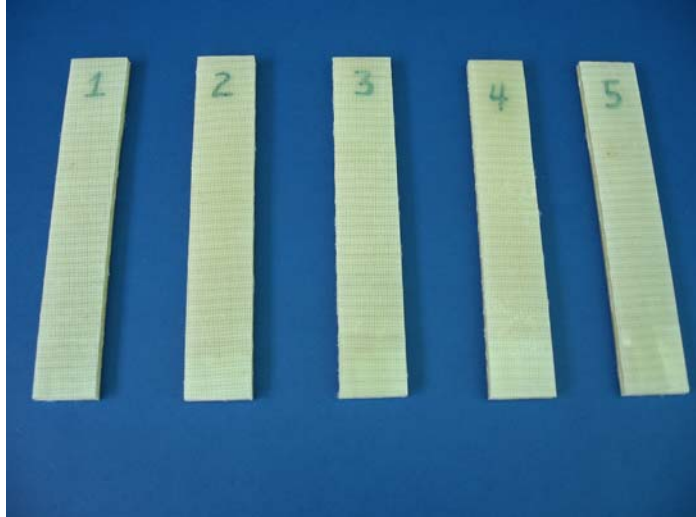
Figura 8. Tipos de probeta para el ensayo de compresión.



5.3 ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para la realización de las pruebas de flexión se obtienen muestras representativas de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM D 790 [8]. Las dimensiones de las probetas fueron 130mm de largo y 25mm de ancho. En la Figura. 9 se presentan imágenes de las probetas utilizadas para el ensayo de flexión.

Figura 9. Tipos de probeta para el ensayo de flexión.



6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 TRACCIÓN.

El ensayo de tracción se realizó en 5 probetas, en la Máquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU, equipada con una celda de carga de 100kN a una velocidad de 2mm/min.

6.1.1 Diseño 1. Material compuesto con porcentaje en peso del 14%. Los resultados numéricos del ensayo de tensión se presentan en la Tabla. 5 Estos corresponden principalmente a la resistencia última, la deformación útil, carga máxima hasta deformación lineal y el modulo elástico en tensión longitudinal.

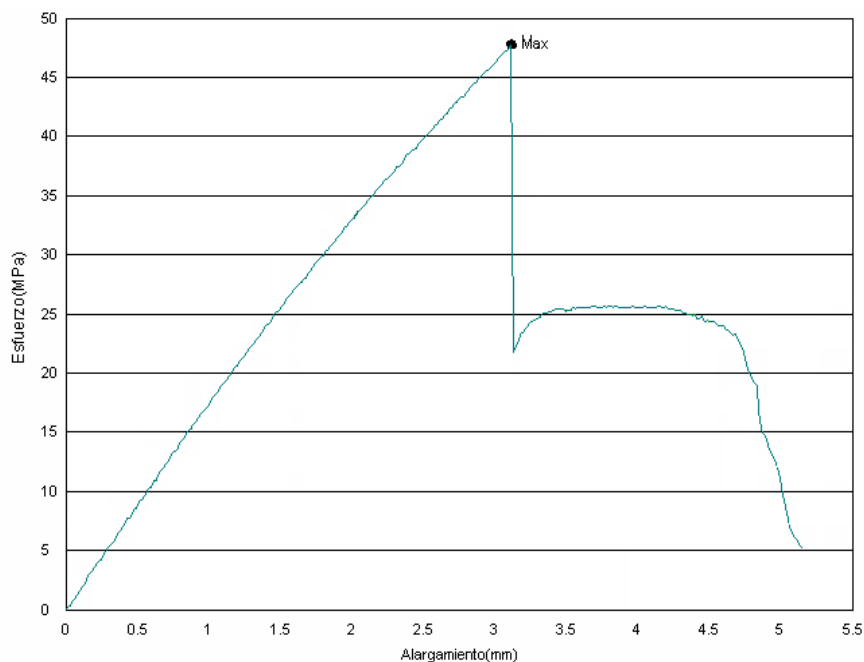
Tabla 5. Resultados en tracción con porcentaje en peso del 14%.

Probeta	Sección mm^2	Modulo de elasticidad GPa	Carga máx. hasta deformación lineal KN	Deformación útil %	Resistencia ultima en tracción MPa
PTL2 ¹ -1	90	2.24	2.45	3.01	47.81
PTL2-2	90	2.28	2.50	3.15	45.99
PTL2-3	90	2.15	2.61	3.11	45.16
PTL2-4	90	2.29	2.91	3.17	49.34
PTL2-5	90	2.25	2.42	3.12	46.08
Valor medio		2.24	2.58	3.11	46.88

Los ensayos realizados en las probetas del compuesto dan como resultado un modulo de elasticidad promedio de GPa a tracción. La Figura. 10 muestra la curva esfuerzo vs. deformación de una probeta ensayada en tensión longitudinal.

