



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño y construcción de estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en
elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la
orientación de las fibras**

Maila Cuñas, Alex David y Ramos Alvarado, Luis Carlos

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz

Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.

11 de agosto del 2023

Latacunga



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Reporte de verificación de contenidos



UIC_Maila_Ramos.docx

Scan details

Scan time: August 8th, 2023 at 4:2 UTC Total Pages: 72 Total Words: 17978

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.4%	64
Minor Changes	0.2%	27
Paraphrased	1.1%	205
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
 ● AI text
 ○ Human text

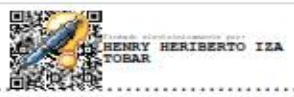
Plagiarism Results: (9)

04 MAUT 116 TRABAJO GRADO.pdf 0.5%

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10645/2/...>
 EDISON ORLANDO ANGAMARCA ILES
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ...

326248773.pdf 0.4%

<https://core.ac.uk/download/pdf/326248773.pdf>
 USUARIO
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ...



Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.
 C.C.: 050200524-2



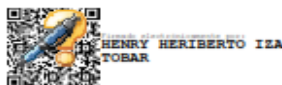
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras"** fue realizado por los señores **Maila Cuñas, Alex David y Ramos Alvarado, Luis Carlos**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 11 de agosto de 2023



.....
Ing. Iza Tobar, Henry Heriberto Mgs.

C.C.: 050200524-2



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Maila Cuñas, Alex David y Ramos Alvarado, Luis Carlos** con cédulas de ciudadanía N° 172154185-0 y 100478471-4 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 11 de agosto de 2023

Maila Cuñas, Alex David

C.C.: 172154185-0

Ramos Alvarado, Luis Carlos

C.C.: 100478471-4



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros, **Maila Cuñas, Alex David y Ramos Alvarado, Luis Carlos** con cédulas de ciudadanía N° **172154185-0** y **100478471-4**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Diseño y construcción de estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 11 de agosto de 2023

Maila Cuñas, Alex David

C.C.: 172154185-0

Ramos Alvarado, Luis Carlos

C.C.: 100478471-4

Dedicatoria

A mi mamá Luz, mis hermanas en especial a Nuria, mi familia y todas las personas que han contribuido en mi desarrollo tanto personal como profesional.

ALEX DAVID MAILA CUÑAS

Agradecimiento

Siempre estaré eternamente agradecido con mi mamá por su gran esfuerzo y sacrificio para la formación académica de todos sus hijos a pesar de las dificultades.

También agradezco a:

Mis padrinos Marcelo y Maribel por su apoyo en mi trayectoria universitaria.

A mis compañeros y docentes universitarios por su aporte en el enriquecimiento de mis conocimientos profesionales y consejos brindados.

A Importadora Cuñas.

ALEX DAVID MAILA CUÑAS

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios, quien es el pilar fundamental en mi vida, además de ser mi fortaleza en los momentos más difíciles y que sin su bendición nada de esto sería posible.

A mi madre Rosa Alvarado quien es mi mayor orgullo y bendición, que a pesar de las dificultades ha estado en todo momento para mí, con su cariño y compañía siempre me apoyo a seguir a delante sin importar las adversidades.

A quien considero mi padre, Homero, quien es la persona más sabia y responsable que conozco, con sus consejos y su apoyo, siempre me brindo las herramientas para poder desarrollarme en mi vida personal y universitaria.

A mi tía Lucy y mi abuelita Carmen, quienes desde el cielo me brindaron las fuerzas que muchas veces me hicieron falta.

LUIS CARLOS RAMOS ALVARADO

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarnos salud y sabiduría a mis padres y a mí para seguir firme en esta etapa de mi vida.

A mis padres los cuales me apoyaron y me guiaron para ser una persona de bien durante toda mi vida, brindándome siempre cariño y fortaleza cuando más lo necesite.

A mi mejor amigo Angel, quien estuvo presente en los momentos que más necesite de una persona de confianza, el cual me sacaba de todo el caos que llegue a vivir y que sin importar la hora o lo mal que él también este pasando, siempre estuvo ahí con una palabra de aliento o un regaño, que probablemente me lo merecía.

A cada familiar que creyó en mí y en mi potencial, en especial a mi padrino Andrés, mi hermana Jaqueline y su pareja Lenin, quienes supieron estar en el momento justo que necesite apoyo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga la cual me acogió en sus aulas y me brindo la oportunidad de conocer a profesionales y compañeros, de los cuales he aprendido un sin número de cosas importantes, que me han sido útiles para mí crecimiento personal y profesional.

A todos esos compañeros y amigos que hice durante mi carrera universitaria, que me han brindado su tiempo, apoyo, lealtad y conocimiento durante todos estos años.

Al Ingeniero Henry Iza, tutor de la unidad de integración curricular, quien nos supo asesorar y apoyar durante el desarrollo de la presente investigación.

LUIS CARLOS RAMOS ALVARADO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos	10
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras	17
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Planteamiento del problema de la investigación.....	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema.....	22
Justificación, importancia y alcance	23
Descripción	24

Objetivos.....	25
<i>Objetivo general</i>	25
<i>Objetivos específicos</i>	25
Hipótesis.....	25
Variables de investigación	25
<i>Variable Dependiente</i>	25
<i>Variable Independiente</i>	25
Capítulo II: Fundamento Teórico	26
La carrocería de un vehículo.....	26
<i>Clasificación</i>	26
<i>Características</i>	27
<i>Materiales</i>	28
Seguridad pasiva	29
Elementos no estructurales de la carrocería	31
<i>Puertas</i>	32
Influencia de un golpe en un vehículo.....	33
<i>Fuerzas que intervienen en una colisión</i>	33
<i>Efecto de una colisión en un vehículo autoportante</i>	34
Importancia de los materiales compuestos	35
Propiedades mecánicas de los materiales compuestos	37
<i>Propiedades mecánicas en la zona de la intercara refuerzo-matriz</i>	37

Influencia que tienen las fibras en compuestos reforzados	37
<i>Orientación y cantidad de la fibra</i>	38
<i>Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas y alineadas</i>	39
Componentes de los materiales compuestos.....	40
Matriz y refuerzos.....	40
<i>Tipos de matriz</i>	41
<i>Tipos de refuerzo</i>	41
Proceso de fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales ..	42
<i>Estratificación Manual</i>	44
Orientación de las fibras.....	45
<i>Tipos de laminados</i>	45
Herramientas computacionales	46
Capítulo III: Desarrollo.....	48
Selección de las fibras.....	48
Selección del proceso de construcción	50
<i>Hand lay-up</i>	50
<i>Procesado en autoclave</i>	51
<i>Filament Winding</i>	51
Selección de la matriz.....	52
Selección de la geometría de las estructuras tubulares	56

<i>Perfil circular redondo</i>	56
<i>Perfil rectangular</i>	57
<i>Perfiles en C</i>	59
Selección de las dimensiones de las estructuras tubulares.....	61
Diseño CAD de las estructuras tubulares	62
Proceso de construcción y fabricación de las estructuras tubulares.....	64
<i>Construcción de un prototipo de útil para la realización de las estructuras tubulares.</i>	64
<i>Proceso de fabricación de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya</i>	65
<i>Proceso de la fabricación de las estructuras tubulares de abacá</i>	77
Capítulo: IV Resultados y discusión.....	81
Capítulo: V Marco Administrativo	86
Recursos.....	86
<i>Recursos tecnológicos</i>	86
<i>Recursos humanos</i>	86
<i>Recursos materiales</i>	87
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	90
Conclusiones.....	90
Recomendaciones.....	92
Bibliografía	94

Anexos.....96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Procesos de fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales ...</i>	43
Tabla 2 <i>Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales</i>	49
Tabla 3 <i>Matriz de selección de fibras.....</i>	50
Tabla 4 <i>Matriz de selección del proceso de construcción</i>	52
Tabla 5 <i>Tipos de resina sintética termoestable.....</i>	53
Tabla 6 <i>Ficha técnica resina epóxica marca DURA QUARZ (CAST-11).....</i>	54
Tabla 7 <i>Ficha técnica de la resina poliéster FT POL® 33000</i>	55
Tabla 8 <i>Matriz de selección del tipo de resina</i>	56
Tabla 9 <i>Matriz de selección de la geometría de la estructura tubular.....</i>	60
Tabla 10 <i>Dimensiones de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya y abacá...62</i>	
Tabla 11 <i>Dimensiones de las capas de la fibra de cabuya para la fabricación de las estructuras tubulares.....</i>	66
Tabla 12 <i>Mezcla de componentes para la capa de acabado de las estructuras tubulares.</i>	69
Tabla 13 <i>Dimensiones de las capas de la fibra de abacá para la fabricación de las estructuras tubulares.....</i>	77
Tabla 14 <i>Resultados de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya.....</i>	83
Tabla 15 <i>Comparación entre valores de diseño y reales de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya</i>	83
Tabla 16 <i>Resultados de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de Abacá</i>	84
Tabla 17 <i>Comparación entre valores de diseño y reales de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá</i>	84
Tabla 18 <i>Resumen de tiempo de fabricación, temperatura y costo de producción de cada estructuras tubulares.....</i>	85
Tabla 19 <i>Recursos tecnológicos.....</i>	86

Tabla 20 <i>Recursos Humanos</i>	87
Tabla 21 <i>Recursos materiales</i>	87
Tabla 22 <i>Gastos directos de la investigación</i>	88
Tabla 23 <i>Gastos indirectos de la investigación</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Clasificación de las carrocerías en base a su construcción	27
Figura 2	<i>Tipos de materiales que son utilizados en la construcción de carrocerías.....</i>	29
Figura 3	<i>Partes constitutivas de la estructura de una puerta de un vehículo</i>	33
Figura 4	<i>Sectores de mayor aplicación de los materiales compuestos.....</i>	36
Figura 5	<i>Alineaciones posibles en un material compuesto reforzado con fibras naturales.....</i>	38
Figura 6	<i>Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión</i>	39
Figura 7	<i>Componentes de los materiales compuestos</i>	40
Figura 8	<i>Láminas de los materiales de refuerzo para materiales compuestos.....</i>	45
Figura 9	<i>Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya con dos capas</i>	62
Figura 10	<i>Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya con tres capas ..</i>	63
Figura 11	<i>Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya con cuatro capas</i>	63
Figura 12	<i>Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá con una capa.....</i>	63
Figura 13	<i>Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá con dos capas</i>	64
Figura 14	<i>Útil para la realización de las estructuras tubulares.....</i>	64
Figura 15	<i>Corte de la fibra de cabuya.</i>	67
Figura 16	<i>Encerado de la estructura tubular matriz.....</i>	70
Figura 17	<i>Posicionamiento de la primera capa de la fibra de cabuya al tubo matriz.....</i>	71
Figura 18	<i>Colocación de la resina en la primera capa de fibra de cabuya.....</i>	71
Figura 19	<i>Colocación de la segunda capa de fibra de cabuya.....</i>	72
Figura 20	<i>Secado y curado de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya.....</i>	73
Figura 21	<i>Desmolde de las estructuras tubulares mediante la prensa hidráulica.....</i>	74
Figura 22	<i>Tratamiento térmico de las estructuras tubulares</i>	74

Figura 23 <i>Acabado superficial de las estructuras tubulares</i>	75
Figura 24 <i>Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las estructuras tubulares reforzadas con cabuya</i>	76
Figura 25 <i>Proceso de limpieza de la fibra de abacá</i>	78
Figura 26 <i>Proceso de mejoramiento superficial</i>	79

Resumen

El objetivo es diseñar y construir estructuras tubulares con materiales compuestos, un material compuesto es una combinación de dos materiales; la matriz y el refuerzo que poseen diferentes propiedades físicas y químicas, en este caso se utilizó como matriz la resina poliéster y como refuerzo las fibras naturales de cabuya y abacá. Las fibras naturales de cabuya y abacá, tienen una disposición de las fibras de 0 a 90 grados, el proceso de fabricación fue de estratificación manual donde las distintas fibras naturales fueron colocadas en los tubos guías que previamente estaban recubiertos con cera desmoldante y se aplicó resina y capas de fibra natural necesarias según el espesor a trabajar; 3 mm, 4.5 mm y 6 mm. Para el proceso de acabado final en las estructuras tubulares de abacá se optó por mezclar cien partes en peso de resina sin acelerar por cuarenta y cinco partes en peso de estireno monómero agregando 0.25% de toda la mezcla de cobalto al 12% de oxígeno, esto para obtener un acabado final de mejor calidad. Se obtuvo como resultados de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya de dos capas; un diámetro exterior promedio 31.512 mm y un espesor de 2.905 mm, para tres capas; un diámetro exterior promedio 34.191 mm y un espesor de 4.344 mm y para cuatro capas; un diámetro exterior promedio 36.005 mm y un espesor de 5.477 mm. Para las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá, con una capa se tiene; un diámetro exterior promedio de 30.88 mm y un espesor de 3.03 mm, para dos capas se tiene un diámetro exterior promedio de 34.696 mm y un espesor de 4.973.

Palabras claves: fibras naturales, resina poliéster, estratificación manual, estructuras tubulares.

Abstract

The primary objective is to design and construct tubular structures using composite materials. A composite material is a combination of two materials: the matrix and the reinforcement, which possess different physical and chemical properties. In this case, polyester resin was used as the matrix and natural fibers of sisal and abaca as the reinforcement. The natural fibers of sisal and abaca have a fiber arrangement from 0 to 90 degrees. The manufacturing process involved manual layering, where the different natural fibers were placed in guide tubes that were previously coated with mold release wax. Resin and layers of natural fiber were applied as needed for the thicknesses of 3 mm, 4.5 mm, and 6 mm. For the final finishing process in abaca tubular structures, a mixture of one hundred parts by weight of uncured resin was combined with forty-five parts by weight of styrene monomer, adding 0.25% of the entire cobalt mixture to 12% oxygen, all to achieve a higher quality final finish. The results for tubular structures reinforced with sisal fiber are as follows: for two layers, an average outer diameter of 31.512 mm and a thickness of 2.905 mm; for three layers, an average outer diameter of 34.191 mm and a thickness of 4.344 mm; and for four layers, an average outer diameter of 36.005 mm and a thickness of 5.477 mm. For tubular structures reinforced with abaca fiber, with one layer, there is an average outer diameter of 30.88 mm and a thickness of 3.03 mm, and for two layers, an average outer diameter of 34.696 mm and a thickness of 4.973 mm.

Keywords: natural fibers, polyester resin, manual lay-up, tubular structures.

Capítulo I

Planteamiento del problema de la investigación

Antecedentes

Una de las formas en las que es posible incrementar la eficiencia del consumo de combustible de los vehículos es reducir su peso estructural. En la actualidad se están desarrollando materiales compuestos de tipo laminado de altas prestaciones y coste moderado que les hacen prometedores para aplicaciones estructurales de vehículos, dado que sus propiedades mecánicas específicas son mejores que las de los metales (Lim y Lee, 2002). Los materiales de fibra de carbono son ampliamente empleados en la fabricación de elementos estructurales primarios en vehículos de competición, y se está evaluando su utilización en la fabricación de turismos (Carrera et al, 2007), habiéndose conseguido reducciones de peso del 70% en techos de vehículos (Botkin, 2000) o parachoques (Cheon et al.,1995) respecto a sus equivalentes en acero. El uso de estos materiales presenta algunos problemas relativos a sus especiales características de rotura frágil, siendo este aspecto especialmente crítico en el diseño de elementos absorbedores de energía (Feraboli, 2007).

