

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DESARROLLO DE UN DRAFT PARA LA FABRICACIÓN DE
AUTOPARTES Y ELEMENTOS DE GEOMETRÍAS SIMPLES EN
FIBRA DE CARBONO”**

AUTORES:

SANTIAGO XAVIER PEREZ QUEZADA

WALTER MEDARDO VITE CUEVA

TUTOR:

ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Santiago Xavier Pérez Quezada con documento de identificación N° 0104321146 y Walter Medardo Vite Cueva con documento de identificación N° 0703931659, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN DRAFT PARA LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES Y ELEMENTOS DE GEOMETRÍAS SIMPLES EN FIBRA DE CARBONO”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo denominado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2019



Santiago Xavier Pérez Quezada

C.I.: 0104321146



Walter Medardo Vite Cueva

C.I.: 0703931659

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN DRAFT PARA LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES Y ELEMENTOS DE GEOMETRÍAS SIMPLES EN FIBRA DE CARBONO”**, realizado por Santiago Xavier Pérez Quezada y Walter Medardo Vite Cueva, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2019



Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, MSc.

C.I.: 0103551057

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Santiago Xavier Pérez Quezada con documento de identificación N° 0104321146 y Walter Medardo Vite Cueva con documento de identificación N° 0703931659, autores del trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UN DRAFT PARA LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES Y ELEMENTOS DE GEOMETRÍAS SIMPLES EN FIBRA DE CARBONO”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, mayo del 2019



Santiago Xavier Pérez Quezada

C.I.: 0104321146



Walter Medardo Vite Cueva

C.I.: 0703931659

DEDICATORIA

*Todo esto va dedicado a mi familia, a mis padres
César y Maruja, quienes me supieron apoyar
durante toda mi vida universitaria y brindarme sus
consejos para formarme como persona y
profesionalmente.*

*A mis hermanos que supieron brindarme su apoyo
incondicional en todo momento.*

*A mis amigos de la vida y de la Universidad, con
quienes hemos compartido buenos y malos
momentos, pero siempre supieron brindarme su
apoyo incondicional.*

*A Dios por ser mi guía y motivación para seguir
adelante en el sendero de la vida*

Santiago P.

DEDICATORIA

Cada desafío por el que pasamos, cada reto al que nos enfrentamos, tenemos a nuestro lado el apoyo de aquellas personas que quieren vernos triunfar, que jamás nos dejan caer, por ello este logro de mi vida se lo dedico a las personas quienes ayudaron a cosechar este éxito.

A mi padre Walter que me enseñó a no rendirme jamás, quien con su firmeza y trabajo me ayudo a culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Rosa quien siempre me brindo consejos, amor y confianza, por ser mi principal motivo para conseguir esta meta.

A mis hermanas Nathalie, Dayana y Belén, por apoyarme siempre y ser mi fuente de inspiración para seguir adelante.

A Cassandra por ser mi amor incondicional, mi apoyo y mi guía, es el pilar fundamental de este logro.

A mis camaradas de toda la vida, con quienes compartí buenos y malos momentos, pero siempre estuvieron para brindarme su amistad y apoyo.

Walter V.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme durante esta etapa de mi vida y apoyarme en todas las circunstancias que se presentaron durante el trayecto.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional, por ser mis guías y mi motivación para seguir adelante.

A mis hermanos por brindarme sus consejos y apoyo incondicional.

Al Ing. Wilson Calle por brindarnos su apoyo para que el proyecto de titulación sea realizado de la mejor manera con sus conocimientos.

A mi compañero Walter Vite por tener la confianza para realizar este proyecto.

Al Ing. Cristian García por su destacada gestión al frente de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz y brindarnos su apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto.

A Don Hernán por ser un caballero y una destacada persona, que siempre se ha caracterizado por brindar su apoyo incondicional hacia nosotros.

A mis amigos Walter, Paul, Jefferson que siempre me brindaron su apoyo incondicional en las buenas y las malas.

Agradezco de manera especial a los integrantes del “UPS RACING TEAM FORMULA SAE 2017”, por darme la oportunidad de desarrollar el proyecto junto a ellos, crecer humanamente, profesionalmente y dejar una huella importante en la Universidad y el país.

Al compañero Luis Montalvo por brindar su apoyo y conocimiento para la realización de este proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz por brindarme los conocimientos para mi formación profesional.

Santiago P.

AGRADECIMIENTO

A mi amada familia por estar conmigo en los buenos y malos momentos, aportándome fortaleza, brindándome consejos de vida y guiándome con sabiduría para conseguir este objetivo.

Al Ing. Wilson Calle por su tutela y apoyo para la realización de este proyecto.

A mi compañero Santiago Pérez por el compañerismo y confianza a lo largo del desarrollo del proyecto.

A Don Hernán por su compromiso al momento de brindar ayuda, además de su carisma como amigo.

A mis amigos Santiago, Paul, Jefferson y Jhoe por todos estos años de amistad, camaradería y hermandad.

Al compañero Luis Montalvo por brindar su apoyo y conocimiento para la realización de este proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz por impartir conocimientos, valores y convivencias que ayudaron a formarme como profesional y hombre de bien.

Walter V.

RESUMEN

El propósito de este proyecto es el desarrollo de un draft para la fabricación de autopartes y elementos de geometrías simples en fibra de carbono siguiendo una metodología clara y concisa que sea aplicable al medio local, a su vez analizando y obteniendo información acerca de todos los trabajos previos que se han realizado con este material dentro de la universidad y en especial énfasis en la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz.

Los estudios base en los que se puso especial atención, son los proyectos realizados por el UPS Racing Team, el cual proporcionó información de cómo se trabajaron ciertos procesos para la elaboración de autopartes, consecuentemente se recopiló más información de carácter altamente técnico, se pudo determinar ciertas características y variables que impedían el desarrollo de una metodología clara, consecuentemente no permiten una completa incursión en el desarrollo de proyectos con fibra de carbono en el medio local.

Las características descritas sirven para lograr una metodología correcta en el desarrollo, manufactura e investigación en este campo, y de esta manera aprovechar todo el potencial altamente útil de este material innovador que a futuro se lo utilizará a gran escala en la industria automotriz, sobre todo con enfoque a su innovación en la Industria Automotriz Ecuatoriana.

Palabras Clave: *Draft, Geometrías simples, Fibra de Carbono, Industria Automotriz, Autopartes.*

ABSTRACT

The purpose of this project is the development of a draft for the manufacture of auto parts and elements of simple geometries in carbon fiber following a clear and concise methodology that is applicable to the local environment, in turn analyzing and obtaining information about all the works previous that have been made with this material within the university and especially emphasis in the Career of Automotive Mechanical Engineering.

The base studies in which special attention was paid are the projects carried out by the UPS Racing Team, which provided information on how certain processes were developed for the development of auto parts, consequently more information of a highly technical nature was collected, it was possible to determine certain characteristics and variables that prevented the development of a clear methodology, consequently not allow a complete incursion in the development of projects with carbon fiber in the local environment.

The described characteristics serve to achieve a correct methodology in the development, manufacture and investigation in this field, and in this way take advantage of the highly useful potential of this innovative material that in the future will be used on a large scale in the automotive industry, especially with a focus on its innovation in the Ecuadorian Automotive Industry.

Keywords: *Draft, Simple Geometries, Carbon Fiber, Automotive Industry, Auto Parts.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| RESUMEN..... | IX |
| ABSTRACT | X |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIV |
| ÍNDICE DE TABLAS | XIX |
| ÍNDICE DE DIAGRAMAS..... | XX |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| PROBLEMA..... | 2 |
| OBJETIVOS..... | 3 |
| GLOSARIO | 4 |
| CAPÍTULO I..... | 6 |
| 1. Estado del arte referente al proceso de fabricación en fibra de carbono..... | 6 |
| 1.1. Aplicaciones de la fibra de carbono en el sector automotriz nacional..... | 6 |
| 1.2. Aplicaciones de la fibra de carbono en el sector automotriz local | 6 |
| 1.3. Desarrollo y construcción de autopartes para vehículo monoplaza tipo Formula SAE | 7 |
| 1.3.1. Pedalera..... | 8 |
| 1.3.2. Volante..... | 9 |
| 1.3.3. Tablero..... | 10 |
| 1.3.4. Fondo plano | 10 |
| 1.3.5. Asiento..... | 11 |
| 1.3.6. Suspensión | 12 |
| 1.4. Aplicaciones de la fibra de carbono dentro de la UPS sede Cuenca | 13 |
| 1.4.1. Propiedades tensiles de la fibra de carbono | 13 |
| 1.4.2. Producción de un tablero en fibra de carbono a través de lean manufacturing | |

| | |
|---|-----------|
| 1.4.3. Guías Metodológicas para el desarrollo de prácticas en fabricación de autopartes en fibra de carbono | 17 |
| 1.4.4. Análisis de elementos fabricados en fibra de carbono mediante software | 18 |
| CAPÍTULO II..... | 20 |
| 2. Planificación, organización y obtención de recursos para la fibra de carbono. 20 | |
| 2.1. Indagación del proyecto | 21 |
| 2.1.1. Factibilidad del proyecto | 21 |
| 2.1.2. Equipos de protección | 22 |
| 2.1.3. Herramientas y maquinaria | 24 |
| 2.2. Requerimientos mecánicos de la autoparte. | 36 |
| 2.3. Diseño y pruebas mediante software | 38 |
| 2.4. Adquisición del material base e insumos | 38 |
| 2.4.1. Tipo de geometría..... | 39 |
| 2.4.2. Aplicación de la autoparte | 39 |
| 2.4.3. Características de los materiales a adquirir..... | 40 |
| 2.4.4. Proceso de adquisición de materia prima | 66 |
| 2.5. Organización del proceso de manufactura de autopartes..... | 67 |
| CAPÍTULO III | 69 |
| 3. Descripción del diseño y manufactura de la autoparte..... | 69 |
| 3.1. Esquema de análisis básico de diseño y validación..... | 69 |
| 3.2. Diseño mediante software CAD | 70 |
| 3.2.1. Pedal de freno para vehículo Fórmula Student (SAE) | 71 |
| 3.2.2. Tablero de encendido para vehículos de competencia | 74 |
| 3.3. Validación del diseño..... | 76 |
| 3.3. Manufactura de la autoparte | 90 |
| 3.3.1. Método de curado (Pre-Preg)..... | 90 |
| 3.3.2. Método de infusión..... | 110 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.4. | Futuros proyectos aplicables | 124 |
| 3.4.1. | La Pirólisis | 124 |
| 3.4.2. | La Solvólisis..... | 125 |
| 4. | CONCLUSIONES..... | 126 |
| 5. | RECOMENDACIONES | 127 |
| 6. | REFERENCIAS..... | 129 |
| 7. | ANEXOS | 133 |
| A. | Ficha técnica de tela de fibra de carbono Pre-Preg..... | 133 |
| B. | Planos constructivos de autopartes | 133 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Pedalera de fibra de carbono..... | 9 |
| Figura 2 Volante de fibra de carbono..... | 9 |
| Figura 3 Tablero de fibra de carbono..... | 10 |
| Figura 4 Fondo plano fabricado en fibra de carbono | 11 |
| Figura 5 Asiento de competencia de fibra de carbono | 11 |
| Figura 6 Brazos de suspensión de fibra de carbono..... | 12 |
| Figura 7 Sistema de suspensión delantero tipo Fórmula SAE fabricado en fibra de carbono | 12 |
| Figura 8 Probetas con un tejido preimpregnado 2 x2 | 14 |
| Figura 9 Configuraciones de orientación de fibra de carbono | 15 |
| Figura 10 Protector visual | 22 |
| Figura 11 Guantes de neopreno | 22 |
| Figura 12 Overol 3M con protección para cuello y cabeza..... | 23 |
| Figura 13 Media máscara 3M serie 7000 | 24 |
| Figura 14 Mascara completa 3M 6800s | 24 |
| Figura 15 Cortador eléctrico de fibra | 25 |
| Figura 16 Tijera manual KAI 7240..... | 25 |
| Figura 17 Aplicador de Pre-Preg | 26 |
| Figura 18 Cuña de plástico | 26 |
| Figura 19 Brocha plana | 27 |
| Figura 20 Rodillo de laminación | 27 |
| Figura 21 Rodillo de láminas de aluminio | 28 |
| Figura 22 Rodillo esquinero de aluminio | 28 |
| Figura 23 Rodillo de caucho..... | 29 |
| Figura 24 Pistola de gravedad | 29 |
| Figura 25 Balanza digital | 30 |
| Figura 26 Vasos para uso químico..... | 30 |
| Figura 27 Limas de carburo de tungsteno | 31 |
| Figura 28 Conjunto de espátulas..... | 31 |
| Figura 29 Mesa de trazado | 32 |
| Figura 30 Bomba de vacío..... | 32 |
| Figura 31 Horno de curado..... | 33 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 32 | Pulidor Dremel..... | 33 |
| Figura 33 | Disco de carburo de tungsteno..... | 34 |
| Figura 34 | Taladro para proceso de mecanizado | 34 |
| Figura 35 | Fresadora CNC de escritorio | 35 |
| Figura 36 | Laboratorio de aplicación de materiales en ingeniería del transporte..... | 36 |
| Figura 37 | Autoparte de geometría simple | 39 |
| Figura 38 | Autoparte de uso estético..... | 40 |
| Figura 39 | Polímero para embolsado de 150 °C..... | 41 |
| Figura 40 | Capa de liberación de nylon | 42 |
| Figura 41 | Tejido para purgar..... | 43 |
| Figura 42 | Cinta sellante..... | 44 |
| Figura 43 | Lamina de control de flujo de infusión | 45 |
| Figura 44 | Lámina Lantor Soric XF..... | 46 |
| Figura 45 | Película de liberación de alta temperatura..... | 47 |
| Figura 46 | Tubo espiral para vacío | 48 |
| Figura 47 | Tubo de vacío de ½” | 49 |
| Figura 48 | Regulador de flujo..... | 50 |
| Figura 49 | Resina de cobalto | 50 |
| Figura 50 | Alcohol polivinílico..... | 52 |
| Figura 51 | Tela de fibra de carbono 3K, 2 x 2..... | 53 |
| Figura 52 | Tejido de sarga..... | 54 |
| Figura 53 | Tela de fibra de carbono 3K configuración lisa..... | 55 |
| Figura 54 | Tejido liso | 56 |
| Figura 55 | Tela fibra de carbono ultraligero configuración lisa 1K | 57 |
| Figura 56 | Tela de fibra de carbono de configuración tipo sarga 2 x 2 (6K) | 58 |
| Figura 57 | Tejido de carbono unidireccional IM (4.3 oz)..... | 59 |
| Figura 58 | Tejido unidireccional..... | 60 |
| Figura 59 | Fibra de carbono pre-impregnada | 61 |
| Figura 60 | Pre-Preg 3K, 2x2 Twill Weave..... | 61 |
| Figura 61 | Pre-Preg 3K, tela de fibra de carbono de tejido liso | 63 |
| Figura 62 | Tejido liso para Pre-Preg..... | 64 |
| Figura 63 | Fibra de carbono Pre-Preg unidireccional | 65 |
| Figura 64 | Sistema de frenado | 71 |
| Figura 65 | Bosquejo a mano del pedal de freno | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura 66 Pedal de freno en software CAD..... | 73 |
| Figura 67 Formato IGES..... | 74 |
| Figura 68 Bosquejo a mano del tablero de instrumentos..... | 75 |
| Figura 69 Tablero de vehículo de competencia en software CAD..... | 76 |
| Figura 70 Selección del formato requerido..... | 78 |
| Figura 71 Selección de opción de solido..... | 78 |
| Figura 72 Visualización de autoparte como sólido..... | 79 |
| Figura 73 Selección de mallado..... | 79 |
| Figura 74 Mallado de la autoparte..... | 80 |
| Figura 75 Ventana de configuración de valores de fuerzas de traslación..... | 80 |
| Figura 76 Selección de opción de solido..... | 81 |
| Figura 77 Visualización de puntos de anclaje..... | 81 |
| Figura 78 Visualización final de los puntos de anclaje..... | 82 |
| Figura 79 Ventana de configuración de valores de fuerzas..... | 83 |
| Figura 80 Visualización de las fuerzas sobre la autoparte..... | 83 |
| Figura 81 Ventana de configuración de propiedades mecánicas..... | 84 |
| Figura 82 Ventana de selección de configuración guardada..... | 85 |
| Figura 83 Visualización de la autoparte con propiedades mecánicas aplicadas..... | 85 |
| Figura 84 Ventana de tipos de soluciones..... | 86 |
| Figura 85 Ventana de carga de archivo..... | 87 |
| Figura 86 Ventana de pseudocódigos de MSC Nastran..... | 87 |
| Figura 87 Ventana de selección de archivo de formato XDB..... | 88 |
| Figura 88 Ventana de configuración de resultados..... | 88 |
| Figura 89 Deformación del pedal de freno con configuración [(0/90) ₁₁]γ y espesor de 5mm | 89 |
| Figura 90 Deformación del pedal de freno con configuración [(0/90) ₁₁]γ y espesor de 2 mm | 90 |
| Figura 91 Trazado del molde..... | 91 |
| Figura 92 Doblado de molde..... | 91 |
| Figura 93 Molde terminado..... | 92 |
| Figura 94 Plantilla para corte de telas..... | 92 |
| Figura 95 Trazado en láminas Pre-Preg..... | 93 |
| Figura 96 Corte de láminas Pre-Preg..... | 93 |
| Figura 97 Tejido de sarga 2x2 3K, con corte a 90°..... | 94 |