¹ PTL2: Denominación para probetas de tracción con 14% de refuerzo

Figura 10. Diagrama Esfuerzo (MPa) vs Deformación (%).PT1-4.



Debido a que el porcentaje en peso del refuerzo en el compuesto es bajo, la resistencia del composite depende principalmente de la matriz [4] y por esto se observa en la Figura.10 una caída drástica, que representa la ruptura de la matriz. Después de producirse la desunión de la matriz del refuerzo, el esfuerzo requerido para extraer la fibra no tiende a cero porque hay grandes fuerzas de fricción que impiden el deslizamiento de la fibra de la envoltura de la resina [4]; entonces la carga se transmite al refuerzo que es incapaz de soportar esa carga y ocurre la falla del material.

La ubicación de la fracturas indica la efectividad de la curvatura en la probeta. De acuerdo con la notación de la norma ASTM D 3039, el modo de falla encontrado puede clasificarse como LGM [6] el cual se refiere a la presencia de fracturas en la región central de la probeta orientadas lateralmente, es decir existe una fractura del tipo translaminar.

6.1.2 Diseño 2. Material compuesto con fracción en peso del 20%. Los resultados numéricos del ensayo de tensión se presentan en la Tabla. 6 Estos corresponden principalmente a la resistencia última, la deformación útil, carga máxima hasta deformación lineal y el modulo elástico en tensión longitudinal.

Tabla 6. Resultados en tracción con porcentaje en peso del 20%

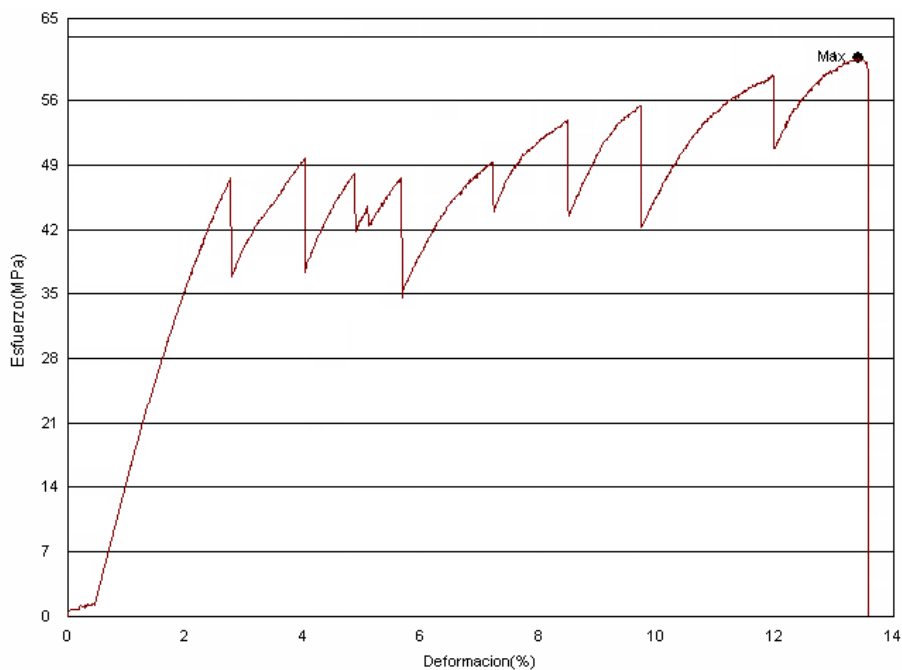
Probeta	Sección <i>mm</i> ²	Modulo de elasticidad GPa	Carga máx. hasta deformación lineal KN	Deformación útil %	Resistencia ultima en tracción MPa
PTL3 ² -1	90	2.48	4.00	2.60	59.11
PTL3-2	90	2.45	4.00	2.70	60.78
PTL3-3	90	2.41	3.24	2.61	56.56
PTL3-4	90	2.39	3.94	2.51	60.67
PTL3-5	90	2.43	3.79	2.61	59.28
Valor medio		2.43	3.80	2.60	59.30

En el segundo material diseñado se obtuvo un módulo de elasticidad en tracción promedio de 2.43 Gpa. El comportamiento lineal de las graficas “esfuerzo vs deformación” se mantuvo hasta el 71.2% de la carga en promedio. La figura. 11 muestra el comportamiento del material.

El modo de falla que presentaron estos ensayos a tracción al igual que el anterior fue de tipo translaminar [9] y no se presentó una reducción de área considerable.

² PTL3: Denominación para probetas de tracción con 20% de refuerzo

Figura 11. Diagrama Esfuerzo (MPa) vs Deformación (%).PT2-5.



