

**ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE
RESINA POLIESTER REFORZADA CON TELAS DE ALGODÓN POST-
CONSUMO**

ELIZABETH DOSA LÓPEZ

LAURA XIMENA ROJAS SILVA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE
RESINA POLIESTER REFORZADA CON TELAS DE ALGODÓN POST-
CONSUMO**

ELIZABETH DOSA LÓPEZ

LAURA XIMENA ROJAS SILVA

Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERAS QUÍMICAS

Director:

Prof. JOSE CARLOS GUTIERREZ GALLEGO

Químico, Msc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus dones y principalmente por la oportunidad de vivir todas estas experiencias en el paso por la universidad logrando exitosamente la culminación de nuestros estudios para el gran salto a la vida profesional.

A la Universidad Industrial de Santander porque en el paso por ésta tuvimos la oportunidad de formarnos como personas críticas y a su vez nos brindó las primeras herramientas para ejercer la vida laboral.

Al profesor José Carlos por guiarnos y aportarnos parte de sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo.

A don Eduardo y don Wilson, por su gran ayuda y acompañamiento durante los diferentes ensayos para finalizar nuestro proyecto.

A Sandra Milena por ser el contacto con la fábrica de textiles “Confecciones Melaos - Shirt” que logró se suministrara parte de las materias primas para llevar a cabo este proyecto.

A Lady Johana porque además de ser un apoyo y una gran compañía durante el desarrollo de todo el proyecto, nos acogió en su hogar de manera muy generosa e incondicional en la última etapa de éste.

A nuestros compañeros y amigos que de alguna u otra forma hicieron parte nuestras vidas durante el trayecto en la universidad, gracias por su ayuda, por compartir momentos alegres y difíciles, por su comprensión y mano dura cuando la necesitábamos.

DEDICATORIA

Gracias DIOS mío, por amarme tanto, por haber elegido para mí a unos padres perfectos, exactos, a mi medida. Gracias por las infinitas posibilidades que me has dado y que me das para ser feliz. Gracias por la familia que tengo, por mis hermanos y por mis amigos. Gracias por darme la vida, por darme un hogar y por darme la fuerza para llegar hasta aquí.

A mis padres LUCAS y MARÍA ANTONIA, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos, que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

A mi esposo GERARDO, que ha estado a mi lado dándome amor, cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante para cumplir otra etapa en mi vida. Te Amo.

A mis hermanos CARLOS, LUCAS, JHON y mi hermanita ADRIANA ustedes han sido un motor para lograr mis propósitos, gracias por su ayuda y fortaleza, por regalarme lo más bello que tengo mis SOBRINITOS. Los quiero

A mi amiga LAURA eres una persona admirable, tu talento es impresionante, gracias por apoyarme todos los días en el desarrollo de nuestro trabajo final eres de las personas que yo me llevo en mi corazón, gracias por enseñarme que la amistad no es limitada y que la podemos encontrar en todos los lugares posibles, que los mejores amigos pueden encontrarse en todas las etapas de la vida, y que tú eres una de ellas. Gracias por integrarme a tu familia. Dios te bendiga.

Elizabeth Dosa López

DEDICATORIA

A mis padres, LUZ MARINA y WALDO, porque gracias a ellos tuve la grandiosa oportunidad de formarme en esta universidad. Gracias porque a pesar de la distancia siempre me brindaron su apoyo y amor incondicional.

A mi hermanito, CÉSAR, quien siempre ha significado una muy grata compañía, fortaleza y ayuda incondicional, además porque su llegada a esta universidad ha hecho más agradable y llevaderos estos últimos semestres.

A mis amigas y amigos, que son la familia que uno elige, quienes estando cerca, o aún en la distancia siempre me acompañaron y me llenaban de ánimo para seguir adelante, sin duda he sido privilegiada con la familia que escogí.

A mi compañera ELIZABETH, por ese trabajo conjunto y armonioso, gracias por su paciencia y todo el apoyo brindado durante y después del proyecto, gracias por permitirme conocerla mejor y ocupar ahora un espacio en su corazón.

Laura Ximena Rojas Silva.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	16
1. CONCEPTOS Y MARCO TEÓRICO	20
1.1 Materiales compuestos o composites.....	20
1.1.1 Materiales compuestos laminares.....	20
1.2 Fibras textiles.....	20
1.2.1 Fibras discontinuas.....	21
1.2.2 Fibras continuas.....	21
1.3 Algodón.....	21
1.4 Tejido.....	21
1.4.1 Estructura de los tejidos.....	21
1.5 Sarga.....	22
1.6 Conexión fibra matriz.....	22
1.7 Resinas de poliéster insaturado (UPR).....	22
1.8 Estireno.....	23
1.9 Peróxido de Metil Etil Cetona (MEKP, Methyl Ethyl Ketone Peroxide).....	23
1.10 Polímeros termoestables.....	24
1.11 Curado.....	24
2. METODOLOGÍA	25
2.1 RECOLECCIÓN Y ADECUACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	26
2.1.1 Tela.....	26
2.1.2 Componentes para la elaboración de la resina pre-acelerada.....	26
2.1.3 Adición del MEKP.....	26
2.2 ELABORACIÓN DE LOS COMPOSITOS:.....	27
2.3 CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL MATERIAL COMPUESTO.....	29
2.3.1 Densidad.....	29
2.3.2 Pruebas de resistencia mecánica.....	29

2.3.2.1 Dureza	29
2.3.2.2 Ensayo de tensión	29
2.3.2.3 Ensayo de flexión.....	30
2.3.3 Test de llama	30
2.3.4 Prueba de absorción de agua	30
2.3.5 Pruebas de resistencia química.....	30
2.3.6 Pruebas de resistencia a factores bióticos	30
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	31
3.1 MATERIAS PRIMAS	31
3.2 ELABORACIÓN DE LOS COMPOSITES	31
3.3 CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL MATERIAL COMPUESTO	32
3.3.1 Densidad.....	32
3.3.2 Pruebas de resistencia mecánica.....	33
3.3.2.1 Dureza	33
3.3.2.2 Ensayo de tensión	34
3.3.2.3 Ensayo de flexión.....	35
3.3.3 Test de llama	37
3.3.4 Pruebas de absorción de agua	37
3.3.5 Pruebas de resistencia química.....	39
3.3.6 Prueba de resistencia a factores bióticos	40
4. CONCLUSIONES	41
5. RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS	47

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Configuración de los ensayos.....	28
Tabla 2. Resultados ensayo de dureza.	33
Tabla 3. Resultados prueba de resistencia química.	39

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama del desarrollo experimental.....	25
Figura 2. Reacción secundaria del estireno debido al exceso de MEK.....	27
Figura 3. Reacción del estireno.....	27
Figura 4. Resultados de la densidad promedio de los composites	32
Figura 5. Resultados ensayo de tensión para los composites.	35
Figura 6. Resultados ensayos de flexión. (a) Composites con tela natural. (b) Composites con tela de jean.....	36
Figura 7. Resultados del índice de absorción de agua, composite con tela natural	38
Figura 8. Resultados del índice de absorción de agua, composite con tela de jean.	38

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Retazos de tela de jean.....	31
Imagen 2. Retazos de tela natural.....	31
Imagen 3. Resina poliéster pre-acelerada.....	31
Imagen 4. Composites con tela de jean y tela natural.....	32
Imagen 5. Tela de jean después del curado.....	32
Imagen 6. (a) Probetas de elaboradas con la tela de jean. (b) Probeta con tela natural después del ensayo de tracción.....	34
Imagen 7. Prueba flexión. (a) Composites con tela natural. (b) composites con tela de jean.	36
Imagen 8. Test de llama.	37
Imagen 9. Resultados prueba de resistencia química. (a) Composite con tela de jean sumergido en thinner. (b) Resultado de composite de una lámina sumergido en CH ₃ OH (c) Composites sumergidos en NaOH.....	40
Imagen 10. Resultados prueba de resistencia química. (a) Composite con tela de jean sumergido en NaOH. (b) Resultado de composite de una lámina sumergido en H ₂ SO ₄ . (c) Composites sumergidos en C ₇ H ₈	40
Imagen 11. Resultado prueba de resistencia a factores bióticos.	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tipo de tejido, apilamiento y orientación de las láminas.....	47
Anexo B. Tabla de propiedades de la resina poliéster y eficiencia de la orientación de las fibras.....	48
Anexo C. Tablas de resultados de pruebas preliminares de la caracterización del material compuesto.....	49
Anexo D. Equipos utilizados.....	51

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE RESINA POLIÉSTER REFORZADA CON TELAS DE ALGODÓN POST-CONSUMO*

AUTORAS: Elizabeth Dosa López, Laura Ximena Rojas Silva **

PALABRAS CLAVE: Materiales compuestos, resina poliéster, materiales compuestos laminados, tela de fibras de algodón, gelación.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente los residuos de la industria textil representan un 3% del total de residuos sólidos producidos en Colombia, una de las posibles formas de reducción de la contaminación se da mediante la elaboración de materiales compuestos, reutilizando material sobrante (retazos) desechado de éstas fábricas. Los materiales compuestos buscan mejorar las propiedades tanto físicas como químicas de dos o más componentes combinados a nivel macroscópico.