El diseño de elementos específicos para absorber energía, como por ejemplo parachoques o barras de seguridad lateral de un vehículo, está destinado a asegurar que la estructura del mismo es capaz de resistir un impacto disipando la energía cinética de una forma controlada, limitando la fuerza y la desaceleración que se transmite a los ocupantes (Bouchet et al., 2002) y acotando la deformación que sufre para asegurar la existencia de un espacio de supervivencia (Mahdi et al, 2006).

Mientras que una estructura metálica absorbe energía por deformación plástica, en una fabricada con materiales compuestos de tipo laminado el fallo se produce por una combinación de mecanismos de rotura (rotura de fibras, rotura de matriz, despegue fibra-matriz,

delaminación, etc.) que pueden presentarse por separado o conjuntamente (Greve y Pickett, 2006). Por este motivo predecir la capacidad de absorción de energía de una estructura fabricada con materiales compuestos y más aún de fibras naturales es una tarea de gran interés y elevada complejidad, dado que su respuesta es muy sensible a un gran número de parámetros. Muchos de los estudios que abordan este fenómeno tienen un carácter básicamente experimental (Mamalis et al, 2006), encontrándose todavía resultados contradictorios (Melo, 2007), por lo que resulta imprescindible profundizar en este tema desarrollando modelos numéricos que permitan conocer el comportamiento de estas estructuras.

Planteamiento del problema

Los estudios de los elementos destinados a la absorción de energía de una colisión se han centrado en los tubos de pared delgada fabricados con materiales compuestos, ya que proporcionan una amplia gama de posibilidades de utilización, tanto como elementos absorbedores de energía como de elementos estructurales, incluso con ambas funcionalidades simultáneamente (Feraboli et al., 2007). Los tubos pueden ser de sección cuadrada o circular, el empleo de las primeras facilita la fabricación del tubo comparado con el uso de las de sección circular (Cheon et al., 1995). Sin embargo, un tubo de sección cuadrada introduce más variables geométricas que influyen en el comportamiento frente a impacto como el radio de acuerdo de las esquinas (Feraboli et al., 2007).

La mayoría de los estudios sobre elementos absorbedores de energía tubulares de pared delgada y fabricados con materiales compuestos se centran principalmente en cargas de compresión (Hamada et al., 1992; Quek et al., 2001; Mamalis et al., 2004; Zeng et al., 2005; Pitarresi et al., 2007; Melo et al., 2007). La forma de la rotura de este tipo de tubos a compresión es por aplastamiento frágil y no por formación de pliegues como en los metales.

Sin embargo, existen elementos de absorción de energía que trabajan a flexión como pueden ser las barreras de protección vial, o en vehículos, las barras de protección lateral (Cheon et al., 1997) o el parachoques (Cheon et al., 1995). Este último es uno de los elementos críticos para asegurar la seguridad de un vehículo (Hosseinzadeh et al., 2005). Los mecanismos de absorción de energía de tubos de material compuesto sometidos a cargas que generan esfuerzos de flexión no están tan extensamente estudiados y no son todavía totalmente conocidos (Charoenphan et al., 2004). Con la reducción del coste de los materiales de carbono/epoxi y la aparición de nuevos procedimientos de fabricación adaptados a la producción en serie el análisis del comportamiento frente a impacto de tubos fabricados con estos materiales presenta un gran interés en la actualidad.

Durante una colisión la estructura está sometida a cargas dinámicas, por tanto, un estudio correcto de este fenómeno requiere realizar ensayos de impacto. Pero dado que el fenómeno ocurre en tiempos extremadamente cortos los dispositivos experimentales son complejos y requieren de instrumentación sofisticada y costosa, como pueden ser cámaras de alta velocidad.

El trabajo que se quiere abordar estará centrado en elementos estructurales simples como tubos de sección circular de pared delgada fabricados con un material de fibra natural en matriz poliéster, se va a iniciar el proceso de diseño y construcción de estos elementos. Se analizará una situación representativa donde estos elementos estructurales reemplazaran a las barras de protección lateral de un vehículo.

Justificación, importancia y alcance

El presente proyecto se enmarca en la innovación de sistemas de seguridad, exactamente en la protección de las puertas de vehículos, debido a que la incorporación de materiales compuestos por fibras naturales es algo nuevo en la industria automotriz, además se

busca elegir una fibra natural que pueda reemplazar a los materiales convencionales que se han utilizado por años en esta área.

Por tal motivo la fibra natural debe cumplir con ciertas propiedades físicas y mecánicas, dichas propiedades mecánicas deben asemejarse o incluso superar las propiedades de los materiales convencionales y ser seguros para poderlos implementar en el vehículo, además de ser viable tanto en lo económico como la construcción en masa de los componentes.

El alcance del proyecto se basa en la importancia que tiene la disposición de las fibras, así como el tipo de fibra a utilizar, considerando las propiedades mecánicas de cada fibra analizada de igual manera los distintos tipos de ensayo aplicados a estas fibras, para así conseguir datos que se puedan comparar con los materiales convencionales y decidir si es una opción viable para poder aplicarlo en el sistema de seguridad pasiva de los vehículos.

Descripción

La propuesta de ejecución del trabajo de integración curricular consiste en diseñar y construir estructuras tubulares de fibras naturales tomando en cuenta la orientación de las fibras, para el uso como elementos de protección de carrocerías de vehículos, específicamente en las puertas laterales.

En el diseño de las estructuras tubulares se propone el determinar e investigar la orientación de las fibras naturales y la construcción de las mismas mediante el proceso de estratificación manual.

A partir de la modelización con software CAD de la estructura tubular, se construirán un número determinado de estructuras tubulares para poder comparar resultados de diversos ensayos a los que se les someterá a dichas estructuras tubulares, donde se estudiará en qué manera influye la orientación de las fibras al someterlas a esfuerzos diversos, para así conocer

las propiedades mecánicas y poder definir si este tipo de material puede sustituir a los materiales convencionales utilizados en este tipo de industria.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras.

Objetivos específicos

- Determinar el tipo de fibra natural a utilizar en el diseño y construcción de la estructura tubular.
- Definir la orientación de las fibras para la construcción de las estructuras tubulares.
- Determinar los procesos de fabricación para las estructuras tubulares.
- Realizar una modelización de la estructura tubular con la fibra natural.
- Construir las estructuras tubulares en base a la selección y el proceso de fabricación.

Hipótesis

La orientación de las fibras naturales y el tipo de fibra incide en el diseño y construcción de las estructuras tubulares.

Variables de investigación

Variable Dependiente

Orientación de las fibras y el tipo de fibra natural a utilizarse.

Variable Independiente

Estructura tubular.

Capítulo II

Fundamento Teórico

La carrocería de un vehículo

Al referirse de estructuras del vehículo se hace alusión específicamente a los elementos estructurales y no estructurales que la constituyen como tal y dejando de lado a los demás sistemas automotrices que conforman un vehículo (propulsión, frenos, suspensión, dirección, transmisión, neumáticos, entre otros.), y como es deducible estas estructuras brindan soporte, alojamiento, protección, etc., a estos sistemas antes mencionados

Las estructuras de un vehículo pueden ser manufacturadas bajo distintas tecnologías y materiales, independientemente de esto se diferencian conjuntos y subconjuntos que conforman un vehículo, y son: carrocería y chasis, la carrocería son todos los componentes o piezas que dan la forma característica al vehículo (estética) y que se definieron en las fases de concepción y diseño de la misma, mientras que el chasis se compone del bastidor que es un armazón de perfiles estructurales de gran robustez y de los sistemas automotrices necesarios para la movilización de este. No obstante, existen varias configuraciones de la carrocería y el chasis que predominan en la actualidad para su fabricación, y que se detallarán en las siguientes secciones.

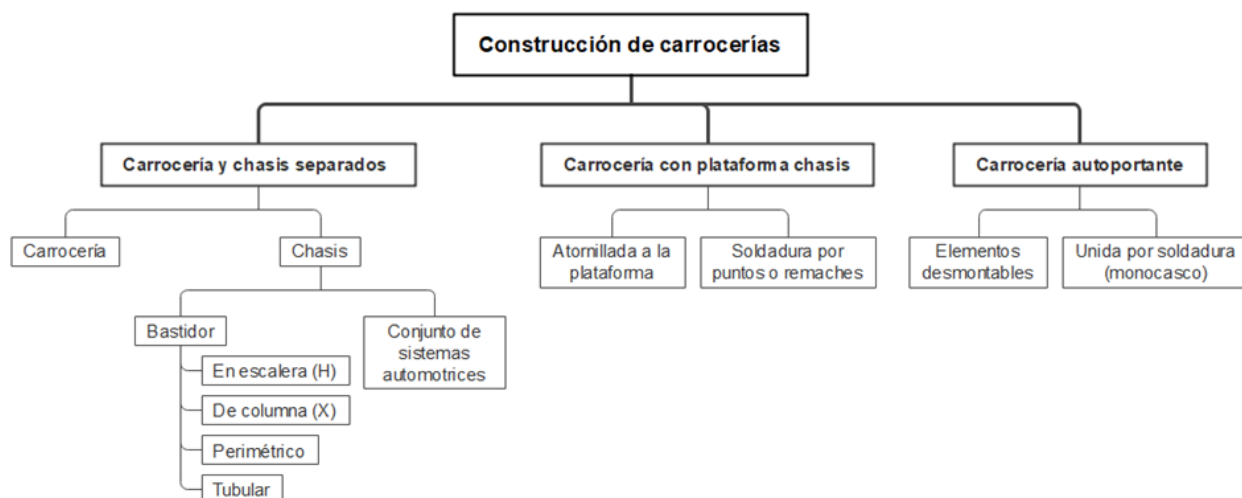
Clasificación

Se puede considerar a la carrocería de un vehículo como el elemento o conjunto de elementos que en una configuración marcan el perfil de la estructura exterior de un vehículo y que a su vez se encontrará sometida a varias fuerzas y esfuerzos. Para el ensamble de los demás sistemas automotrices (mecánicos, eléctricos, hidráulicos, etc.) es necesario de otro elemento estructural de gran robustez llamando bastidor. Y, las diferentes configuraciones entre la carrocería y bastidor determinan la construcción de los vehículos con un enfoque

estructural de peso y resistencia, en tres posibles formas de construcción del conjunto (Gómez et al, 2016).

Figura 1

Clasificación de las carrocerías en base a su construcción



Nota. Adaptado de *Estructuras del vehículo* por Gómez, et al. 2016. Paraninfo.

Características

Las características de una carrocería dependen de su construcción, la fabricación en su configuración autoportante es la de mayor uso en la actualidad. Para el diseño de una carrocería se toma en consideración los esfuerzos estructurales a los que va a estar sometida por la marcha y condiciones de circulación del vehículo, estos son: de tracción debido a la aceleración y frenadas, de flexión provocado por el peso total soportado (pasajeros, equipaje, componentes, etc.), de torsión por las irregularidades del firme lo que ocasiona un desplazamiento del eje vertical y de cizalladura en mayor medida por impactos frontales y traseros sobre las ruedas (Gómez et al, 2016).

Las carrocerías se diseñan para que se deformen lo máximo posible, de modo que en una colisión la transmisión de fuerzas sea de componente a componente reduciendo lo máximo posible que estas fuerzas se transmitan a los ocupantes, este concepto es conocido como la deformación programada, cuya estrategia es el diseño de componentes con ciertas características dimensionales y constructivas para ayudar a controlar y direccionar la deformación de estos componentes, absorbiendo la mayor cantidad de energía producida en una colisión. Las carrocerías requieren solicitaciones constitutivas entre las que se destacan (Gómez et al, 2016).

- Rigidez.
- Absorción de vibraciones.
- Durabilidad.
- Facilidad de reparación.
- Aerodinámica.
- Comportamiento en caso de choque (deformación programada).

Materiales

El acero es el material más usado para la fabricación de carrocerías desde sus inicios, aunque indudablemente debido al avance tecnológico y la reducción del impacto ambiental ocasionado en la obtención de las distintas materias primas, cada vez se proponen nuevos materiales o aleaciones para su fabricación, apuntando a la reducción de peso, consumo de combustible, emisiones contaminantes, entre otros, sin comprometer la resistencia estructural de la misma.

En la Figura 2 se muestra los materiales comúnmente utilizados en la construcción de las carrocerías. Cabe señalar que la carrocería puede estar construida por varios tipos de

materiales o aleaciones en los diferentes conjuntos o subconjuntos dependiendo del diseño de los mismos, lo que resultaría impráctico utilizar una sola clase de material para su fabricación.

Figura 2

Tipos de materiales que son utilizados en la construcción de carrocerías



Nota. En la figura se muestra una carrocería autoportante, además del tipo de materiales utilizados en la fabricación de este tipo de carrocería. Tomado de *La evolución del acero en la fabricación de carrocerías* por Centro Zaragoza. 2018. CZ.

Seguridad pasiva

Desde la concepción, diseño y posterior fabricación de la carrocería de un vehículo, se considera su destrucción (deformación) en caso de una colisión (impacto). La carrocería debe absorber la mayor cantidad de energía para disminuir al máximo que alcance a los ocupantes, para esto de forma integral el vehículo dispone de múltiples sistemas que ayudan a controlar y prevenir las consecuencias ocasionadas por una colisión, como por ejemplo los sistemas de frenos, estabilidad, tracción, etc. La seguridad de un vehículo entonces se podría diferenciar por sistemas o condiciones como se indica a continuación (Gómez et al, 2016).

- Seguridad pasiva: reduce o evita las lesiones de los pasajeros ante un impacto o colisión.
- Seguridad activa: evita las condiciones potencialmente peligrosas y con ello contribuye a evitar accidentes.
- Seguridad preventiva: reducen las posibles condiciones de peligro además de generar un ambiente confortable en el vehículo.
- Sistemas para la asistencia a la conducción: ayudan a mejorar las condiciones para la conducción.
- Seguridad de uso: reduce las posibilidades de robo del vehículo.

Según (Barrera & Ros, 2019) la seguridad pasiva de un vehículo consta de todos los dispositivos o mecanismos que entran o pueden entrar en funcionamiento cuando se produce un accidente automovilístico, a partir del diseño de la estructura (zonas de deformación progresiva, amortiguadores de impacto, habitáculo, entre otros) como primer trabajo de preparación de la seguridad pasiva.

Los vehículos contarán con excepcionales sistemas de seguridad pasiva que ayuden a controlar y disminuir las consecuencias de una colisión. El enfoque para determinar una mejor protección de los pasajeros ante una inminente colisión puede estar direccionado por las pruebas de crash test, por estudios de los tipos de colisión más frecuentes, etc., por ejemplo, las puertas deberán permanecer cerradas ante una colisión, pero deben facilitar el acceso al interior del vehículo. El nivel de seguridad pasiva de un vehículo puede recaer en el plan de seguridad pasiva de la carrocería y en dispositivos de seguridad pasiva (Gómez et al, 2016).

Plan de seguridad pasiva de la carrocería auto portante:

- Características constructivas.

- La deformación programada.
- Comportamiento de la estructura delantera y trasera.
- Las protecciones laterales y antivuelco.
- Los paragolpes absorbentes.
- La antintrusión mecánica.
- El habitáculo

Dispositivos de seguridad pasiva:

- Airbags.
- Cinturones de seguridad.
- Columna de dirección articulada colapsable
- Volante con absorción de energía.
- Pedales tablero de instrumentos.
- Reposacabezas
- Otros (depósito de combustible, cristales, limpiaparabrisas, cableado eléctrico).