Al aumentar el porcentaje en peso del refuerzo en el compuesto, la matriz absorbe solo una mínima proporción de la carga, de forma que cuando la matriz se rompe la transmisión de la carga al refuerzo es insuficiente para causar su rotura [4] y por esto se observa en la Figura.11 una serie de caídas que representan el agrietamiento de la resina; después de producirse esta serie de caídas la carga se incrementa hasta que se alcance la tensión de rotura del material.

La Figura 12 (a), (b) y (c) contiene imágenes de la secuencia del ensayo de tracción.

Figura 12. Secuencia del ensayo de tracción.



Figura. (a) Inicio de ensayo



Figura. (b) Ruptura de la matriz

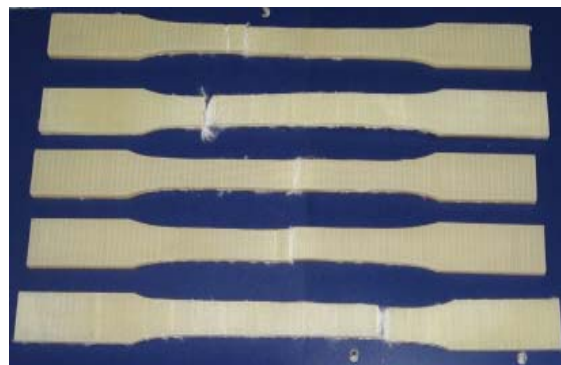
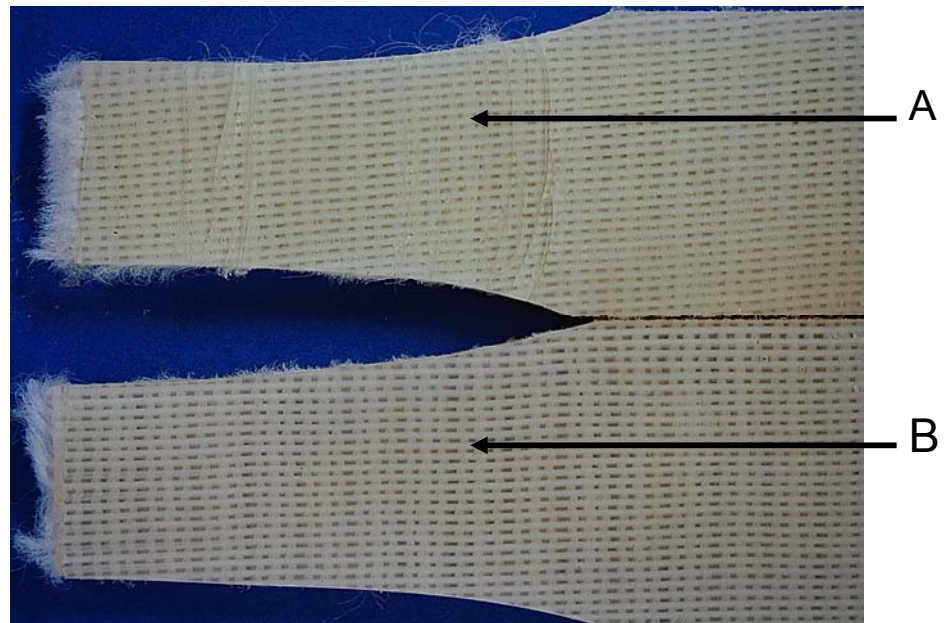


Figura. (c) Falla del material compuesto

6.1.3 Comparación de resultados obtenidos en los dos diseños. La Figura. 13 contiene imágenes del modo de falla en tensión longitudinal. Estos modos se presentaron como la ruptura abrupta de la matriz para el 14% de refuerzo, debido a que el porcentaje en peso del refuerzo en el compuesto es bajo, la resistencia del composite depende principalmente de la matriz y el agrietamiento de la resina para el 20% en refuerzo ya que cuando la matriz se rompe la transmisión de la carga al refuerzo es insuficiente para causar su rotura [4] y ocasiona grietas en la resina.

Figura 13. Fotomicrografía con 20% refuerzo (A) y 14% de refuerzo (B).



La Figura 14 (a) y (b) muestra fractografías en tensión longitudinal. El tipo de fractura es translaminar para los dos diseños. En estas fractografías se observa la interface perfectamente definida para los dos diseños, lo cual indica que se obtuvo un material compuesto.

Figura 14. Fractografía con 14% refuerzo y 20% de refuerzo.