Para el desarrollo de este estudio se procedió primero recolectar el material sobrante de tela elaborada con fibras de algodón, seguido a esto se preparó la resina poliéster pre-acelerada con una proporción 65:34:1 entre resina poliéster, estireno monómero y naftenato de cobalto, luego se impregnó el material sobrante de tela de algodón con ésta resina y una cantidad mínima de MEK para acelerar el proceso de fraguado. Con una relación %p/p de 1:1,25 tela-resina respectivamente, se prensó el material durante 2 horas aproximadamente a temperatura ambiente, obteniendo un material compuesto con propiedades físicas y químicas favorables según lo muestran los resultados de los ensayos de dureza, tensión, flexión, pruebas de resistencia química, de absorción de agua y pruebas de resistencia a factores bióticos. Se atribuyó valor agregado a un material que es considerado como un desecho, dando la posibilidad de reducir la contaminación generada por éste, además garantizando un material compuesto económico.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Ingeniería Química. Director: M.Sc. José Carlos Gutiérrez Gallego.

ABSTRACT

TITLE: STUDY FOR THE MANUFACTURE OF COMPOSED MATERIALS FROM POLYESTER REINFORCED RESIN WITH COTTON FABRICS POST-CONSUMPTION*

AUTHORS: Elizabeth Dosa López, Laura Ximena Rojas Silva**

KEYWORDS: Composed materials, polyester resin, laminated composites, cotton fibers cloth, gelation.

Nowadays the residues from the fabric industry depict a 3% of the total solid residues made in Colombia; one of the possible ways to diminish the pollution is given by the manufacture of composed materials, reusing wasted remnants from those factories. Composite materials seek to improve the physical and chemical properties of two or more components combined macroscopic level.

For the development of this study, firstly it was proceeded to recollect the remnant material prepared with cotton fibers, subsequently to this, it was prepared the polyester resin which was preaccelerated with a ratio 65:34:1 among polyester resin, monomer styrene and cobalt naphthenate, then it was impregnated the of cotton remnant material with this resin and a minimum quantity of MEK to accelerate the forging process. By setting a % wt. /wt. ratio of 1:1.25 fabric-resins respectively, the material was pressed during approximately 2 h a room temperature, obtaining a composed material with favourable physical and chemical properties according to the test results of hardness, tension, flexion, chemical resistance, water absorption and biotic resistance factor. It was attributed an added value for a material, which is considered as a waste, providing the possibility to diminish the pollution generated by this, moreover guarantying a feasible composed material.

* Project of Degree

** Physical and Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering. Advisor: M.Sc. José Carlos Gutierrez Gallego

INTRODUCCIÓN

El mayor desafío que enfrenta la humanidad en la edad moderna es la preservación del planeta Tierra como un lugar hospitalario para la vida humana y para las otras formas de vida. La ciencia, la química y la ingeniería química tienen un papel importante a desempeñar en la protección del ambiente. Aunque el uso inadecuado de productos y de procesos de manufactura química ha causado y sigue causando problemas ambientales, las soluciones a estos problemas están principalmente en las manos de estas mismas disciplinas.^[14]

La industria textil es una de las contribuyentes a la contaminación hídrica y atmosférica, en Colombia representa más o menos el 3% de la composición de residuos sólidos. El proceso productivo, genera desechos sólidos; dentro de estos se encuentra el desperdicio de fibras (según la fibra que trabaje la organización puede ser: algodón, poliéster, lana, lino, etc.) (DAMA, 2004) (CAR, 2000). Una de las posibles formas de reducción de la contaminación se da mediante la elaboración de materiales compuestos, reutilizando material sobrante (retazos).

En las aplicaciones estructurales, los materiales compuestos textiles se utilizan generalmente como refuerzo debido a la posibilidad de adaptar la capacidad de soporte de carga a través de la arquitectura de la fibra.^[21] Los materiales compuestos combinan alta rigidez y resistencia con baja densidad, poseen alta energía de absorción específica, un excelente comportamiento frente a fatiga y son altamente resistentes a la corrosión.^[16]

Las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras continuas dependerán del grado de direccionalidad de las fibras; un parámetro importante a tener en cuenta.^[10]

La utilización de materiales compuestos ha aumentado en los últimos años en forma considerable en una enorme variedad de aplicaciones; en sectores como el de la aeronáutica, la automoción y los transportes en general,^[16] equipos de procesamiento de productos químicos, artículos deportivos e infraestructura civil, y hay la posibilidad de uso común en prótesis y dispositivos médicos micro-electrónicos.^[23] Se ha encontrado que estos sistemas brindan el mejor compromiso coste/rendimiento.

Las fibras pueden ser naturales o sintéticas. Las fibras sintéticas constituyen actualmente cerca del 75% del mercado de fibras, el poliéster es la más importante, seguida por el nylon, los acrílicos y el rayón. Las fibras naturales constituyen cerca del 25% del total producido, el algodón es el más importante.^[8]

Los polímeros reforzados con fibra ofrecen la posibilidad de eliminar muchos problemas asociados a las influencias ambientales adversas que ocasionan la corrosión de los metales^[17]

De acuerdo con lo planteado anteriormente el objetivo de este trabajo va enfocado al estudio para la elaboración de materiales compuestos de resina poliéster reforzados con material sobrante (retazos) de telas de algodón para dar valor agregado a materiales que están siendo desechados.

1. CONCEPTOS Y MARCO TEÓRICO

1.1 MATERIALES COMPUESTOS O COMPOSITES

Son materiales formados por dos o más constituyentes, combinados a nivel macroscópico, para dar un nuevo producto. Los constituyentes se distinguen físicamente y se pueden separar mecánicamente. La mayor parte de los composites se han fabricado para mejorar propiedades mecánicas tales como la tenacidad, la rigidez y el comportamiento a elevadas temperaturas. Los composites de fibra continua son los más importantes. Los composites fibrosos pueden ser de capa única o de multicapas. Estos últimos se pueden dividir en unidireccionales o con orientación en diferentes direcciones.^[15] En los materiales isotrópicos las propiedades son las mismas en cualquier dirección en un punto dado; en un cuerpo anisotrópico las propiedades del material van a ser diferentes en todas las direcciones en cualquier punto.^[23]

1.1.1 Materiales compuestos laminares. Consta de láminas o paneles que tienen una dirección preferente con elevada resistencia, tal como ocurre en la madera y en los plásticos reforzados con fibras continuas y alineadas. Las capas se apilan y luego se pegan entre sí (ver Anexo A), de modo que la orientación de la dirección de elevada resistencia varía en cada una de las sucesivas capas, la eficiencia de la orientación de las fibras según el esfuerzo aplicado se muestra en el Anexo B. Las láminas también se pueden construir utilizando materiales plásticos para la matriz y algodón, papel o fibra de vidrio tejida como material de refuerzo.^[6]

1.2 FIBRAS TEXTILES

Los textiles juegan un papel fundamental en la satisfacción de las necesidades básicas del hombre. Inicialmente, se utilizaron para textiles de vestir y la decoración. En los últimos 50 años, un cambio drástico ha llegado en la aplicación de los textiles y por tanto, ha atraído la atención de científicos y tecnólogos hacer más y más investigación en esta industria. Además, al mismo tiempo, un nuevo

concepto se ha planteado en el campo de la industria textil, conocido como "textiles técnicos" debido a sus propiedades interesantes y nuevos campos de aplicaciones.^[18]

1.2.1 Fibras discontinuas. Cuando presentan diferentes longitudes y grosores en razón de su origen y su manipulación. A este grupo pertenecen todas las fibras de origen natural con excepción de la seda, que pertenece al grupo de las continuas.

1.2.2 Fibras continuas. Cuando presentan una longitud ilimitada, solo interrumpida voluntariamente por el proceso de fabricación. A este grupo pertenecen todas las fibras artificiales y sintéticas, y la seda de origen natural.

1.3 ALGODÓN

Es el nombre común aplicado a distintas especies malváceas del género *Gossypium*. De las muchas especies existentes, el algodón se obtiene a partir de las fibras que envuelven a las semillas. La fibra de algodón es fácilmente identificable al microscopio al ofrecer la apariencia de una cinta con los bordes más gruesos, con algunas vueltas de torsión y con una hendidura a manera de canal interior que facilita su identificación.^[11] Es muy inflamable por su alto contenido de celulosa.

1.4 TEJIDO

Los tejidos son estructuras formadas por el entrelazado, más o menos complicado, de hilos elaborados a partir de fibras de diferentes orígenes. Estas estructuras se conocen de forma genérica como telas.^[11]

1.4.1 Estructura de los tejidos. Básicamente la estructura de los tejidos está formada por:

- * Hiladura: es la operación que tiene como fin transformar las fibras sea cual sea su procedencia, vegetal, animal, mineral, artificial o sintética, en hilo.
- * Hilo: cada una de las hebras que configuran la tela.