Elementos no estructurales de la carrocería

Los elementos no estructurales de la carrocería son los elementos amovibles y fijos, estos elementos interiores o exteriores permiten la reparabilidad o sustitución de la carrocería y para tal cometido es esencial conocer sus métodos de fijación, procesos de desmontaje y montaje adecuado, las técnicas a emplear y los ajustes oportunos. Independientemente del constructor de un vehículo pueden tener más o menos elementos amovibles, es por ello que se destacan a continuación los siguientes (García et al, 2009).

Elementos exteriores:

- Puertas.

- Capo delantero.
- Portón trasero.
- Tapa del maletero.
- Aletas.
- Frente delantero.
- Paragolpes.
- Techo practicable.
- Elementos de embellecimiento: molduras, laminas adhesivas, entre otros.

Elementos interiores:

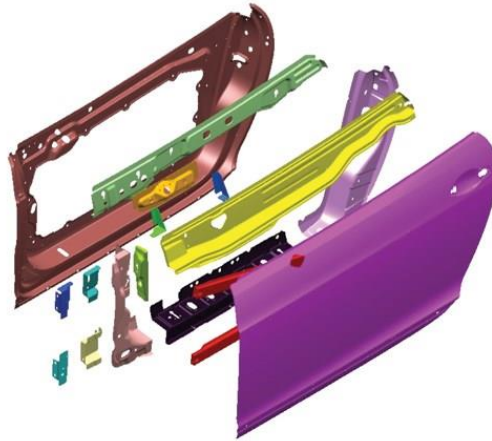
- Panel de instrumentos.
- Guarnecidos, tapizados y revestimientos.
- Asientos.

Puertas

Las puertas se encargan del cierre lateral de la caja del habitáculo y como se ha mencionado anteriormente el material de uso más frecuente para su conformación es el acero con alto límite elástico. Se unen a la carrocería del vehículo por medio de bisagras en los pilares delanteros las puertas delanteras y en los pilares centrales las puertas traseras, de ser el caso (García et al, 2009).

Figura 3

Partes constitutivas de la estructura de una puerta de un vehículo



Nota. En la figura se puede observar las partes metálicas necesarias para fabricar la estructura de una puerta de un vehículo. *Tomado de Auto composites quest: One-minute cycle time?* por CompositesWorld. 2011.

Influencia de un golpe en un vehículo

En una colisión existe un intercambio de energía ocasionada por el impacto de dos cuerpos, esta energía es absorbida en mayor parte a través de la deformación que se busca que tengan los componentes de la carrocería, es por ello que los materiales usados en la fabricación de estos componentes poseen adecuadas propiedades mecánicas para la interacción favorable de las fuerzas con el material (metales, plásticos, composites, etc.). La aplicación de fuerzas (golpes) sobre la superficie de los elementos de la carrocería ocasiona una deformación elástica o plástica (Gómez et al, 2016).

Fuerzas que intervienen en una colisión

Fuerza exteriores e interiores son los grupos de fuerzas en las que se agrupan todas las fuerzas que intervienen en una colisión, originadas por el cambio de velocidad ante este

acontecimiento. Las fuerzas exteriores son las generadas por un cuerpo (cualquier cuerpo con que se tiene contacto en una colisión) interpuesto en la trayectoria del vehículo, mientras que las fuerzas internas son las que se originan por la inercia de todos los elementos del vehículo. La interacción dinámica presente en una colisión transcurre un periodo de tiempo muy pequeño, donde se involucran varios parámetros como: características de la colisión, medio con el cual ocurre la colisión, construcción de la carrocería, tipo de estructura (muy resistente a la deformación, estructura deformable) de la carrocería, etc. (Gómez et al, 2016).

Efecto de una colisión en un vehículo autoportante

En una colisión la carrocería no se comporta como un cuerpo de rígido en la interacción de fuerzas ante este evento, si no que cada sección constituyente se comporta como una fuerza individual que intenta mantener su estado de reposo, dependiendo del diseño y sus características constructivas serán más o menos vulnerables a la deformación (Gómez et al, 2016). Se analizan los siguientes tipos de colisiones:

- Colisión frontal: independientemente de las características de la colisión, ocurre un cambio brusco de velocidad, la sección o modulo central y trasero se desplazan en sentido de la colisión lo que ocasiona la deformación del área de impacto.
- Colisión trasera: ocurre cuando un vehículo colisiona por su parte trasera con otro vehículo u objeto, el módulo trasero tendrá mayores daños que el delantero del vehículo.
- Colisión lateral: esta colisión afecta a las puertas y a los pilares centrales debido a las fuerzas externas, cuando se haya absorbido la mayor deformación posible el vehículo empezará a desplazarse en dirección de la fuerza.

- Colisión con vuelco: este tipo de colisión involucra mayores colisiones consecutivas se podría decir, lo cual depende de cuantas veces el vehículo pueda rodar ante la colisión y de los cuerpos con los que se produzca el impacto en el transcurso de esta, viéndose la carrocería con daños significativos.

Según (Latin NCAP, 2020), los impactos laterales son la segunda causa de lesiones graves y muertes en regiones europeas. Esto debido al poco espacio de interacción a comparación a un impacto frontal, la absorción de energía no es la suficiente, por tanto, ocasiona graves lesiones a la cabeza y el tórax. Por ejemplo, en los ensayos (crash test) realizados al vehículo “Kia Picanto / Morning + 1 Airbag” en octubre del 2020, éste no obtuvo ninguna estrella de las cinco posibles según los métodos de calificación de su programa de evaluación de vehículos nuevos, en la prueba de barrera deformable movable lateral (impacto lateral) obtuvo una calificación de 0 de 8, aunque la protección de cabeza, abdomen y pelvis es buena la protección del pecho fue pobre, motivo por el cual la calificación del impacto lateral es cero. Los resultados de los impactos laterales permiten mejorar la estructura de la carrocería en los pilares centrales, instalar airbags de impacto lateral, desarrollar estructuras con mayor capacidad para absorber energía en los paneles de las puertas.

Importancia de los materiales compuestos

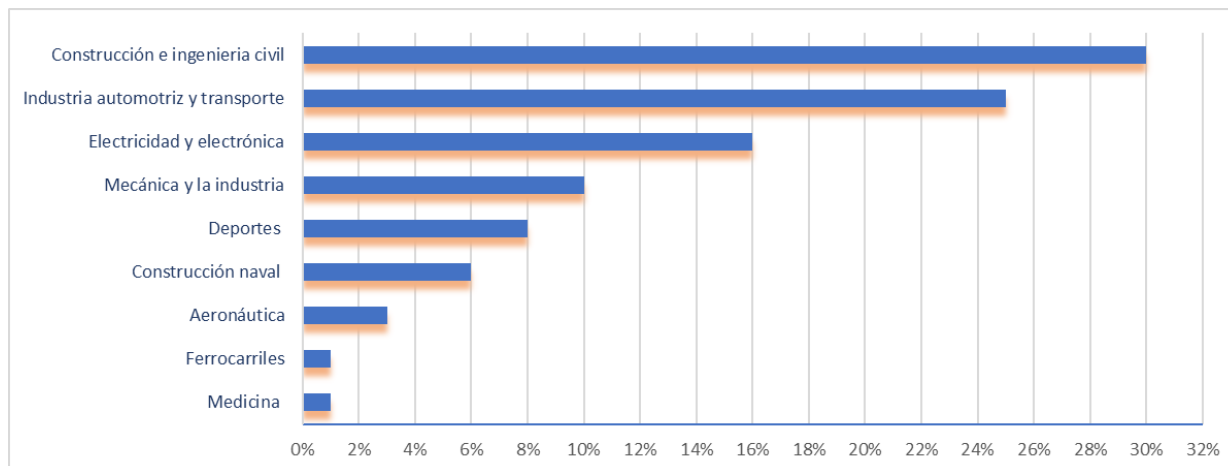
En la industria automotriz, se están buscando nuevos materiales amigables con el medio ambiente. Los materiales compuestos, que combinan diferentes materiales para obtener propiedades únicas, son una opción importante en este cambio. Estos materiales permiten diversas combinaciones para lograr eficiencia y características destacadas.

El uso de estos materiales ha crecido en diversas industrias debido a su potencial para reemplazar a los convencionales como el acero y el aluminio, gracias a su ligereza, resistencia

y mejor desempeño en ocasiones. Debido a estas características esenciales estos materiales se han empleado en la industria en general como se observa en la figura 4.

Figura 4

Sectores de mayor aplicación de los materiales compuestos



Nota. En la figura se observa los sectores de la industria que más emplean materiales compuestos. Adaptado de (Biron, 2007).

Sin embargo, la relevancia económica de la utilización de materiales compuestos está asociada con grandes empresas de mercado. La industria automotriz utiliza una gran cantidad de compuestos, los cuales se producen principalmente a través de matrices poliméricas reforzadas con fibras. Estos materiales se utilizan ampliamente en aplicaciones tanto en el interior como en el exterior de los vehículos. Los materiales compuestos metálicos se aplican en componentes mecánicos, optimizando funciones automotrices y resaltando su relevancia económica. La industria automotriz es solo una de las muchas aplicaciones potenciales de los materiales compuestos (S/N, 2019).

Propiedades mecánicas de los materiales compuestos

Un material compuesto debe tener al menos dos materiales distintos en su estructura, mezclados de forma controlada para lograr propiedades superiores o únicas. En aplicaciones como la industria automotriz, se busca reducir el peso para ahorrar combustible, lo que ha impulsado el uso de materiales compuestos de matriz polimérica. El principio de acción combinada se emplea para combinar propiedades de diversos materiales en uno solo, cumpliendo requisitos ambientales y de rendimiento (Callister, 2019).

Propiedades mecánicas en la zona de la intercara refuerzo-matriz

La configuración de la interfaz es esencial en los materiales compuestos. A nivel microscópico, afecta las propiedades del material (Zhang, Wang, 2007). La interfaz es la unión donde se da la discontinuidad. La adherencia entre matriz y refuerzo es crucial, por lo que se usan agentes para mejorarla (Larson, 2011). Para lograr propiedades mecánicas, la transferencia de carga de matriz a refuerzo es vital a través de la interfaz, que debe ser amplia y adherente. La separación en la interfaz puede ser necesaria o no según las necesidades mecánicas (Larson, 2011).

En el caso de materiales compuestos multifuncionales, la interfaz juega un rol distinto. En términos eléctricos, una interfaz deficiente puede aumentar la resistividad. Asimismo, en materiales nanoestructurados, la interfaz afecta las propiedades térmicas. Por tanto, la formación de la interfaz es crucial para aplicaciones variadas, como la creación de materiales altamente conductores para disipar calor (Chung, 2010).

Influencia que tienen las fibras en compuestos reforzados

Los compuestos reforzados con fibras suelen ser anisotrópicos, con propiedades variando según ejes o planos. Lograr isotropía en una propiedad, como el módulo de Young, requiere orientación aleatoria de las fibras. Esto es difícil con fibras discontinuas debido a la

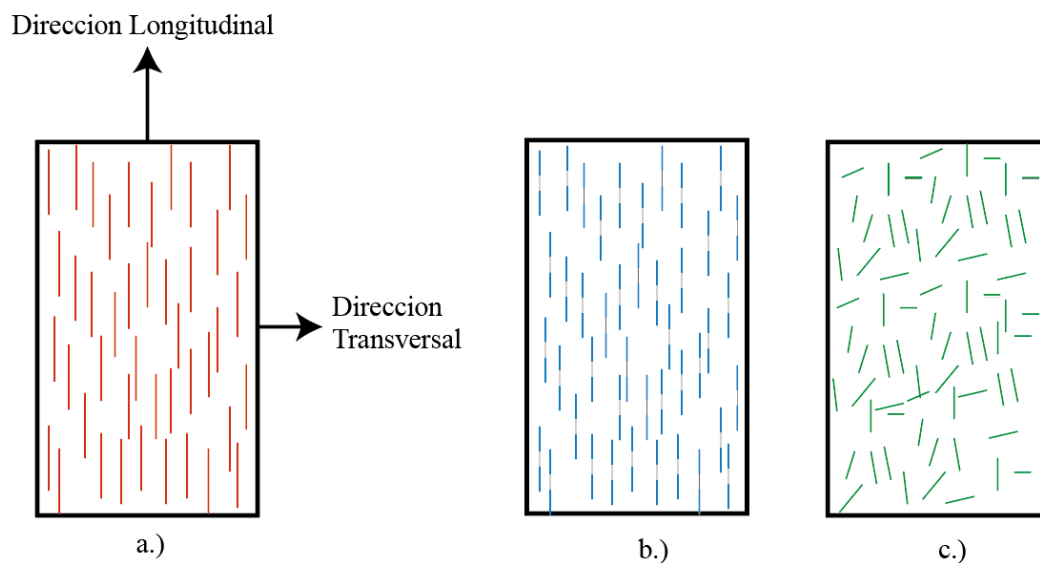
orientación impartida por métodos de fabricación. En contraste, fibras continuas, como hojas, crean anisotropía deliberada en un eje de carga específico. Así, se optimiza el refuerzo al alinear las fibras con la carga principal (Larson, 2011).

Orientación y cantidad de la fibra

La orientación, cantidad y distribución de las fibras afectan la resistencia y propiedades de materiales compuestos. En alineación de fibras, hay dos opciones clave: paralela al eje de fibras (continuas y discontinuas) o completamente aleatoria.

Figura 5

Alineaciones posibles en un material compuesto reforzado con fibras naturales



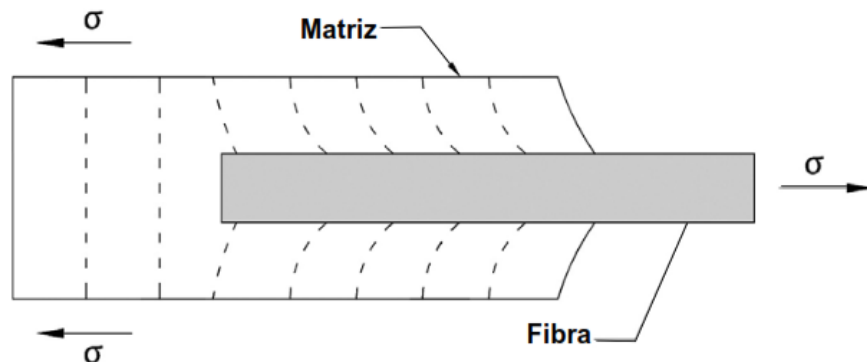
Nota. Orientación de la fibra: a.) continua y alineada b.) discontinua y alineada y c.) discontinua al azar. Adaptado de *Materials Science and Engineering: An Introduction* por Callister W. 2019. John Wiley; Sons Inc.

Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas y alineadas

Según (Callister, 2019) las propiedades del material compuesto no solo dependen de la fibra, sino de la transferencia de carga de matriz a fibra. La unión entre ambas es crucial, ya que la carga se transmite por corte. La deformación de la matriz excede a la de las fibras adyacentes. Con una unión perfecta, la diferencia de deformación genera un esfuerzo de corte. En la figura 6 se ilustra la deformación por la transferencia de carga.

Figura 6

Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión



Nota. Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión. Tomado de *Materials Science and Engineering: An Introduction* por Callister W. 2019. John Wiley; Sons Inc.

En la gráfica anterior, se nota el impacto del extremo de la fibra en la matriz, marcando el fin de su unión. Ignorando interacciones con vecinas, un análisis sencillo revela la distribución de esfuerzos. Se identifica una longitud efectiva mínima para la transmisión de carga y esfuerzos, dependiente del diámetro y resistencia de la fibra, así como el esfuerzo de corte matriz-fibra (Callister, 2019).