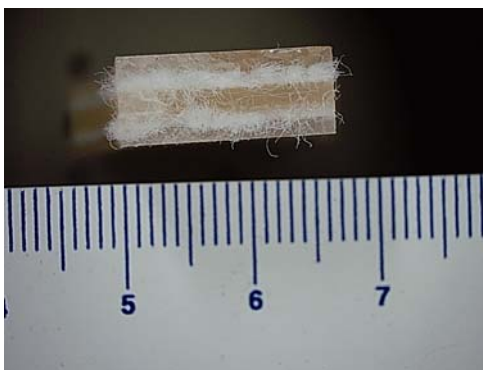


Figura. (a) Fractografía con 14%

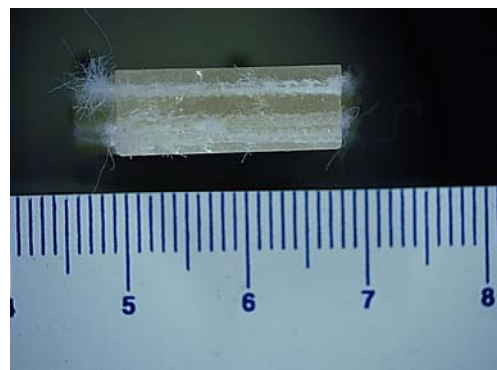


Figura. (b) Fractografía con 20%

6.2 COMPRESIÓN.

El ensayo de compresión se realizó en 5 probetas, en la Máquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU, equipada con una celda de carga de 100kN a una velocidad de 1.5 mm/min.

Los resultados numéricos del ensayo de compresión se presentan en la Tabla. 7. Estos corresponden principalmente a la resistencia última a la compresión, la deformación útil, carga máxima hasta deformación lineal y el modulo elástico en compresión longitudinal.

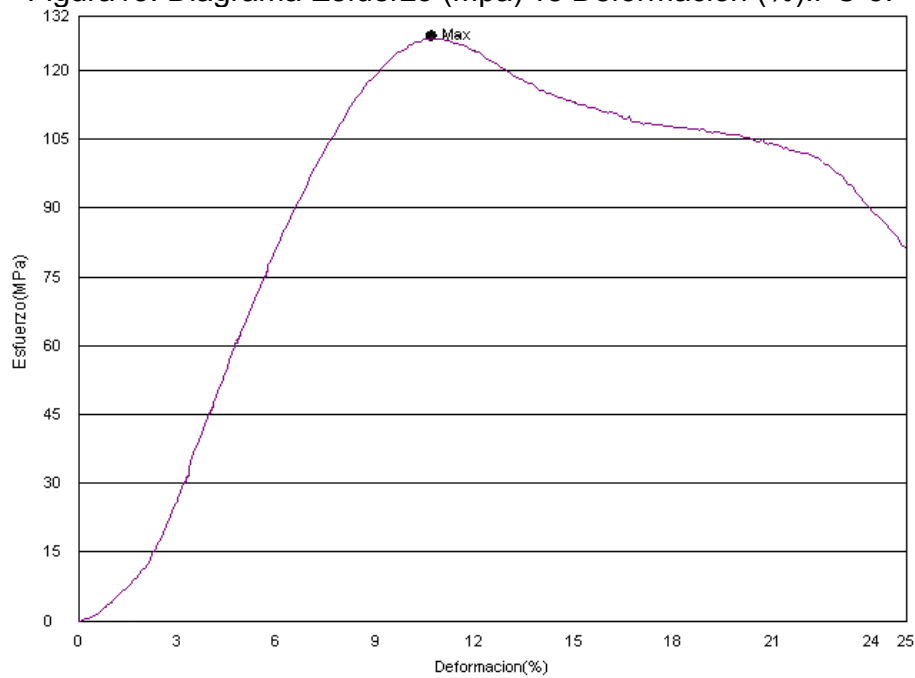
Tabla 7. Resultados en compresión con porcentaje en peso del 14%.

Probeta	Sección mm^2	Modulo de elasticidad GPa	Carga máx. hasta deformación lineal KN	Deformación útil %	Resistencia ultima en compresión MPa
PCL2 ³ -1	60	1.79	6.30	11.00	124.64
PCL2-2	60	1.89	5.44	10.66	127.60
PCL2-3	60	1.94	5.31	9.75	125.78
PCL2-4	60	1.70	5.65	11.37	132.86
PCL2-5	60	1.83	5.67	10.69	127.72
Valor medio		1.83	5.68	10.70	127.72

Los ensayos realizados en las probetas del material compuesto dieron como resultado un modulo de elasticidad promedio de 1.83 GPa a compresión. El comportamiento lineal de las graficas “esfuerzo vs deformación” se mantuvo hasta el 74.1% de la carga en promedio. La Figura. 15 muestra la curva esfuerzo vs. Deformación de una probeta ensayada en compresión longitudinal. El modo de falla encontrado puede clasificarse como HAT [7], el cual se refiere a una falla en la sección a través del espesor.

³ PCL2: Denominación para probetas de compresión con 14% de refuerzo

Figura15. Diagrama Esfuerzo (Mpa) vs Deformación (%).PC-5.