| | |
|--|-----|
| Figura 98 Corte de Peel Ply..... | 94 |
| Figura 99 Corte de tejido para respirar y purgar..... | 95 |
| Figura 100 Corte de película de liberación de alta temperatura..... | 95 |
| Figura 101 Corte de película para embolsado..... | 95 |
| Figura 102 Aplicación de cera desmoldante sobre placa base de aluminio..... | 96 |
| Figura 103 Aplicación de cera desmoldante sobre molde..... | 96 |
| Figura 104 Aplicación de alcohol polivinílico sobre molde..... | 97 |
| Figura 105 Controlador de temperatura del horno..... | 97 |
| Figura 106 Secado de alcohol polivinílico..... | 98 |
| Figura 107 Adhesión de telas pre-preg..... | 98 |
| Figura 108 Compactado de telas pre-preg..... | 99 |
| Figura 109 Extracción de cinta protectora..... | 99 |
| Figura 110 Apilado de tela Pre-Preg de fibra de carbono..... | 99 |
| Figura 111 Laminado culminado de telas impregnadas..... | 100 |
| Figura 112 Orden adecuado de láminas..... | 100 |
| Figura 113 Colocación de cinta sellante amarilla..... | 101 |
| Figura 114 Sellado del conjunto..... | 101 |
| Figura 115 Proceso de vacío..... | 102 |
| Figura 116 Presión de vacío..... | 103 |
| Figura 117 Temperatura de curado..... | 103 |
| Figura 118 Temperatura inicial de enfriamiento..... | 104 |
| Figura 119 Temperatura final de enfriamiento..... | 104 |
| Figura 120 Extracción de película de embolsado..... | 105 |
| Figura 121 Extracción de láminas restantes..... | 105 |
| Figura 122 Extracción de autoparte del molde..... | 106 |
| Figura 123 Autoparte curada..... | 106 |
| Figura 124 Delimitación de bordes a mecanizar..... | 107 |
| Figura 125 Mecanizado con pulidor dremel..... | 107 |
| Figura 126 Pulido con lija de tungsteno..... | 108 |
| Figura 127 Puntos señalados para posterior taladrado..... | 108 |
| Figura 128 Taladrado de autoparte..... | 109 |
| Figura 129 Pedal de fibra de carbono terminado..... | 109 |
| Figura 130 Esquema de método de infusión..... | 110 |
| Figura 131 Placa de aluminio usada como molde..... | 111 |

| | |
|--|-----|
| Figura 132 Trazado para plantilla | 111 |
| Figura 133 Corte de platilla | 112 |
| Figura 134 Corte de tela de fibra de carbono | 112 |
| Figura 135 Orientación de corte de 90°..... | 113 |
| Figura 136 Corte de peel ply celeste | 113 |
| Figura 137 Corte de lámina de control de flujo para infusión..... | 114 |
| Figura 138 Aplicación de cera desmoldante a la placa molde | 114 |
| Figura 139 Colocación de la primera capa de fibra | 115 |
| Figura 140 Colocación de peel ply y lámina de control de flujo para infusión..... | 115 |
| Figura 141 Fijación de tubo espiral | 116 |
| Figura 142 Fijación de cinta sellante amarilla..... | 116 |
| Figura 143 Colación de acople | 117 |
| Figura 144 Sistema de vacío para infusión | 118 |
| Figura 145 Preparación de resina epoxi | 118 |
| Figura 146 Proceso de impregnación..... | 119 |
| Figura 147 Sustracción de película de embolsado | 120 |
| Figura 148 Sustracción de láminas restantes | 120 |
| Figura 149 Mecanizado con pulidor Dremel..... | 121 |
| Figura 150 Pulido con lija de carburo de tungsteno | 121 |
| Figura 151 Esbozo de los puntos de taladrado | 122 |
| Figura 152 Taladrado de la autoparte | 122 |
| Figura 153 Tablero de encendido mecanizado | 123 |
| Figura 154 Tablero de encendido en fibra de carbono para vehículos de competencia | 123 |
| Figura 155 Pirólisis | 124 |
| Figura 156 Solvólisis | 125 |
| Figura 157 Fabricación de elementos a partir de fibra de carbono reciclada | 125 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Tipos de láminas para embolsado..... | 42 |
| Tabla 2 Tipos de capas de liberación de nylon | 43 |
| Tabla 3 Tipos de cinta sellante..... | 45 |
| Tabla 4 Tipos de láminas de control de flujo para infusión | 46 |
| Tabla 5 Constantes con valores más relevantes | 77 |

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Diagrama 1 | Planificación de proyectos con compuestos Epoxi-Carbono..... | 21 |
| Diagrama 2 | Proceso de obtención de materia prima..... | 66 |
| Diagrama 3 | Proceso de fabricación de autopartes mediante el método preimpregnado ... | 67 |
| Diagrama 4 | Proceso de fabricación de autopartes mediante el método de infusión..... | 68 |

INTRODUCCIÓN

Actualmente con el desarrollo de la industria automotriz se puede observar innovaciones en muchas áreas, entre ellas resalta la utilización de materiales compuestos Epoxi-Carbono en la fabricación de vehículos, los cuales han adquirido más importancia y por ende más usuarios que anhelan disponer de alguna autoparte con este compuesto, ya sea por motivos estéticos o por aplicaciones netamente funcionales como el uso en vehículos para competencia.

Esto ha llevado a que la Universidad Politécnica Salesiana desarrolle investigaciones y genere la construcción de autopartes y elementos automotrices utilizando materiales compuestos Epoxi-Carbono, como consecuencia de esto se desarrolló el vehículo Fórmula SAE 2017, manufacturando partes con fibra de carbono y permitiendo que la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz se posicione a nivel nacional en el desenvolvimiento de este campo, no obstante como se estaban desarrollando los proyectos iniciales, los tiempos de producción eran elevados y por ende no eran efectivos, además se omitieron algunos parámetros y procesos que eran necesarios, ya sea para seleccionar el tipo de material a utilizar, la reducción en los tiempos de producción, la elección del proceso adecuado para la construcción de los elementos dependiendo de su geometría o la adquisición de los materiales entre otros, el tener un proceso definido para la construcción de elementos y autopartes en fibra de carbono o compuesto Epoxi-Carbono es algo esencial, ya que se realiza un proceso esquemático y secuencial que consecuentemente garantiza una correcta utilización de recursos y ahorro de tiempos en los procesos de producción.

Tras las investigaciones y recopilaciones realizadas se incluyó en el draft los procesos adecuados para la selección y adquisición del material base, a su vez que se describe la manufactura idónea para la construcción de elementos en fibra de carbono dependiendo de su geometría, implantando un proceso completamente funcional en el medio local, generando un impulso a la producción de elementos en fibra de carbono o compuesto Epoxi-Carbono.

PROBLEMA

En la línea de investigación en Diseño Mecánico Automotriz se vienen desarrollando proyectos innovadores en el ámbito de la fabricación de elementos y autopartes utilizando compuestos Epoxi-carbono o fibra de carbono, los cuales exigen ciertos procedimientos para la aplicación de técnicas ingenieriles en su manufactura , de no tener esclarecidos estos procedimientos no se garantiza los resultados obtenidos en la manufactura, investigación y utilización de los recursos, esto hace que sea necesaria la utilización de un draft que de soporte para la ejecución de un trabajo técnico, esquemático y secuencial, y que a su vez asesore al momento de iniciar un proyecto en este ámbito; los primeros proyectos e investigaciones sobre las aplicaciones en fibra de carbono se las desarrolló dentro del proyecto Fórmula SAE, pero estos no se basaron en un procedimiento instaurado y completamente aplicable dentro de los laboratorios para la fabricación de autopartes con dicho material, conllevando puntos negativos como desperdicio de materiales, pérdidas de tiempo, aumento costos de manufactura, entre otros; para el desarrollo de investigaciones futuras en especial del nuevo proyecto Fórmula SAE , disponer de un draft permitirá dar soporte a todos los procesos antes expuestos en los laboratorios de Ingeniería Mecánica Automotriz.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar un draft utilizando el método de síntesis para la fabricación de autopartes y elementos de geometrías simples en fibra de carbono.

Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte referente al proceso de fabricación en fibra de carbono.
- Describir la planificación, organización y obtención de recursos para la fibra de carbono.
- Desarrollar la descripción del diseño y la manufactura de autopartes.
- Presentar el Draft con los parámetros preestablecidos

GLOSARIO

Cohesión: En física, la cohesión molecular es la atracción molecular entre las moléculas de un mismo cuerpo. En este sentido, se puede decir que la cohesión es la propiedad que mantiene al cuerpo sólido conservado en su forma, y fuerte para resistir a las presiones o aplicaciones de fuerzas externas.

Conformabilidad: Facilidad con la que un material puede adoptar formas y dimensiones deseadas.

Constantes de Ingeniería: Son las variables utilizadas para describir una hipótesis y en la cual se basa un estudio de ingeniería (Tirupathi R. & Ashok D. , 1999).

Curado: es un proceso de manufactura usado para producir laminados de alto rendimiento, generalmente son sistemas epóxicos reforzados con fibras; este proceso suele también ser nombrado como autoclave (Ashby & Jones, 2008).

Draft: En el ámbito literario y académico se conoce como draft a un texto que por lo general todo autor compone como una aproximación al documento que desea preparar; como puede ser un artículo, una carta, un instructivo o un ensayo, empieza por el apunte de breves ideas, asociación de pensamientos, anotación de citas bibliográficas, redacción de párrafos, quizá dibujos, con lo que diseña un esbozo y levanta un andamiaje para construir su documento, el draft es parte vital del trabajo del académico o científico, es la historia creativa del proyecto que está realizando, el cual puede ser un libro, un manual de laboratorio o una conferencia, es un antecedente que en lo posible, debe preservarse para futuras consultas.

Materiales compuestos Epoxi-Carbono: Estos son materiales compuestos formados por dos partes claramente diferenciadas: la matriz, que sirve fundamentalmente de base de

los otros materiales, las cuales son resinas epoxi o poliéster, y las fibras que son fibra de carbono. Las fibras afectan las propiedades de los materiales compuestos.

ISO: International Organization for Standardization.

SAE: Society of Automotive Engineers.

Software CAD: CAD, o diseño y dibujo asistido por computadora (CADD), es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado.

Software CAE: La ingeniería asistida por ordenador (CAE) consiste en el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos. Además, es empleado para determinar cómo se desempeñará, basado en la introducción de parámetros que la pieza experimentará en el mundo real.

TCL: Teoría Clásica de Laminados.

UPS: Universidad Politécnica Salesiana.

CAPÍTULO I

1. Estado del arte referente al proceso de fabricación en fibra de carbono

1.1. Aplicaciones de la fibra de carbono en el sector automotriz nacional

La introducción de la fibra de carbono a nivel nacional es relativamente escasa y se puede citar que su campo de aplicación es reducido, la industria automotriz nacional no es la excepción pues no se tienen aplicaciones de la misma en los vehículos en serie o comerciales que circulan en el medio, pero se puede destacar que existen varias aplicaciones en los vehículos destinados a la competencia.

Sin embargo el desarrollo de autopartes y elementos de geometría simple no han tenido un impacto significativo (Ortega, 2018), no obstante se han desarrollado estudios en diferentes universidades del país como la Universidad Técnica de Ambato, Universidad Técnica del Norte y Universidad San Francisco de Quito, pero estos van encausados a un análisis de resistencia mecánica y distintas propiedades que posee la fibra de carbono, la cual solamente se ve sometida como un elemento de refuerzo a vigas y estructuras metálicas, obteniendo a través de análisis de ensayo el comportamiento y desempeño estructural que se genera con este refuerzo, priorizando así el uso de la fibra de carbono dentro del campo de la construcción (Caisa, 2016).

Lo anteriormente expuesto da una clara idea de que no existe una metodología establecida para la fabricación de autopartes en fibra de carbono, además de la falta de un lineamiento establecido en cuanto a herramientas, laboratorios y materia prima que permitan el desarrollo de la industria de la fibra de carbono.

1.2. Aplicaciones de la fibra de carbono en el sector automotriz local

Se puede destacar que a nivel local la fibra de carbono si bien no se ha desarrollado en el sector automotriz de manera industrial en el sector automotriz, se lo ha abordado desde

el ámbito académico cuyo ente pionero ha sido la Universidad Politécnica Salesiana, en cuyas instalaciones se han desarrollado y analizado autopartes de manera experimental.

Según (Espinoza Beltrán & Hidalgo Pacheco , 2016) la necesidad de indagar en el campo de materiales compuestos viene de la mano del proyecto Fórmula SAE, puesto que para el desarrollo del vehículo eléctrico monoplaza tipo Fórmula SAE se buscaba la utilización de un material idóneo, que reduzca el peso del vehículo pero que a su vez garantice las prestaciones y la calidad necesaria para la competición, como lo es la fibra de carbono.

Cabe recalcar que es imprescindible la obtención de las propiedades mecánicas ,más concretamente las propiedades tensiles de autopartes en fibra de carbono fabricado en el Laboratorio de Aplicación de Materiales en Ingeniería de Transporte (LabAMiT) del grupo de investigación GIIT, las cuales determinan si estas autopartes presentan el comportamientos necesario para la competición (Villa, 2018), a pesar de la realización de estos proyectos, se puede hacer hincapié en que los métodos experimentales para el desarrollo de las primeras autopartes y elementos de geometría simples han seguido distintos lineamientos o métodos, que muchas de las veces conllevaban a prueba y error, como consecuencia de ello los costos y tiempos de fabricación se ven incrementados.

1.3. Desarrollo y construcción de autopartes para vehículo monoplaza tipo Formula SAE

Como universidad que se amplía en el ámbito de investigación y desarrollo de materiales compuestos en conjunto con el inicio del proyecto icono de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, se establecieron parámetros de diseño y mejoras que permitieron el uso de materiales compuestos en la construcción del vehículo, de tal manera que para el diseño, desarrollo y construcción se implantó el uso de materiales poco usados en el medio como aluminio Produx, aleaciones de cromo molibdeno o la misma fibra de

carbono, estableciendo un hito en el desarrollo y construcción de vehículos para competencia utilizando materiales compuestos o por su nombre en inglés “Composite Materials” .

En el medio local se contaba con proyectos iniciales los cuales marcaron un antecedente en este campo dando soporte en el inicio del proyecto, pero se presentaron ciertos inconvenientes, como el costo de producción elevado, escasa información para la fabricación, falta de experiencia con el uso de materiales compuestos; basados en estos parámetros para el desarrollo del proyecto, se implantaron mejoras en propuestas de diseño y manufactura pero sin estandarizar procedimientos adecuados al medio y aprovechando al máximo las cualidades de estos materiales.

Durante el desarrollo del vehículo, se estableció el diseño y construcción de las partes que se presentan a continuación:

1.3.1. Pedalera

En el desarrollo del diseño y construcción de este elemento, nace la iniciativa de diseñar una autoparte que tenga la rigidez suficiente para soportar las cargas a las cuales están sometidos los pedales de aceleración y frenado, cabe recalcar que en el mercado existe elementos de características físicas similares, pero existe una gran diferencia en su peso (peso exagerado) y es por ello que radica la finalidad de desarrollar la autoparte en fibra de carbono.



Figura 1 Pedalera de fibra de carbono
Fuente: Autores

1.3.2. Volante

Esta autoparte adjunta la característica de incorporar un tacómetro especial (Ver Figura 2) , este dispositivo cuenta con toda la información acerca del funcionamiento del vehículo y allí su necesidad de estar en una ubicación precisa, para que la lectura sea adecuada por parte del piloto, y que a su vez se respeten las reglas de diseño según (IMEche, 2017).

Un estudio desarrollado en la UPS establece que la fuerza de torsión que el volante para un vehículo tipo Formula SAE requiere es de 75N , necesario para ejecutar el movimiento de los neumáticos del sistema de dirección (Mejía, 2016).



Figura 2 Volante de fibra de carbono
Fuente: Autores

1.3.3. Tablero

Este elemento cuenta con la característica de proporcionar una superficie capaz de alojar los distintos tipos de switch y actuadores que controlan distintas funciones del vehículo.

A más de ser ligero y de tener una alta resistencia a las cargas que esté sometido, la fibra de carbono presenta excelentes características estéticas, que otorgan un plus al acabado de este elemento.



Figura 3 Tablero de fibra de carbono
Fuente: Autores

1.3.4. Fondo plano

El fondo plano se diseñó conforme a los estudios e investigaciones realizados a nivel internacional concerniente a la construcción de vehículos Fórmula SAE y desarrollo de vehículos Formula 1.

Los principales objetivos al implementar este elemento fueron:

- Mejorar las características estéticas.
- Mejorar características funcionales.
- Mejorar las cargas dinámicas del vehículo.

- Reducir el peso, siendo este el hito de mayor importancia para el desempeño del vehículo.



Figura 4 Fondo plano fabricado en fibra de carbono
Fuente: Autores

1.3.5. Asiento

Fue diseñado para proporcionar una gran ergonomía, estética y sobre todo brindar máxima seguridad al piloto, los esfuerzos a los que está sometido este elemento son el peso del piloto y las cargas generadas durante las maniobras de conducción, al igual que las autopartes antes mencionadas la reducción de peso es el enfoque principal de este elemento.



Figura 5 Asiento de competencia de fibra de carbono
Fuente: Autores

1.3.6. Suspensión

La suspensión del vehículo monoplace tipo Fórmula SAE entró en el campo de la innovación, ya que se utilizó la fibra de carbono como elemento base en este sistema, los brazos de la suspensión se diseñaron para soportar cargas y esfuerzos que se producen durante la conducción del vehículo, una gran característica es su rigidez y resistencia, supera las propiedades mecánicas de los materiales comúnmente usados y su peso hace que sea muy apetecido para su uso para este tipo de competiciones.



Figura 6 Brazos de suspensión de fibra de carbono
Fuente: Autores

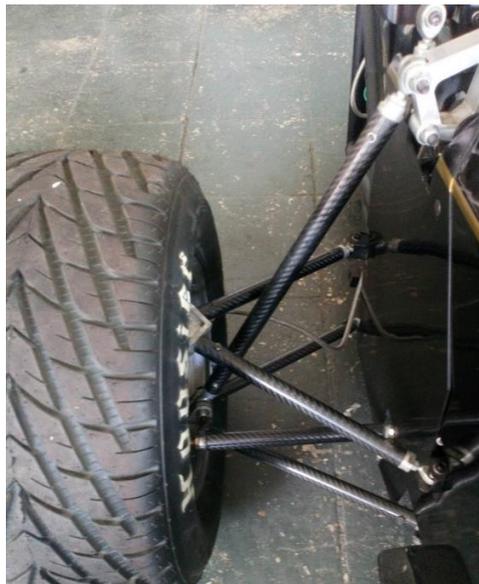


Figura 7 Sistema de suspensión delantero tipo Fórmula SAE fabricado en fibra de carbono
Fuente: Autores

1.4. Aplicaciones de la fibra de carbono dentro de la UPS sede Cuenca

Luego de dar paso al primer proyecto magno que conllevaba el uso de materiales compuestos como lo fue el FSAE, se pudieron dictaminar las deficiencias que se obtuvieron a partir de este, entre los cuales el modo experimental de prueba y error significaban un retraso importante en la cuantificación de tiempos y consecuentemente costos elevados para la fabricación, se desconocían las propiedades mecánicas de las fibras, se seguían distintos lineamientos y parámetros para la manufactura, inclusive se puede citar que el laboratorio se fue equipando conforme el desarrollo del proyecto; una vez reconocidos estos puntos negativos, el ente educativo UPS desarrolló investigaciones cuya finalidad era cubrir las falencias del mismo, para que las futuras investigaciones en desarrollo de materiales compuestos estén a la vanguardia de la tecnología, las investigaciones que se pueden destacar son las siguientes.