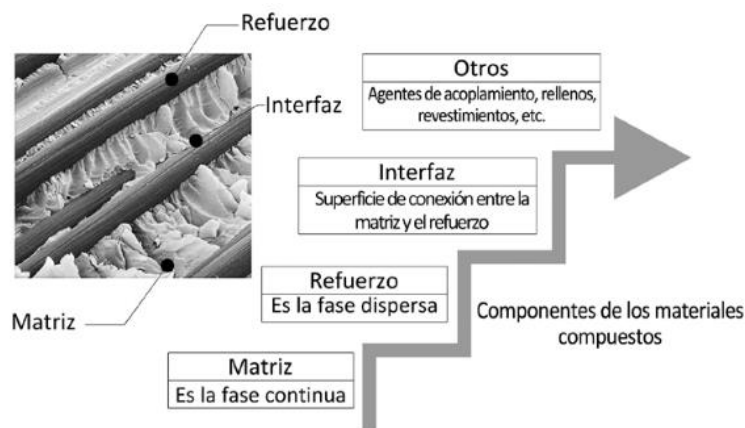
Componentes de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se diseñan para lograr propiedades específicas mediante selección de proporciones, componentes, morfología, distribución, cristalinidad, composición de interfaz y estructura. Esto satisface diversas demandas tecnológicas en industrias como automotriz, electrónica y construcción, convirtiéndolos en esenciales en ingeniería (Chung, 2017).

Un material compuesto tiene "matriz" y "refuerzo", conectados por "interfaz". Se pueden añadir agentes, rellenos y recubrimientos para mejorar la interfaz y optimizar propiedades, sin afectarlas negativamente.

Figura 7

Componentes de los materiales compuestos



Nota. Componentes que conforman un material compuesto. Tomado de *Materials Science and Engineering: An Introduction* por Callister W. 2019. John Wiley; Sons Inc.

Matriz y refuerzos

En un material compuesto, la matriz tiene funciones clave, como unir refuerzos, transferir cargas, proteger de la abrasión y del entorno, y prevenir el pandeo de las fibras en

compresión. La matriz y el refuerzo son esenciales en los materiales compuestos, influenciando propiedades mecánicas, eléctricas, químicas y físicas. La matriz afecta la resistencia, ductilidad y modo de falla, mientras que el refuerzo mejora la matriz y aporta características específicas, como conductividad y estabilidad térmica, influyendo en propiedades finales del compuesto.

Tipos de matriz

En este contexto, hay tres tipos de matrices: metálicas, cerámicas y poliméricas. El enfoque del estudio es en matrices poliméricas debido a su pertinencia. Las matrices poliméricas son populares por su bajo peso, propiedades a temperatura ambiente y facilidad de conformado. Pueden reforzarse con fibras naturales o sintéticas. Entre ellas están las matrices termoplásticas, que se vuelven líquidas al calentarse, permitiendo reciclaje. Ejemplos son polietileno, polipropileno y ácido poliláctico (Sakeland, 2018).

Por otro lado, las matrices termoestables tienen enlaces entrecruzados, formando una red tridimensional. Se polimerizan irreversiblemente, lo que dificulta el reciclaje. No se funden, sino que se degradan al calentar. Ejemplos: resina poliéster, epoxy y fenólicos. Las matrices elastoméricas son elásticas y estirables, con menor rigidez que las termoestables. Tienen menos enlaces reticulados, como el caucho natural (Sakeland, 2018).

Tipos de refuerzo

Partículas:

Las partículas, ya sean grandes o dispersas, refuerzan materiales. Las interacciones partícula-matriz no se abordan a nivel atómico. Las partículas son más duras que la matriz, restringen su movimiento y transfieren carga. El refuerzo depende de la adhesión. Partículas no son eficientes en propiedades mecánicas, se usan para mejorar otras o agregar funciones multifuncionales (Sakeland, 2018).

Fibras:

Los compuestos más relevantes incorporan fibras para mejorar resistencia y rigidez. Las fibras, como whiskers, fibras y alambres, transfieren carga desde la matriz, con resistencias variadas. Fibras pueden ser policristalinas o amorfas, con diversos diámetros y materiales como polímeros, cerámicos y naturales. Ofrecen beneficios como costos reducidos y menor impacto ambiental (Sakeland, 2018).

Elementos Estructurales:

Las propiedades dependen de los materiales y la geometría. Dos tipos comunes son los compuestos laminares y los paneles tipo sándwich. En un compuesto laminar, láminas apiladas tienen fibras alineadas en diferentes direcciones (Sakeland, 2018).

Proceso de fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales

La selección del proceso de fabricación de materiales compuestos está vinculada a los requisitos, la aplicación y el costo de fabricación del producto final deseado, entre otros factores. Los procesos más comunes incluyen la estratificación manual, el moldeo por aspersion, la extrusión, la inyección, el moldeo por compresión, la pultrusión, la estratificación de preimpregnados y el moldeo por transferencia de resina. Cada uno de estos procesos se caracteriza por parámetros como el tipo de matriz, el tipo y la geometría del refuerzo, y las aplicaciones, etc. (Guerrero et al, 2011).

Tabla 1

Procesos de fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales

Proceso de fabricación	Matriz	Refuerzo
Estratificación manual	Resinas termoestables: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas.	Fibra corta, fibra continua, tejido o material (no tejido).
Estratificación de preimpregnados	Resina epóxica (más común).	Fibra de vidrio, carbono, aramidas.
Moldeo por aspersión	Resina poliéster (más utilizado).	Fibra de vidrio en forma de hilo continuo, fibra de carbono y kevlar.
Moldeo por compresión	Resinas termoestables.	Termoplástico reforzados con fibras unidireccionales.
Extrusión	Depende de la fibra obtenida	Fibra corta o en polvo (alimentación de la fibra).
Inyección	Resinas termoplásticas: propileno, polietileno, nylon, PET, etc.	Fibra de vidrio (más usada) y en menor cantidad las fibras de carbono y kevlar
Moldeo por transferencia de resina (rtm)	Resinas termoestables: poliéster, vinil-éster, uretanos, epóxicas, fenólicas, siliconas, acrílicos.	Fibras carbono, kevlar y fibra de vidrio tipo E.
Moldeo por pultrusión	Termoestables: poliéster, viniléster; termoplásticas: nylon, polipropileno, poliuretano.	Fibra de vidrio, carbono, aramida.

Nota. Resumen de los procesos de fabricación de materiales compuesto. Adaptado de Nuevos materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales, por Guerrero et al. 2011.

Estratificación Manual

La matriz de poliéster es ampliamente utilizada debido a su bajo costo. Su contenido de estireno monómero oscila entre el 30% y el 50%. Como iniciador de la reacción térmica, se emplea el octoato de cobalto, y como catalizador, se utiliza el peróxido de metiletilcetona (MEKP). En cuanto al material de refuerzo, este puede ser de fibra corta o continua, tejido o no tejido (MAT), se incorpora en el composite (material compuesto) en un máximo del 40% de volumen (Guerrero et al, 2011).

Un requerimiento para la fabricación de un material compuesto es un molde o superficie donde se van a depositar la matriz y refuerzo. A continuación, se detalla el proceso de estratificación manual:

1. Sobre el molde o superficie a trabajar dependiendo el caso, se deposita un agente desmoldante para una vez finalizado el proceso se retire con facilidad el producto final.
2. A continuación, se aplica gelcoat (brocha, pistolas de pulverización, rodillo) sobre la superficie, (el gelcoat se utiliza para corregir el acabado superficial o como pintura base).
3. Cuando el gelcoat ha curado parcialmente, se aplican tantas capas de material de refuerzo hasta conseguir el espesor deseado, teniendo que aplicar la matriz entre cada capa con una herramienta que permita su esparcimiento uniforme sobre la superficie eliminando el aire atrapado en el laminado.
4. Se deja curar (secar) la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de curado depende de la mezcla de la matriz. Por último, se retira la pieza del molde.

Las principales ventajas de la estratificación manual son: facilidad de fabricación, permite fabricar varias piezas de diversas formas y tamaño, coste de fabricación bajo. Por otro

lado, el arduo y laborioso trabajo manual, dificultad de controlar el espesor y el acabado superficial son algunas desventajas de este proceso.

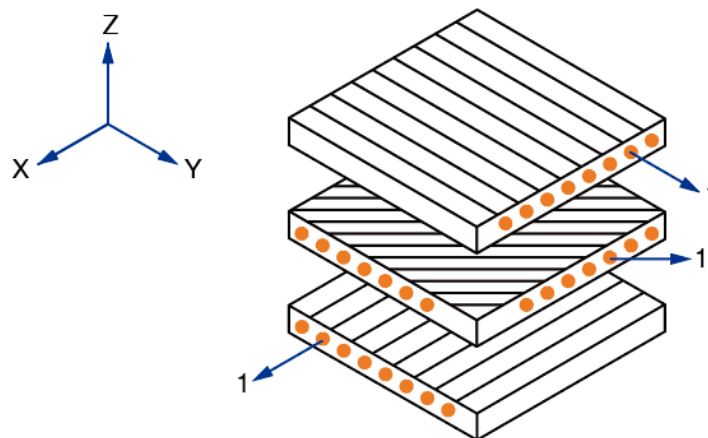
Orientación de las fibras

Tipos de laminados

La orientación de las fibras se refiere a cómo están dispuestas en una lámina (capas) de espesor muy pequeño, y desempeña un papel crucial en las ventajas mecánicas que se obtienen de los materiales compuestos. Cada lámina puede ser de un material con fibras cortas, fibras largas o tejido 2D. Cuando se forman laminados mediante la repetición de láminas con diferentes orientaciones, se denominan sublaminados. Por ejemplo, un sublaminado podría tener las siguientes orientaciones: $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$. (Barbero et al, 2011)

Figura 8

Láminas de los materiales de refuerzo para materiales compuestos



Nota. Proceso de laminado de refuerzo para materiales compuestos, para la imagen tomando como referencia el eje “Y” el sublaminado es a $0^\circ/30^\circ/60^\circ$ (sentido antihorario). Adaptado de *Curso: Mecánica de Materiales Compuestos* por Barbero, et al. 2011. OpenCourseWare.

Herramientas computacionales

El desarrollo de herramientas computacionales ha tenido un impacto significativo en la ingeniería y el modelado de productos al facilitar diversos procesos. La incorporación de paquetes CAD, CAM y CAE ha revolucionado la forma en que se diseña y verifica teóricamente, permitiendo tareas complejas y demoradas de manera más eficiente y abriendo espacio para considerar parámetros más relevantes.

El Análisis por Elementos Finitos (FEA, por sus siglas en inglés) representa un método numérico que simplifica los problemas de ingeniería del mundo real al dividir los modelos tridimensionales de las piezas en elementos más pequeños y nodos. Mediante este enfoque, se aplican fuerzas distribuidas en cada nodo con el propósito de obtener resultados aproximados del comportamiento del modelo bajo diversas cargas. Estos resultados abarcan aspectos esenciales como deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad, entre otros factores relevantes. En esta investigación, se empleará este método para analizar el material compuesto que ha sido previamente diseñado.

ANSYS Workbench, una plataforma de simulación estructural basada en el Método de Elementos Finitos, forma parte del portafolio de productos ofrecido por ANSYS, una compañía que distribuye paquetes de simulación en ingeniería. Este software permite la simulación tanto del material diseñado y su comportamiento, como el análisis de una pieza utilizando el material original con el cual fue comercializada. Esto facilita comparaciones con el material compuesto de fibra natural propuesto en este estudio.

Abaqus FEA es un conjunto de programas de software de simulación que también aplica el Método de Elementos Finitos. Proporciona la capacidad de realizar cálculos estructurales, tanto estáticos como dinámicos, lineales y no lineales, así como simulaciones de

impactos, problemas de contacto sólido, análisis térmicos, interacciones acústicas-estructurales, mecánica de fluidos, piezoelectricidad, análisis geotécnico y más.

El software Autodesk Inventor es una herramienta de diseño y modelado en 3D ampliamente utilizada en ingeniería y diseño industrial. Esta plataforma permite a los usuarios crear representaciones digitales detalladas de productos y componentes, lo que facilita el proceso de diseño, visualización y simulación de prototipos. Inventor ofrece una variedad de herramientas para diseñar piezas, ensamblajes y dibujos técnicos, lo que agiliza la creación y modificación de diseños complejos. Además, posibilita la detección de errores y la optimización del rendimiento a través de análisis de simulación y pruebas virtuales.

Capítulo III

Desarrollo

Selección de las fibras

El interés actual en el uso de fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos se origina por la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente. Además, existe un gran interés en encontrar fibras naturales que puedan sustituir adecuadamente a las fibras sintéticas, como la fibra de vidrio, o combinarlas con estas últimas para obtener materiales compuestos con mejores propiedades mecánicas (Mohanty et al, 2005).

El Ecuador produce una gran variedad de fibras naturales debido a su diversidad de climas y regiones. Un ejemplo de esto es la cabuya, una planta que crece a lo largo del pasaje interandino y es aprovechada en la industria textil, dándole usos como hilos y tejidos debido a su gran resistencia y durabilidad. La disponibilidad en el mercado local, así como la uniformidad y consistencia de los tejidos, convierten a esta fibra en un potencial refuerzo para materiales compuestos.

Otra fibra con una alta demanda internacional es el abacá, que fue introducido en Ecuador en los años 40. Se cultiva en las zonas tropicales y subtropicales de las provincias de Manabí, Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi. Esta fibra tiene un período de producción de 15 a 20 años y tarda entre 18 y 24 meses en desarrollar fibras, lo que permite cosecharla cada 2 o 3 meses. (Maldonado L, 2010).

A continuación, se presenta una tabla que muestra las propiedades físicas y mecánicas de algunas fibras naturales presentes en Ecuador. A partir de esta tabla, se seleccionarán dos fibras para el presente estudio.

Tabla 2*Propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales*

Fibra	Densidad (<i>g/cm³</i>)	Fuerza Tensil (<i>MPa</i>)	Elongación (%)	Módulo Elástico (<i>GPa</i>)
Banana	0.5-1.5	711-789	2.4-3.5	4-32.7
Cabuya	1.3	83.26	4.96	1.81
Yute	1.3 a 1.5	385-850	1.1-3.3	25-81
Sisa	1.3 a 1.5	400-700	1.4-2.1	9-55.4
Abacá	1.5	77.53	1.2-1.5	2.24
Algodón	1.6	200-800	2.1-12	5.5-15.1

Nota. Adaptado de Techniques for Modelling and Optimizing the Mechanical Properties of Natural Fiber Composites por Mulenga T., 2021.

Para llevar a cabo este estudio, se han optado por dos tipos de fibras: la Cabuya y el Abacá. Estas elecciones se fundamentan en sus características físicas y mecánicas, así como en su disponibilidad en el mercado ecuatoriano. Un factor significativo que influyó en esta selección es la disposición de las fibras, que se encuentran tejidas de forma continua en una orientación de 0 a 90 grados. Esta disposición resulta ventajosa al manipular las fibras y crear las muestras necesarias para el análisis. En la Tabla 3, se presenta la calificación de 0 a 10 para las fibras más comunes en el Ecuador, donde la fibra de cabuya alcanza una puntuación de 8.5 sobre 10 y la fibra de abacá obtiene 7.9 sobre 10, posicionándose como las de mejor rendimiento.