El punto de partida para analizar las propiedades de resistencia a compresión longitudinal está asociado al curvado que se presenta en las fibras del material. El curvado está restringido por la matriz circundante, y por lo tanto la resistencia bajo estas condiciones de carga, depende de las propiedades elásticas de la matriz.

En la Figura.15 se observa una caída producida por la rotura en la región de tracción de cada fibra seguida por aplastamiento en la región de compresión. Después de producirse este efecto, el esfuerzo no tiende a cero porque la superficie de falla se mantiene unida por las fibras que envuelven el plano de fractura.

La Figura 16 (a), (b) (c) y (e) contiene imágenes de la secuencia del ensayo de compresión.

Figura 16. Secuencia del ensayo de compresión.



Figura. (a) Inicio de ensayo



Figura. (b) Ruptura de la matriz

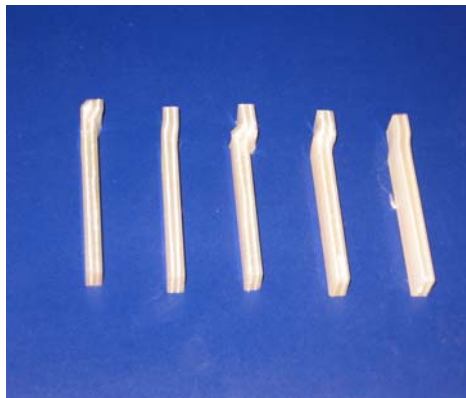


Figura. (c) Falla del material



Figura. (e) Fotomicrografía de la falla del material

6.3 FLEXIÓN.

El ensayo de flexión se realizó en 5 probetas, en la Máquina de Ensayos Universales AUTOGRAPH AG-1 SHIMADZU, equipada con una celda de carga de 1kN a una velocidad de 1.5 mm/min.

Los resultados numéricos del ensayo de flexión se presentan en la Tabla. 8. Estos corresponden principalmente a la resistencia última en flexión, carga máxima hasta deformación lineal, el modulo elástico en flexión y la deflexión.

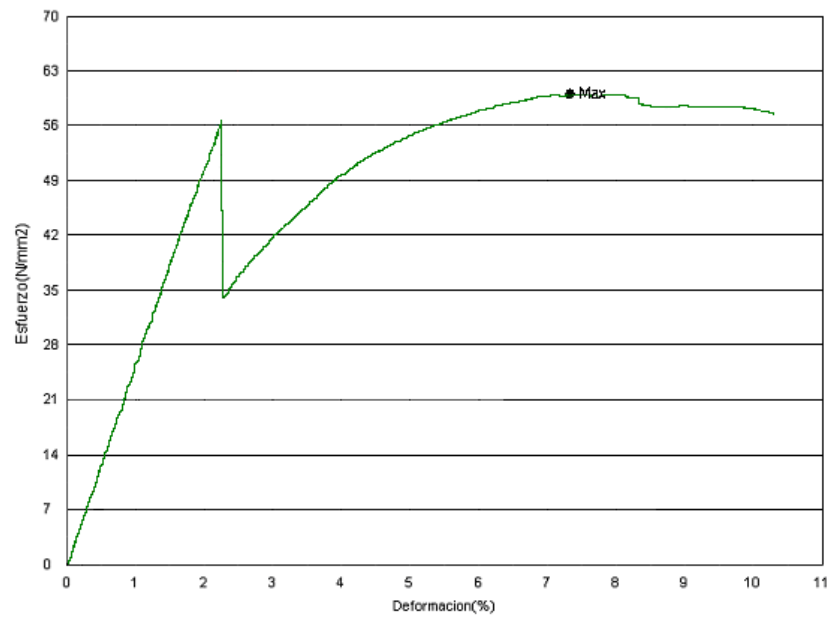
Tabla 8. Resultados en flexión con porcentaje en peso del 14%.

Probeta	Modulo de elasticidad GPa	Carga máx. hasta deformación lineal N	Deflexión mm	Resistencia ultima en Flexión MPa
PFL ⁴ -1	2.51	206.41	6.18	61.78
PFL-2	2.50	202.26	6.08	60.95
PFL-3	2.68	207.69	6.20	63.68
PFL-4	2.56	205.19	6.17	60.12
PFL-5	2.52	203.25	6.15	60.08
Valor medio	2.55	204.96	6.16	61.32

La caída abrupta en la grafica representa algunas microgrietas en la resina y en la interfase de la fibra y la matriz de la primera capa de refuerzo sometida a tracción. Después de producirse esta caída la transmisión de la carga al refuerzo es insuficiente para causar su rotura y por esto se observa en la Figura.17 un incremento en la carga hasta que las tensiones internas acumuladas y la rotura de la interfase fibra matriz producen la falla del material.