1.4.1. Propiedades tensiles de la fibra de carbono

La investigación sobre propiedades tensiles tuvo por objetivo determinar las consecuencias de la orientación en las fibras sobre las propiedades tensiles de un compuesto laminado con fibra de carbono y resina epoxi, estas configuraciones de orientación fueron utilizadas para el desarrollo de autopartes del vehículo FSAE, sin embargo se tenía un desconocimiento de las propiedades tensiles que tenían las autopartes desarrolladas y consecuentemente si estas ofrecían las prestaciones necesarias para la competición, la investigación buscó cubrir todas estas falencias mediante la caracterización de las propiedades tensiles de las autopartes compuestas por epoxi-carbono (Villa, 2018).

Se desarrolló mediante ensayos de caracterización a probetas con un tejido preimpregnado tipo 2x2 (Ver figura 8), y corresponden a 5 probetas por configuración.



Figura 8 Probetas con un tejido preimpregnado 2 x2
Fuente: (Villa, 2018)

Para la fabricación de probetas se someten a un proceso de manufactura manual de laminado utilizando cuatro configuraciones como son:

- a) $[(0/90)_{11}]_T$
- b) $[(\pm 45)_{11}]_T$
- c) $[(-30/60)_{11}]_T$
- d) $[(0/90)_2, \pm 45, (0/90), \pm 45, \overline{(0/90)}]_S$

Estas orientaciones (Ver figura 9) tienen la finalidad de evaluar las propiedades tensiles, estableciendo esfuerzo máximo, coeficiente de Poisson y módulo de Young como lo redacta (Villa, 2018).

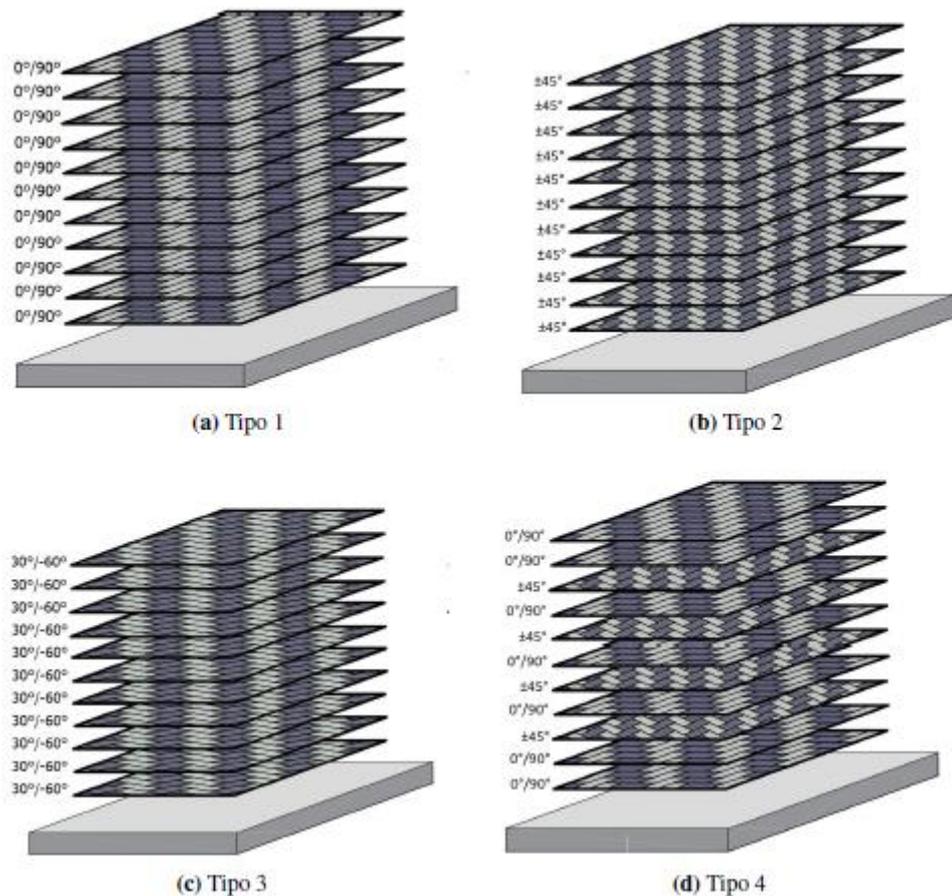


Figura 9 Configuraciones de orientación de fibra de carbono
Fuente (Villa, 2018)

Según (Villa, 2018) para obtener la evaluación del proceso de manufactura, los resultados obtenidos se comparan con los analíticos que provienen de la Teoría Clásica de Laminados, de igual manera para afianzar esta evaluación se realiza un análisis microscópico de la zona fracturada, todos los resultados junto con los experimentales y computacionales, determinan el efecto que posee cada proceso de manufactura y configuración de laminado sobre las propiedades tensiles de la fibra de carbono.

Se logran obtener como conclusiones del trabajo que la orientación de fibras 0° - 90° presenta la mejor combinación de propiedades específicas ya que presentan totalidad de efecto reforzante, pero se ven limitadas cuando se someten a cargas en direcciones distas a 0° - 90° , además con la orientación de fibras ± 45 se obtiene un pequeño grado

de ductilidad, con la orientación antes mencionada se obtiene un laminado óptimo; por otro lado la orientación $30^{\circ}/60^{\circ}$ no es recomendable para un laminado ya que no resulta ser balanceado y se comporta como material unidireccional; por último se consigue un comportamiento cuasi-isotrópico con la orientación $[(0/90)_2, \pm 45, (0/90), \pm 45, \overline{(0/90)}]$ JS pues consigue mantener el módulo y resistencia en todas las direcciones en que se aplica la carga (Villa, 2018).

1.4.2. Producción de un tablero en fibra de carbono a través de lean manufacturing

Como se había mencionado antes, la cuantificación de tiempos y costos en el desarrollo de autopartes fueron elevados, pues no se siguieron lineamientos o parámetros que garanticen reducción de estos, a raíz de estos factores negativos se procede a realizar el proyecto para la producción de un tablero en fibra de carbono mediante el uso de herramientas “LEAN MANUFACTURING”, las cuales engloban una secuencia de análisis y parámetros que permiten la manufactura de elementos en un menor tiempo, con menos desperdicio y por ende menor costo (Campoverde Pacurucu & Idrovo Villa, 2018).

Como indica (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013) la finalidad de dicha herramienta es buscar una mejora continua mediante la optimización y mejora en una línea específica de producción, básicamente se enfoca en eliminar los desperdicios que se consideran que generan más pérdidas al valor del producto

Según (Campoverde Pacurucu & Idrovo Villa, 2018) para el desarrollo del proyecto se establecen que los desperdicios son los conocidos como: movimiento, sobreproducción, espera, transporte, sobre procesamiento, corrección e inventario, y que para la aplicación de la herramientas Lean se analizó al laboratorio donde se

fabricó prototipo número uno del tablero en fibra de carbono, las herramientas antes mencionadas son las conocidas como VSM (Value Stream Mapping) , herramientas Kanban y herramientas de fábrica visual , cuya resultado final es la aplicación 5s en el laboratorio antes mencionado, el cual se convirtió en un lugar estandarizado para desarrollar el proceso de producción del tablero.

Finalmente una vez aplicadas las herramientas Lean, se obtuvieron conclusiones como por ejemplo una reducción del 42% de valor de fabricación del tablero en fibra de carbono , con respecto al primer prototipo, de igual manera para la cuantificación de tiempos se obtuvo una reducción del tiempo de producción igual a un 40%, con respecto al primer prototipo, se pudo identificar zonas en donde se tenían mayor pérdidas de tiempo y por ultimo mediante la aplicación de la técnica VSM se obtuvo una mejora en cuanto a la distribución de espacios y solución de problemas referentes cuantificación de tiempos (Campoverde Pacurucu & Idrovo Villa, 2018).

1.4.3. Guías Metodológicas para el desarrollo de prácticas en fabricación de autopartes en fibra de carbono

Las creaciones de dichas guías se desarrollaron bajo el objetivo principal de cubrir la ausencia de una guía metodológica de aprendizaje práctico para fabricar autopartes simples en fibra de carbono, esta será implementada en el laboratorio de materiales de la Universidad Politécnica Salesiana para el correcto uso del mismo y manipulación adecuada de todas las herramientas e insumos que se encuentran dentro de este. (García Cedillo & Ortega Ortega, 2018).

Se crearon formatos de guía metodológica para un aprendizaje práctico destinado al laboratorio de fibra de carbono, los formatos están basados en estándares internacionales además de guías metodológicas de las universidades de alto prestigio a

nivel mundial como: The University of Oxford o Massachusetts Institute of Technology (MIT), de esta manera garantizando un correcto desarrollo de la práctica que beneficia a docentes y estudiantes, la guía dispone de ficha técnica de seguridad, reglamentos sobre uso del laboratorio y una pequeña plantilla acerca de cómo desarrollar los informes de las prácticas (García Cedillo & Ortega Ortega, 2018).

Como culminación del proyecto se establecieron conclusiones de las cuales podemos citar que, en el Ecuador ya que no existen fábricas de manejo y distribución de fibra de carbono se crean demasiadas dudas acerca de la fabricación con materiales compuestos de cualquier elemento; el diseño y creación de una guía metodológica va orientado a fomentar un aprendizaje participativo, individual y colectivo de los estudiantes y docentes, además en referencia a procesos de fabricación se detectó que se puede generar un proceso secuencial y ordenado siguiendo las diferentes etapas para la fabricación de geometría simple de fibra de carbono, finalmente que el proyecto brinda a los diferentes estudiantes la oportunidad de emplear el conocimiento teórico-práctico desarrollados a través de la fibra de carbono, y no solo a ellos sino también a instituciones o empresas que se vean interesadas de indagar en este campo (García Cedillo & Ortega Ortega, 2018).

1.4.4. Análisis de elementos fabricados en fibra de carbono mediante software

Se ha citado con antelación que para la determinación de las propiedades de las fibras de carbono de las autopartes desarrolladas se realizan pruebas destructivas mediante probetas y prototipos, sin embargo el uso de un software para la validación de los diseños de autopartes no estuvo aplicado durante la manufactura de piezas automotrices de geometría simple lo que conllevó a que no se establezcan las orientaciones de las fibras adecuadas para los diferentes requerimientos mecánicos de la misma, para resolver ese inconveniente se procedió a desarrollar la investigación del

análisis de la configuración de capa de manufactura de autopartes de geometría simple a través de un software especializado, este se basa en la simulación de piezas automotrices del FSAE con fibra de carbono preimpregnado (Ortega, 2018).

Para el desarrollo de la simulación, esta fue aplicada a tres autopartes de geometría simple, entre los cuales tenemos la pedalera, el volante de dirección y el fondo plano, los diseños fueron realizados previamente mediante el uso de un software CAD, luego las simulaciones fueron aplicadas en el pre y post procesamiento usando Patran y para cálculo el MSC Nastran con el uso de las constantes ingenieriles , además las fuerzas que se usaron en la simulación se obtuvieron de investigaciones previas en la Universidad Politécnica Salesiana, se ejecutan 8 simulaciones para cada elemento, obteniendo 24 en total, para formar tablas comparativas en base a la deformación luego de un sometimiento a distintos esfuerzos y orientaciones de laminado, estos resultados sirven de base para obtener una orientación adecuada al aplicar el proceso de manufactura, que a su vez otorga las características necesarias y adecuadas dentro de los valores tolerables (Ortega, 2018).

El proyecto antes mencionado arrojó conclusiones entre las que se puede citar que la orientación de fibras de tipo $[(0/90)_{11}]_T$ para las tres autopartes analizadas es la recomendada para la manufactura, además de que su peso es menor al resto de configuraciones y presenta menos complejidad ; el margen de error más elevado de las constantes ingenieriles es para la configuración $[(45/45)_{11}]_T$; en cambio la configuración de tipo $[(0/90)_2, \pm 45, (0/90), \pm 45, \overline{(0/90)}]_S$ es la que presenta valores bajos en cuanto a deformación, sin embargo no se recomienda para la manufactura por su alto grado de complejidad y orientación múltiple lo que resulta en mayor utilización de recursos (Ortega, 2018).

CAPÍTULO II

2. Planificación, organización y obtención de recursos para la fibra de carbono

Es importante recalcar que dentro de la fabricación de autopartes y elementos de geometría simple en fibra de carbono se debe de realizar un trabajo de manera esquemática y secuencial, para ello se describirá la planificación para un proceso de producción completamente organizado, que detalle los métodos para la obtención de la materia prima y la cantidad de recursos, pues la meta principal fijada es estandarizar el proceso de producción dentro de la UPS, pues se tiene como antecedentes que las distintas autopartes se desarrollaron bajo distintos parámetros de planificación, organización y obtención de recursos, a consecuencia de la estandarización que se establece en el desarrollo de esta investigación, se obtienen los diferentes resultados como la reducción de costos, reducción tiempos de fabricación y desperdicios , además de garantizar la calidad de las autopartes desarrollada.

Se debe tener especial atención en los parámetros de diseño , pues al generarse errores en ellos significaría un retraso importante en el desarrollo de la autoparte, para ello se debe delimitar las opciones de diseño existentes tomando en cuenta los elementos con los que va a interactuar, requerimientos técnicos y su funcionalidad. (Temprano, 2016).

Para llevar a cabo la fabricación de autopartes y elementos de geometría simple en fibra de carbono, se debe de presentar una planificación del proyecto dentro de la cual se deben establecer las actividades que permitan el desarrollo del mismo de forma adecuada, por tanto, las bases que se conforman son presentadas mediante el siguiente diagrama.



Diagrama 1 Planificación de proyectos en fibra de carbono
Fuente: Autores

2.1. Indagación del proyecto

Se tiene conocimiento que el primer paso para la conformación de proyectos es la recopilación de toda la información necesaria respecto al producto que se va a desarrollar, este es conocido como el proceso básico en cualquier clase de proyecto (Barrachina Salas, 2013), para el desarrollo de un proyecto para la fabricación de piezas en fibra de carbono es necesario el análisis de las variables principales como la factibilidad, equipos de protección, herramientas, maquinarias, insumos y laboratorios que de una u otra forma se ven involucrados a lo largo del proceso de fabricación, y que también definen en gran medida la calidad del producto final.

2.1.1. Factibilidad del proyecto

Este instrumento sirve de guía para la toma de decisiones, dentro de la factibilidad se deben resolver preguntas como: ¿Qué beneficios se obtiene con el proyecto?, ¿Qué riesgos conlleva el proyecto?, ¿Quiénes están involucrados?, ¿Qué tiempo toma el desarrollo del proyecto?, estas se formulan con la intención de cuantificar y cualificar las posibilidades de fracaso o éxito que tiene el proyecto, fiándose en estas para dar paso o no a su implementación. (GestioPolis, 2001).

2.1.2. Equipos de protección

En lo referente al equipo de protección para manipulación de la fibra de carbono, estos se centran en evitar accidentes como: aspiración de material tóxico, cortaduras, irritaciones de piel y ojos, etcétera. Basados en la norma ISO/TC 94 (seguridad personal – Equipo de protección personal) redactada por (ISO, s.f.), se recomienda tomar en cuenta los siguientes equipos:

- Gafas de protección con protectores laterales incorporados.



Figura 10 Protector visual
Fuente: Autores

- Guantes de neopreno totalmente impermeables, son ideales para manipular resinas, disolventes y telas de fibra de carbono.



Figura 11 Guantes de neopreno
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Overol 3M™, y si en caso se usa mandil que sea de mangas largas en conjunto con un pantalón.



Figura 12 Overol 3M con protección para cuello y cabeza
Fuente: Autores

- Mascarillas 3M™ serie 7000 tipo media máscara, con filtros de la serie 2000 modelo 5N11 , también como sugiere (Castro Composites, s.f.) se puede usar 3M™ 6800S tipo máscara completa con filtro de partículas 3M™ 5925 y filtro para vapores orgánicos 3M™ 6051 A1; el conjunto ofrece una protección de filtrado contra las partículas, gases y vapores presentes en numerosas aplicaciones industriales.



Figura 13 Media máscara 3M serie 7000
Fuente: Autores



Figura 14 Mascara completa 3M 6800s
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

2.1.3. Herramientas y maquinaria

Una vez identificados los equipos de protección, se procede a lo concerniente a la zona de herramientas, estas ayudarán en los diferentes procesos de manufactura entre los cuales se pueden destacar, procesos de corte y trazado realizados a polímeros, procesos de colocación de laminado, procesos vaciado y curado, además del proceso de mecanizado, algunos de ellos no solo requieren el uso de herramientas sino también la utilización de maquinaria especializada.

A continuación, se muestra las herramientas sugeridas para la fabricación de autopartes en fibra de carbono:

- EC Cutter o Cortador eléctrico de fibra , este cortador cuenta con cuchillas de carburo que son ideales para el corte de las fibras, pues evitan el que el tejido se despedace y a la vez mantiene la uniformidad del mismo a lo largo del corte (Castro Composites, s.f.).



Figura 15 Cortador eléctrico de fibra
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Tijeras especiales de acero inoxidable endurecido con alto contenido de carbono para cortes de polímeros y otros tejidos finos.



Figura 16 Tijera manual KAI 7240
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- AIRSWEEP aplicadores para Pre-Preg, estos están diseñados para realizar una mejor compactación de pre-impregnado en ángulos complicados, pueden ser usados para quitar arrugas y el aire existente en los pliegues

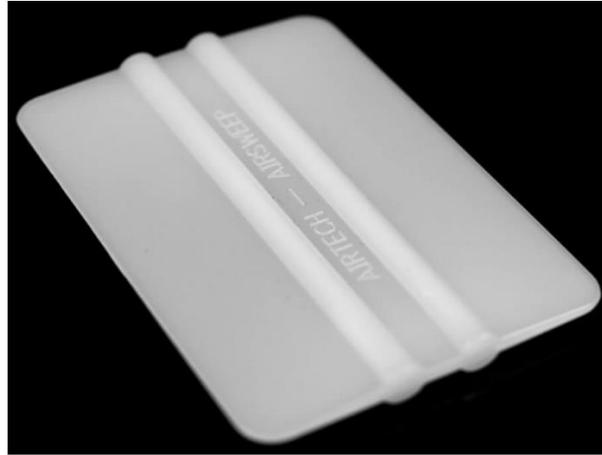


Figura 17 Aplicador de Pre-Preg
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Cuña de polímero endurecido, este elemento es utilizado para el desmoldeo de la pieza, su diseño permite la extracción de la pieza de una forma segura y rápida.



Figura 18 Cuña de plástico
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Brocha plana, es empleada en la aplicación de resinas y alcoholes polivinílicos sobre moldes.