Tabla 3*Matriz de selección de fibras*

Factor	Peso	Cabuya		Algodón		Abacá		Banano	
		C	CP	C	CP	C	CP	C	CP
Precio mercado (m)	0.1	10	1	6	0.6	7	0.7	7	0.7
Disponibilidad mercado local	0.2	10	2	5	1.0	5	1.0	5	1.0
Fibra continua	0.15	10	1.5	7	1.05	10	1.5	7	1.05
Disposición de la fibra de 0 a 90 grados	0.15	10	1.5	3	0.45	10	1.5	3	0.45
Densidad	0.1	7	0.7	9	0.9	8	0.8	7	0.7
Fuerza Tensíl	0.1	6	0.6	4	0.4	8	0.8	7	0.7
Modulo elástico	0.2	6	1.2	5	1.0	8	1.6	4	0.8
Total	1		8.5		5.4		7.9		5.4

Nota. Puntuación cuantitativa de las fibras más comerciales en el Ecuador. C: calificación y CP: calificación ponderada.

Selección del proceso de construcción

Para el presente estudio, se optó por utilizar el método de fabricación en molde abierto, ya que proporciona un mayor control sobre la disposición de la fibra de refuerzo y permite un mayor control en el acabado final de las estructuras tubulares. A continuación, se presentarán algunos tipos de fabricación en molde abierto.

Hand lay-up

El método "*hand lay-up*" es flexible y usado en la industria aeroespacial debido a su adaptabilidad. Aunque es lento y consta de más de 50 pasos, la etapa de colocación manual es la más larga. Puede generar defectos como arrugas, burbujas y mala adherencia, por lo que se deben tomar precauciones para evitarlos (Miravete, 2003).

Una característica distintiva de este método es la estratificación manual, que implica la colocación ordenada y cuidadosa de las capas de refuerzo en el molde durante el proceso de "*hand lay-up*". El objetivo es disponer las capas en una secuencia específica para lograr el rendimiento mecánico deseado en el material compuesto final.

Procesado en autoclave

El proceso de autoclave consolida y cura componentes de materiales compuestos poliméricos al controlar la temperatura y presión. Las variables clave son temperatura y presión, adaptadas según el tipo de material: termoestables requieren alta temperatura (175-600 °C), termoplásticos no necesitan reacción química. La flexibilidad del autoclave permite procesar diversas familias de materiales, siempre que sus ciclos de curado estén dentro de los límites de temperatura y presión (Miravete, 2003).

Filament Winding

El bobinado o "*filament winding*" enrolla refuerzos continuos sobre un mandril giratorio. Velocidades varían según la fibra (90-100 m/min vidrio, 15-30 m/min carbono/aramida). Hasta 75% de volumen de fibra es posible, controlando resina. La pieza debe ser de revolución, sin curvas entrantes y extraíble. Tres modelos: helicoidal (rotación y traslación), circunferencial (90°) y polar/plano (mandril mueve rotación y traslación) (Miravete, 2003).

Se decidió seleccionar el método de fabricación "*hand lay-up*" después de considerar diversas opciones de molde abierto. Esta elección se basa en su característica de estratificación manual, lo cual brinda un mayor control sobre la disposición de la fibra de refuerzo y, al mismo tiempo, permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas de cada muestra. Como se puede apreciar en la Tabla 4, en la que se cuantifica cada proceso de molde abierto, el proceso de estratificación manual obtiene una puntuación de 8.20 sobre 10, lo que lo posiciona como la opción preferida frente a otras alternativas.

Tabla 4

Matriz de selección del proceso de construcción

Factor	Peso	Hand lay-up		Procesado en autoclave		Filament Winding	
		C	CP	C	CP	C	CP
Complejidad de implementación	0.2	9	1.8	7	1.4	5	1
Tiempo de fabricación	0.25	8	2	9	2.25	9	2.25
Facilidad de desmoldeo del producto	0.2	8	1.6	7	1.4	9	1.8
Proceso operativo	0.1	9	0.9	9	0.9	9	0.9
Eficiencia de la resina	0.1	8	0.8	9	0.9	8	0.8
Control de resina entre capas de refuerzo	0.05	8	0.4	8	0.4	6	0.3
Uniformidad de la superficie	0.1	7	0.7	9	0.9	9	0.9
Total	1		8.20		8.15		7.95

Nota. Puntuación cuantitativa de tipos de fabricación a molde abierto. *Hand lay-up* o estratificación manual. C: calificación y CP: calificación ponderada.

Selección de la matriz

Los compuestos pueden clasificarse según el tipo de matriz que poseen, de esta manera se pueden encontrar compuestos de matriz metálica, cerámica y compuestos de matriz polimérica. La elección de la matriz dependerá de la aplicación a la que se destine el material compuesto (Chung, 2017).

Una matriz metálica, en el contexto de materiales compuestos, es un tipo de material en el cual el refuerzo está compuesto por fibras, partículas o láminas de materiales metálicos, mientras que la matriz consiste en un material metálico que envuelve y une las fibras o partículas de refuerzo.

Una matriz cerámica, en el contexto de materiales compuestos, consiste en un tipo de material en el cual el refuerzo está compuesto por fibras, partículas o láminas de materiales cerámicos. Esta matriz cerámica rodea y mantiene unidas las fibras o partículas de refuerzo.

Una matriz polimérica, dentro del ámbito de los materiales compuestos, es un tipo de material compuesto en el cual el refuerzo está compuesto por fibras, partículas o láminas de materiales no metálicos, como polímeros o plásticos. La matriz es un material polimérico que rodea y mantiene unidas las fibras o partículas de refuerzo.

Para este estudio, se utilizarán fibras naturales no metálicas como refuerzo, las cuales podrían considerarse como polímeros. Por lo tanto, se ha seleccionado una matriz polimérica. En general, la mayoría de los compuestos poliméricos tradicionales emplean matrices termoestables. Estas matrices termoestables consisten en líquidos viscosos que, debido a una reacción de endurecimiento, forman una extensa red molecular que da forma a un sólido que no puede ser reprocesado (Derek, 2010). En la Tabla 3, se identifican las resinas termoestables más utilizadas en la actualidad.

Tabla 5

Tipos de resina sintética termoestable

Nombre comercial	Descripción
Poliéster	Polímero termoestable, obtenida por polimerización del estireno y otros químicos.
Poliuretánica	Obtenida mediante condensación de bases hidroxílicas + isocianatos
Epóxica o oliepóxica	Termoestable, usada para acabados y adhesivos
Acrílica	Se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo
Viniléster	Resina termoplástica derivada de la destilación del petróleo
Vinílica	Reacción de decopolímeros como cloruro de vinilo y acetato

Nota. Tipos de resinas más utilizadas y de mayor demanda. Adaptado de Portal de Arquitectura. 2017 por Arqhys Decoración.

Las resinas epóxicas son polímeros termoestables que endurecen al mezclarse con su catalizador. Contienen grupos cíclicos con éteres u óxidos alqueno y oxígeno en anillos oxirano. Los componentes reactivos para estos éteres son grupos amino, oxhidrilo y carboxilo. La fórmula de estas resinas puede variar según el fabricante y su uso (TDLP, 2018).

Tabla 6

Ficha técnica resina epóxica marca DURA QUARZ (CAST-11)

Parámetro	Especificación
Apariencia	Transparente
Relación de mezcla	1 : 1 AL PESO; 1 parte A + 1 parte B
Vida de la mezcla	30 – 35 minutos @ 25 °C
Tiempo de secado	12 horas @ 25 °C
Tiempo de secado al tacto	4 horas @ 25 °C
Tiempo de curado	48 horas @ 25 °C
Espesor máximo	2 centímetros
Dureza - Hardness	84 Shore D
Viscosidad mezcla	2000 – 3000 cp @ 25 °C

Nota. Especificaciones técnicas de la resina epóxica distribuida por PINTULAC SA. Adaptado de Ficha Técnica del producto “resina epóxi”. 2016 por PINTULAC.

La resina de poliéster, al igual que las resinas epoxi, se utiliza principalmente en aplicaciones industriales debido a las ventajas de sus diversas propiedades, como su capacidad aislante e impermeable. Es un componente fundamental en la fabricación de materiales compuestos o laminados para proporcionar ligereza, resistencia y otras ventajas adicionales.

Tabla 7

Ficha técnica de la resina poliéster FT POL® 33000

Propiedad	Unidad	Valor MIN	Valor MAX
Viscosidad Brookfield	cP @ 25 °C	1500	2500
Sólidos	% nvm	68	72
Tiempo de gel	min @ 25 °C	7	10
Tiempo de máxima exotermia	min @ 25 °C	15	25
Temperatura de máxima exotermia	°C	130	150
Estabilidad	meses	-	6

Nota. Apariencia de la resina verdosa transparente (Véase en Anexo 4). Adaptado de Ficha Técnica del producto “resina poliéster”. 2015 por PINTULAC.

Tal como se puede observar en tanto la tabla 6 como en la tabla 7, las especificaciones de cada resina termoestable resultan bastante favorables. No obstante, el factor crítico para determinar la elección de la matriz reside en el tiempo de secado al tacto. Dado que se está empleando el método de estratificación manual y no se debe permitir una espera prolongada para que ocurra la gelificación o el secado al tacto, la resina epoxi se descarta como opción. En el contexto de este estudio, la alternativa óptima radica en la utilización de la resina de poliéster, ya que su tiempo de secado al tacto no excede los 25 minutos. Además, en la Tabla 8 se presenta la matriz de selección donde se han ponderado las características de ambas resinas en una escala de 0 a 10 puntos, revelando que la resina de poliéster alcanza una puntuación de 9 sobre 10. En virtud de esta evaluación, la resina de poliéster surge como la elección más adecuada para este estudio.

Tabla 8*Matriz de selección del tipo de resina*

Factor	Peso	Resina Poliéster		Resina Epóxica	
		C	CP	C	CP
Precio mercado local (kg)	0,15	10	1,5	6	0,9
Tiempo de secado (25 °C)	0,25	9	2,25	5	1,25
Tiempo de curado (25 °C)	0,1	9	0,9	8	0,8
Variación de viscosidad	0,2	9	1,8	6	1,2
Espesor máximo de resina	0,1	10	1	10	1
Disponibilidad mercado local	0,05	10	0,5	10	0,5
Propiedades mecánicas	0,15	7	1,05	10	1,5
Total	1		9,00		7,15

Nota. Puntuación cuantitativa de tipos de resinas termoestables. C: calificación y CP:

calificación ponderada.

Selección de la geometría de las estructuras tubulares

Perfil circular redondo

Las características especiales de un perfil circular redondo incluyen:

Simetría: Un perfil circular redondo es simétrico en todas las direcciones, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren una distribución uniforme de carga o fuerza.

Distribución uniforme del esfuerzo: Debido a su simetría, un perfil circular redondo distribuye uniformemente las tensiones y esfuerzos a lo largo de su sección transversal, lo que puede aumentar la resistencia y la durabilidad en ciertas aplicaciones.

Rigidez torsional: Los perfiles circulares redondos son inherentemente rígidos en términos de torsión, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se necesita resistencia a la torsión, como ejes y columnas.

Facilidad de fabricación: La forma circular redonda es relativamente fácil de fabricar y procesar, lo que puede simplificar la producción y reducir los costos de fabricación.

Menos propenso a concentradores de tensiones: La forma circular redonda tiende a tener menos concentradores de tensiones en comparación con otras formas geométricas, lo que puede contribuir a una mayor resistencia y durabilidad en ciertos contextos.

Versatilidad: Los perfiles circulares redondos son versátiles y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde estructuras de soporte hasta componentes mecánicos, tuberías y más.

Eficiencia en aplicaciones sometidas a presión: La forma circular redonda es eficiente en aplicaciones donde se requiere resistencia a la presión interna o externa, como en tanques, recipientes a presión y sistemas de tuberías.

En resumen, las características especiales de un perfil circular redondo incluyen su simetría, distribución uniforme del esfuerzo, rigidez torsional, facilidad de fabricación y su versatilidad para diversas aplicaciones.

Perfil rectangular

Las características especiales de un perfil rectangular incluyen:

Facilidad de montaje: Debido a sus lados rectos y ángulos de 90 grados, los perfiles rectangulares son relativamente fáciles de unir y montar en estructuras y sistemas.

Versatilidad en aplicaciones: Los perfiles rectangulares son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones, desde la construcción hasta la fabricación de maquinaria y componentes mecánicos.

Distribución de carga: Los perfiles rectangulares pueden distribuir eficientemente la carga a lo largo de sus lados, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones donde se necesita una distribución uniforme de fuerza.

Rigidez en un plano: Los perfiles rectangulares son intrínsecamente rígidos en su plano, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde la resistencia a la flexión es crucial.

Capacidad de apilamiento: La forma plana de los perfiles rectangulares permite un fácil apilamiento y almacenamiento, lo que puede ser ventajoso en situaciones de logística y transporte.

Eficiencia en uso de material: Los perfiles rectangulares pueden aprovechar eficientemente el material utilizado, ya que pueden cortarse de manera eficaz a partir de láminas y placas.

Estética y diseño: Los perfiles rectangulares pueden contribuir a un diseño visualmente agradable y ordenado en muchas aplicaciones arquitectónicas y de diseño.

Modificación y adaptación: La geometría rectangular permite la incorporación de aberturas, recortes y modificaciones en los perfiles para satisfacer necesidades específicas.

Conexiones y uniones: Los perfiles rectangulares son compatibles con una variedad de sistemas de conexión y unión, lo que facilita su integración en diferentes estructuras y sistemas.

En resumen, los perfiles rectangulares son conocidos por su facilidad de montaje, versatilidad en aplicaciones, distribución de carga eficiente, rigidez en un plano y capacidad de apilamiento. Estas características los hacen adecuados para una amplia gama de usos en diversas industrias y aplicaciones.

Perfiles en C

Las características especiales de un perfil en C incluyen:

Forma versátil: La forma en C proporciona una combinación única de rigidez y flexibilidad, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones donde se requiere soporte y adaptabilidad.

Facilidad de montaje: La geometría en forma de C facilita el montaje y la unión en estructuras y sistemas, lo que puede agilizar los procesos de construcción.

Distribución de carga: Los perfiles en C pueden distribuir eficientemente la carga a lo largo de su sección, lo que puede contribuir a una resistencia uniforme y una mayor durabilidad.

Ahorro de material: La forma en C puede ser más eficiente en términos de uso de material en comparación con otras formas más complejas.

Flexibilidad y adaptabilidad: Los perfiles en C son adecuados para aplicaciones donde se necesita cierta flexibilidad y adaptabilidad, como en estructuras que requieren ajustes o cambios con el tiempo.

Resistencia a la torsión: La forma en C puede proporcionar una buena resistencia a la torsión, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere estabilidad y control de torsión.

Compatibilidad con conexiones: Los perfiles en C son compatibles con una variedad de sistemas de conexión y unión, lo que facilita su integración en diferentes estructuras y sistemas.

Uso en sistemas de soporte y estanterías: Los perfiles en C son comúnmente utilizados en sistemas de soporte, estanterías y otras aplicaciones donde se requiere resistencia y capacidad de carga.

En resumen, los perfiles en C ofrecen una combinación única de forma versátil, facilidad de montaje, distribución de carga eficiente y adaptabilidad. Estas características los hacen adecuados para una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias.

En la tabla 9, se puede apreciar la evaluación de diferentes tipos de perfiles considerados para la confección de las estructuras tubulares, usando una escala de puntuación de 0 a 10. La elección más adecuada para la fabricación resulta ser el perfil circular redondo, que ha obtenido una calificación de 8.95 sobre 10. Esto se debe a su capacidad para distribuir eficientemente los esfuerzos y a la facilidad con que puede ser fabricado, especialmente teniendo en cuenta que se empleará la técnica de estratificación manual.