- * Ligamento: es el sistema repetitivo de enlazado de los hilos en cada pasada. Según el ligamento empleado varía el aspecto y las propiedades de la tela.
- * Pasada: cada uno de los cruces dejados por la lanzadera en cada uno de sus trayectos por los hilos de la trama.
- * Trama: son los hilos que van a lo ancho de la tela y por consiguiente, cruzan perpendicularmente la urdimbre.
- * Urdimbre: son los hilos que siguen el sentido longitudinal de la tela.

1.5 SARGA

Es un tipo de ligamento que se identifica rápidamente porque presenta unas líneas en diagonal. Cada hilo de urdimbre ó de trama hace una basta de dos o más hilos de urdimbre ó trama, con una progresión de entrecruzamiento de uno a la derecha ó a la izquierda para formar una línea diagonal identificable. Así entonces, los puntos de ligadura se trasladan un espacio al costado a cada pasada de trama. La sarga tiene derecho y revés. En las sargas el número de lizos (hilos de urdimbre en el telar) puede variar. El tejido se puede observar en el Anexo A ^[4]

1.6 CONEXIÓN FIBRA MATRIZ

La adherencia entre la fibra y la matriz debe ser máxima, tanto para evitar su deterioro (arrancado), como para que la transmisión de la carga desde la matriz a las fibras sea óptima. Normalmente con matrices poliméricas y metálicas la adherencia es muy buena. No obstante, también pueden utilizarse recubrimientos para las fibras que favorecen sus enlaces con la matriz. ^[3]

1.7 RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO (UPR)

Es uno de los materiales termoestables importantes que se utilizan para la fabricación de vidrio reforzado con plásticos y compuestos poliméricos. El uso extendido de estas resinas se debe a su costo relativamente bajo, facilidad de procesamiento y buen equilibrio de propiedades. UPR son soluciones de poliéster insaturado con un correactante insaturado diluyente como estireno.^[1] Las resinas son sustancias líquidas que pueden pasar al estado sólido mediante una reacción

química provocada por un agente externo. Por si solas no tienen la resistencia suficiente, es por eso que necesitan de refuerzos de otros materiales como la fibra de vidrio, que son los que aportan la flexibilidad y dureza necesarias para la fabricación.^[7] La tabla de propiedades se encuentra en el Anexo B.

1.7.1 Formulación de las resinas de poliéster. Éstas se producen a partir de reacciones de poli-condensación entre dos monómeros: ácido di-carboxílico (el más utilizado es el anhídrido maléico) y diol; de éstos dos monómeros, uno al menos debe contener una insaturación. El polímero resultante se disuelve en un medio reactivo, para disminuir la viscosidad de la resina y facilitar la procesabilidad (impregnación). Éste medio reactivo suele ser en general el estireno que al contener un grupo insaturado susceptible de reaccionar con la insaturación de la resina poliéster, será el medio promotor de la estructura reticulada rígida una vez iniciada la reacción de endurecimiento. El porcentaje de estireno presente en el producto final oscila entre 40-45%..^[7]

1.8 ESTIRENO.

Es un compuesto orgánico volátil (COV) que se utiliza en grandes cantidades en la industria química. Sin embargo, es maloliente, potencialmente tóxico y cancerígeno.^[12] El mayor grado de exposición ocupacional ocurre en industrias dedicadas a la fabricación de objetos de resina reforzados con fibra de vidrio (GRP) polímeros compuestos, tales como barcos, tanques, unidades de baño y piezas de automóviles.^[13] El proceso para la producción de estireno es la deshidrogenación de etilbenceno (EB), que representa el 85% de la producción comercial (James & Castor, 1994).^[25]

1.9 PERÓXIDO DE METIL ETIL CETONA (MEKP, Methyl Ethyl Ketone Peroxide)

Es un peróxido orgánico formado por la reacción de metil etil cetona (MEK) con peróxido de hidrógeno. MEKP se utiliza ampliamente en la industria como un

iniciador o agente transversal de polimerización en procesos de fabricación de polímeros. El MEKP sin diluir posee propiedades explosivas.^[21]

1.10 POLÍMEROS TERMOESTABLES

Son aquellos que necesitan de un agente externo (catalizador) para cambiar su estructura molecular; una vez producida ésta, no pueden volver a su estado anterior, a diferencia de los polímeros termoplásticos.^[7] Cuando las fuerzas de unión de estos filamentos entre sí son tan intensas que llegan a igualar a las de destrucción de ellos mismos, se romperán antes de separarse, lo que implica que al incrementar la temperatura no podrán cambiar de estado sólido a líquido. 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.^[16]

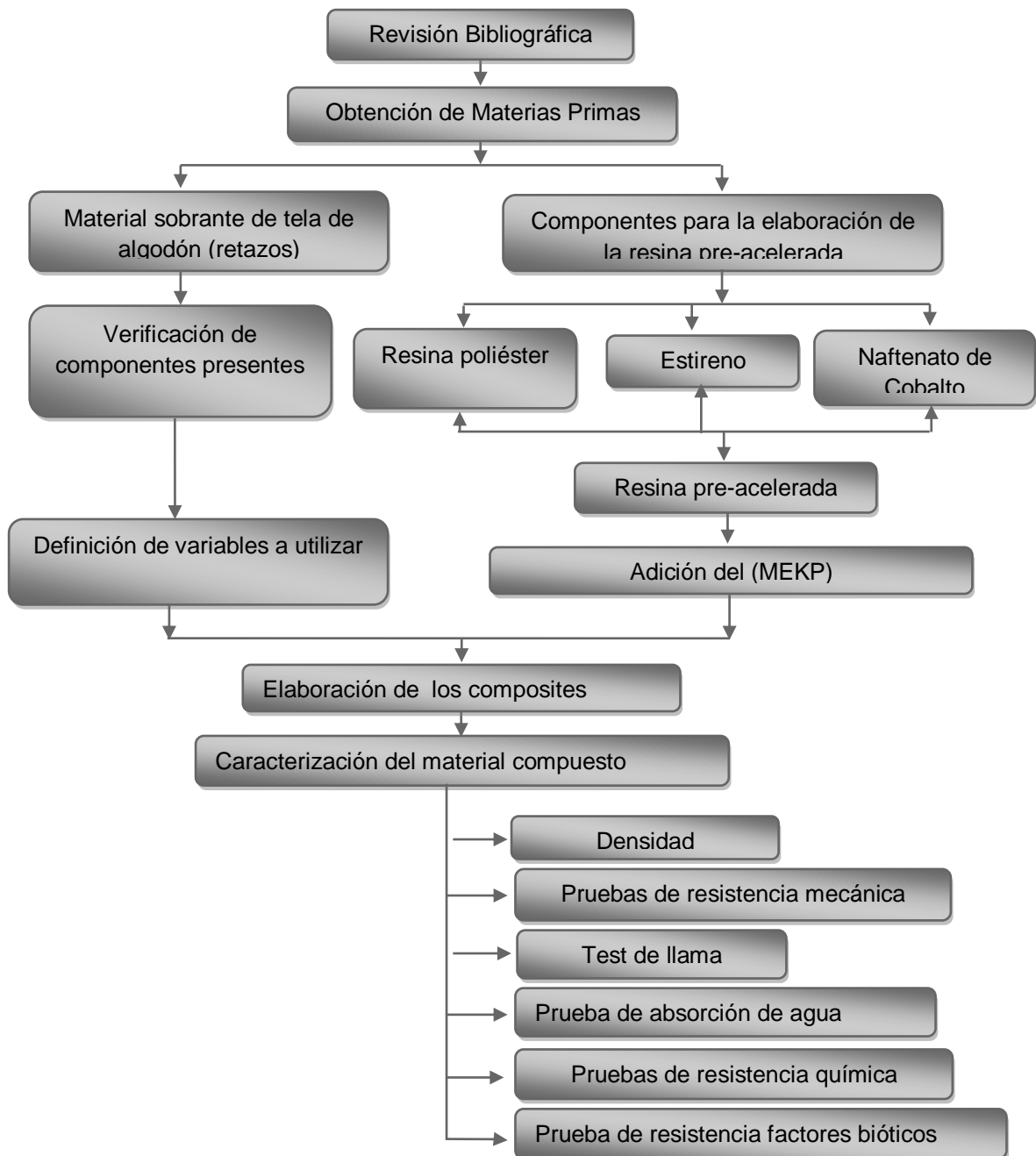
1.11 CURADO

Reacción química en la que al final del proceso la resina líquida se convierte en un sólido duro con eslabones químicos en cruz, lo que produce una red tridimensional tirante de cadenas de polímero. El proceso de polimerización para termoestables tiene generalmente lugar en dos etapas, la primera donde las moléculas se polimerizan parcialmente formando cadenas lineales, y la segunda en la producción de piezas, donde el entrecruzamiento se completa bajo el calor y la presión de moldeo. El curado es importante para alcanzar las propiedades óptimas del polímero. Muchos termoestables pueden polimerizar a temperatura ambiente pero el material suele ser expuesto a una temperatura relativamente alta en un curado final destinado a minimizar cualquier curado posterior y cambios de propiedades durante la vida en servicio.^[16]

2. METODOLOGÍA

En el diagrama general para la metodología se muestra el desarrollo experimental del alcance de este proyecto (Figura 1)

Figura 1. Diagrama del desarrollo experimental.