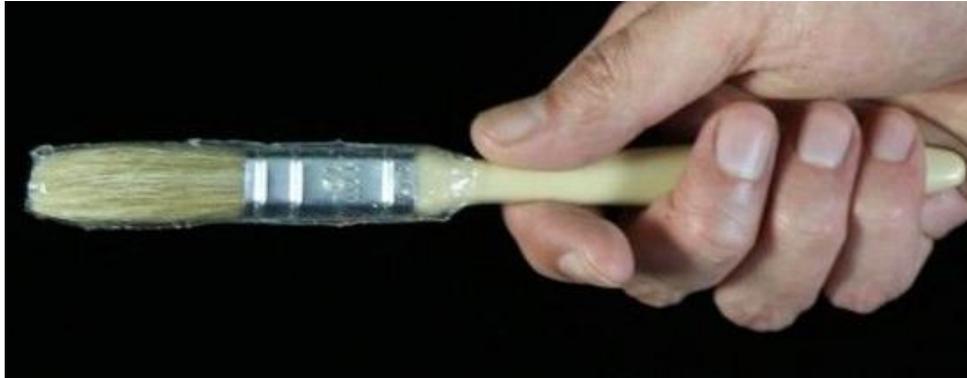


Figura 19 Brocha plana
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Rodillo de laminación de hebras largas, de igual manera es un elemento usado para extender sobre superficies planas, resinas, ceras desmoldantes, de una manera más uniforme, sobre todo cuando la superficie tiene mayor extensión.



Figura 20 Rodillo de laminación
Fuentes: (Castro Composites, s.f.)

- Rodillo desaireador de láminas de aluminio, usado para la compactación de láminas de tela de fibra de carbono y resina , además con su diseño permite la eliminación de burbujas atrapadas entre capas (Castro Composites, s.f.).



Figura 21 Rodillo de láminas de aluminio
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Rodillo desaireador esquinero de aluminio, tiene forma de disco lo cual lo vuelve ideal para adaptar las telas de fibra de carbono en las esquinas del molde durante el proceso de colocación de láminas.

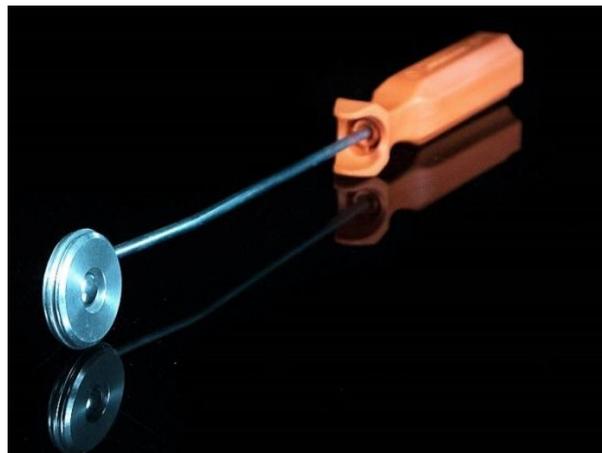


Figura 22 Rodillo esquinero de aluminio
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Rodillo de caucho, se utiliza para presionar la masilla de cierre o cinta sellante amarilla sobre la película de plástico sellante , mediante esta herramienta se garantiza un mejor vacío (Castro Composites, s.f.).



Figura 23 Rodillo de caucho
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Pistola de gravedad boquilla 1.3, utilizada para brindar un acabado superficial parejo a la autoparte ya curada, esta es mayormente requerida cuando la autoparte tiene fines estéticos.



Figura 24 Pistola de gravedad
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Balanza digital, es de suma importancia al momento de realizar las mezclas de las resinas de cobalto con el catalizador, pues se necesita precisión en la medición de estos componentes para la formación de una matriz de excelentes características.



Figura 25 Balanza digital
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Vasos de plásticos resistentes a productos químicos, son usados con la finalidad de realizar las mezclas de resinas en distintas proporciones.



Figura 26 Vasos para uso químico
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- Limas de carburo de tungsteno, estos elementos cuentan con granos de carburo de tungsteno, los cuales superan ampliamente al papel de lija tradicional en muchos usos, son altamente efectivos en el momento de crear bordes rectos, bordes cuadrados, bordes con ángulo, chaflanes, perfilar bordes delanteros, suavizar bordes posteriores, etc., además son de fácil manejo, ya que tienen la característica de ser livianos (Perma-Grit Tools Ltd., s.f.).



Figura 27 Limas de carburo de tungsteno
Fuente: autores

- Conjunto de espátulas, estas son herramientas que pueden servir de apoyo en los diferentes procesos de fabricación.

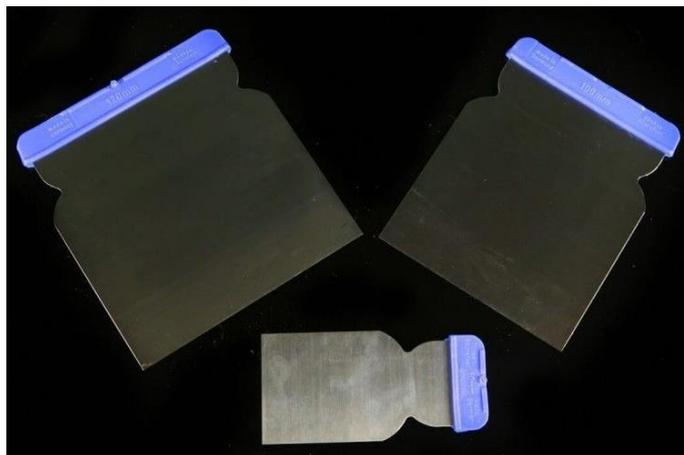


Figura 28 Conjunto de espátulas
Fuente: (Castro Composites, s.f.)

- También es importante el uso de una mesa de trazado (ver figura 29) para la realización de mediciones y cortes de los polímeros y fibras que son usados dentro del desarrollo de la autoparte, es importante mencionar la sujeción de dicha mesa pues debe brindar seguridad al momento de ejecutar los procesos de corte.



Figura 29 Mesa de trazado
Fuente: Autores

Por otra parte, la maquinaria requerida dentro del desarrollo de autopartes va directamente ligado a los distintos procesos de manufactura a la que se ve sometida la fibra de carbono para conformar la autoparte, tenemos entonces para el proceso de vaciado el uso de una bomba de vacío de 2 Pascales de presión.



Figura 30 Bomba de vacío
Fuente: Autores

Para el proceso de curado es necesaria la utilización de un horno con controlador electrónico de temperatura, pues es fundamental el dominio de este parámetro para garantizar el desarrollo de la pieza, el horno puede contar con las características presentadas en la siguiente figura.



Figura 31 Horno de curado
Fuente: Autores

Otro proceso involucrado en la fabricación es el proceso de mecanizado de la pieza o autoparte, en la cual se realiza cortes para dar el acabado final, dependiendo de la complejidad del modelo, se puede desarrollar el mecanizado con maquinarias como un pulidor Dremel (ver Figura 32), se sugiere el uso de por lo menos dos de estos elementos al realizar estos procesos.



Figura 32 Pulidor Dremel
Fuente: Autores

Los pulidores Dremel deben estar equipados con sus respectivos discos de corte de carburo de tungsteno (ver Figura 33) pues al igual que las limas su material facilita el corte de la fibra sin que exista un desprendimiento excesivo de material, otorgando un corte limpio y constante, por tanto, son los recomendados para mecanizar; además se necesita un taladro con brocas de metal duro con punta de cobalto (ver Figura 34).

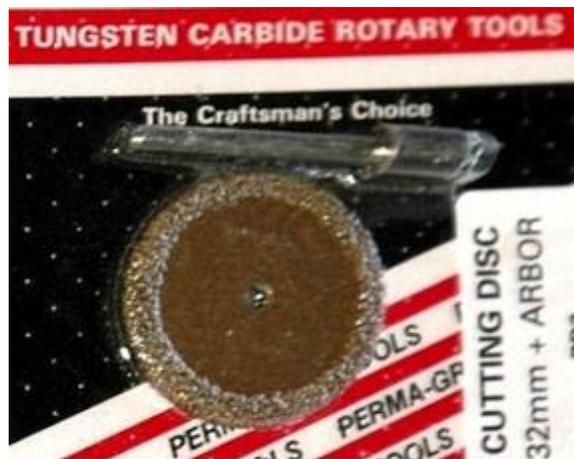


Figura 33 Disco de carburo de tungsteno
Fuente: (Kit Carbono Composites, 2019)



Figura 34 Taladro para proceso de mecanizado
Fuente: Autores

Si la complejidad de mecanizado de la pieza es elevada se puede realizar a través de una fresadora CNC, cabe recalcar que la presente investigación se centra en elementos de geometría simple por tanto el uso de una fresadora CNC de escritorio presenta gran viabilidad al tratarse de estos tipos de geometría, entre las características que estas incorporan se pueden citar las siguientes:

- Software integrado o programación para la manufactura.
- Sus procesos de corte son a bajo costo, pues no demandan un gran suministro de energía.
- En cuanto a utilización de espacios presenta amplias ventajas, sin dejar de lado la funcionalidad, precisión y efectividad para el mecanizado de las autopartes.



Figura 35 Fresadora CNC de escritorio
Fuente: (Roland DGA Corporation, 2019)

Una de las variables de más importancia es el lugar o espacio en donde se va a fabricar las autopartes, pues si no está adecuada de manera correcta y no cuenta con un orden específico para cada área de trabajo significará un incremento en cuanto a desperdicios de materiales y consecuentemente el aumento de tiempo como lo redactan (Campoverde Pacurucu & Idrovo Villa, 2018). Se observa un laboratorio para la fabricación de autopartes (ver Figura 36), cuya organización está basado en las herramientas Lean Manufacturing, que garantizan un mejor uso de espacios y recursos, sin embargo durante la realización de la presente investigación se pudo constatar que el laboratorio no cuenta con el sistema de ventilación adecuado, lo cual conlleva a que el ambiente de trabajo no sea seguro ya que no existe una evacuación de las partículas provenientes del maquinado de las autopartes.



Figura 36 Laboratorio de aplicación de materiales en ingeniería del transporte
Fuente: Autores

2.2. Requerimientos mecánicos de la autoparte.

Cada elemento del vehículo presenta sus propios requerimientos mecánicos, los cuales vienen determinados por aspectos como esfuerzos o cargas, ubicación, funcionalidad y

seguridad, para dar paso a la precisión de estos requerimientos el presente proyecto toma como ejemplo una autoparte ya desarrollada con anterioridad dentro de los laboratorios de la UPS, el cual abarca la fabricación del volante de competencia tipo Formula SAE.

Para la determinación de las cargas dinámicas se realizó un estudio en el cual (Mejía, 2016) indica que la fuerza de torsión en el volante de competencia de un vehículo tipo Formula SAE es de 75N , la cual permite ejecutar el movimiento de los neumáticos del sistema de dirección.

La ubicación del elemento va determinada por el sistema al que pertenece, para el correspondiente caso este pertenece al sistema de dirección; las dimensiones de la autoparte de geometría simple deben de ser consideradas en relación a la ubicación, debido a que el vehículo dispone de un determinado espacio para cada autoparte, esto va ligado con la funcionalidad, al citar esta autoparte en específico se observa que se requiere la ejecución de maniobras durante la conducción y debe de presentar la ergonomía correspondiente a un volante de competencia, además porta la característica de incorporar un tacómetro especial (Ver Figura 2) , el tacómetro permite visualizar toda la información acerca del funcionamiento del vehículo por ello debe contar con una ubicación precisa, para que la lectura sea adecuada por parte del piloto.

Finalmente, la seguridad del volante es un punto crítico para el desarrollo del mismo, debe de ser capaz de soportar los esfuerzos a los que se somete por la ejecución de maniobras, un error en la manufactura para esta autoparte implicaría un riesgo potencial a la seguridad del piloto, no obstante, cada autoparte tiene un nivel de seguridad distinto, este nivel viene determinado por los tres parámetros antes expuestos.

2.3. Diseño y pruebas mediante software

Una vez obtenidos los requerimientos mecánicos de la pieza, se procede al diseño de la misma mediante un software de diseño CAD en el cual se establecen las dimensiones, formas e incluso accesorios que pueden incorporar, el plano o planos generados son la base para realizar los moldes y posteriores procesos de trazado y corte.

Las pruebas mediante programas CAE consideran la orientación de las fibras, dependiendo de estas configuraciones se tiene distintos niveles de deformación y soporte de cargas, se tomará en cuenta la configuración más apropiada para los requerimientos mecánicos de cada autoparte, dentro de los softwares que se han usados en investigaciones dentro de la UPS podemos contar con Patran y para cálculo el MSC Nastran con el uso de las constantes ingenieriles.

2.4. Adquisición del material base e insumos

Para una correcta adquisición del material base e insumos necesarios para la fabricación de elementos de geometría simple en fibra de carbono se debe tomar en cuenta ciertos parámetros que son determinantes para evitar falta de material o desperdicios del mismo, estos parámetros son los siguientes:

- Tipo de geometría.
- Aplicación a la que va dirigida la autoparte.
- Características de los materiales a adquirir.
- Proceso de obtención de los materiales.

Una vez analizados y cumplidos estos parámetros se puede proceder a la adquisición de los materiales, a continuación, se describe estos parámetros de forma más detallada.

2.4.1. Tipo de geometría

El tipo de geometría en la que se enfoca esta investigación son las denominadas geometrías simples, no obstante, el tipo incide en los procesos pues se puede requerir más tiempo de diseño, construcción, y mayor cantidad de material, consecuentemente un incremento en el costo de las autopartes.

Para ello debemos recalcar lo siguiente:

“Una autoparte de geometría simple se la considera aquella que esté constituida por morfologías poco complejas, es decir que en su mayoría disponga de superficies planas, no esté constituida por superficies redondas o que tengan ángulos con exagerada orientación”.

A continuación, se observan algunas autopartes consideradas de geometría simple

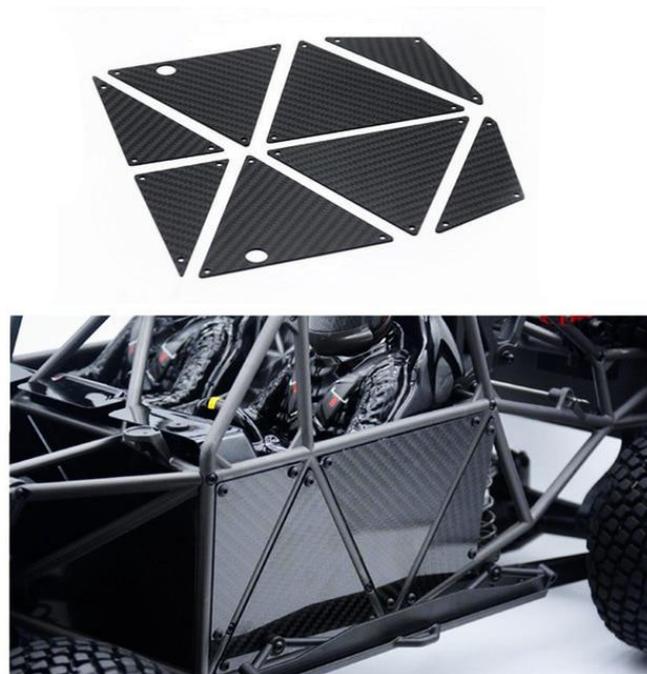


Figura 37 Autoparte de geometría simple
Fuente: (Ashby & Jones, 2008)

2.4.2. Aplicación de la autoparte

Para continuar con el proceso, es necesario conocer la aplicación de la autoparte, es indispensable hacer este análisis, ya que así se evitan algunos factores negativos como

la pérdida de tiempo o de materiales e insumos y a su vez se mejora la calidad de las autopartes y se optimizan los costos.

Los parámetros que deben analizarse son:

- Conocer la ubicación.
- Saber si es de carácter funcional o estético.
- Si es de carácter funcional determinar a qué esfuerzos o cargas está sometida.

A continuación, se observan autopartes con distintas aplicaciones.



Figura 38 Autoparte de uso estético
Fuente: (Southern Car Parts, 2018)

2.4.3. Características de los materiales a adquirir

Se disponen de una gama de materiales distintos para la fabricación de autopartes, entre las cuales se puede nombrar las telas de fibra de carbono, las resinas epóxicas, polímeros para embolsado, nylon para acabados, láminas de control de flujo, cintas adhesivas , entre otros, los cuales presentan características propias de cada elemento que se deberán seleccionar en consecuencia a los parámetros anteriormente establecidos para fabricar una autoparte de geometría simple, a continuación las descripciones de cada uno de los materiales que se usan dentro del proceso de fabricación .

2.4.3.1. Película para embolsado de nylon de 150 ° C



Figura 39 Polímero para embolsado de 150 ° C
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Esta película se utiliza para aislar y compactar todos los elementos que se encuentran en el molde, como las telas de fibra, el Peel- Ply y el nylon, de esta manera se forma una especie de láminas compactadas que con la ayuda de la presión de vacío garantizan un correcto proceso de curado de las piezas.

Esta película tipo bolsa de nylon está diseñada para soportar altas temperatura y altas presiones, está formulada para ser menos afectada por la humedad en el aire, por lo que resiste la sequedad y la fragilidad, necesita ser almacenada de una manera hermética además si se usa correctamente, permanece suave y adaptable a la pieza compuesta, a su vez que disminuye la probabilidad de que se formen arrugas y agujeros en la configuración de su empaque y eso se traduzca en imperfecciones en la superficie de la pieza, la lámina es de tan solo es 0.002 " de espesor. Existen tres tipos de lámina, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 1 Tipos de láminas para embolsado
Fuente: Autores

| <u>Color</u> | <u>Temperatura</u> |
|--------------|--------------------|
| Rojo | Hasta 160 C |
| Rosado | Menores a 130 C |
| Púrpura | Hasta 100 C |

2.4.3.2. Capa de liberación de nylon

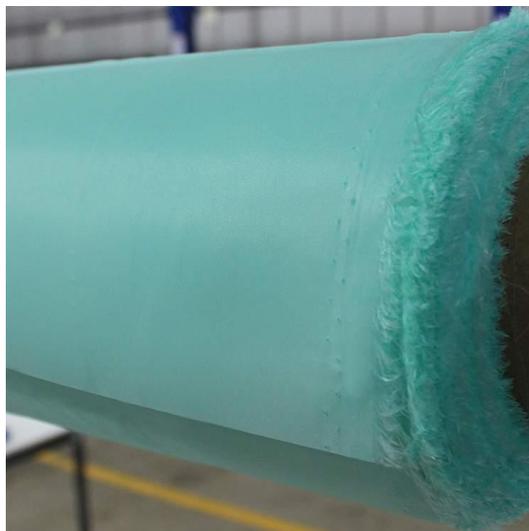


Figura 40 Capa de liberación de nylon
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

El Nylon Peel Ply es utilizado para crear un acabado de superficie uniforme y contribuye a que el laminado se mantenga compacto una vez que se completa el proceso de embolsado, tiene la característica de que está estrechamente tejido, debe colocarse directamente junto al laminado de las telas y su principal función es permitir que fluya el exceso de resina y aire, a su vez que elimina los vacíos que se produzcan en las piezas,

Es fácil liberarlo de la pieza terminada, tiene la ventaja que se lo puede usar con temperaturas de hasta 260 ° C, su espesor es de 0.0045 ".