Tabla 9

Matriz de selección de la geometría de la estructura tubular

Factor	Peso	Perfil circular		Perfil rectangular		Perfil en C	
		C	CP	C	CP	C	CP
Distribución uniforme del esfuerzo	0.2	10	2	6	1.2	7	1.4
Rigidez torsional	0.2	10	2	5	1.0	5	1.0
Flexibilidad y adaptabilidad	0.15	10	1.5	7	1.05	8	1.2
Facilidad de fabricación	0.15	10	1.5	5	0.75	6	0.90
Facilidad de montaje	0.15	7	1.05	9	1.35	8	1.2
Conexiones y uniones	0.1	6	0.6	7	0.7	6	0.6
Peso	0.05	6	0.3	5	0.25	8	0.45
Total	1		8.95		6.3		6.75

Nota. Puntuación cuantitativa de tipos de perfiles. C: calificación y CP: calificación ponderada.

Selección de las dimensiones de las estructuras tubulares

La medida de largo y espesor de una barrera de impacto en la puerta de un vehículo comercial puede variar según el diseño y los estándares de seguridad específicos del fabricante y el modelo del vehículo. Sin embargo, en términos generales, se puede tener los siguientes datos:

Largo: La longitud de una barrera de impacto en la puerta de un vehículo comercial puede suele estar en el rango de aproximadamente 600 mm a 1000 mm. Esta medida dependerá del diseño y la ubicación de la barrera en la puerta (Huang, 2017).

Espesor: El espesor de una barrera de impacto en la puerta de un vehículo suele estar en el rango de aproximadamente 1 mm a 3 mm. Este espesor puede incluir capas de materiales absorbentes de energía y otros componentes diseñados para absorber impactos (Huang, 2017).

Es importante señalar que estos valores son aproximados y pueden variar según el vehículo y el fabricante. Para obtener medidas precisas de la barrera de impacto en la puerta de un vehículo específico, se recomienda consultar las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del vehículo o las agencias de seguridad automotriz correspondientes (Huang, 2017).

En la tabla 10, se presentan los valores de las dimensiones que se prevén lograr al finalizar la construcción de las estructuras tubulares. Es importante señalar que la fibra de abacá tiene el doble de espesor refiriéndonos a la fibra, en comparación con la fibra de cabuya. Debido a esto, se tomó la decisión de reducir el número de capas para establecer un punto de referencia para la comparación entre estas dos fibras de refuerzo. En línea con lo anteriormente mencionado.

Tabla 10

Dimensiones de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya y abacá

Estructuras tubulares	Fibra de cabuya			Fibra de abacá	
	2 capas	3 capas	4 capas	1 capa	2 capas
Espesor (mm)	3.0	4.5	6.0	3.0	4.5
Diámetro exterior (mm)	31.40	34.40	37.40	31.40	34.40

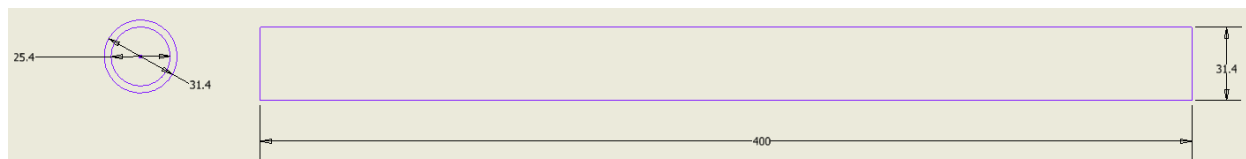
Nota. El diámetro interno de todas las estructuras tubulares es de 25,4 mm correspondiente al tubo matriz y de igual forma la longitud es de 400^{-5.0} mm para todas las probetas.

Diseño CAD de las estructuras tubulares

Para tener una idea de cómo va ser el producto final de las estructuras tubulares se optó por el diseño en el programa INVENTOR con licencia estudiantil que otorga la Universidad de las Fuerzas Armadas, donde se modeló la estructura tubular con las dimensiones que se escogieron en el apartado anterior, teniendo como resultado los siguientes planos de las estructuras tubulares con refuerzo de cabuya:

Figura 9

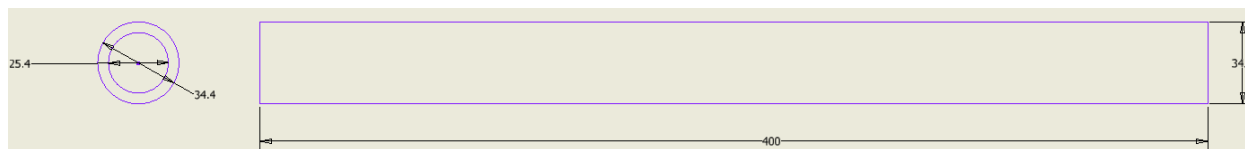
Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya con dos capas



Nota. Las medidas mostradas en la figura están en milímetros (mm), (Véase en Anexo 1).

Figura 10

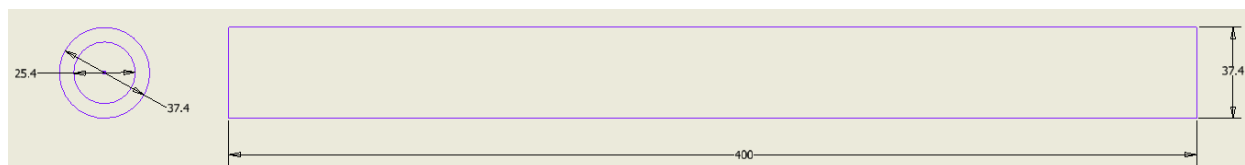
Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya con tres capas



Nota. Las medidas mostradas en la figura están en milímetros (mm), (Véase en Anexo 2).

Figura 11

Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya con cuatro capas

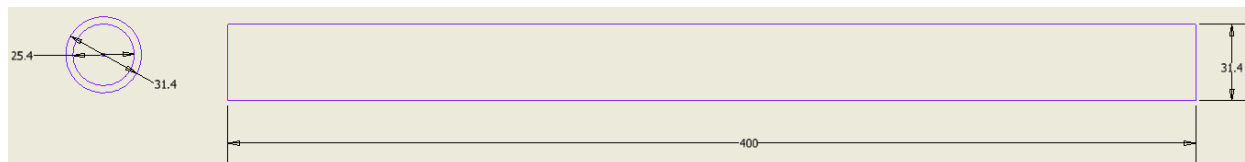


Nota. Las medidas mostradas en la figura están en milímetros (mm), (Véase en Anexo 3).

A continuación, se presenta el modelado en 2D de las estructuras tubulares con refuerzo de abacá, donde se ha seleccionado solo las estructuras tubulares de una y dos capas como se expresó anteriormente:

Figura 12

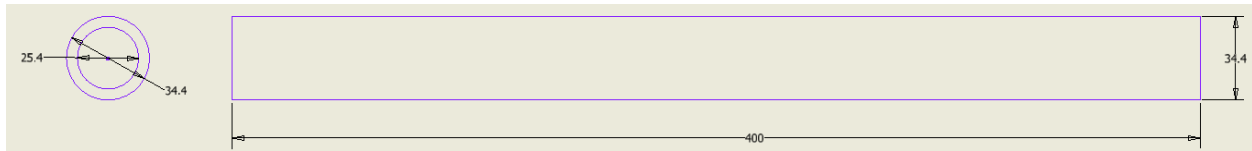
Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá con una capa



Nota. Las medidas mostradas en la figura están en milímetros (mm).

Figura 13

Plano de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá con dos capas



Nota. Las medidas mostradas en la figura están en milímetros (mm).

Proceso de construcción y fabricación de las estructuras tubulares

Construcción de un prototipo de útil para la realización de las estructuras tubulares.

La realización del prototipo de útil para la fabricación de las estructuras tubulares, está orientado a la utilidad para efectuar dicho procedimiento, no sustenta su creación en el diseño como tal, es decir se excluyen cálculos respectivos para su creación, las siguientes son consideraciones para su realización:

- Material: acero A-36 (tubos).
- Elementos de sujeción: fijos y móviles.
- Funcionalidad.

Figura 14

Útil para la realización de las estructuras tubulares



Nota. Visualización del prototipo utilizado para la fabricación de las estructuras tubulares.

Proceso de fabricación de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya

La elaboración de las estructuras tubulares de cabuya involucra un proceso que tiene varios procedimientos, tal como se detalla a continuación:

1. Cálculo y dimensionamiento de la geometría de la fibra de cabuya en función a sus características constitutivas, tanto para dos, tres y cuatro capas.
 - a. Para determinar la geometría de la fibra se parte de los siguientes parámetros: diámetro exterior (D) y longitud (L) de las estructuras tubulares, este último siendo un parámetro sin variación con un valor de 400 mm, pero se optó por usar una tolerancia de 10 mm, de modo que el valor de la longitud de construcción de las estructuras tubulares será de 410 mm.
 - b. La fibra se tiene que amoldar a un tubo matriz redondo de 25,6 mm de diámetro exterior, por tal razón la geometría de la fibra es evidentemente un rectángulo cuyo largo es de 410 mm y el ancho (A) es la variante a determinar.
 - c. El ancho de la fibra de cabuya para la primera capa se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{C1} = \pi D_{tm} + 2e_t \quad (1)$$

Donde A_{C1} es el ancho de la primera capa, e_t es el espesor de la fibra de cabuya con un valor de 1 mm y D_{tm} es el diámetro exterior del tubo matriz.

Resolviendo la ecuación (1), se tiene;

$$A_{C1} = \pi(25.6 \text{ mm}) + 2(1 \text{ mm})$$

$$A_{C1} = 82.42 \text{ mm}$$

- d. Para determinar el ancho de las capas 2, 3 y 4 de la fibra de cabuya se asume agregar un espesor de resina (e_r) de 1,5 mm por cada capa de fibra

agregada para obtener los diámetros exteriores esperados como se indicó en la tabla 10. De esta manera el ancho de la fibra de cabuya para las capas 2, 3 y 4 se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{C(n)} = \pi D_{C(n-1)} + 2e_t \quad (2)$$

Donde D_C es el diámetro exterior considerando e_r para cada capa y el subíndice n indica a que capa de la fibra de cabuya hace referencia.

Reemplazando datos en la ecuación (2) para las capas de dos, tres y cuatro, se tiene;

$$A_{C2} = \pi[25.6 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm})] + 2(1 \text{ mm})$$

$$A_{C2} = 91,85 \text{ mm}$$

$$A_{C3} = \pi[28.6 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm})] + 2(1 \text{ mm}) = 101,27 \text{ mm}$$

$$A_{C3} = 101,27 \text{ mm}$$

$$A_{C4} = \pi[31.6 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm})] + 2(1 \text{ mm}) = 110,70 \text{ mm}$$

$$A_{C4} = 110,70 \text{ mm}$$

Tabla 11

Dimensiones de las capas de la fibra de cabuya para la fabricación de las estructuras tubulares

Capas	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área (m^2)
1	83	410	0.034
2	92	410	0.038
3	102	410	0.042
4	111	410	0.046

Nota. Para el ancho los resultados se aproximaron por exceso sin decimales.

2. Adquisición de la materia prima.

3. Cortado de las capas de fibra de cabuya que constituirán las estructuras tubulares en base al aparatado anterior.

Figura 15

Corte de la fibra de cabuya.



Nota. Tamaño del ancho de la fibra de cabuya de una, dos, tres y cuatro capas (C) respectivamente.

4. Cálculo de la cantidad de reactivos (resina, MECK, cobalto y estireno) necesarios para fabricar las estructuras tubulares.
 - a. En primer lugar, se calcula la densidad de la resina (ρ_r) pre acelerada, para esto se basa en la siguiente ecuación:

$$\rho_r = \frac{m_r}{v_r} \quad (3)$$

Donde m_r es la masa de la resina y v_r es el volumen de la resina pre acelerada, estos valores se consiguieron de manera práctica, utilizando una jeringuilla de 100 ml y una balanza, donde para 100 ml de resina sin acelerar

se obtuvo una masa de 112 gramos, reemplazando estos datos en la ecuación (3), se tiene:

$$\rho_r = \frac{112 \text{ g}}{100 \text{ ml}}$$

$$\rho_r = 1.2 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

- b. A continuación, se calcula la masa de la resina pre acelerada necesaria para el volumen de la estructura tubular de dos capas:

Para este cálculo hay que tomar en cuenta que el espesor final esperado para esta estructura tubular es de 3 mm, consta de dos capas, el diámetro exterior esperado es de 31.4 mm, el diámetro interior esperado es de 25.4 mm y la longitud de la estructura tubular es de 410 mm. Donde se tiene la siguiente ecuación:

$$\rho_r = \frac{m_r}{v_p} \quad (4)$$

Donde v_p es el volumen total de la estructura tubular que se calcula mediante el producto de la longitud y la resta de las áreas de los diámetros, además se debe despejar la masa de la resina, entonces reescribiendo la ecuación (4) se tiene que:

$$m_r = \rho_r \cdot \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot L \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación (5) se tiene

$$m_r = 1.12 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (31.4^2 - 25.4^2) \cdot 410 (\text{mm})^3$$

$$m_r = 1.12 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot 109\,742.115 \text{ mm}^3 \cdot \frac{1 \text{ ml}}{1000 \text{ mm}^3}$$

$$m_r = 122.911 \text{ g}$$

Hay que tener en cuenta que como son dos capas las que se va a desarrollar el resultado antes obtenido debe ser dividirlo para dos, entonces se tiene una masa de resina por capa de:

$$m_r = \frac{122.911}{2} g$$

$$m_r = 61.456 g$$

$$m_r \approx 62 g$$

Para este trabajo se identificó que la resina pre acelerada consta de poca densidad lo que causa que se desprenda de la fibra y se desperdicie, esta resina solo se utilizó para capas internas, para las capas finales se optó por adquirir una resina sin acelerar que consta de mayor densidad, para poder obtener un acabado final de mejor calidad, en la tabla 12 se presenta la mezcla de componentes que resulto útil para este trabajo de investigación:

Tabla 12

Mezcla de componentes para la capa de acabado de las estructuras tubulares.

Componentes	Cantidad
Resina	1000 gramos
Estireno monómero	450 gramos
Cobalto al 12%	0.25% de toda la mezcla

Nota. En la tabla se indica la cantidad de componentes que se utilizó para los acabados de las estructuras tubulares, la cantidad de MECK varia en función de la temperatura y a las partes en peso a de la resina a preparar.

5. Encerado del tubo matriz y topes laterales limitadores.
 - a. Se pasa una primera capa de cera desmoldante y se limpia con una franela hasta que el tubo matriz obtenga cierto brillo.

Este procedimiento es semejante al pulido de autopartes.

- b. Se repite el literal a. de este inciso dos veces más.

Figura 16

Encerado de la estructura tubular matriz



Nota. Encerado del tubo matriz y los topes transversales reguladores de espesor final de la estructura tubular.

6. Procedimiento de estratificación manual para la fabricación de las estructuras tubulares:
 - a. Se coloca la primera capa de fibra de cabuya en el tubo matriz.

Figura 17

Posicionamiento de la primera capa de la fibra de cabuya al tubo matriz



Nota. Para facilitar el proceso de estratificación manual se bobinó un hilo a lo largo de la fibra en el tubo matriz.

- b. Se va colocando poco a poco la cantidad de resina catalizada, con ayuda de una brocha.

Figura 18

Colocación de la resina en la primera capa de fibra de cabuya



Nota. En los cálculos la primera capa de resina debe ser de 62 gramos, en práctica y por experimentación se optó por colocar 65 gramos de resina.