⁴ PTL3: Denominación para probetas de flexión con 14% de refuerzo

Figura17. Diagrama Esfuerzo (Mpa) vs Deformación (%).PF-5



La Figura 18 (a), (b), (c) (d) y (e) contiene imágenes de la secuencia del ensayo de flexión.

Figura 18. Secuencia del ensayo de flexión.

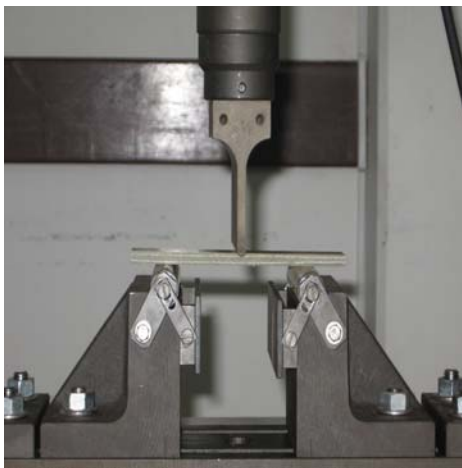


Figura. (a) Inicio de ensayo



Figura. (b) Aplicación de la carga

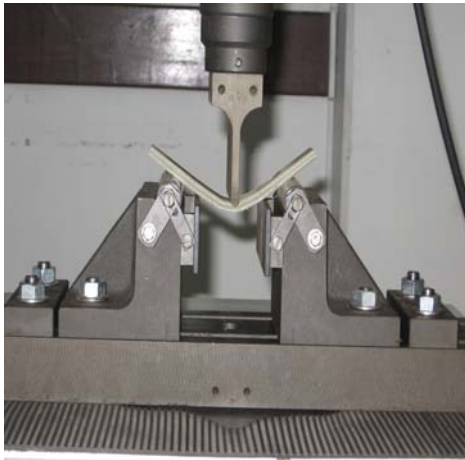


Figura. (c) Falla del material

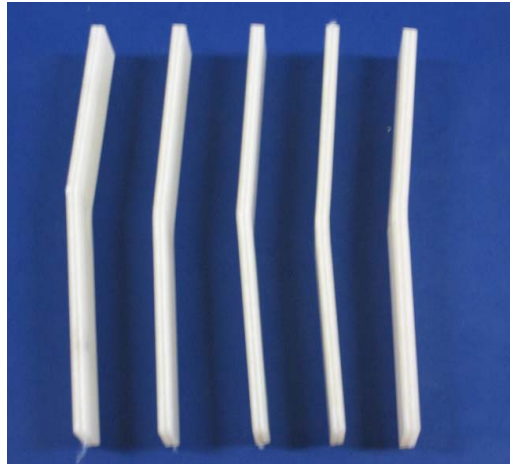


Figura. (d) Falla del material



Figura. (e) Fotomicrografia de la falla del material

7. CONCLUSIONES

A través de los distintos capítulos de los que se compone este trabajo de investigación, se han realizado diversas discusiones y comentarios importantes, los cuáles tienen relación directa con los objetivos mencionados al principio de esta tesis. A continuación se hará una recopilación de todas estas consideraciones con el propósito de satisfacer tanto el objetivo general del que parte este estudio, como cada uno de los objetivos específicos.

- Para la fabricación del material se implementó un procedimiento que permitió obtener una solución única para el espesor y el acabado del compuesto. Con esta solución se logró obtener un espesor de 6mm y un excelente acabado por las dos caras del material compuesto.
- Las diferencias en el grado de polimerización, la existencia de tensiones internas por efectos del curado y la adherencia fibra - matriz, son las causas que justifican los resultados presentados.
- En tracción, se obtuvo un módulo de elasticidad 7.08% mayor para el material compuesto de 20% de refuerzo. Analizando esto, se puede concluir que es factible la utilización de este tipo de refuerzo para aumentar la rigidez del compuesto.
- El tejido como refuerzo, no trabaja en compresión. Incluso, si hay algún aporte de la fibra en compresión, es mayor con el uso de mat (mantas de hebras troceadas) por la distribución espacial del refuerzo.

- En todas las probetas sometidas a flexión se presentó agrietamiento en la resina sin ocurrir la ruptura del material de refuerzo.
- Es posible fabricar materiales compuestos reforzados con polytenex debido a su facilidad de impregnación con la resina de poliéster, además del bajo costo unitario del compuesto.

8. RECOMENDACIONES

A lo largo de este trabajo de investigación se han realizado varios comentarios referentes a futuras líneas de investigación que sería interesante desarrollar, dando así continuidad a esta tesis de pregrado. A continuación se expondrán brevemente.