Existen algunos tipos de nylon, los más comunes y de mayor uso se los presenta a continuación.

Tabla 2 Tipos de capas de liberación de nylon
Fuente: Autores

| <u>Color</u> | <u>Temperatura</u> |
|----------------------------------|---------------------------|
| Turquesa | Hasta 260 °C |
| Blanco | Menores a 240 °C |
| Blanco con textura de color Vino | Hasta 190 °C |
| Celeste | Hasta 150 °C |

2.4.3.3. Tejido para respirar y purgar



Figura 41 Tejido para purgar
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tejido no contiene aglutinante y tiene la ventaja que se ajusta a los contornos de la pieza, dentro de la bolsa de envasado al vacío, el tejido se aplica directamente sobre el Nylon Peel Ply y el laminado de las telas de fibra de carbono, esta configuración permite que cumpla dos propósitos clave.

El primero, cumple la función de respirador, es decir, permite que la presión de vacío se aplique uniformemente en toda la superficie del laminado, también permite que cualquier gas liberado durante el curado pueda escapar.

Su segunda función es como desangrador, es decir absorbe el exceso de resina aplicada durante el proceso de curado, ya sea en el método de curado al vacío o el método de infusión, hay que tener en cuenta que, si se utiliza este tipo de tela con un mayor espesor, puede resultar que se seque algunas partes si no se tiene un control cuidadoso.

2.4.3.4. Cinta sellante amarilla

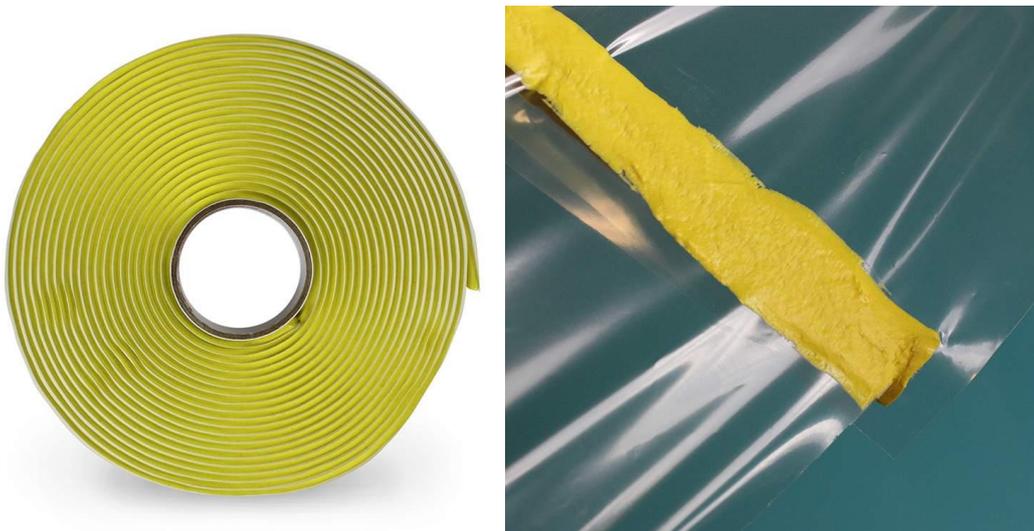


Figura 42 Cinta sellante
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

La cinta de sellado amarilla está diseñada para sellar las bolsas de vacío en una variedad de superficies como el aluminio, acero, níquel, grafito y fibra de vidrio con pegajosidad agresiva, este tipo de adherencia hace que sea menos probable que la película de enfundado se desplace o se produzcan las fugas durante el proceso de vaciado, debido a la capacidad de adhesión que tiene la cinta, hay que tener mucha precaución el momento de colocar la cinta porque dadas sus

características es muy difícil su recolocación en una nueva posición, es adecuada para ciclos de curado hasta 200 ° C.

En el mercado existen 2 tipos de esta cinta, los cuales se describen a continuación.

Tabla 3 Tipos de cinta sellante
Fuente: Autores

| <u><i>Color</i></u> | <u><i>Temperatura</i></u> | <u><i>Ancho Cinta</i></u> |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Amarillo | 205 ° C | 1/2" Y 1/8 " |
| Gris | 100 ° C | 1/2" Y 1/8 " |

2.4.3.5. Lámina de control de flujo para infusión



Figura 43 Lamina de control de flujo de infusión
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

La lamina para el control de flujo de resina para infusión está diseñado para ayudar a fluir a través de su contextura durante la infusión un flujo de resina controlado y predecible, es decir proporciona una adecuada distribución la cual es proporcional en todos los sentidos de la pieza, puede ser usado con temperaturas de hasta 200 ° C.

Tiene las ventajas de que es fácil de manejar para colocar dentro de la bolsa de vacío, a su vez que no se enrolla ni se deshilacha cuando se realiza el corte.

Existen algunos tipos, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 4 Tipos de láminas de control de flujo para infusión

Fuente: Autor

| <u>Color</u> | <u>Temperatura</u> | <u>Área Cobertura</u> |
|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Rojo | Hasta 65 °C | 50 in ² |
| Verde | Hasta a 93 °C | 90 in ² |
| Azul | Hasta 100 °C | 150 in ² |

2.4.3.6. Lámina Lantor Soric XF

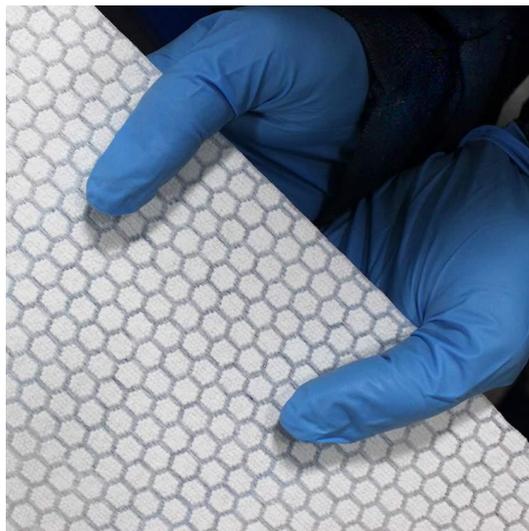


Figura 44 Lámina Lantor Soric XF

Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

La lamina Lantor Soric es un medio de comunicación del flujo de infusión de resina, este material tiene la característica que presenta canales de flujo de forma hexagonal que están conformados en forma de lámina, la cual crea un frente de resina uniforme y compacta. Es fabricado en poliéster no tejido. Cuenta con características como:

- Crea un frente de resina uniforme.
- Acumula rápidamente espesor con hasta un 35% menos de retención de resina.
- También se puede utilizar como material de núcleo.
- Disponible 2 mm de espesor, 50 "de ancho.

2.4.3.7. Película de liberación de alta temperatura



Figura 45 Película de liberación de alta temperatura
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo de película está conformado por etileno propileno fluorado, tienen la característica que a altas temperaturas son muy duraderas y altamente conformables, además su principal función es la de antiadherente, de esta manera se compacta, pero no se pega con el resto de láminas, garantiza una fácil extracción una vez finalizado el proceso de curado.

Resisten hasta 260 °C de temperatura y tienen una alta elongación.

2.4.3.8. Tubo espiral



Figura 46 Tubo espiral para vacío
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Los tubos espirales son indispensables para utilizarlos como prolongadores de las líneas de vacío en bolsa o de las líneas de alimentación de resina, por lo general este tubo se usa en la infusión al vacío para permitir que la presión de vacío se disperse fácilmente alrededor de la funda compactada, para garantizar que el flujo de resina no se vea impedido, es necesario envolver el tubo en capas de nylon o poliéster. Sus características son las siguientes:

- El diámetro interior es de 1/2 "; el diámetro exterior es de 3/4 ".
- Rango de temperatura: -60 ° C a 50 ° C.

2.4.3.9. Tubo de vacío



Figura 47 Tubo de vacío de 1/2"
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo de tubo es lo suficientemente fuerte como para resistir la presión en el ciclo de vacío, este tubo de vinilo es indispensable para el embolsado al vacío o de infusión.

El diámetro interno de 1/2 " permite que el flujo de aire máximo extraiga rápidamente el aire de la bolsa, a su vez que permite un correcto ingreso y salida de la resina, su característica transparente permite la observación de aire y resina durante el proceso para un fácil manejo, puede soportar temperaturas de hasta 100 ° C, además cuenta con características como:

- El diámetro interno de 1/2 " y externo es de 3/4 ".
- Tiene la característica de ser robusto, pero a su vez ligero para un fácil manejo.
- Rango de temperatura: -29 ° C a 82 ° C.

2.4.3.10. Regulador de flujo



Figura 48 Regulador de flujo
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este dispositivo sirve para iniciar y finalizar el flujo de resina ejerciendo presión sobre el tubo de alimentación, es un paso crítico en el proceso de infusión de resina, y este elemento ayuda en gran manera; también se puede usar para controlar el flujo de aire en aplicaciones de envasado al vacío, como el proceso de curado en Pre – Preg.

2.4.3.11. Resina de cobalto



Figura 49 Resina de cobalto
Fuente: (Pintulac, 2018)

La resina cobaltada es uno de los elementos primordiales en el proceso de infusión o también para reparaciones pequeñas en estructuras de fibra de carbono que requiera algún tipo de arreglo en estructuras.

Esta resina es la que proporciona la dureza ideal para que las láminas de tela de fibra de carbono puedan compactarse y obtener un acabado con la dureza requerida, para su preparación debe ser mezclada con su catalizador, el cual tiene una relación de mezcla al 5%, cabe recalcar que mientras más catalizador se agregue, la resina se seca más rápidamente y eso puede que sea perjudicial para el proceso de fabricación de la pieza, el efecto contrario ocurre si se agrega menos cantidad de catalizador.

El catalizador o Peróxido de Mek es un elemento que cuando se añade a la resina cobaltada provoca la reacción química antes mencionada, su relación de mezcla se basa en los siguientes datos:

- En un porcentaje entre de un 1% a 24 grados de temperatura.
- En un porcentaje entre de un 3% - 5% a 16 grados, cabe recalcar que la temperatura ideal de utilización de 20 grados.

2.4.3.12. Alcohol polivinílico



Figura 50 Alcohol polivinílico
Fuente: Autores

El alcohol polivinílico es un polímero sintético soluble en agua, este compuesto tiene excelentes propiedades para formar películas de protección y también como adhesivo, tiene la capacidad de ser resistente a grasas, aceites y disolventes, además es inodoro y no tóxico.

Su uso en la fabricación de autopartes con fibra de carbono es de carácter estético y de protección, ya que brinda un acabado de excelente calidad a su vez evita que las telas de fibra se adhieran al molde durante el proceso de curado a altas temperaturas.

2.4.3.13. Telas de fibra de carbono no impregnadas

Estas telas tienen la característica de no poseer ningún tipo de resina en su composición, es decir tan solo se las fabrica con un recubrimiento tipo adhesivo en su totalidad para evitar la contaminación con impurezas.

Este tipo de fibra viene en algunas presentaciones, y dependiendo su aplicación y uso, las más comunes son las siguientes.

2.4.3.13.1. Tela de fibra de carbono 3K,2 x 2 tejidos de sarga

Este tejido de sarga 2 x 2 dispone de un aspecto clásico y es el tejido más popular que existe, este tejido tiene una nomenclatura de 3K (3000 filamentos por fibra) proporciona una resistencia estructural muy alta, a su vez posee un aspecto distintivo que es altamente apetecido no solo en la industria automotriz sino también para las industrias aeroespacial, marina y de artículos deportivos.

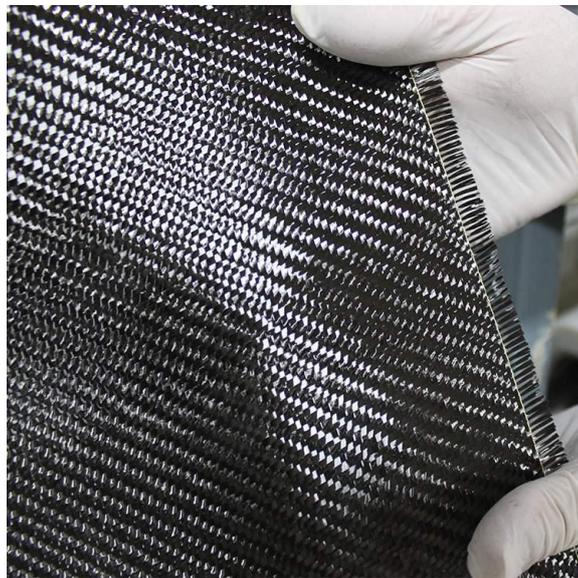


Figura 51 Tela de fibra de carbono 3K, 2 x 2
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

En comparación con un tejido liso, el tejido de sarga ofrece una mayor conformabilidad, también presenta una hermosa textura de espiga y ofrece una ligera ventaja en la resistencia.

A continuación, una descripción visual del tejido de sarga

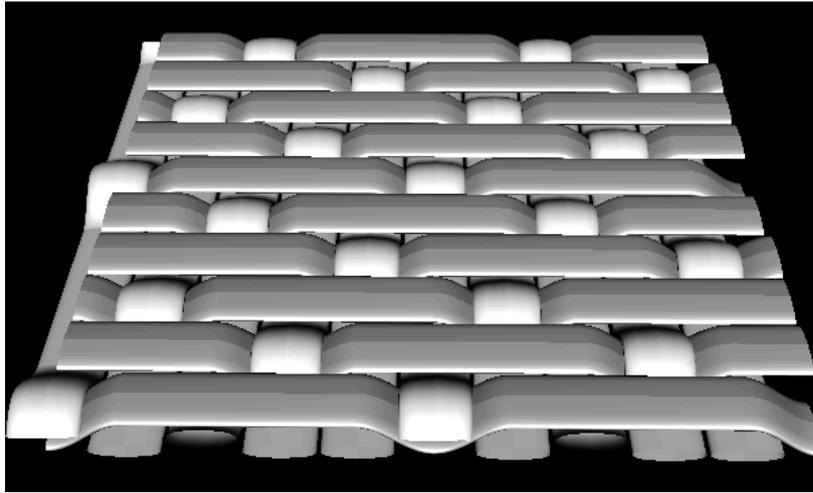


Figura 52 Tejido de sarga
Fuente: (Miravete & Cuartero, 2003)

Características

- El tejido proporciona una muy buena estética y facilidad de uso.
- Es utilizado en fibras aeroespaciales de la más alta calidad.
- La Relación fuerza / peso inigualable.
- Dispone de un módulo alto para una rigidez superior.
- Es un material resistente al fuego.
- Resistencia a la fatiga para una resistencia duradera.

2.4.3.13.2. Tela de fibra de carbono 3K de tejido liso



Figura 53 Tela de fibra de carbono 3K configuración lisa
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo de fibra es de especial aplicación para piezas livianas, de alta resistencia y aerodinámicas, presenta un tejido liso, además una composición de 3k (3000 filamentos por fibra), este estilo de tela comúnmente tiene una especial característica que brinda una resistencia uniforme tanto en dirección horizontal como vertical, también tiene una característica especial que se moja rápidamente con la resina y se maneja fácilmente (moldeable), cabe recalcar que según recomendaciones del fabricante solo se necesitan tres capas para producir piezas no estructurales.

Se puede observar a continuación la configuración del tejido liso

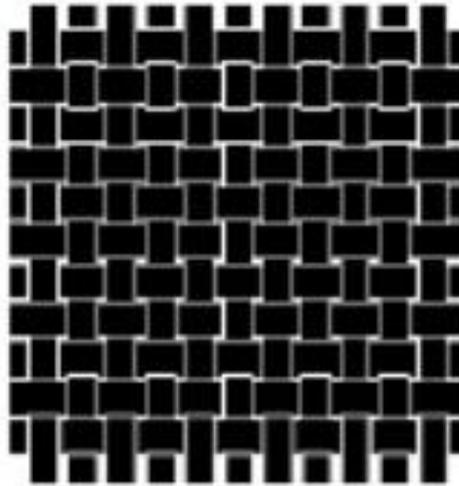


Figura 54 Tejido liso

Fuente: (*Bravo Murillo & Bueno Sáenz, 2015*)

Características

- El tejido liso de este tipo de fibra de medidas 12,5 x 12,5 ofrece un tejido apretado, el cual es menos probable que se deshilache al momento de realizar un corte o manipular el mismo.
- Se moja rápidamente con los distintos tipos de resinas epoxi.
- La relación fuerza vs peso es inigualable.
- Ideal para piezas ligeras utilizadas en aplicaciones aeroespaciales, aviación, automotriz, artículos ortopédicos.
- Según recomendaciones de (Fibre Glast Developments Corporation, 2019), para obtener una mayor conformabilidad y un moldeado de mejores características, coloque la tela en un ángulo de 45 grados dentro de los moldes.

2.4.3.13.3. Tela de fibra de carbono ultraligero de tejido liso 1K

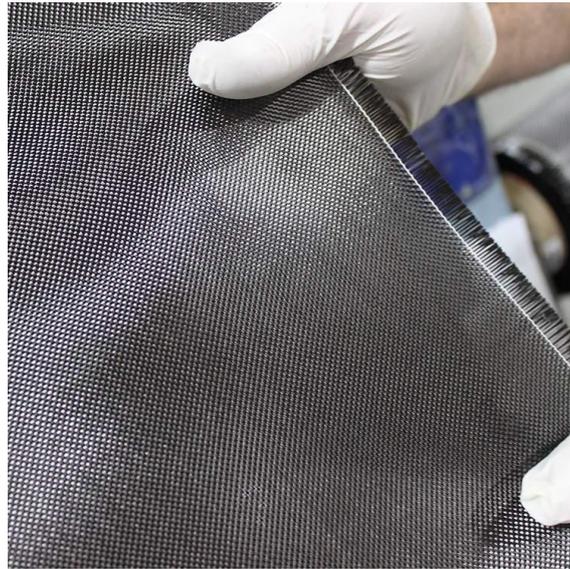


Figura 55 Tela fibra de carbono ultraligero configuración lisa 1K
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo de fibra se utiliza cuando la fuerza, la rigidez y el peso mínimo son claves para la fabricación de una pieza, este exclusivo tejido de carbono se utiliza en las aplicaciones más exigentes que requieren una máxima resistencia y rigidez, la contextura de este tejido brinda una resistencia uniforme tanto en dirección horizontal como vertical, y proporciona un fácil manejo. Este tipo de tejido es caracterizado como ultraligero y es adecuado para aplicaciones aeroespaciales, vehículos aéreos no tripulados, automóviles y objetos marinos para competición.