- c. Se añade las capas necesarias según el tipo de estructura tubular a fabricar (dos, tres o cuatro capas).

Figura 19

Colocación de la segunda capa de fibra de cabuya



Nota. Se debe tomar en cuenta los apartados a. y b. del punto número 5.

- d. Durante todo el proceso se debe estar constantemente moviendo de manera circular las estructuras tubulares, esto para que la resina no se desprenda, además de conseguir el perfil circular que se desea.
7. Secado y curado de las estructuras tubulares.

Figura 20

Secado y curado de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya.

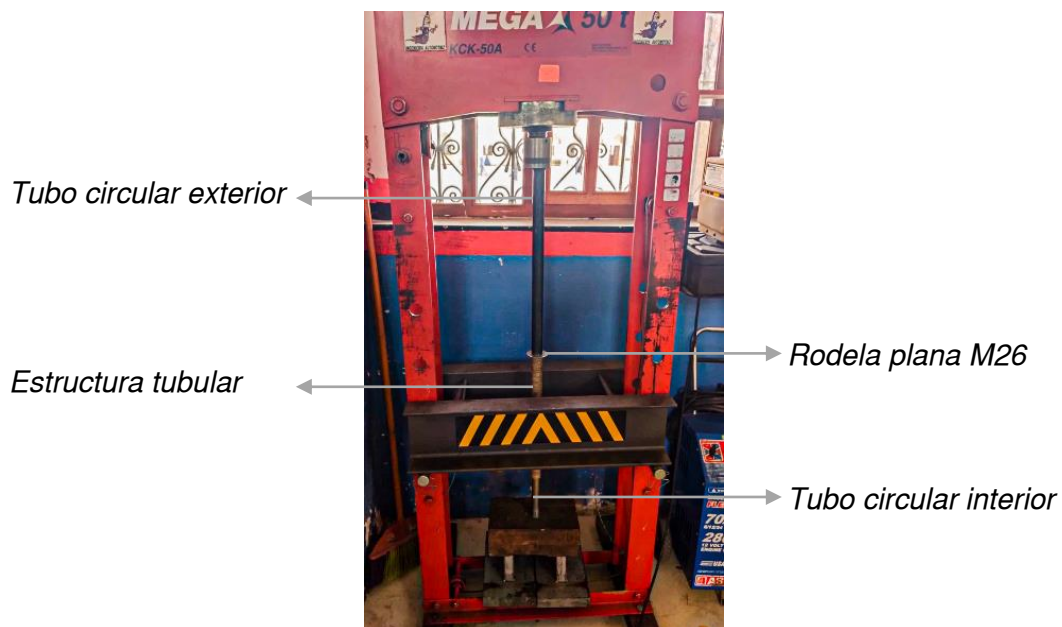


Nota. Según el fabricante de la resina se recomienda dejar 24 horas de tiempo de curado.

8. Desmolde de las estructuras tubulares.
 - a. Colocar la rodela plana M26 en uno de los extremos de la estructura tubular.
 - b. Colocar en la prensa hidráulica con ayuda de un tubo redondo exterior cuyo diámetro exterior es de 31.5 mm, espesor de 3 mm y longitud 500 mm, y un tubo interior de diámetro exterior 25.3 mm, espesor de 1,95 mm y longitud 500 mm, como se indica en la figura 21.
 - c. Accionar la prensa paulatinamente.
9. Recorte de exentes de material, para obtener las dimensiones establecidas de las estructuras tubulares.
10. Tratamiento térmico de las estructuras tubulares, para mejorar sus propiedades mecánicas.

Figura 21

Desmolde de las estructuras tubulares mediante la prensa hidráulica



Nota. Se recomienda que los tubos guías estén perfectamente alineados para que no fracture la estructura tubular.

Figura 22

Tratamiento térmico de las estructuras tubulares



Nota. El fabricante recomienda este procedimiento por 3 horas a una temperatura de 80 °C.

11. Mejoramiento del acabado superficial mediante torno.

- a. Se mecanizo dos ejes de diámetro exterior de 25.4 mm para poder sujetar las estructuras tubulares al torno
- b. Con una lima plana de grado medio se desbaste las estructuras tubulares hasta obtener un mejor acabado eliminando las irregularidades

Figura 23

Acabado superficial de las estructuras tubulares



Nota. La función principal es desbastar las irregularidades más pronunciadas de la resina producidas por la rotación del tubo matriz en el proceso de construcción.

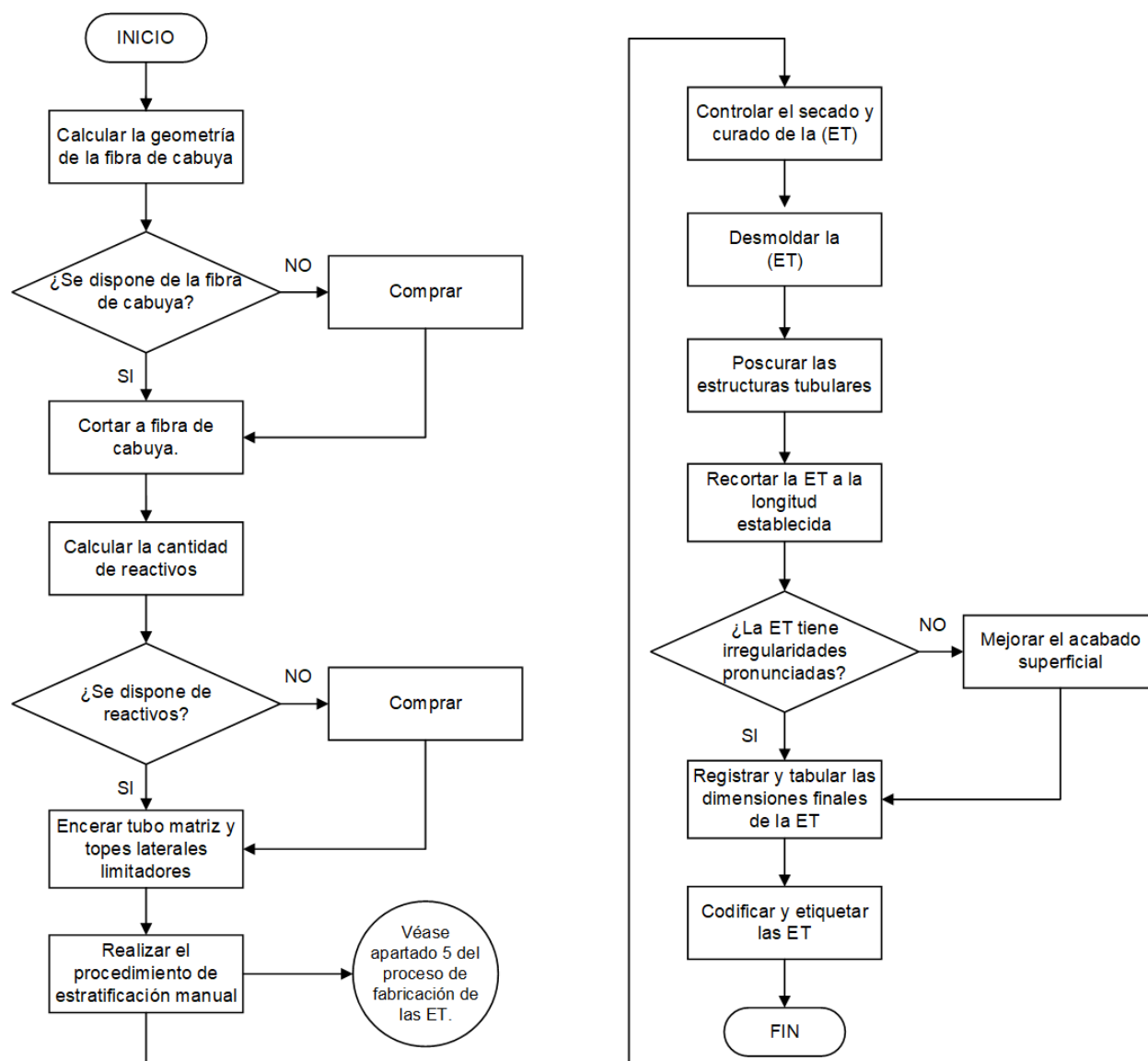
12. Registro y tabulación de las dimensiones finales de las estructuras tubulares.

13. Codificación y etiquetado de las estructuras tubulares.

En el quinto paso, es esencial mantener en movimiento constante el tubo matriz, ya que la influencia de la gravedad puede provocar que la resina se separe de la fibra, lo que resultaría en la incapacidad de mantener las dimensiones y la forma circular deseada. A continuación, se presenta un diagrama de flujo con el proceso de fabricación en base a la fibra de cabuya, tener en cuenta que la abreviatura ET, hace referencia a estructuras tubulares.

Figura 24

Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las estructuras tubulares reforzadas con cabuya



Nota. Este diagrama de flujo es útil de igual manera para la fabricación de las estructuras tubulares con refuerzo de abacá.

Proceso de la fabricación de las estructuras tubulares de abacá

La elaboración de las estructuras tubulares de abacá sigue el mismo procedimiento que el de las estructuras tubulares de cabuya, aunque implica algunas etapas adicionales, las cuales se detallan a continuación.

1. Cálculo y dimensionamiento de la geometría de la fibra de abacá en función a la ecuación (2) y (3). Para esto se debe tener en cuenta que los valores de e_t igual a 2 mm y e_r igual a 2 mm, donde se tiene los siguientes datos:

Tabla 13

Dimensiones de las capas de la fibra de abacá para la fabricación de las estructuras tubulares

Capas	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área (m^2)
1	85	420	0.034
2	97	420	0.038
3	110	420	0.042

Nota. Debido a las características físicas de la fibra de abacá se optó por extender el largo de construcción de la estructura tubular a 420 mm.

2. Cálculo de la cantidad de reactivos (resina, MECK, cobalto y estireno) necesarios para fabricar las estructuras tubulares.
 - a. Teniendo en cuenta la ecuación (5) se tiene que la masa de la resina por capa de fibra de abacá es de:

$$m_r = \rho_r \cdot \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot L \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación (5) se tiene

$$m_r = 1.12 \frac{g}{ml} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (31.4^2 - 25.4^2) \cdot 420(mm)^3$$

$$m_r = 1.12 \frac{g}{ml} \cdot 112\,418.752 \text{ mm}^3 \cdot \frac{1ml}{1000\text{mm}^3}$$

$$m_r = 125.909 \text{ g}$$

3. Cortado de las capas de fibra de abacá que constituirán las estructuras tubulares.
4. Encerado del tubo matriz y topes laterales limitadores.
5. Procedimiento de estratificación manual para la fabricación de las estructuras tubulares. Es en esta etapa es donde se presentan las diferencias con la fabricación de las estructuras tubulares con refuerzo de cabuya:
 - a. Una vez se coloca la o las capas de fibra de abacá en el tubo matriz dependiendo de la estructura tubular a realizar, esta requiere una limpieza de las hebras que sobresalen sobre la superficie de la fibra.

Figura 25

Proceso de limpieza de la fibra de abacá



Nota. Se debe recortar todas las fibras excedentes, debido que al momento de colocar la resina estas hebras se endurecen y el acabado no es el correcto para sumar otra capa o dar por terminada la estructura tubular.

- b. Se va colocando poco a poco la cantidad de resina catalizada, con ayuda de una brocha.
- c. Se añade las capas necesarias según el tipo de estructura tubular a fabricar.
- d. Además, se determinó que en la fabricación de estas estructuras tubulares es necesario un reproceso, para mejorar el acabado superficial y obtener el diámetro exterior definido.

Figura 26

Proceso de mejoramiento superficial



Nota. Se ayuda con los topes laterales para identificar cuanta resina de refuerzo se necesita.

- 6. Secado y curado de las estructuras tubulares.
- 7. Desmolde de las estructuras tubulares.
- 8. Recorte de exentes de material, para obtener las dimensiones establecidas de las estructuras tubulares y mejoramiento del acabado superficial.

9. Tratamiento térmico de las estructuras tubulares, para mejorar sus propiedades mecánicas.
10. Registro y tabulación de las dimensiones finales de las estructuras tubulares.
11. Codificación y etiquetado de las estructuras tubulares.

A través de la experimentación, se estableció una relación entre las muestras de fibra de cabuya y abacá, con el propósito de lograr una comparación equitativa en términos de dimensiones entre ambas. Para llevar a cabo esta comparación, se tomó en consideración el diámetro exterior. Como resultado de este análisis, se determinó la siguiente equivalencia: las muestras de abacá con 1, 2 y 3 capas son equivalentes a las muestras de cabuya con 2, 3 y 4 capas, respectivamente.

Capítulo IV

Resultados y discusión

Se elaboraron diez estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya de dos, tres y cuatro capas. De manera similar, se fabricaron diez estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá, con una y dos capas, y una estructura tubular con tres capas. Durante la construcción de las estructuras tubulares de abacá no se logró obtener el diámetro exterior previsto de 37.4 mm; en cambio, se obtuvo un diámetro exterior de 39.76 mm. Cabe señalar que aún no se había aplicado la capa final de acabado superficial, por lo que el diámetro exterior real supera los 40 mm. Esto resulta en la exclusión automática de la fabricación de estructuras tubulares de tres capas reforzadas con fibra de abacá en razón de que este diámetro no es conveniente como estructuras reforzadas para elementos atenuadores de impacto que se deberían colocar en las puertas de los vehículos.

En la tabulación de datos mostrados más adelante, se han seleccionado al azar tres muestras de cada capa y tipo de fibra. Esto se debe a que los valores no presentan diferencias significativas entre sí.

La temperatura de operación tiene un impacto directo en el proceso de fabricación, afectando principalmente el tiempo de secado o gelificación, así como el sistema de catalización que involucra la cantidad de resina, octoato de cobalto y MECK peróxido. Tanto la temperatura como el sistema de catalización, influyen en el tiempo necesario para producir las estructuras tubulares.

La estratificación manual agiliza el proceso de creación de materiales compuestos; sin embargo, lograr un espesor uniforme a lo largo de toda la estructura tubular resulta complicado. Para mitigar esta dificultad, se implementó una última capa de acabado que es más densa que

las capas previas. Además, se empleó un tope paralelo (longitudinal) a la estructura tubular construida.

Aumentar la densidad de la resina ayuda a evitar que, una vez aplicada sobre el tejido de fibra natural, esta se desplace rápidamente debido a la forma que debe adoptar y a la gravedad. Sin embargo, este proceso acarrea un efecto contraproducente, que es la formación de burbujas de aire. Para evitar estas burbujas, es crucial una técnica de estratificación manual precisa y, en caso de su aparición, se pueden eliminar aplicando una leve presión con una herramienta deslizante sobre la superficie afectada.

Inicialmente, se atribuyó este defecto de formación de burbujas de aire en el proceso a la temperatura de operación; no obstante, se comprobó que esto no era el caso, ya que el parámetro de temperatura se mantuvo bajo control incluso en un 20% por encima del valor mínimo establecido por el fabricante de la resina.

El distribuidor de resina sugiere que el tratamiento térmico conocido como poscurado tiene la función de mejorar las propiedades mecánicas de todo producto final que se elabore. Dicho tratamiento se aplicó en todas las estructuras tubulares, pero siempre respetando las especificaciones del fabricante de la resina. Físicamente, se observó un cambio significativo en el acabado, otorgándole cierto brillo.

A continuación, se presenta la tabla 14, en donde se observan los valores que se obtuvieron de la medición de las estructuras tubulares, para el caso se utilizó un calibrador pie de rey con apreciación de 0.05 mm.