- Se recomienda realizar un estudio sobre el comportamiento del material bajo la acción de cargas dinámicas, para conocer la influencia de este tipo de cargas sobre el compuesto.
- Los estudios de caracterización mecánica son un primer acercamiento, por lo que sería interesante analizar con mayor profundidad el efecto producido al aumentar el porcentaje de refuerzo en el compuesto.
- Por otra parte se aconseja la realización de un estudio de adherencia fibra - resina para poder seleccionar un enzimaje adecuado para el tejido.
- En posteriores investigaciones sería recomendable usar otras herramientas para el diseño de futuros prototipos de prueba. Mediante el uso de herramientas como la teoría de elementos finitos se pueden realizar simulaciones para conocer el comportamiento en cuanto a las deformaciones y esfuerzos en probetas cuando se cambia la geometría propuesta para acertar más efectivamente en las adecuaciones de futuros trabajos experimentales en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- BAIKRICH, Michel. Polytenex[®], Poly armor Company S.A, Colombia, 2005.
- Cristalan 4807[®], Andercol S.A, Colombia, 2007.
- ORREGO BUSTAMANTE, Nicolás Ramiro. VELEZ URIBE, Rafael Ignacio, Manual de aplicaciones poliéster - Cristalan[®] reforzado con fibra de vidrio, Andercol S.A, Colombia, 1995, pp.17 – 82.
- HULL, Derek. CLYNE T.W. An Introduction to composite materials, Edición II, New York: Cambridge University, 1996, pp 37 – 59, 129 – 185.
- Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials, ASTM D3171.
- ASTM Standard Test Method for Tensile properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM D3039/D3039M-00.
- ASTM Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading, ASTM D3410/D3410M-03.
- ASTM Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM D790/D790-03.
- MAZUMDAR, Sanjay K. Composites Manufacturing, United States of America: CRC press, 2002, pp 1.1.4 - 1.6
- POWELL, Gordon. MOHMOUD, E. Salah Failure Analysis and Prevention, Vol 11, 9 edition, ASM International, Metals Park, OH, 1986. pp 733-735
- MIRACLE, D.B. DONALDSON. S.L.ASM Handbook Composites. Volume 21, 2000.
- ASTM Standard Terminology for Composite Materials, ASTM D387-04.
- Barbero E. J. "Introduction to Composites Materials Design", Philadelphia, PA Taylor & Francis, 1998, pp. 336.

- F. Segovia, A. Vicente, M^a D. Salvador y V. Amigó, Características mecánicas de compuestos epoxy reforzados 0-90° sometidos a impactos de baja energía. VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandia 2002.
- LI. Wei, LUO. Yongkang, SON. Jiangcheng, Influences on the mechanical properties of warp – knitted fabrics. Jec Composites, No 29, December 2006, pp. 46 – 49.
- MONTEIL, Jean Bruno, The European automotive industry will use more and more composites . Jec Composites, No 34, July - August 2007, pp. 24 – 29.
- D. L. Chung Deborah, Carbon fiber composites, United States of America, Butterworth-Heinemann, 1994, pp. 85 – 116.

ANEXOS

ANEXO 1. Literatura técnica CRISTALÁN 4807®. ANDERCOL S.A

1. Formulación

Para curado en frío se sugiere la siguiente formulación:

Materiales	Partes por peso
CRISTALÁN 4807®	100
MEK-peróxido (9% ox. activo)	1 a 2.5

Debido a que la resina es preacelerada, sólo se requiere la adición de catalizador (MEK-peróxido) para realizar el curado.

2. Curado

La temperatura ambiente y la cantidad de catalizador controlan el tiempo de gel del CRISTALÁN 4807®, El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15°C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. Catalizaciones por debajo de ésta temperatura afectan notablemente las propiedades mecánicas de los laminados.

Con el curado a temperatura ambiente se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones, aunque la resistencia mecánica final se logra unos días después de fabricado el producto. Sin embargo, cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe postcurar durante un período de tres (3) horas a 70°C o por más tiempo a menor temperatura.

ESPECIFICACIONES CRISTALÁN 4807[®]

Características	Valor	Método Andercol N°
Apariencia	Violácea turbia	IT-1.01
Valor ácido	32 máximo	IT-1.14
Viscosidad Brookfield (cps), 25°C (Aguja 2, 2 r.p.m., 5 min.)	2280 – 2600	IT-1.06
(Aguja 2, 20 r.p.m., 10 min.)	600 - 700	
(Aguja 2, 2 r.p.m., 5 min.)	2000 – 2500	
% Sólidos	53 - 55	IT-1.11
Tiempo de gel (min.), 25°C	18 - 22	IT-3.04
Reactividad:		
Temperatura de exotermia (°C)	140 - 170	IT-3.04
Tiempo de exotermia (min.)	35 - 45	IT-3.04
Molienda	5 mínimo	IT-1.04

ANEXO 2. Desmoldantes.