Características

- Este tipo de fibra dispone de una máxima resistencia, pero con la ventaja de obtener un peso mínimo, es ideal para aplicaciones aeroespaciales, vehículos aéreos no tripulados, automóviles y marinos de competición e industriales ligeros.

- Es ideal para la fabricación de piezas rígidas de alta precisión sin volumen, es decir que su superficie sea completamente plana.

2.4.3.13.4. Tela de fibra de carbono de tejido de sarga de 2 x 2 (6K)



Figura 56 Tela de fibra de carbono de configuración tipo sarga 2 x 2 (6K)

Fuente: (*Fibre Glast Developments Corporation, 2019*)

Este tipo de fibra de carbono cuenta con un tejido apretado y un patrón de sarga de 6K 2x2 y un acabado estéticamente perfecto. Este tipo está catalogado como un carbono de peso medio, ya que está conformado por el doble de espesor que el 3K, esto provoca que sea más rígido y menos moldeable en comparación con la tela 3K, es más adecuado para superficies planas que requieren menos conformabilidad, cabe recalcar que el acabado es altamente deseable para las piezas en las industrias aeroespacial, automotriz, marina, artículos deportivos y prótesis médicas.

Este tejido ofrece una mejor economía en comparación con el uso de múltiples capas de tejidos más delgados.

Características

- Se lo usa para aplicaciones estructurales, ahorrando tiempo en comparación con la aplicación de múltiples capas de tejidos más ligeros, además tiene la característica de ser un material resistente al fuego, es ideal para fabricar piezas de alta resistencia y peso ligero que no soportan altas temperaturas.
- Según (Fibre Glast Developments Corporation, 2019) para que el material proporcione una mayor conformabilidad se debe colocar la tela en un ángulo de 45 grados dentro de los moldes.

2.4.3.13.5. Tela de fibra de carbono unidireccional IM



Figura 57 Tejido de carbono unidireccional IM (4.3 oz)
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo se compone de fibras unidireccionales no tejidas, por lo tanto, no hay ondulación de las fibras y solo se utiliza un ligante mínimo, las costuras con relleno de poliéster ayudan a que el tejido se mantenga firme y pueda ser manipulado con mayor facilidad, es ideal para aplicaciones en robótica,

aviación, o en autos de carreras donde las propiedades o esfuerzos en una sola dirección son críticos.

Cabe recalcar que las telas unidireccionales únicamente agregan resistencia en una sola dirección, además se lo puede utilizar para reparaciones en estructuras y no únicamente para la construcción de partes.

La configuración del tejido unidireccional se la puede observar mediante la siguiente figura.

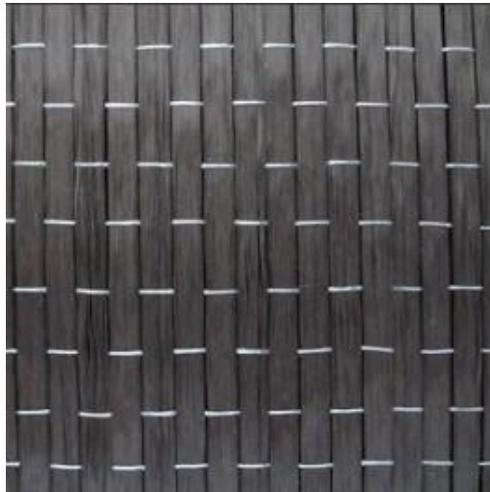


Figura 58 Tejido unidireccional
Fuente: (Colan Australia Composite Reinforcement, 2013)

2.4.3.14. Telas de fibra de carbono pre impregnadas (PRE – PREG)

Estas telas cuentan con la característica de incorporar en su composición un sistema de resina, la cual ya incluye el agente de curado, se las fabrica con recubrimiento tipo adhesivo en su totalidad para evitar la contaminación con impurezas y en su interior se encuentra las telas de fibra de carbono con la resina en una mezcla ideal.

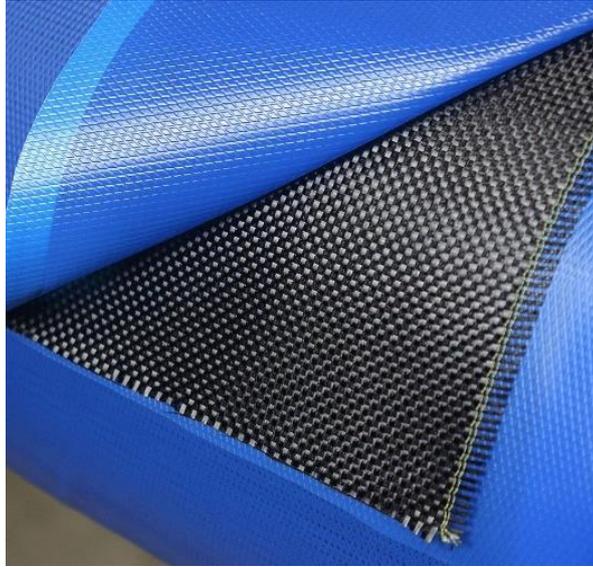


Figura 59 Fibra de carbono pre-impregnada
Fuente: *(Fibre Glast Developments Corporation, 2019)*

Este tipo de fibra viene en algunas presentaciones, las más comunes son las siguientes.

2.4.3.14.1. Pre-Preg 3K, 2x2 Twill Weave o tejido de sarga

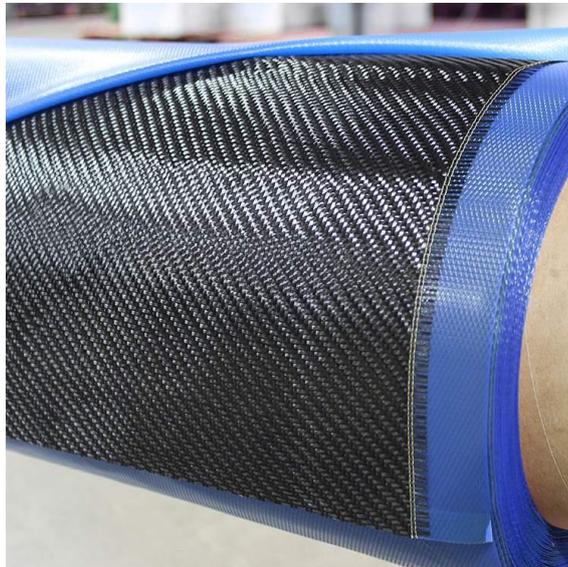


Figura 60 Pre-Preg 3K, 2x2 Twill Weave
Fuente: *(Fibre Glast Developments Corporation, 2019)*

Este tejido de carbono preimpregnado (Pre – Preg) es el más usado por los consumidores, a diferencia de las telas de fibra de carbono no impregnada éstas vienen preimpregnado con un sistema de resina epoxi, el contenido de resina es de un (37%, +/- 3%) el cual maximiza las propiedades de resistencia de la tela de carbono, en este aspecto, los usuarios no tienen que preocuparse por la relación de la mezcla que necesita la resina.

Es de tipo 3K lo que significa 3000 filamentos por fibra, con una resistencia a la tracción máxima de al menos 510 KSI.

Características

- Una gran ventaja es su diseño para ser almacenado y manejado a temperatura ambiente, sin necesidad de refrigeración.
- Está considerada como la mejor fibra de carbono pre impregnada en su clase por lo que proporciona una relación resistencia – peso que se la puede considerar inigualable.
- El termino Pre-Preg significa menos desorden y desperdicio, por lo tanto, brinda mejores beneficios económicos.
- Es resistente al fuego.
- Las presentaciones vienen con 50" de ancho, el cual es ideal para la mayoría de las plataformas.
- Es ideal para fabricar piezas de alta resistencia y peso ligero pero que no necesiten soportar altas temperaturas, puede soportar un máximo de 148 ° C.

- (Fibre Glast Developments Corporation, 2019) recomiendan tres ciclos de curado en forma de aceleración escalonada que lleguen un máximo de 154 ° C.
- La vida útil de la tela es de 6 meses a una temperatura aproximada a 23 °C y no requiere refrigeración.
- Para una mayor capacidad de conformación se puede colocar las telas en un ángulo de 45 grados dentro de los moldes para su curado.

2.4.3.14.2. Pre-Preg 3K, tela de fibra de carbono de tejido liso

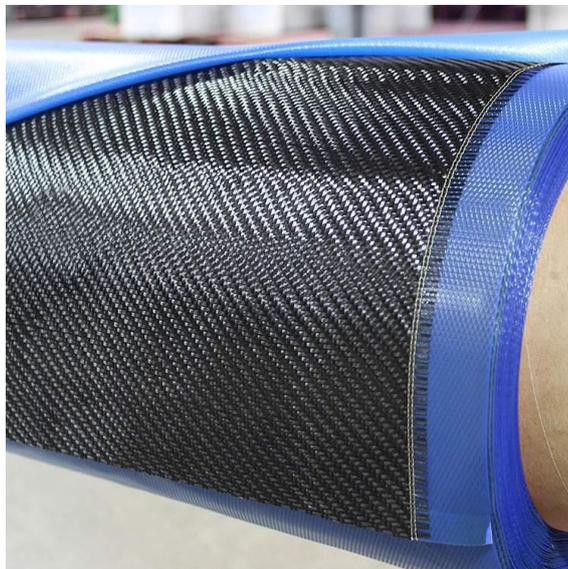


Figura 61 Pre-Preg 3K, tela de fibra de carbono de tejido liso
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo de fibra de carbono presenta una contextura de 3k y es un tipo de tejido que es comúnmente seleccionado para la fabricación de piezas y partes para aplicaciones aerodinámicas, brinda una resistencia uniforme en forma longitudinal y latitudinal, viene con un sistema preimpregnado de resina de alto rendimiento con agente de curado en el tejido para obtener una relación ideal de resistencia, este tejido es muy utilizado en aplicaciones de

alto rendimiento para carreras, aviación, o aeroespaciales, su acabado es excelente. La configuración de tejido, se la puede visualizar a continuación.



Figura 62 Tejido liso para Pre-Preg
Fuente: (Bravo Murillo & Bueno Sáenz, 2015)

Características

- Este tejido liso ofrece una contextura apretada de las fibras, lo cual hace que sea menos probable que se deshilache.
- Fibra de alto módulo con un módulo de tracción de más de 33 MSI y una resistencia de más de 510 KSI.
- La superficie exterior después del curado queda sin defectos.
- La adhesión del sistema resina - epoxi integrado proporciona resultados con un acabado consistente y sin fallas en la superficie.
- El almacenamiento de esta tela es a temperatura ambiente, por tanto, no es necesario su refrigeración y su duración es de hasta 6 meses.
- Las telas de tejido liso son más fáciles de moldear a diferencia de los tejidos de sarga.

2.4.3.14.3. Tela de fibra de carbono Pre-Preg unidireccional

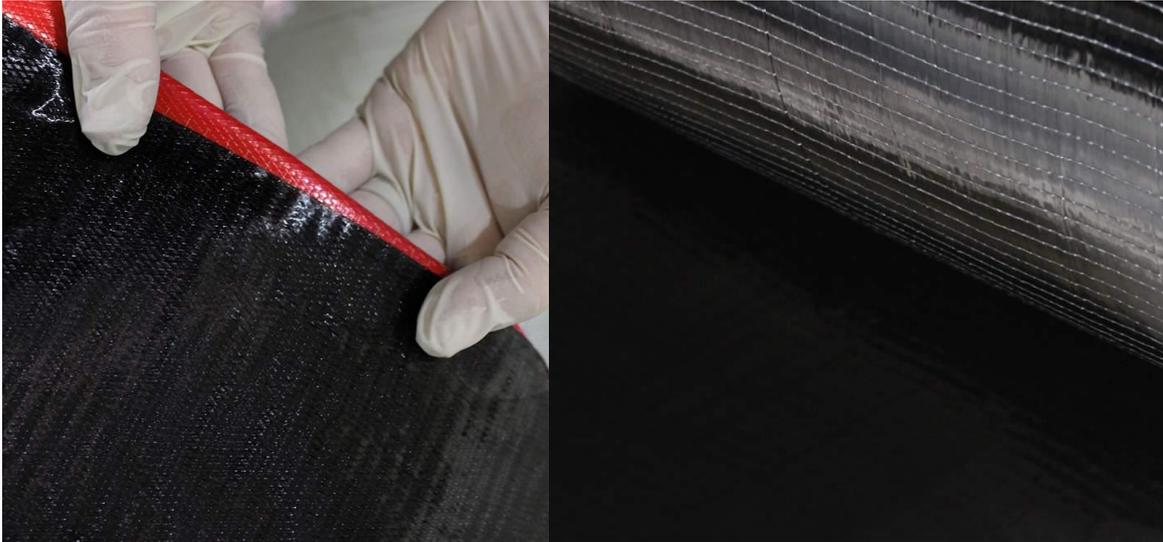


Figura 63 Fibra de carbono Pre-Preg unidireccional
Fuente: (Fibre Glast Developments Corporation, 2019)

Este tipo de fibra es de forma unidireccional por lo tanto no está tejida, a su vez no existe ondulación de las fibras y se utiliza aglomerante de poliéster en los bordes para permitir la mayor densidad posible de fibras y evitar que se deshilache las fibras, dispone de un sistema de resina con agente de curado preimpregnado en el tejido.

Características

- La fibra de carbono unidireccional agrega resistencia en una sola dirección.
- Después del curado, la superficie queda con un excelente acabado.
- El almacenamiento de esta tela es a 5 C, por tanto, debe estar refrigerada.
- Se utiliza este tejido para aplicaciones aeroespaciales, de carreras de alto rendimiento, reparaciones en carrocerías de automóviles, cascos de barcos o drones, o instrumentos mecatrónicas.

- Los pre impregnados unidireccionales cuentan con revestimientos azules y rojos, el forro rojo significa la parte interna del material (Pieza), y el forro azul es el lado que va estar visible siempre.

2.4.4. Proceso de adquisición de materia prima

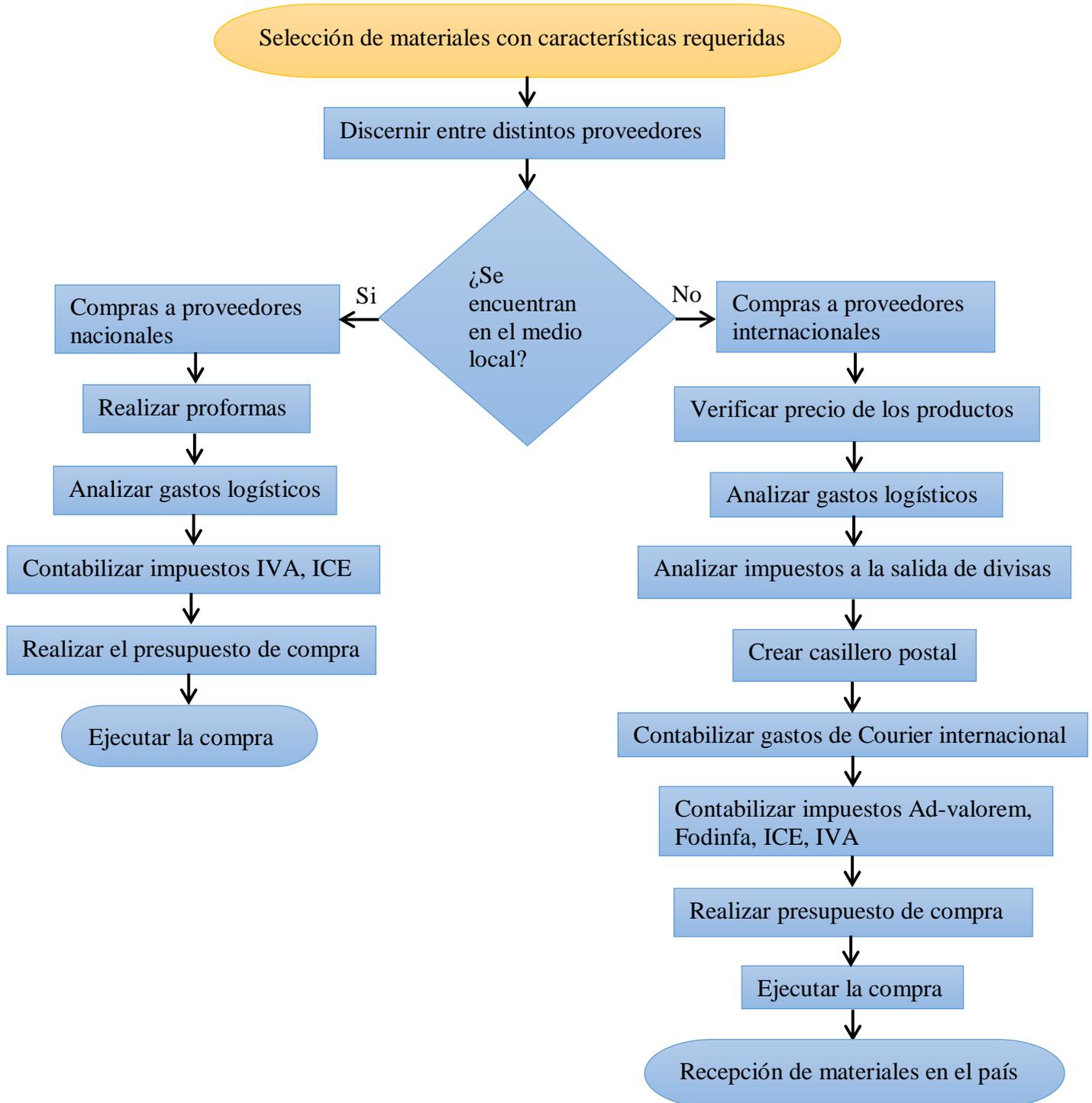


Diagrama 2 Proceso de obtención de materia prima

Fuente: Autores

2.5. Organización del proceso de manufactura de autopartes

La disponibilidad del medio en el cual se desarrolla el proyecto es de vital importancia para la manufactura, pues se deben establecer procesos para los cuales se simplifique el uso maquinarias, laboratorios y herramientas, tomando en cuenta las aplicaciones desarrolladas a nivel local, se tienen dos métodos para fabricar autopartes. Se cita como primer método de fabricación, el método de curado, el cual utiliza tela de fibra de carbono preimpregnada (Pre-Preg), en consecuencia, se obtiene el siguiente diagrama:

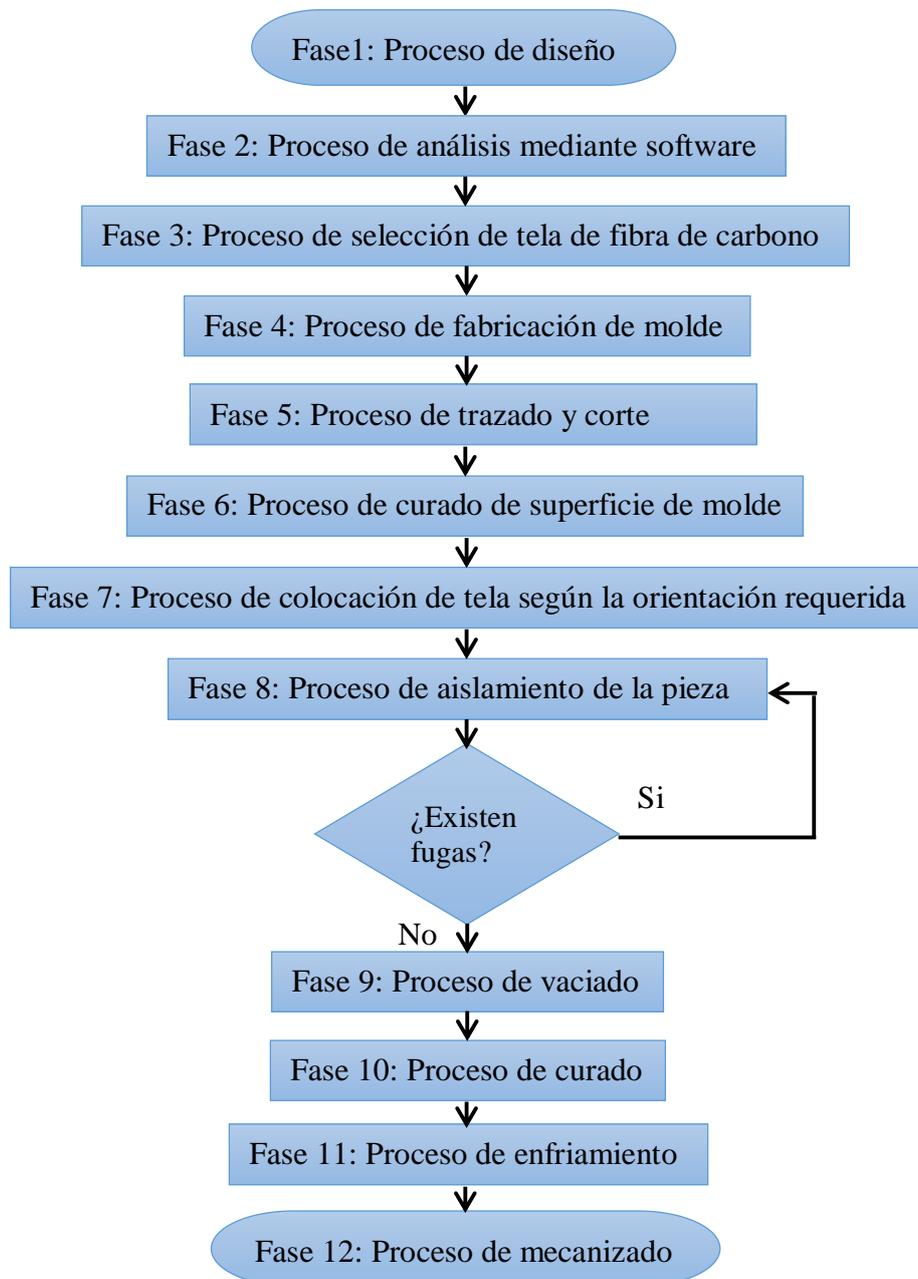


Diagrama 3 Proceso de fabricación de autopartes mediante el método preimpregnado
Fuente: Autores

Como un segundo método de fabricación de autopartes se hace referencia al método de infusión, de igual manera se hace énfasis en que el tipo de tela usado en este método es la tela no impregnada es decir libre de resina, a continuación, se puede observar el diagrama del método de fabricación.

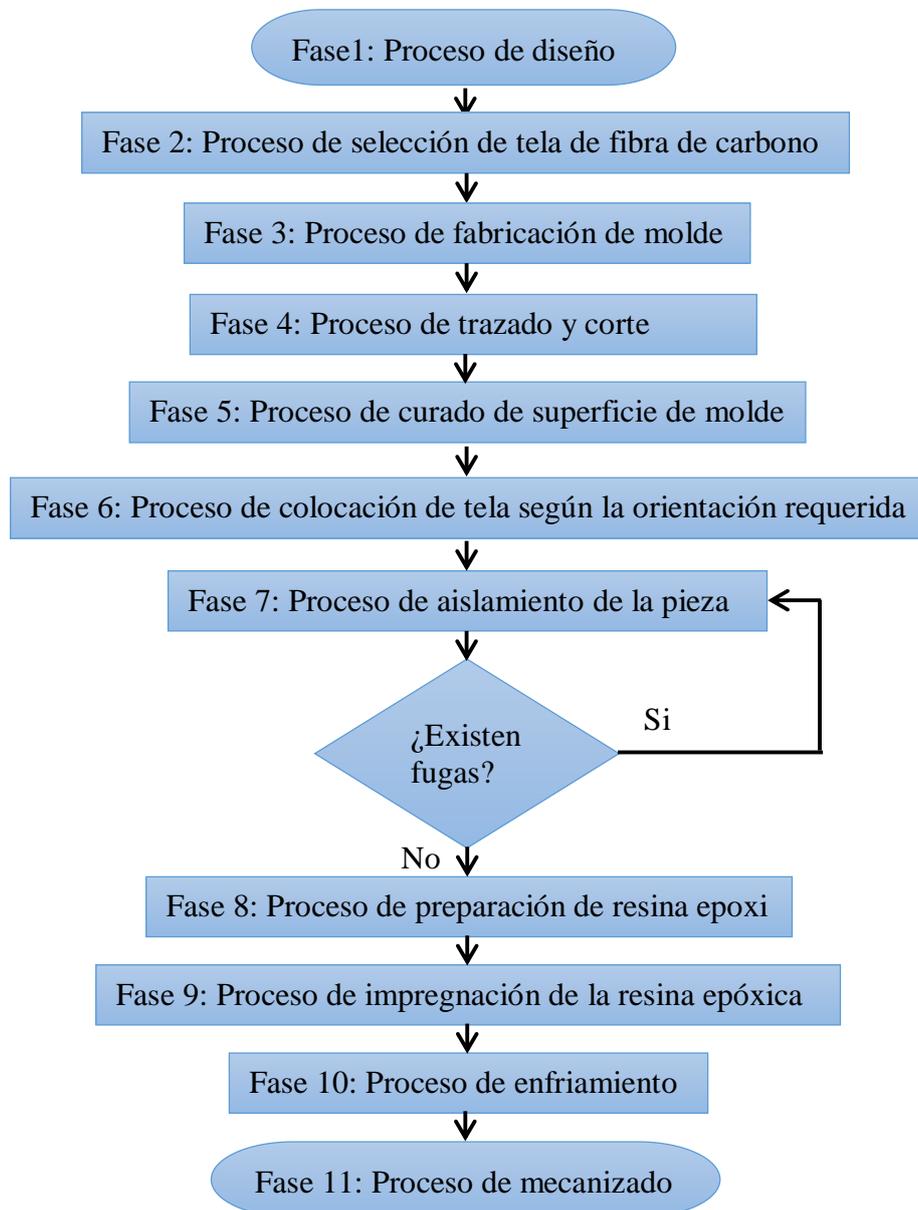


Diagrama 4 Proceso de fabricación de autopartes mediante el método de infusión
Fuente: Autores

La explicación de las diferentes fases de los procesos de preimpregnado e infusión, serán explicados a detalle en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO III

3. Descripción del diseño y manufactura de la autoparte

Como se había enunciado en el capítulo anterior dentro de la planificación de un proyecto englobado en el campo de materiales se establece como parte de la misma el diseño y posterior manufactura de la autoparte, un correcto diseño CAD realizado en Solidworks no solo conlleva generar los planos con las dimensiones de la pieza o autoparte si no también una validación del mismo mediante programas de ingeniería especializados como lo es el MSC Nastran y Patran, estos tres mencionados son usados en el presente trabajo, optimizando materiales e insumos y a su vez reducción de costos pues permiten obtener el espesor necesario para que la autoparte soporte esfuerzos y cargas evitando el sobredimensionado, por otra parte la manufactura organizada para la presente investigación sigue un proceso esquemático y secuencial, basados en recomendaciones de reconocidos fabricantes de materiales compuestos a nivel mundial, obteniendo así autopartes de calidad.

3.1. Esquema de análisis básico de diseño y validación

Parámetros preliminares

- Características de Diseño.
- Tipo de modelo: parte o ensamble.
- Presenta o no simetría.

Pre procesamiento de datos

- Importar el modelo al software MSC NASTRAN.
- Establecer como sólido.
- Asignar el mallado.
- Definir puntos de sujeción o anclaje.
- Aplicar fuerzas o cargas que actúan sobre la autoparte.

- Asignar propiedades del material.
- Seleccionar el tipo de análisis.
- Guardar la configuración del pre procesamiento.

Post Procesamiento de datos

- Importar la configuración del pre procesamiento al software MSC PATRAN.
- Ejecutar el análisis.
- Deliberación de resultados.

3.2. Diseño mediante software CAD

Para un correcto desarrollo del diseño y manufactura de autopartes, como primer paso, se debe realizar el bosquejo de la autoparte o pieza con las características analizadas anteriormente, por ejemplo si su aplicación es estética o funcional, en base a esos parámetros y para un correcto entendimiento de los procesos se desarrollan dos piezas, las cuales son para distintas aplicaciones y usos, de esta manera poniendo en práctica el proceso descrito anteriormente y aplicando los conocimientos desarrollados.

Los elementos a realizarse han sido dos:

- Pedal de Freno para Vehículo Formula Student, se lo ha elegido ya que es un elemento que presenta características funcionales como seguridad y ergonomía, al fabricar este elemento en fibra de carbono se mantienen estas características, sin embargo el punto vital es el aporte a la reducción de peso al vehículo, según (IMeche, 2017) este último parámetro es esencial en este tipo de competiciones.
- Tablero de encendido para vehículo de competencia, este elemento fue elegido haciendo énfasis en que su característica es estética, no obstante como indica (Nwachukwu, Onyenanu, & Atanmo, 2016) y (Fornace, 2006)

la reducción de peso en vehículos de competencia empiezan por las autopartes de menor dimensión, por lo tanto el tablero al ser manufacturado en fibra de carbono consigue este objetivo.

A continuación, se realizan las descripciones de diseño de cada uno de los elementos.

3.2.1. Pedal de freno para vehículo Fórmula Student (SAE)

Un vehículo tipo formula Student es un prototipo desarrollado por estudiantes universitarios de pregrado y post grado en universidades y escuelas de ingeniería en todo el mundo, es la máxima competencia a nivel de ingenierías interuniversitarias en todo el mundo, es por ello que su nivel de desarrollo tecnológico es elevado y para la participación en el evento hay que cumplir con estándares establecidos por los órganos reguladores de la competencia (SAE, IMECHE).

El sistema de frenado consta de algunos elementos, siendo el pedal el principal en hacer contacto con los pies del piloto, este dispositivo debe tener la capacidad de soportar las exigencias de manejo para las cuales ha sido diseñado y construido, a su vez que debe garantizar seguridad al piloto y a su entorno.

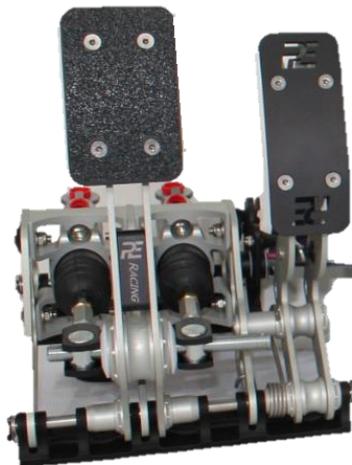


Figura 64 Sistema de frenado
Fuente: (MacMillan, 2016)

Características de diseño

- El pedal debe soportar 2000 N de fuerza aplicada sobre su superficie (Ramos, 2013).
- El ancho interno debe ser de 120 mm, tomando como referencia la medida del calzado de competencia estandarizado por la FIA.
- Por norma de Formula Student (IMeche, 2019), el diseño debe contar con suficientes puntos para la sujeción al vástago que conduce el movimiento hacia el conjunto hidráulico.
- Los pernos de sujeción son M6, conjuntamente utilizados con arandelas y tuercas de seguridad.

Nota: La cantidad de material a utilizar y el tipo, serán descritos una vez obtenidos los resultados del análisis.

Para el diseño se realiza los siguientes pasos:

1. Realizar un bosquejo a mano.

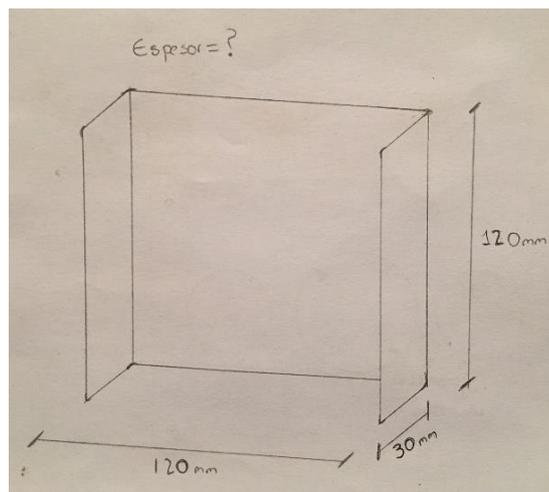


Figura 65 Bosquejo a mano del pedal de freno
Fuente: Autores

2. Realizar el dibujo del prototipo en Software CAD (Ver Figura 66), el software utilizado es Solidworks, de esta manera se garantiza la opción de que el archivo generado es compatible con los softwares de análisis (Nastran & Patran).

Nota: Cabe recalcar que el espesor es sugerido por el diseñador (Autores), debido a que una vez ejecutado el análisis, el software proporcionará información sobre las variables y valores admisibles sobre el diseño.

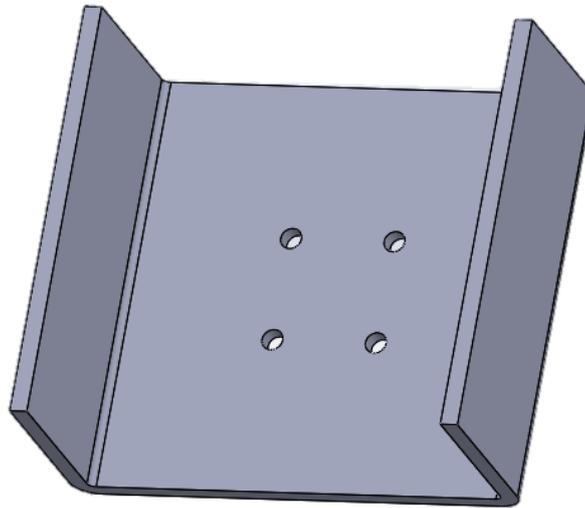


Figura 66 Pedal de freno en software CAD
Fuente: Autores

Para el espesor se tomaron en cuenta tres tamaños, los cuales se especifican a continuación:

- Espesor de 5 mm.
- Espesor de 4 mm.
- Espesor de 2 mm.

3. Guardar el archivo en formato IGES.

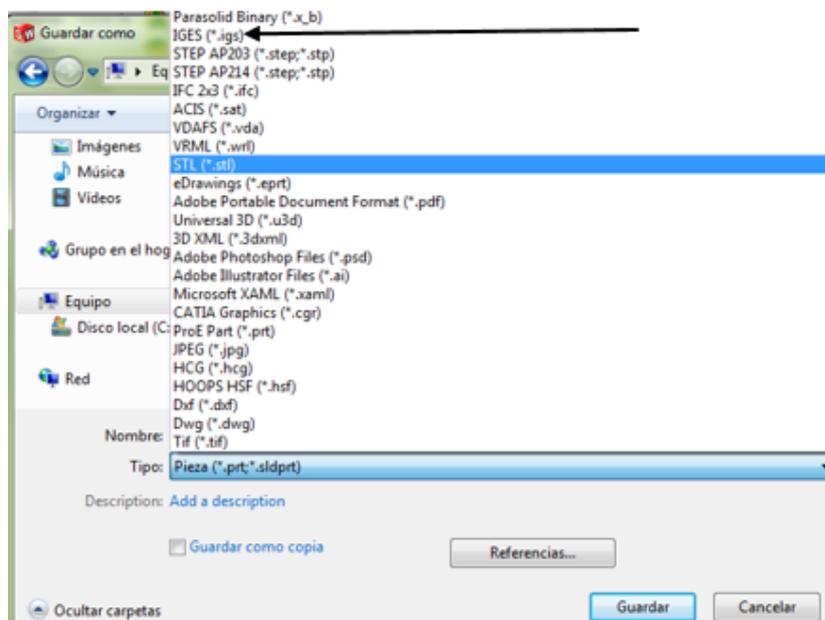


Figura 67 Formato IGES
Fuente: Autores

3.2.2. Tablero de encendido para vehículos de competencia

Para el desarrollo de autopartes para vehículos de competencia, es primordial conocer la funcionalidad y aplicación a las que están destinadas las autopartes. El desarrollo del tablero de encendido se lo puede definir de carácter estético, ya que durante su uso este no soporta fuerzas de gran magnitud, altas temperaturas o condiciones climáticas adversas.

El tablero de encendido para competencia es un conjunto de elementos que debe estar conformado por los comandos principales del vehículo, como el switch de encendido, switch de corte de voltaje, switch de accionamiento especial, estos comandos deben estar fijos a una placa de fibra de carbono, además el conjunto debe estar lo más cercano al piloto para reducir los tiempos de reacción y mantener la concentración en su totalidad en la competencia, su uso es a gran escala en los vehículos de competencia.

Características de diseño:

- 150 mm de ancho X 80 mm de altura.
- La placa no está sometida a fuerzas externas aplicadas (son despreciables).
- Los pernos de sujeción son M4, conjuntamente utilizados con arandelas y tuercas de seguridad.
- 4 orificios de 12 mm de diámetro.
- 1 orificio de 22 mm de diámetro.
- 4 orificios de 4mm de diámetro.