Fuente: Autoras

2.1 RECOLECCIÓN Y ADECUACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

2.1.1 Tela. La primera etapa inicia con la recolección de material sobrante de tela de algodón (retazos) procedente de una fábrica de confecciones ubicada en la ciudad de Armenia; luego se verificaron sus componentes (la tela de jean presenta 98.5% algodón y 1,5% lycra. La tela natural presenta 97% algodón y 3% lycra) para así poder dar dirección a la investigación y proceder a la elaboración de los composites.

Estos retazos se sometieron a la eliminación de humedad en la estufa a una temperatura de 60°C durante 1 hora aproximadamente.

2.1.2 Componentes para la elaboración de la resina pre-acelerada. Los compuestos requeridos para la preparación de la resina pre-acelerada son la resina poliéster, estireno y un activador, en este caso el naftenato de cobalto. La relación % p/p utilizada entre los componentes fue de 65% resina poliéster, 34% estireno y 1% naftenato de Cobalto, se procedió a la mezcla y posterior agitación manual.

2.1.3 Adición del MEKP. Para determinar el tiempo de fraguado se depositó un gramo de resina en varios recipientes pequeños agregando MEKP a cada uno en distintas proporciones desde una hasta cuatro veintenas partes de un mililitro (gota), obteniendo que la de menor tiempo de fraguado fue la de una gota siendo éste de 8 minutos, y la de mayor tiempo fue la de cuatro gotas siendo de 13 minutos. Se decidió seguir el procedimiento utilizando una gota de MEKP ya que al agregar una mayor cantidad se produce la reacción secundaria que se muestra en la Figura 2 y la reacción deseada se presenta en la Figura 3.

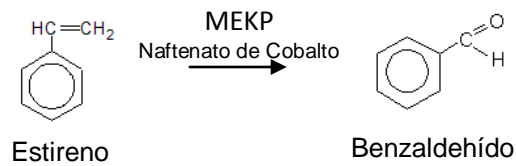


Figura 2. Reacción secundaria del estireno debido al exceso de MEKP

Reacción deseada (Figura 3)

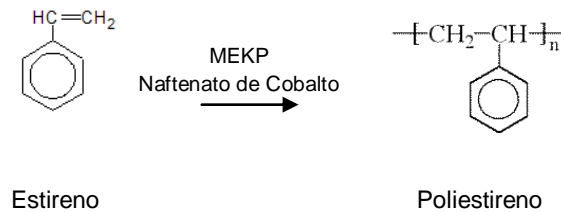


Figura 3. Reacción del estireno

Fuente: Autoras

2.2 ELABORACIÓN DE LOS COMPOSITOS

Por medio de varios ensayos con retazos de tela se definió la relación estequiométrica entre el peso de la resina y el peso de cada retazo. Se impregnó un retazo de tela con su peso equivalente en resina, se llevó a la prensa hidráulica marca CARVER modelo C serie 22576-514 (Anexo D) a una presión de 1 tonelada métrica durante una hora a temperatura ambiente, pasado este tiempo se observó que el retazo de tela presentaba una superficie irregular debido a la carencia de resina en algunas partes, pero estaba totalmente seco, es decir, su etapa de fraguado se había completado. Se repitió el mismo procedimiento con otro retazo de tela pero tomando una relación estequiométrica de 1:1,25 % p/p logrando un mejor resultado, obteniendo una superficie totalmente homogénea, lisa y sin excesos de resina. Luego pasó a definirse en cada ensayo la orientación y la cantidad de láminas dispuestas en cada uno, se llegó a la decisión de acomodar las fibras como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Configuración de los ensayos.

Tipo de tela	Cantidad de láminas	Orientación de las láminas
Natural	Una	*****
	Dos	Paralela
	Tres	Paralela
	Cuatro	Paralela
	Cinco	Paralela
	Cuatro	Al azar
	Cuatro	Perpendicular
Jean	Ocho	Perpendicular
	Tres	Al azar
	Seis	Perpendicular
	Tres	Paralela
	Cuatro	Al azar
	Cuatro	Perpendicular

Fuente: Autoras

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas: (1) alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y (2) alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear o bien se pueden orientar al azar o alinearse parcialmente. Las mejores propiedades se consiguen con la distribución uniforme de la fibra. ^[6]

Los ensayos con la tela de jean fueron elaborados por láminas (cada lámina se compone de dos retazos unidos, dispuestos uno al lado del otro) que posteriormente se unieron aplicándole más resina entre las capas y llevándolas nuevamente a la prensa. Después de obtenidas las seis muestras con las diferentes configuraciones se llevaron al curado final; depositándolas en la estufa a una temperatura constante de 100°C durante 4 horas.

Los ensayos con la tela natural se realizaron impregnando las capas correspondientes con la resina pre-acelerada, se sometieron a presión y a diferencia de los anteriores ensayos, no se llevaron al curado final mediante aumento de temperatura debido a los resultados obtenidos con la tela de jean.

2.3 CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL MATERIAL COMPUESTO

Después de elaborados los composites se procedió a cortar las probetas de acuerdo a las normas establecidas para caracterizar el material y así poder definir sus propiedades.

2.3.1 Densidad. Basada en el principio de Arquímedes. Se determinó el peso de cada una de las muestras del composite seco usando una balanza, luego se midió el volumen de la muestra por desplazamiento de agua en una probeta graduada. Hallando la relación entre la masa del composite seco y el volumen se determinó su densidad.

2.3.2 Pruebas de resistencia mecánica.

2.3.2.1 Dureza. Es la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. Con la ayuda de un durómetro Shore tipo D (Anexo D) se registraron los datos obtenidos de tres zonas distintas de una misma muestra del composite. La medición de la dureza Shore se basa en el siguiente principio: Un cuerpo penetrador es presionado continuamente en el material a medir con una fuerza determinada. Se mide la deformación en el punto de presión y de esta manera se obtiene el valor de la dureza del material.^[8]

2.3.2.2 Ensayo de tensión. En el ensayo de tensión, la probeta se alarga a lo largo de su eje principal, a velocidad constante, hasta la rotura. En el ensayo se miden la carga soportada por la probeta y el alargamiento de ésta.^[5] Conforme a la norma ASTM D638-10^[26] se cortaron las probetas con una sierra de banda marca SKIL (Anexo D) y un cortador de alambre caliente regulado por un variac,

(AnexoD) posteriormente se realizaron los ensayos en el equipo Scott Testers Model: L6, N° C 50649 (Anexo D) utilizando distintas cargas.

2.3.2.3 Ensayo de flexión. En un ensayo de flexión en tres puntos, la probeta se coloca sobre dos soportes distanciados a lo largo de su eje principal y se aplica una carga en el centro de la probeta, a velocidad constante, hasta la rotura. Las probetas para éste ensayo se adecuaron según la norma ASTM D790.^[27]

2.3.3 Test de llama. Tomando material fraccionado se expuso a la llama directa de un mechero y se observó la reacción de éste con el fuego.

2.3.4 Prueba de absorción de agua. Esta prueba determina el cambio de masa de las probetas de ensayo después de inmersión en agua. Se realizó de acuerdo a la norma ASTM D570-98^[28] (2010) “Método estándar de prueba para Absorción de Agua en Plásticos”.^[19]

2.3.5 Pruebas de resistencia química. De acuerdo con la Norma ASTM-D543^[29] se introdujeron trozos del material compuesto en diferentes soluciones para observar los cambios producidos debido al contacto con dichas sustancias; las soluciones empleadas en este estudio fueron thinner, CH₃OH, NaClO, NaOH al 10%, H₂SO₄ al 10% y C₇H₈. El tiempo de exposición a estas soluciones fue de 15 días.

2.3.6 Pruebas de resistencia a factores bióticos. El material compuesto se expuso durante 20 días a la intemperie, sometido a cambios climáticos como la lluvia, rayos directos del sol, temperatura promedio en el día de 26°C y en la noche de 19°C, y microorganismos que puedan estar presentes en el ambiente.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 MATERIAS PRIMAS

Recibido el material procedente de la fábrica de textiles y después de evaluadas sus características se decide utilizar los retazos de tela de jean observados en la Imagen 1, ya que por su alto contenido de algodón presenta una mayor adherencia con la resina poliéster. Después de agotados los retazos de tela de jean se continuó el estudio con la tela natural la cual se aprecia en la Imagen 2.

La resina poliéster pre-acelerada (Imagen 3) presenta un color lila debido al contenido de el naftenato de Cobalto, además de densidad menor a la de la resina poliéster original gracias a la adición del poliestireno monómero.



Imagen 1. Retazos de tela de jean.



Imagen 2. Retazos de tela natural.



Imagen 3. Resina poliéster pre-acelerada

3.2. ELABORACIÓN DE LOS COMPOSITOS

El material compuesto se elaboró de acuerdo a las variables definidas con los dos tipos de tela, dando como resultado un material de superficie lisa, uniforme y aparentemente rígida (Imagen 4).