Se debe considerar:

- Número de piezas a fabricar.
- Facilidad de desmolde.
- Facilidad de aplicación.

Existen 3 tipos: sólidos, líquidos y semipermanentes.

1. Sólidos

Se aplica manualmente, hay diferentes calidades y marcas como Simoniz, CRC, TR entre otras. Al trabajar con ellas se facilita el desmolde, evitando que las piezas sean desmoldadas mediante golpes, lo cual causa deterioro del molde y de la piezas ya que se generan fisuras.

2. Líquidos

Son de mayor facilidad de aplicación que los anteriores y están formulados para aumentar la vida útil del molde y reducir el tiempo de preparación del molde. Están diseñados para ser aplicados en las zonas de los moldes donde la superficie es rugosa o tiene antideslizante. Se utilizan en lugar de las ceras en pasta luego de que el molde ha sido bien acondicionado y curado.

Su forma de aplicación es con un trapo de algodón que no libere pelusas haciendo movimientos circulares suavemente.

3. Semipermanentes

Más eficientes que los líquidos, reduciendo el tiempo de preparación del molde y aumentando la producción. Estos desmoldantes son utilizados para múltiples desmoldes con una sola aplicación.

ANEXO 3. Procedimiento de encerado

Una vez se encuentre preparado el molde se procede a encerar acatando los siguientes pasos:

1. Aplique la primera capa de cera con un movimiento circular cuidando de no aplicar violentamente. Pula bien a mano eliminando los excesos en el mismo sentido de la aplicación después de cada mano. No utilice pulidor mecánico, porque puede quemar la superficie encerada del modelo y causar áreas descubiertas. Aplique 15 veces este procedimiento. Aplique una mano de alcohol polivinílico y espere que seque. Luego realice el primer vaciado.

Nota: Sino se retira completamente los excesos de cera las piezas presentarán manchas que deberán ser eliminadas puliendo la superficie. Para evitar este proceso asegure la eliminación de los excesos de cera.

2. Luego del primer vaciado desmolde la pieza teniendo cuidado de no ir a fracturar el molde. Encere nuevamente siguiendo los pasos anteriores. Aplique este procedimiento durante 13 veces y Aplique alcohol polivinílico una mano, espere que seque, luego realice un nuevo vaciado.

3. Continúe con este procedimiento reduciendo el número de aplicaciones de cera sucesivamente a medida que vaya fabricando piezas así:

- 15 manos de cera y una mano de alcohol polivinílico, espere que seque, luego un vaciado
- Luego 13 manos de cera y aplique una mano alcohol polivinílico, espere que seque, luego un vaciado
- Así sucesivamente después de cada desmolde 11, 9, 7, 5, 3, hasta 1 mano de cera y aplique una mano alcohol polivinílico, espere que seque y continúe fabricando las piezas

4. Después de este procedimiento el molde se encuentra listo para entrar en operación. Se debe tener precaución de no engrasar el molde con las manos u otros objetos. Se debe aplicar cera entre cada vaciado teniendo cuidado en retirar cualquier exceso de ésta.

5. Si después de realizar un vaciado se encuentran residuos empastados o cristalizados de cera, deben ser retirados lavando con agua tibia y detergente, sino se retira de esta manera se debe lijar suavemente con lija 600. Luego darle brillo hasta lograr una apariencia tipo espejo.

6. Si se tuvo que hacer el procedimiento anterior se debe comenzar como si fuera un nuevo molde.

Anexo 4. El plástico reforzado como material estructural

Los plásticos reforzados con fibras sólo pueden usarse con máxima ventaja si el fabricante proyecta sus productos procurando amoldarse a las necesidades del material. Para poder hacerlo, el ingeniero de materiales debe tener en cuenta las propiedades mecánicas del laminado y los métodos de fabricación que se piensen usar.

La mayor ventaja que ofrecen los plásticos reforzados sobre los materiales corrientes estriba en la posibilidad de proyectar y construir grandes estructuras concebidas en conjunto y no como un ensamble de elementos que sea preciso unir mecánicamente.

Características Generales:

La Tabla 10 muestra la influencia del contenido de vidrio en las propiedades mecánicas de un laminado hecho con manta de fibra de vidrio moldeado por contacto, empleando cristalan 4807 a razón de tres porcentajes típicos de fibra.

Tabla A 4. efecto del contenido de fibra de vidrio en las propiedades de los laminados moldeados por contacto

Porcentaje en peso de refuerzo % W_r	33	29	25
Peso específico (g/cm ³)	1.5	1.45	1.4
Resistencia a la tracción (MPa)	120	100	70
Resistencia a la flexión (MPa)	210	175	140
Modulo de flexión (GN/m ²)	8	6	5