Se puede calcular mediante los valores de la tabla 14 que las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya de dos, tres y cuatro capas, tienen un peso promedio de 131.667, 206.667 y 291.667 gramos respectivamente, además de contar con un espesor

promedio de 2.905 mm para dos capas, 4.343 mm para tres capas y de 5.477 mm para tres capas.

Tabla 14

Resultados de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya

Capas	Espesor (mm)	D_{ext} (mm)	Peso (g)
2	2.90	31.00	128.00
	2.80	32.20	136.00
	3.015	31.34	131.00
3	4.30	34.00	206.00
	4.05	33.57	208.00
	4.68	35.00	206.00
4	5.55	36.50	285.00
	5.58	37.22	294.00
	5.30	34.30	296.00

Nota. Medidas de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya.

En la tabla 15 se representa los valores promedio de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya y los valores de diseño para este trabajo:

Tabla 15

Comparación entre valores de diseño y reales de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya

Parámetros	Diseño			Obtenidos		
	2 capas	3 capas	4 capas	2 capas	3 capas	4 capas
Espesor (mm)	3.00	4.50	6.00	2.905	4.344	5.477
D_{ext} (mm)	31.4	34.40	37.40	31.514	34.191	36.005

Nota. El porcentaje de error entre los valores de esta tabla no superan el 10%

El mismo procedimiento se realizó para las estructuras tubulares con fibra de abacá donde se tiene los siguientes datos mostrados en la tabla 16 y tabla 17.

Tabla 16

Resultados de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de Abacá

Capas	Espesor (mm)	D_{ext} (mm)	Peso (g)
1	2.69	31.10	126.00
	3.15	30.90	130.00
	3.25	30.64	138.00
2	4.80	34.60	224.00
	5.10	35.60	228.00
	5.02	33.89	220.00

Nota. Medidas de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá.

Se puede calcular mediante los valores de la tabla 16 que las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá de uno y dos capas, tienen un peso promedio de 131.333 y 224 gramos respectivamente, además de contar con un espesor promedio de 3.03 mm para una capa y 4.973 mm para dos capas.

Tabla 17

Comparación entre valores de diseño y reales de las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá

Parámetros	Diseño		Obtenidos	
	1 capa	2 capas	1 capa	2 capas
Espesor (mm)	3.00	4.50	2.905	4.344
D_{ext} (mm)	31.4	34.40	31.514	34.191

Nota. El porcentaje de error entre los valores de esta tabla no superan el 10%.

En la Tabla 18 se muestra un promedio de los datos más relevantes del proceso de fabricación de las estructuras tubulares.

Tabla 18

Resumen de tiempo de fabricación, temperatura y costo de producción de cada estructura tubular.

Fibra	Capas	Temperatura (°C)	Tiempo Fabricación (min)	Tiempo de secado (min)	Costo por unidad (USD)
Cabuya	2	14.00	42.43	16.00	1.30
	3	14.00	48.33	12.67	2.0
	4	16.00	61.67	13.00	2.8
Abacá	1	19.00	35.00	15.00	1.4
	2	19.00	40.00	12.00	3.0

Nota. Para la fabricación de las estructuras tubulares de cuatro capas de fibra de cabuya y todas las estructuras tubulares de abacá se optó por realizarlo en una habitación controlando la temperatura.

El mayor inconveniente presentado durante la fabricación de las estructuras tubulares fue el clima, puesto que dependiendo de este factor se procede a catalizar, donde se tiene una gran variación de tiempo de secado y así mismo se extiende el tiempo total de fabricación, este es el motivo por el cual se decidió por realizar la fabricación en una habitación cerrada, y con ayuda de un electro calefactor se procedió a calentar la habitación hasta llegar a una temperatura de 19 °C aproximadamente, lo que ayudó a mejorar y disminuir el proceso de fabricación de las estructuras tubulares.

Capítulo V

Marco Administrativo

Recursos

Para el desarrollo del “Diseño y construcción de estructuras tubulares con fibras naturales utilizadas en elementos de protección de puertas de vehículos tomando en consideración la orientación de las fibras” se han empleado los siguientes recursos humanos, tecnológicos y materiales.

Recursos tecnológicos

En la Tabla 20 se detalla todos los equipos empleados para la investigación, así como también la función que desempeñaron.

Tabla 19

Recursos tecnológicos

Orden	Equipo	Función
1.	Autodesk Inventor Professional 2021	Aplicación CAD de simulación y modelado.
2.	Paquete office	Software de procesamiento de datos para escritura y tabulación de resultados.

Nota. En la tabla se puede observar los recursos tecnológicos empleados para la realización de esta investigación.

Recursos humanos

La tabla 20 presenta a todos los miembros del equipo humano que participaron en el progreso de la investigación, ya que cada individuo contribuyó con ideas y conocimientos para alcanzar los objetivos establecidos de manera completa.

Tabla 20*Recursos Humanos*

Orden	Nombre	Función
1.	Alex Maila	Investigador
2.	Carlos Ramos	Investigador
3.	Ing. Henry Iza Mgs.	Investigador Director del trabajo de unidad de integración curricular

Nota. En la tabla se detalla a las personas que intervinieron en el desarrollo de la investigación.

Recursos Materiales

En la tabla 21 se detalla los diferentes recursos materiales empleados para la realización de esta investigación, así como también la función que desempeñaron.

Tabla 21*Recursos materiales*

Orden	Cantidad	Material
1	1	Fibra de cabuya para el refuerzo
2	1	Fibra de abacá para el refuerzo
3	1	Prototipo de útil para la realización de las estructuras tubulares
4	10	Tubo matriz para molde
5	1	Smartphone en función de cronometro
6	1	Termómetro digital Beurer
7	1	Brochas
8	1	Rodillo pequeño
9	1	Resina pre acelerada
10	1	Resina sin acelerar
11	1	Cobalto al 16%

Orden	Cantidad	Material
12	1	MECK
13	1	Estireno
14	1	Cera desmoldante
15	1	Franela
16	1	Tijera
17	6	Topes de espesor de la estructura tubular

Nota. En la tabla se puede observar los recursos materiales que se emplearon para la realización de la investigación.

Tabla 22

Gastos directos de la investigación

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Fibra de cabuya (m)	5	5.55	27.75
Fibra de abacá (m)	5	7.80	39
Resina sin acelerar (kg)	17	11.08	188.47
Resina acelerada (kg)	11.34	11.08	125.65
MECK al 9% de oxígeno (cc)	300	0.008	2.40
Cobalto al 12% (cc)	180	0.0196	3.53
Estireno Monómero (kg)	7.56	3.29	24.87
Brocha de tres pulgadas	9	2.57	23.13
Rodillo 9x5 (cm)	2	2.41	4.82
Total			439.62

Nota. En la tabla se puede observar los gastos directos empleados durante la realización de la investigación.

Tabla 23*Gastos indirectos de la investigación*

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Control de temperatura de fabricación	1	107.00	107.00
Tubos para molde	10	1.169	11.69
Tubos para desmolde	2	1.169	2.34
Útil base	1	45.00	45.00
Loctite Super Bonder	8	1.00	8.00
Topes transversales	6	0.983	5.90
Tope longitudinal	1	8.66	8.66
Mecanizado y tratamiento térmico	75	0.80	60.00
	Total		248.59

Nota. En la tabla se puede observar los gastos indirectos empleados durante la realización de la investigación.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se eligieron dos fibras naturales que, desde un punto de vista teórico, exhibieron un comportamiento sumamente eficaz, lo cual era esencial para nuestra investigación. Estas fibras son la cabuya y el abacá. A pesar de sus diferencias visuales, estas fibras comparten similitudes en su estructura interna y muestran propiedades mecánicas sobresalientes.

La alineación de las fibras constituye una de las bases esenciales de nuestra investigación, ya que estas configuraciones son responsables de repartir las tensiones a las que se somete la estructura tubular. Para este análisis, se ha optado por una orientación de las fibras en una disposición de 0 a 90 grados, tanto para la cabuya como para la fibra de abacá.

La técnica que mostró un rendimiento superior fue el método de "*Hand lay-up*", ya que este procedimiento incorpora una característica altamente beneficiosa: la estratificación manual. Esta técnica se basa en un proceso de fabricación en molde abierto, lo que permite un control más preciso de la colocación y posición de las fibras en el molde.

Se empleó el programa Autodesk Inventor Professional, versión 2021, para llevar a cabo la modelización y el diseño de la estructura tubular. Esto se debió a que la Universidad de las Fuerzas Armadas dispone de licencias estudiantiles para esta plataforma. En este software, se creó un boceto fundamentado en la selección de las dimensiones de la muestra, posibilitando la visualización de la configuración final que la estructura tubular debe adoptar.

De la fabricación y construcción de las estructuras tubulares, se derivaron los siguientes resultados para las estructuras tubulares reforzadas con fibra de cabuya en diferentes capas; Dos capas: Se obtuvo un diámetro interior promedio de 25.702 mm, un diámetro exterior

promedio de 31.512 mm y un espesor de 2.905 mm. Tres capas: Se registró un diámetro interior promedio de 25.503 mm, un diámetro exterior promedio de 34.191 mm y un espesor de 4.344 mm. Cuatro capas: Se evidenció un diámetro interior promedio de 25.052 mm, un diámetro exterior promedio de 36.005 mm y un espesor de 5.477 mm.

En cuanto a las estructuras tubulares reforzadas con fibra de abacá, se optó por realizar pruebas únicamente con una y dos capas, en razón del espesor de la fibra y para posibilitar la comparación con la fibra de cabuya. Los resultados fueron los siguientes; Una capa de fibra de abacá: Se manifestó un diámetro interior promedio de 24.82 mm, un diámetro exterior promedio de 30.88 mm y un espesor de 3.03 mm. Dos capas de fibra de abacá: Se observó un diámetro interior promedio de 24.75 mm, un diámetro exterior promedio de 34.696 mm y un espesor de 4.973 mm.

Recomendaciones

Se logró identificar que aproximadamente el 25% de la mezcla se desperdicia en elementos utilizados durante el proceso, como brochas, recipientes y posibles derrames al aplicar el material sobre la fibra. Por lo tanto, al realizar el cálculo de la mezcla original, es esencial considerar estas pérdidas con el fin de obtener el resultado deseado.

Se sugiere emplear todos los elementos de protección personal (EPP) al manipular la resina y otros productos químicos involucrados en el proceso de fabricación. Especial énfasis debe ponerse en proteger las manos, los ojos y el sistema respiratorio. Además, en relación al entorno laboral, se requiere una alta ventilación y se deben implementar todas las medidas de seguridad necesarias, debido a que la resina se clasifica como un líquido inflamable.

Contar con un control de la temperatura en el área de trabajo es altamente recomendable y aporta notables beneficios en el proceso de fabricación de estructuras tubulares. Esto es particularmente cierto en lo que respecta a la manufactura de materiales compuestos mediante estratificación manual, lo que resulta en un notable rendimiento del proceso. Dicha precisión tiene un impacto directo en el tiempo de fabricación y, en última instancia, en el proceso de curado. Durante esta investigación, se operó a temperaturas inferiores a las especificadas por el fabricante de la resina, lo que a su vez prolongó el tiempo de fabricación y causó algunas imperfecciones en la estructura final. Sin embargo, se logró controlar este parámetro manteniéndolo por encima de los 18 °C.

Después de completar la fase de fabricación de las estructuras tubulares, es aconsejable mejorar el acabado, tanto para gestionar el grosor como para eliminar posibles imperfecciones (tales como picos o relieves). En el caso de las estructuras tubulares, se optó por emplear el proceso de mecanizado en torno, junto con herramientas de desbaste, según la necesidad específica. Este enfoque permitió lograr cambios significativos en el grosor y en la

calidad del acabado. La finalidad principal era obtener una uniformidad de espesor a lo largo de toda la estructura tubular.

Este estudio tiene como propósito extender el desarrollo en relación a la mejora de elementos de protección en las puertas de vehículos o en otras partes estructurales del vehículo que requieran refuerzo. Por ejemplo, se debe evaluar si es viable implementar estas mejoras en un vehículo específico, lo cual implica recopilar información esencial. En caso de ser necesario, se realizará un redimensionamiento de las estructuras tubulares y, además, se llevará a cabo el diseño del sistema de soporte o fijación para la aplicación en la estructura.

El objetivo principal de la fabricación de estas estructuras tubulares radica en su integración en las puertas de los vehículos. Para lograr esta implementación efectiva, es esencial evaluar la capacidad de estas estructuras para resistir fuerzas específicas. En este sentido, se aconseja llevar a cabo tanto análisis destructivos como no destructivos, con el propósito de determinar la viabilidad y la idoneidad de estas estructuras.

Bibliografía

- Arqhys Decoración. (Septiembre de 2017). *Portal de Arquitectura*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de Arqhys Decoración: <https://www.arqhys.com/decoracion/resinas.html>.
- Barbero et al. (Diciembre de 2011). *Curso: Mecánica de Materiales Compuestos*. Obtenido de OpenCourseWare: <https://ocw.uc3m.es/view.php?=174>
- Barrera, Ó., & Ros, J. (2019). *Sistemas de seguridad y confortabilidad*. Madrid: Paraninfo, SA.
- Callister, W. (2019). *Materials Science and Engeering: An Introduction*. Estados Unidos: John Wiley ; Sons, Inc.
- Centro Zaragoza. (2018). *La evolución del acero en la fabricación de carrocerías*. Zaragoza, España: CZ.
- Chung, D. (2017). *Composite Materials, Science and Applications*. Londres: Springer.
- CompositesWorld. (8 de Agosto de 2012). *Auto composites quest: One-minute cycle time?* Obtenido de CompositesWorld: <https://www.compositesworld.com/articles/auto-composites-quest-one-minute-cycle-time>
- Derek, H. (2010). *Materiales compuestos*. Barcelona: Reverte.
- García et al, .. (2009). *Elementos amovibles y fijos no estructurales*. Madrid: Paraninfo, SA.
- Gómez et al, .. (2016). *Estructuras del vehículo*. Madrid: Paraninfo.
- Guerrero et al. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Huang, M. (2017). *VEHICLE CRASH MECHANICS*. Florida: CRC PRESS.
- Latin NCAP. (Octubre de 2020). *Latin NCAP*. Obtenido de Resultados Kia Picanto / Morning + 1 Airbag: <https://www.latinncap.com/es/resultado/145/kia-picanto--morning-+-1-airbag>
- Maldonado L. (2010). *Situación Actual de la Producción y Comercialización del Abacá en el Ecuador*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de Biblioteca Alejandro Segovia: <https://biblioteca.espe.edu.ec/>
- Miravete, A. (2003). *Materiales compuestos*. Zaragoza : Reverte.

- Mohanty et al. (2005). *Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. Michigan: Taylor y Francis.
- Mulenga T. (2021). *Techniques for Modelling and Optimizing the Mechanical Properties of Natural Fiber Composites*. Botswana: Botswana International University of Science and Technology .
- Normalización, I. E. (2015). *NTE INEN 2477*. Quito. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2477_2r.pdf
- PINTULAC . (2016). *Ficha técnica del producto "resina epoxi"*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de Pintulac: <https://www.pintulac.com.ec/kit-resina-epoxica-1-1-dura-quarz-de-3-9-kilogramos-wesco.html>
- PINTULAC. (Enero de 2015). *Ficha técnica del producto "resina poliéster"*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de Pintulac.
- Sakeland, D. (2018). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. Mexico : Thomson.
- TDLP. (05 de Agosto de 2018). *Resinas epoxi*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de Tecnología de los Plásticos: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html>

Anexos