Los composites de tela de jean al ser sometidos al proceso de curado, aunque dieron como resultado un material con mayor rigidez, se produjo desprendimiento parcial de algunas láminas, una leve contracción en los bordes y la resina

presentó color café; otro efecto observado fue un abultamiento central en una de las muestras como se puede ver en la Imagen 5

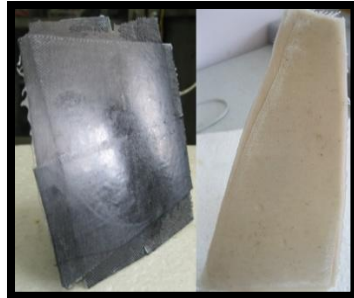


Imagen 4. Composites con tela de jean y tela natural.

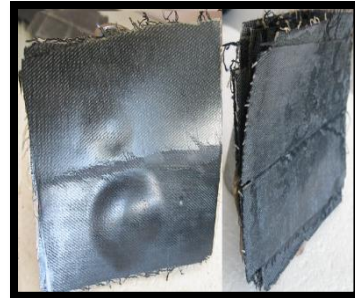
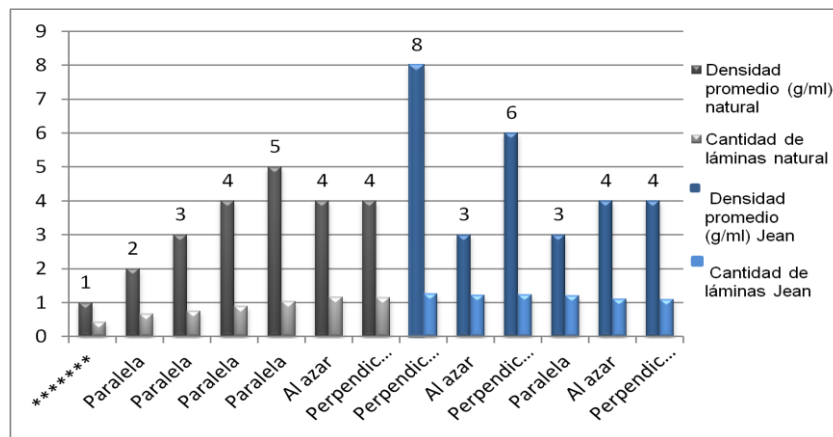


Imagen 5. Tela de jean después del curado.

3.3 CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL MATERIAL COMPUESTO

3.3.1 Densidad. Analizando los datos de la Figura 4 (la tabla se presenta en el Anexo C) se observó que en el material compuesto con tela natural de orientación paralela de las láminas, a medida que aumenta el número de láminas su densidad también lo hace; en los composites con distinto tipo de tela, las orientaciones al azar y perpendicular, presentan valores similares entre sí y comparando los valores de las densidades para las dos clases de tela se encontró que las de tela de jean son mayores con respecto a la tela natural en todas sus configuraciones.

Figura 4. Resultados de la densidad promedio de los composites



3.3.2 Pruebas de resistencia mecánica

3.3.2.1 Dureza. Los valores expuestos en la Tabla 2 muestran la dureza promedio hallada de las tres mediciones realizadas en cada probeta y para los ensayos del mismo tipo (iguales configuraciones), para los composites elaborados con tela natural a medida que aumenta el número de láminas con orientación paralela, aumenta su dureza; con cuatro láminas la dureza se encuentra en el siguiente orden, al azar < paralela < perpendicular. Para los composites elaborados con tela de jean se puede observar el mismo comportamiento. En resumen se puede afirmar que la orientación de las láminas influye significativamente, dando como resultado que al igual que en las fibras, láminas dispuestas paralelamente adquieren una mejor dureza y las dispuestas al azar presentan menor dureza.

Tabla 2. Resultados ensayo de dureza.

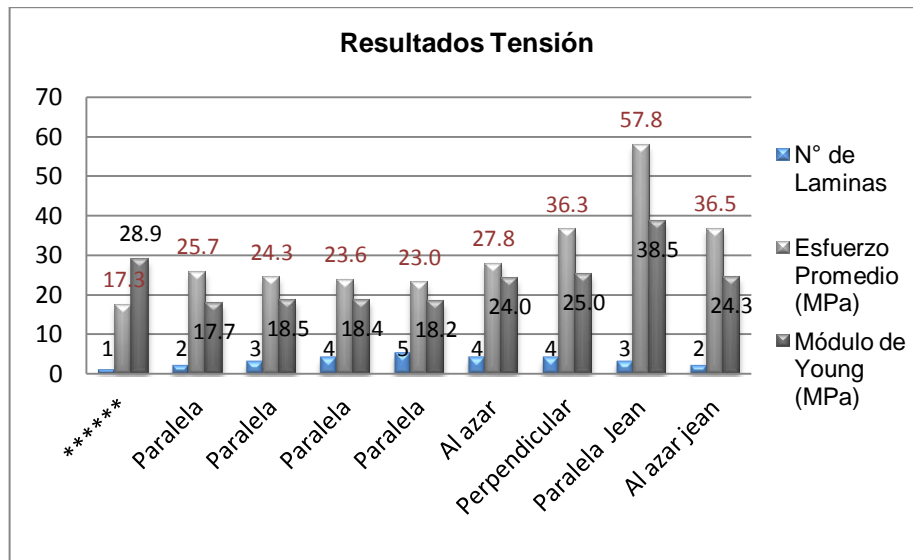
Tipo de tela	Cantidad de láminas	Orientación de las láminas	DUREZA promedio (Shore Tipo D)
Natural	Una	*****	72,00
	Dos	Paralela	73,22
	Tres	Paralela	75,78
	Cuatro	Paralela	80,67
	Cinco	Paralela	81,33
	Cuatro	Al azar	78,13
	Cuatro	Perpendicular	82,33
Jean	Ocho	Perpendicular	83,00
	Tres	Al azar	75,00
	Seis	Perpendicular	76,33
	Tres	Paralela	77,33
	Cuatro	Perpendicular	75,67
	Cuatro	Al azar	83,33

3.3.2.2 Ensayo de tensión. Al realizar los ensayos se obtuvo que los composites elaborados con la tela de jean presentan una buena resistencia a la tracción, tanto así que la mayoría de las muestras con este tipo de material no se fracturaron, aún con el mayor contrapeso disponible para el equipo utilizado, sólo dos de éstas muestras presentaron fractura con un esfuerzo promedio más alto, comparado con el resto de las muestras tal como se puede verificar en la Figura 5, en la cual se presentan valores promedio calculados entre los distintos ensayos elaborados por cada muestra (los resultados tabulados se encuentran en el Anexo C). Al examinar estos datos se puede deducir que al disminuir el número de láminas dispuestas paralelamente aumentó el esfuerzo requerido para su fractura, ya que al contener menos resina el material adquirió una mayor elasticidad debido a la tela de algodón, resultando una menor deformación con un mayor número de capas, esto se vio reflejado en el módulo de Young, el cual fue disminuyendo, sin embargo a medida que aumentaba el número de láminas se tuvo que disponer de un mayor contrapeso. Comparando los composites de tela natural, las láminas dispuestas paralelamente con las de orientación al azar y perpendicular, se muestra que éstas últimas mejoran significativamente el esfuerzo a la tracción ya que debido al tejido de cada lámina y su orientación, el material se reforzó en dos sentidos. Las probetas utilizadas se muestran en la Imagen 6.



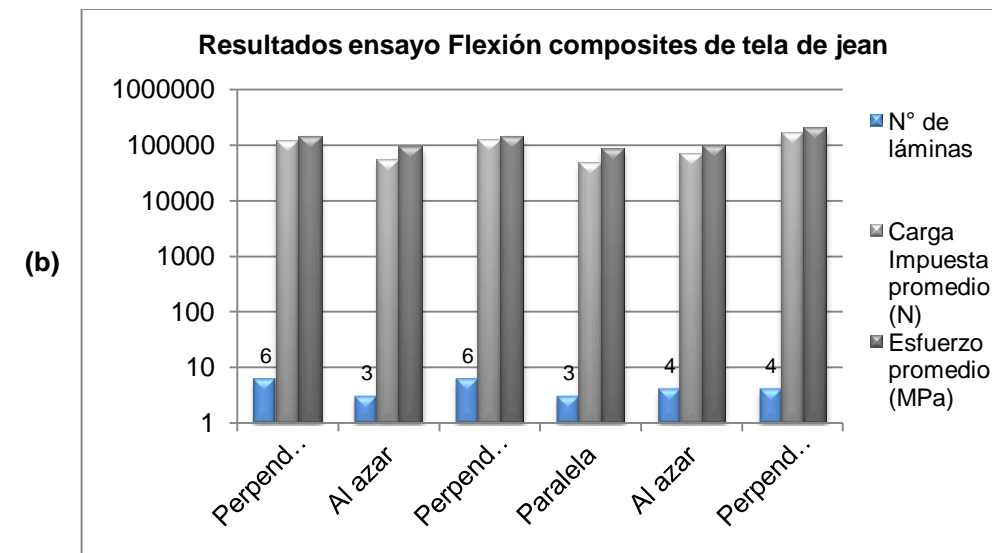
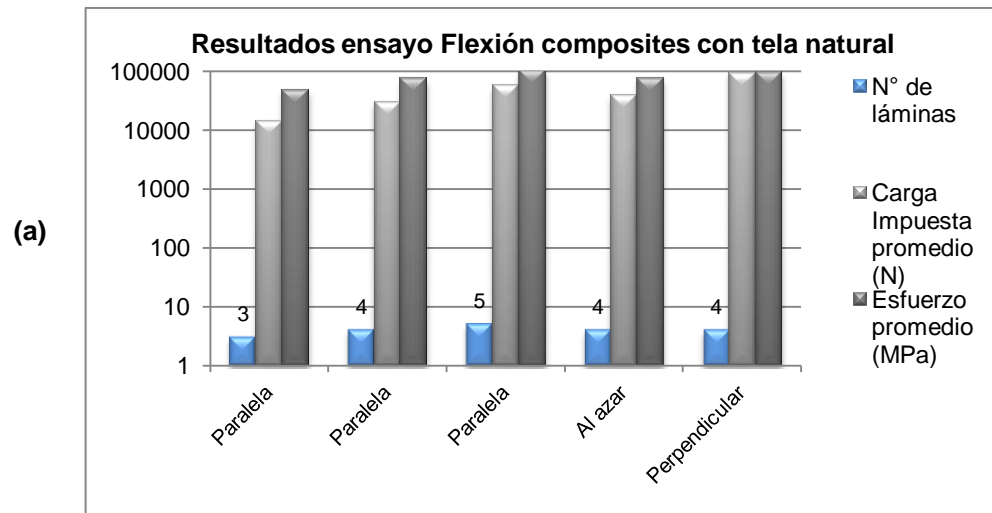
Imagen 6. (a) Probetas de elaboradas con la tela de jean. (b) Probeta con tela natural después del ensayo de tracción.

Figura 5. Resultados ensayo de tensión para los composites.



3.3.2.3 Ensayo de flexión. Realizados los ensayos se puede inferir que en los composites elaborados con la tela natural, conforme aumenta el número de láminas, la carga impuesta y por tanto el esfuerzo también aumenta, tal como se muestra en la Figura 6, todas las probetas utilizadas se flexionaron hasta el punto en que éstas resbalaron en medio de los soportes y en ninguna se presentó fractura (ver Imagen 7 (a)). Las muestras elaboradas con tela de jean presentan un comportamiento similar al de la tela natural donde se aprecia que el número de láminas es directamente proporcional tanto al esfuerzo como a la carga aplicada en el punto medio, de éstas muestras sólo dos presentaron fractura, el resto se flexionó lo que provocó separación entre las láminas producto del proceso de curado (ver Imagen 7 (b)). Comparando las orientaciones de las fibras, se resalta por su alta resistencia a la flexión la orientación perpendicular en los composites con ambos tipos de tela. Examinando los valores obtenidos en el ensayo, resulta evidente que la mayor resistencia a la flexión la tiene la tela de jean. (En el Anexo C se encuentran los resultados tabulados).

Figura 6. Resultados ensayos de flexión. (a) Composites con tela natural. (b) Composites con tela de jean



(a)

Imagen 7. Prueba flexión

(a) Composites con tela natural.

(b) Composites con tela de jean.



(b)

3.3.3 Test de llama. En la Imagen 8 se muestra la inflamabilidad del material compuesto. Al exponer los fragmentos de los composites al contacto con el fuego se pudo observar la rapidez con que estos encendían y cómo la llama se propagaba rápidamente incluso al retirar el material de la fuente de ignición, presentó una llama no extinguiBLE, fuliginosa, incandescente, de color amarillo persistente, la cual desprendía hilos de hollín y liberaba un olor penetrante desagradable debido al contenido de estireno. Después de apagada la llama el material crepitaba, seguía despidiendo mucho humo de color blanco y aún en sus bordes permanecían focos de inflamabilidad. Esto se debe a las propiedades tanto de la resina como de la tela de algodón. Dónde la resina no es autoextinguible (Anexo B) y la fibra de algodón por su alto contenido de celulosa es inflamable.



Imagen 8. Test de llama.

3.3.4 Pruebas de absorción de agua. Al retirar el material del agua destilada, se procedió a pesarlo para comprobar la capacidad de absorción de éste; observando las Figuras 7-8 se deduce que el composite posee alta capacidad de absorción de agua, lo cual suena coherente debido al contenido de fibras de algodón en la tela; al revisar la Figura 7 correspondiente a composites con tela natural se observa que con un mayor número de láminas la absorción de agua disminuye debido al aumento de la cantidad de resina correspondiente a cada lámina lo que ocasiona un mejor recubrimiento; las orientaciones al azar y perpendicular presentaron un porcentaje de absorción cercano, siendo mayor la orientación perpendicular. En la Figura 8 se puede ver que para la orientación perpendicular el índice de absorción

disminuye a medida que aumenta el número de láminas, sin embargo esta orientación muestra valores más altos de absorción. Con la orientación al azar existe proporcionalidad entre el número de láminas y la absorción, pero se considera un error del 11,06% debido a que las muestras de composites con tela de jean de cuatro láminas presentaron carencia de resina en la superficie, dando como resultado un material poroso. Físicamente hubo cierta tendencia de algunos fragmentos a curvarse en las partes donde había faltantes de resina poliéster.

Figura 7. Resultados del índice de absorción de agua, composite con tela natural.

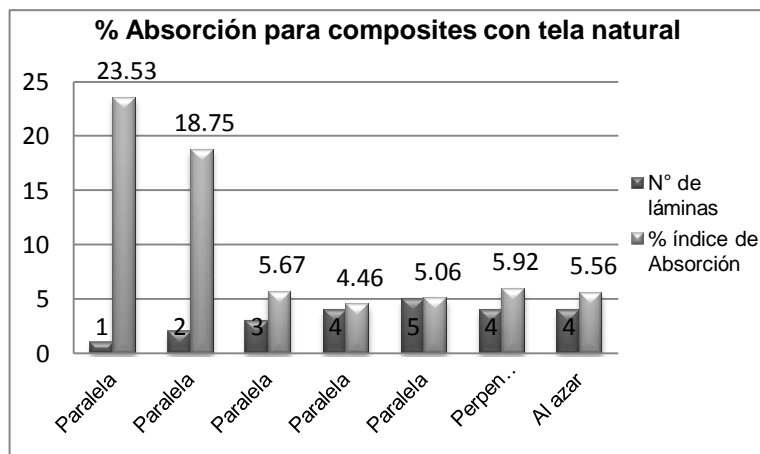
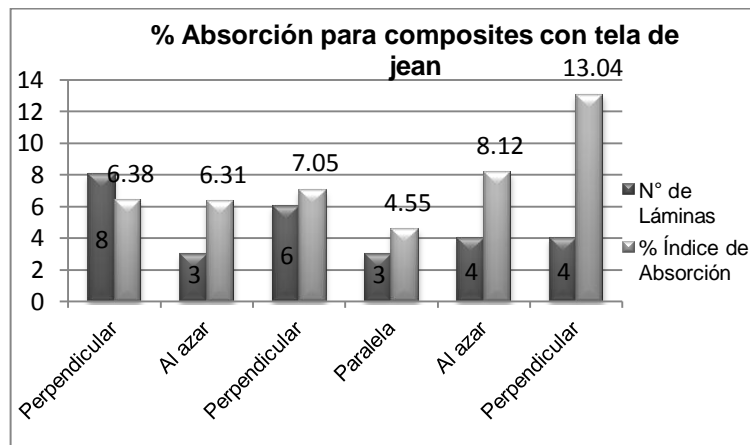


Figura 8. Resultados del índice de absorción de agua, composite con tela de jean.



3.3.5 Pruebas de resistencia química

Tabla 3. Resultados prueba de resistencia química.

Solvente	Resultados
Thinner comercial	Durante el tiempo de residencia del material en la solución se observó que los composites elaborados con tela de jean se curvaron, además que se separó el material en láminas como se puede ver en la Imagen 9.(a), proporcionando a la solución un color amarillo verdoso. Los composites elaborados con la tela natural también se curvaron, excepto los que están conformados por un mayor número de láminas sin presentar ningún cambio físico considerable.
Metanol (CH₃OH)	No se perciben mayores cambios físicos, algunas muestras tendieron a separarse por láminas y la muestra con una lámina de tela natural presentó la tendencia a enrollarse. Imagen 9.(b).
Hipoclorito de Sodio (NaClO)	El cambio más importante observado está en la decoloración de los composites elaborados con tela de jean ya que la tela al contacto con el hipoclorito se degrada, éste ejerce una acción oxidante sobre la tinta y ésta a su vez, ejerce una acción reductora sobre el hipoclorito de sodio. En los composites con tela natural no se presentaron cambios notables. Ver Imagen 9.(c)
Hidróxido de Sodio (NaOH)	La solución al 10% p/p que contenía los composites de tela de jean cambió a un color amarillento; el mayor daño se presentó en la muestra elaborada con tela de jean de orientación al azar ya que las láminas al no tener un tamaño uniforme en la muestra, se separaron y se ondularon tal como se muestra en la Imagen 10.(a). La muestra elaborada con una sola lámina de tela natural se curvó y algunas muestras de esta misma tela presentaron un color amarillo quemado. La tela no sufrió grandes cambios ya que el NaOH se usa en el procesamiento de fibras de algodón para mejorar sus propiedades. ^[2]
Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)	La solución al 10% p/p conservó su color transparente; en todas las muestras del composite no se presentó ningún cambio físico como se puede verificar en la Imagen 10.(b).
Tolueno (C₇H₈)	El material compuesto tendió a curvarse y se intentó deslaminar por sus bordes, se decoloró el interior de cada muestra tomando un color blanco. Imagen 10.(c).

Los efectos que se presentaron en los diferentes ensayos se deben a discontinuidades entre láminas producidas por la existencia de aire atrapado, falta

de resina o delaminaciones que aparecen durante el curado, curado incompleto de la resina. Exceso de resina entre láminas. Porosidad y agujeros en la matriz.

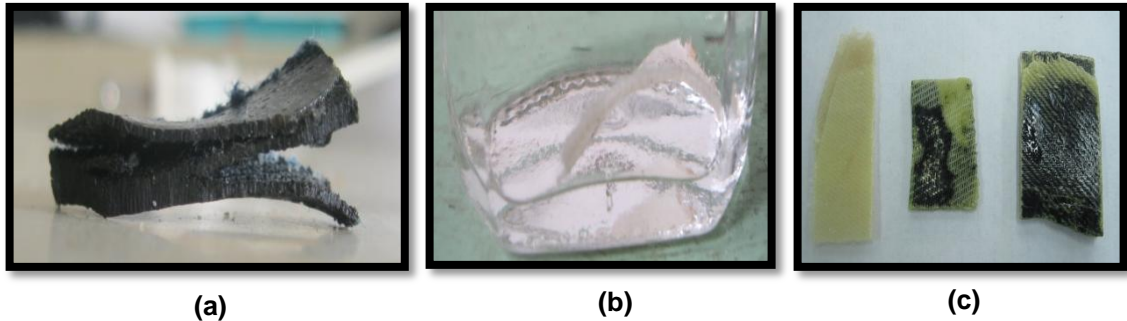


Imagen 9. Resultados prueba de Resistencia Química. (a) Composite con tela de jean sumergido en thinner. (b) Resultado de composite de una lámina sumergido en CH_3OH . (c) Composites sumergidos en NaOH .

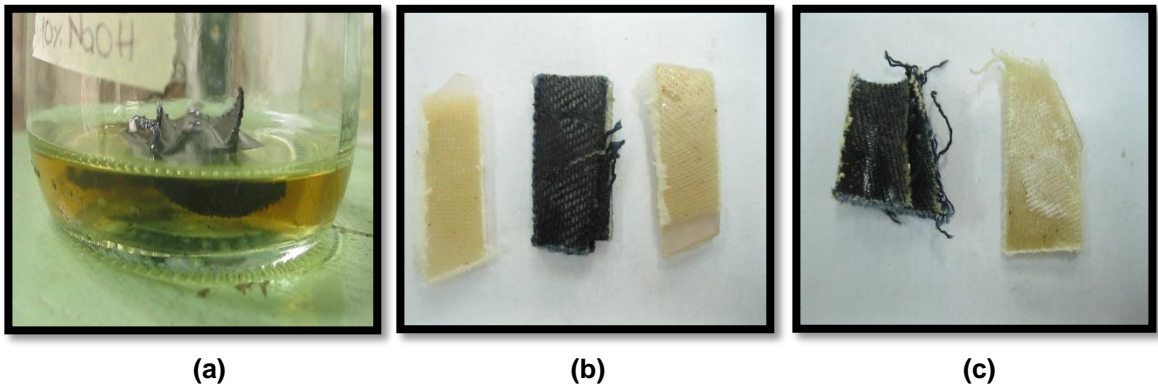


Imagen 10. Resultados prueba de Resistencia Química. (a) Composite con tela de jean sumergido en NaOH . (b) Resultado de composite de una lámina sumergido en H_2SO_4 . (c) Composites sumergidos en C_7H_8 .

3.3.6 Prueba de resistencia a factores bióticos

En general no se observó ningún cambio físico en los composites elaborados con ambos tipos de tela como se puede verificar en la Imagen 11, no presenta moho, ni desgaste en la superficie ni en el color, no se deslaminó, no hubo pérdida de masa en las muestras, se puede deducir que los factores bióticos no constituyen un ambiente agresivo para el material compuesto.

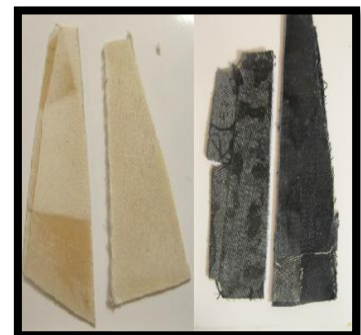


Imagen 11. Resultado prueba de resistencia a factores bióticos.

4. CONCLUSIONES

- El material reforzante proporcionó buenas características a la matriz polimérica teniendo en cuenta que éste está siendo desechado, lo que se vio reflejado en los resultados de las diferentes pruebas realizadas, exceptuando el ensayo de absorción de agua debido al alto porcentaje de algodón (98%) presente en las fibras de la tela, dando como resultado un material compuesto con buenas propiedades tanto físicas como químicas.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia mecánica se puede afirmar que el material compuesto con la tela de jean presentó mejores características comparado con la tela natural, ya que éste adquirió una mayor dureza, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión debido a que el tejido es de mejor calidad y más complejo que el de la tela natural.
- Como era de esperar la orientación de las láminas influyó significativamente en las propiedades del material compuesto, se resalta por los buenos resultados obtenidos la orientación perpendicular debido a que al ubicar las fibras con esta orientación la resistencia mejoró porque se está reforzando en dos direcciones.
- Se atribuyó valor agregado a un material que es considerado como un desecho, dando la posibilidad de reducir la contaminación generada por éste, además garantizando un material compuesto económico.

5. RECOMENDACIONES

- Ya que el material compuesto es muy inflamable, corroborado con el test de llama realizado, se recomienda agregar soluciones ignífugas de Silicato de Sodio (Na_2SiO_3) ó de Ácido Bórico (H_3BO_3).
- La temperatura de curado del material compuesto no debe superar los 60°C y mientras permanezca en este proceso se debe mantener prensado para evitar el des-laminado ó la aparición de burbujas dentro de éste.
- Evitar dejar pasar lapsos de tiempo superiores a quince días para la unión entre láminas ya que es posible que el proceso de curado a temperatura ambiente se haya completado y la unión entre estas no se ejecute.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Benny Cherian, Lity Alen Varghese, Eby Thomas Thachil. Epoxy-modified, unsaturated polyester hybrid networks. Elsevier [Revista en Línea] 2007. [Citado en 18 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305706004708>>
- [2] ANÓNIMO. Compuestos Inorgánicos. Disponible en <<http://compuestosinorganicos2012.blogspot.com/2012/03/hidroxido-de-sodio-naoh.html>> [Citado en 22 de Agosto de 2012]
- [3] ANÓNIMO Materiales Compuestos. Disponible en <http://www.joseluismesarueda.com/documents/TEMA_8_001.pdf> [Citado en 22 de Agosto de 2012]
- [4] BESEDNJAK, Alejandro. Materiales Compuestos: Procesos de Fabricación de Embarcaciones. Editorial Reverté S. A. Barcelona: Primera Edición, 2005. P. 46-51
- [5] BOUZA PADÍN, Rebeca. Diseño y Caracterización de Nuevos Compuestos Polipropileno y Madera: Estudio del Viniltrimetoxisilano como Agente de Acoplamiento Ferrol, Junio 2008, 242h. Trabajo de Doctorado Universidad de A Corua. Facultad de Física. Disponible en <http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/7356/2/BouzaPadin_Rebeca_TD_2008.pdf>
- [6] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales Vol 2. Editorial Reverté. España. 1996. P. 531 -557
- [7] DIAS, G. Juan F. Resinas de Poliester. Disponible en <http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/7356/2/BouzaPadin_Rebeca_TD_2008.pdf>

- [8] Ensayo de Dureza. Disponible en <<http://www.gisiberica.com/durometros/FM560%20a%20FM575.htm>> [Citado en 10 de Septiembre de 2012]
- [9] GROOVER, Mikell P. Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales Procesos y Sistemas. Editorial Pearson Prentice Hall. Mexico: Primera Edición, 1997. P. 326
- [10] Guillermo Requena, Georg Fiedler, Bernhard Seiser, Peter Degischer, Marco Di Michiel, Thomas Buslaps. 3D-Quantification of the distribution of continuous fibres in unidirectionally reinforced composites. Elsevier [Revista en Línea] 2008. [Citado en 18 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X08002662>>
- [11] HUERTAS, T. Manuel. Materiales, Procedimientos y Técnicas Pictóricas I. Ediciones Alka S. A. España. 2010. P. 107 -110
- [12] JongHee Jang, Mitsuyo Hirai, and Makoto Shoda. Enhancement of Styrene Removal Efficiency in Biofilter by Mixed Cultures of Pseudomonas sp. SR-5. Journal of Bioscience and Bioengineering [Revista en Línea] 2006. [Citado en 16 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172306706284>>
- [13] Leigh M. Henderson, Günter Speit. Review of the genotoxicity of styrene in humans. Elsevier [Revista en Línea] 2005. [Citado en 16 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383574205000025>>
- [14] MANAHAN, Stanley. E. Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté España. 2007. P. 1
- [15] MARZAL, A, Feliu. Proyección de Hilos. Editorial Politex. Barcelona: Primera Edición. 1997. P. 85

[16] MIRAVETE, Antonio. CUARTERO, Jesús. Materiales Compuestos. Volumen I. Editorial Reverté S. A. España, 2004. P. 131 – 143

[17] MIRAVETE, Antonio. Los Nuevos Materiales en la Construcción. Editorial Reverté S. A. España: Segunda Edición 1995. P. 239

[18] Owais Anwar Golra, Jawad Tariq, Nadeem Ehsan, Ebtisam Mirza. Strategy for introducing 3D fiber reinforced composites weaving technology. Elsevier [Revista en Línea] 2011. [Citado en 19 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017312000473>>

[19] Prueba de Absorción de Agua. Disponible en <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=pruena+de+absorci%C3%B3n+de+agua+astm&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CCwQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F6033%2F14%2FCAP%25C3%258DTULO%25203.doc&ei=7KGUL6QA5S08AS9voC4Aw&usg=AFQjCNHVCslo6b3hAc_7Cu41DI6qU1w_nQ> [Citado en 15 de Septiembre de 2012]

[20] Resinas de Poliéster. Disponible en <<http://www.topseis.com/Doc/poliester.pdf>> [Citado en 12 de Junio 2012]

[21] Stephen R. Grahama, Robert Hodgson, Luc Vechot, M. Iqbal Essa. Calorimetric studies on the thermal stability of methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) formulations. Elsevier [Revista en Línea] 2011. [Citado en 18 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582011000802#>>

[22] TONG, Liyong. MOURITZ, Adrian P. BANNISTER, Michael K. 3D Fibre Reinforced Polymer Composites. Elsevier Science Ltd. Kidlington, Oxford: First edition, 2002 p 6 -45

[23] VILADOMS WEBER, Juan José. Análisis de las propiedades de los materiales compuestos sometidos a tensión ó flexión. México, 2003, Universidad de las

América Puebla. Departamento de Ingeniería Mecánica. Disponible en <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/viladoms_w_jj/portada.html>

[24] W. Hufenbach, R. Böhma, M. Thieme, A. Winkler, E. Mäder, J. Rausch, M. Schade Polypropylene/glass fibre 3D-textile reinforced composites for automotive applications. Elsevier [Revista en Línea] 2010. [Citado en 18 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306910005388>>

[25] Yousef Tamsilian, AliNejad Ebrahimi, Ahmad Ramazani S.A., Himan Abdollahzadeh. Modeling and sensitivity analysis of styrene monomer production process and investigation of catalyst behavior. Elsevier [Revista en Línea] 2012. [Citado en 18 de junio de 2012]. Disponible en <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135412000245>>

[26] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D638 - 10

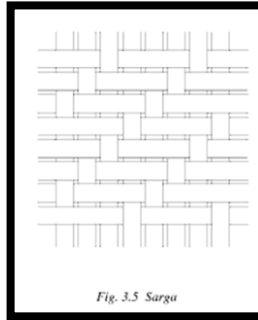
[27] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D790-07

[28] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D570 - 98(2010)

[29] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents. ASTM D543 – 06

ANEXOS

Anexo A. Tipo de tejido, apilamiento y orientación de las láminas.

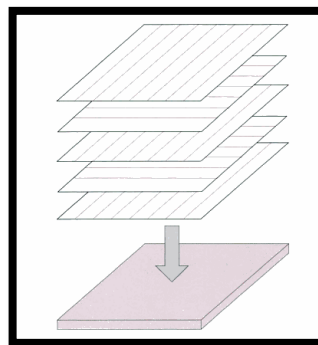


Fuente: BESEDNJAK, Alejandro. Materiales Compuestos: Procesos de Fabricación de Embarcaciones- Editorial Reverté S. A. Barcelona: Primera Edición, 2005. P. 49



Fuente: Autoras

Apilamiento y orientación de las láminas.



Fuente: CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales Vol 2. Editorial Reverté S.A. España. 1996. P. 556

Anexo B. Tablas de propiedades de la resina poliéster y eficiencia de la orientación de las fibras.

Tabla de propiedades de la resina poliéster.

PROPIEDADES	UNIDADES	RESINA POLIÉSTER
Densidad	Mg m ⁻³	1.2-1.5
Módulo de Young	GPa	2-4,5
Coef. Poisson		0.37-0.39
Resist. Tracción	Mpa	40-90
Resist. Compresión	Mpa	90-250
Alarg. Rotura (Tracción)	%	2
Conduct. Térmica	W m ⁻¹ C ⁻¹	0.2
Coef. Dilatación	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	100-200
Temp. Distorsión	°C	50-110
Contracción Curado	%	4-8
Absor. de Agua (24 h a 20 °C)	%	0.1-0.3
Inflamabilidad		No autoextinguible

Fuente: HULL, Derek. Materiales Compuestos. Editorial Reverté S.A.. España. 2003. P 29

Tabla de la eficiencia del reforzamiento según la orientación de las fibras y la dirección del esfuerzo aplicado.

Tabla 17.2 Eficiencia del reforzamiento de compuestos reforzados con fibra orientada en varias direcciones y esfuerzos aplicados en varias direcciones.		
<i>Orientación de la fibra</i>	<i>Dirección del esfuerzo</i>	<i>Eficiencia del reforzamiento</i>
Todas las fibras paralelas	Paralela a las fibras	1
	Perpendicular a las fibras	0
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en un plano específico	Cualquier dirección en el plano de las fibras	3/8
	Cualquier dirección	1/5
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en el espacio de tres dimensiones		

Fuente: H. Krenchel, *Fibre Reinforcement*, Copenague: Akademisk Forlag, 1964 [33].

Fuente: CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales Vol 2. Editorial Reverté S.A. España. 1996. P. 548

Anexo C. Tablas de resultados de pruebas preliminares de la caracterización del material compuesto.

Resultados ensayo de tensión

Tipo de tela	Cantidad de láminas	Orientación de las Fibras	Esfuerzo promedio (MPa)	Deformación promedio	Módulo de Young (MPa)
Natural	Una	*****	17,32	0,60	28,87
	Dos	Paralela	25,65	1,45	17,69
	Tres	Paralela	24,27	1,31	18,53
	Cuatro	Paralela	23,63	1,28	18,41
	Cinco	Paralela	22,95	1,26	18,18
	Cuatro	Al azar	27,76	1,16	23,97
	Cuatro	Perpendicular	36,30	1,45	25,04
Jean	Ocho	Perpendicular	****	No se fracturó	****
	Tres	Al azar	****	No se fracturó	****
	Seis	Perpendicular	****	No se fracturó	****
	Tres	Paralela	57,81	1,50	38,54
	Cuatro	Al azar	36,48	1,5	24,32
	Cuatro	Perpendicular	****	No se fracturó	****

Resultados del ensayo de flexión

Tipo de tela	Orientación de las Fibras	Cantidad de láminas	Carga Impuesta promedio (N)	Esfuerzo promedio (MPa)
Natural	Paralela	3	14817,60	49101,05
	Paralela	4	30115,40	74658,67
	Paralela	5	57457,40	106338,07
	Al azar	4	40146,68	77201,34
	Perpendicular	4	96726,00	99210,03
Jean	Perpendicular	6	116022,20	136365,69
	Al azar	3	52175,20	88771,04
	Perpendicular	6	123602,50	139618,03
	Paralela	3	47206,60	82543,59
	Al azar	4	66870,30	91155,98
	Perpendicular	4	163023,00	199830,86

Tabla 2. Densidad de los composites.

Tipo de tela	Cantidad de láminas	Orientación de las láminas	Densidad promedio (g/mL)
Natural	Una	*****	0,43
	Dos	Paralela	0,66
	Tres	Paralela	0,75
	Cuatro	Paralela	0,89
	Cinco	Paralela	1,03
	Cuatro	Al azar	1,16
	Cuatro	Perpendicular	1,15
Jean	Ocho	Perpendicular	1,26
	Tres	Al azar	1,22
	Seis	Perpendicular	1,24
	Tres	Paralela	1,21
	Cuatro	Al azar	1,10
	Cuatro	Perpendicular	1,10

Anexo D. Equipos utilizados



Prensa Hidráulica



Máquina para
Ensayos de
Tracción



Cortador de alambre
caliente regulado por un
variac



Cortadora



Durómetro Shore tipo D