Para desarrollar el diseño se ejecutan los siguientes pasos:

1. Realizar un Bosquejo a mano.

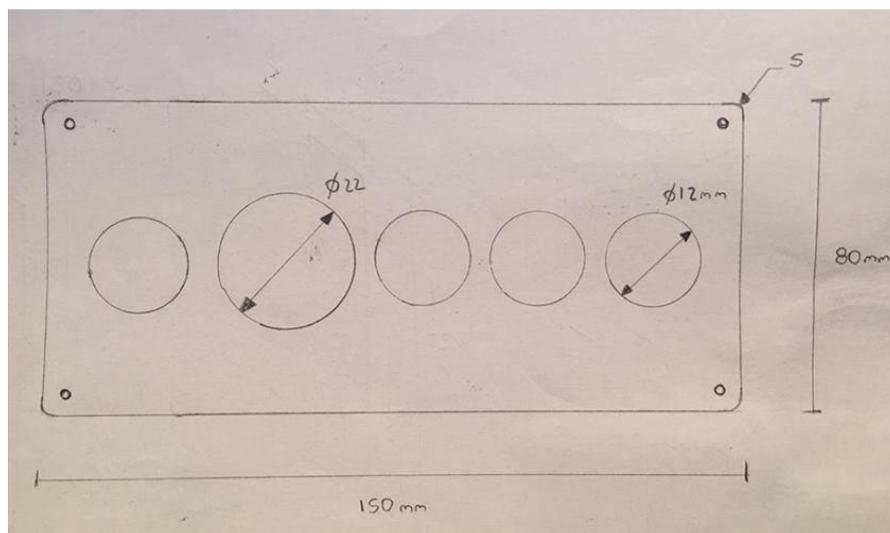


Figura 68 Bosquejo a mano del tablero de instrumentos
Fuente: Autores

2. Realizar el dibujo en Software CAD.

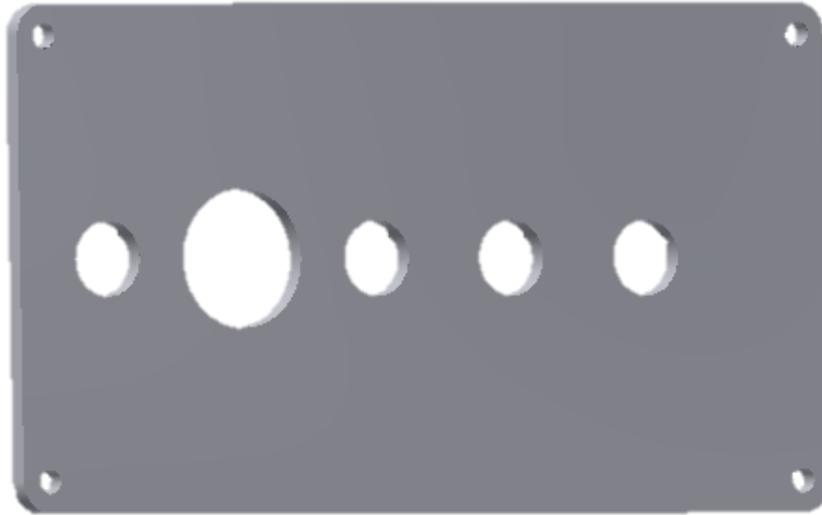


Figura 69 Tablero de vehículo de competencia en software CAD
Fuente: Autores

Nota: Esta autoparte en específico se encuentra sometida a cargas, pero estas son despreciables, por tanto, al ser solo de carácter estético el espesor para esta autoparte está basada en un valor base de 4 mm como nos recomienda (Fibre Glast Developments Corporation, 2019).

3. Guardar el archivo en formato IGES.

3.3. Validación del diseño

Como se había establecido las piezas diseñadas son un pedal de freno y un tablero de encendido para vehículo de competencias, siendo de carácter funcional y estético respectivamente. La validación del diseño va aplicada a la pieza funcional pues esta estará sometida a esfuerzos y cargas, pese a que la pieza estética soporta ciertas fuerzas estas son despreciables por tanto no requiere una validación, se realizarán las simulaciones divididas en dos partes pre-procesamiento de datos y post-procesamiento de datos, usando Patran y MSC Nastran respectivamente, las propiedades mecánicas de la fibra son obtenidas de la TCL, como lo indica (Ortega, 2018) para la aplicación de las mismas se usó el software

eLamX mediante el cual se estableció que las constantes con los valores más relevantes para una validación son el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson, generando la siguiente tabla.

Tabla 5 Constantes con valores más relevantes
Fuente: Adaptado de (Ortega, 2018)

| <u>Tipo</u> | <u>Módulo de Elasticidad</u> <u>(GPa)</u> | <u>Coefficiente de Poisson</u> |
|--------------------------------------|--|--------------------------------|
| [(0/90) ₁₁] γ | 53.6 | 0.042 |
| [(30/ -60) ₁₁] γ | 27.28 | 0.15 |
| [(45/ - 45) ₁₁] γ | 10.361 | 0.818 |

Estos valores serán los ingresados al software de validación, esto dependerá del tipo o configuración que se le desee dar a la pieza, una vez definidas las constantes y obtenido el diseño CAD, se realizan los siguientes pasos para ejecutar una validación o simulación.

- 1) Abrir el software Patran, seleccionar la pestaña File, dar clic a la opción New y proceder a la escritura del nombre del nuevo proyecto.
- 2) Seleccionar nuevamente la pestaña File y escoger la opción Import, al aparecer la ventana de Import se va a la opción Source y se selecciona la extensión IGES, debido a que este formato es compatible con el software y es con el cual previamente se guardó el archivo generado en Solidworks, aparecerá el archivo con el respectivo nombre guardado se lo selecciona y se da en abrir.

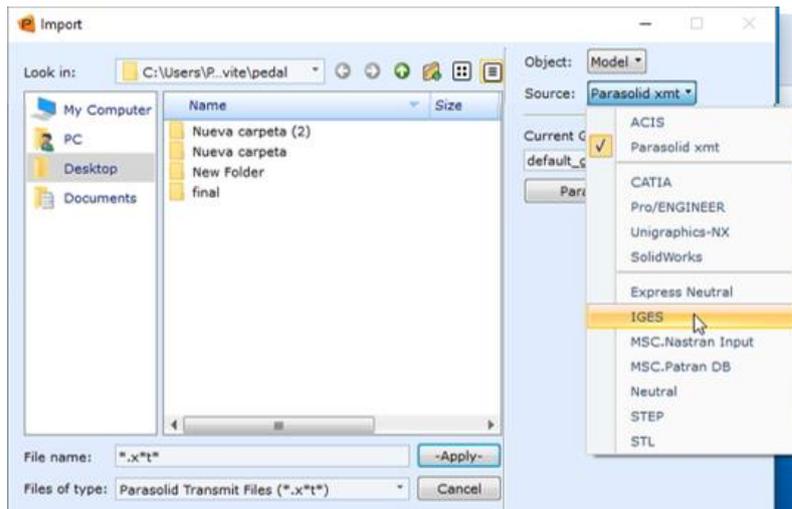


Figura 70 Selección del formato requerido
Fuente: Autores

- 3) Se cargará el archivo y se da clic en ok; se procede a poner la opción de sólido en la pestaña Home en la barra de herramientas, de esta manera el diseño es visualizado como sólido, a partir de este paso las ventanas de trabajo para realizar configuraciones se las visualizarán del lado derecho de la pantalla.



Figura 71 Selección de opción de sólido
Fuente: Autores

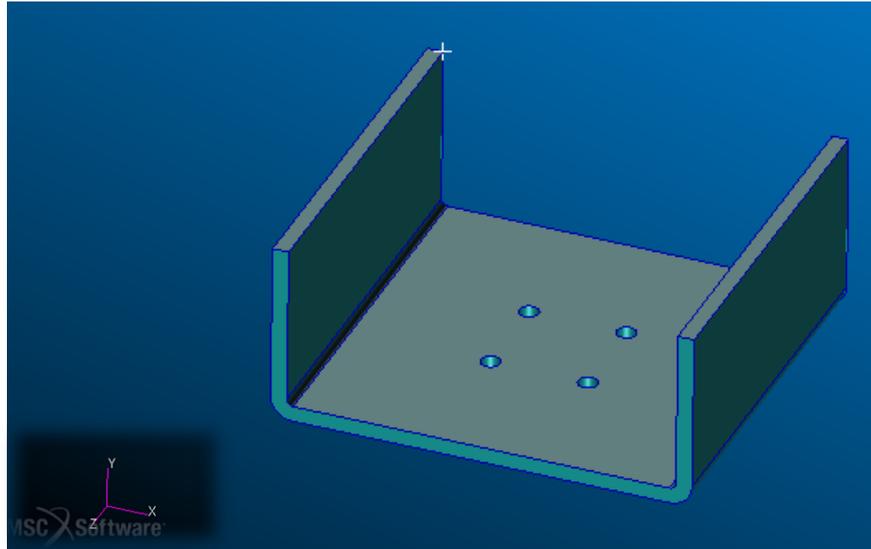


Figura 72 Visualización de autoparte como sólido
Fuente: Autores

- 4) Como siguiente paso se le otorga un mallado a la autoparte, esto se lo realiza a través de la opción Meshing en la barra de herramientas, luego se cambia en Object a opción Mesh y en Type a Solid (Ver Figura 73), seleccionar la autoparte y dar clic en Apply.

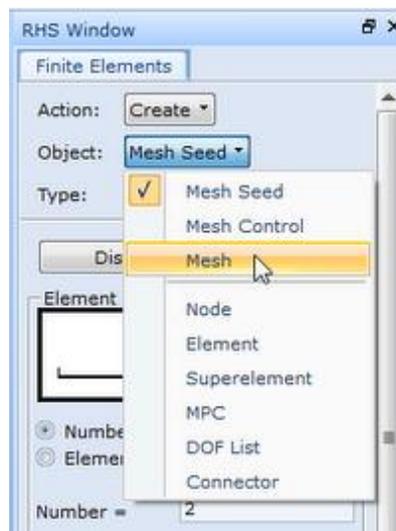


Figura 73 Selección de mallado
Fuente: Autores

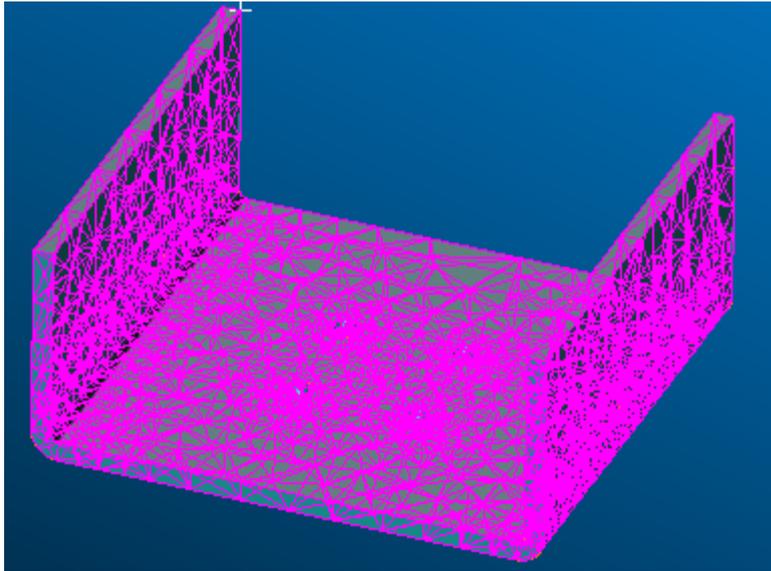


Figura 74 Mallado de la autoparte
Fuente: Autores

- 5) Una vez obtenido el mallado (Ver Figura 74), se escogen los puntos de anclaje o puntos de fijación previamente definidos en la autoparte, para ello, seleccionar la pestaña Load/BCs y escoger la opción Displacement Constraint, luego se otorga un nombre de archivo en New Set Name, a continuación, clic en Input Data lo cual despliega una ventana en la cual se colocan los valores de las fuerzas de traslación a la que está sometida la pieza, luego se confirma en Ok.

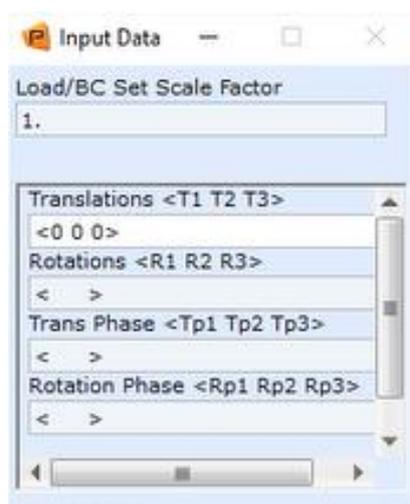


Figura 75 Ventana de configuración de valores de fuerzas de traslación
Fuente: Autores

- 6) Como siguiente paso se da clic en la opción Select Application Region para seleccionar los puntos de anclaje en el sólido visualizado, previo a esto se cambia la opción a superficies de cara (Ver Figura 76) y se procede escoger cada punto de fijación y se adhiere a través de la opción Add, una vez realizado esto los puntos escogidos deben visualizarse de forma distinta (Ver Figura 77), se da clic en Apply y la visualización vuelve a cambiar (Ver Figura 78).

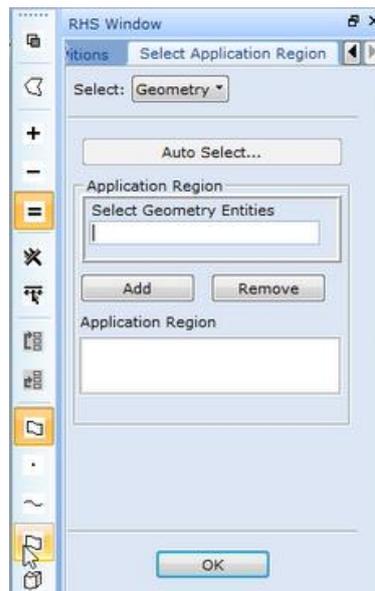


Figura 76 Selección de opción de sólido
Fuente: Autores

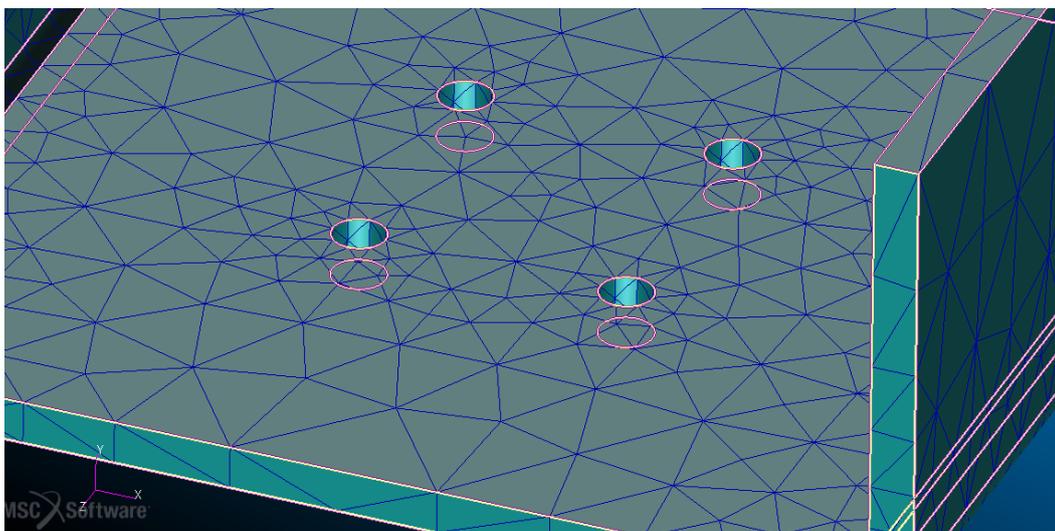


Figura 77 Visualización de puntos de anclaje
Fuente: Autores

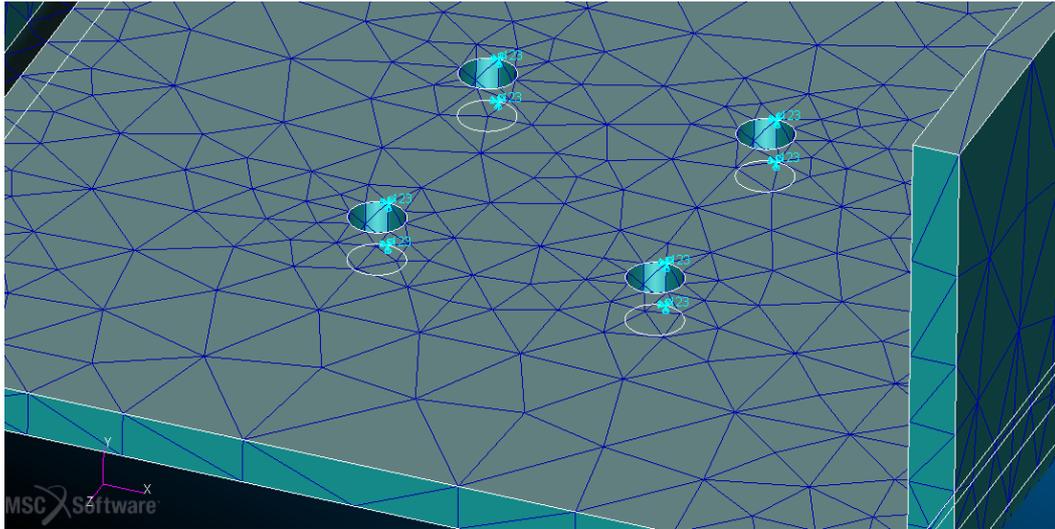


Figura 78 Visualización final de los puntos de anclaje
Fuente: Autores

- 7) Ahora se agregan las fuerzas que actúan sobre la autoparte, como lo indica (Ramos, 2013) la fuerza ejercida sobre la superficie de un pedal al accionar el sistema de frenos es de 2000 N, por tanto, para ingresar los datos de fuerza se dirige a la opción Total Load en la misma pestaña Load/BCs anteriormente mencionada, de igual manera se otorga el nombre de archivo en New Set Name para las fuerzas, pueden ser ingresadas en los diferentes ejes del plano y son separadas mediante un espacio además por defecto la unidad de medición del software es en newton , para el pedal en específico la fuerza se ejerce en el plano Y con valor negativo (Ver Figura 79), se elige la opción Select Application Region para seleccionar la superficie donde van a actuar las fuerzas y guardarla mediante el botón Add, luego OK y después Apply, nuevamente la visualización del elemento cambia (Ver Figura 80).

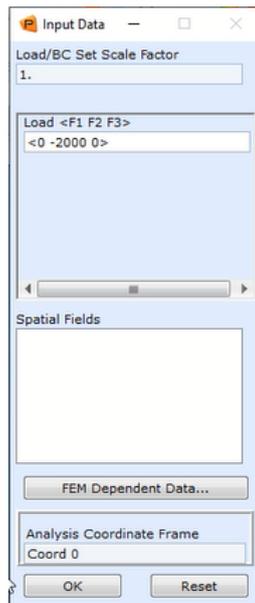


Figura 79 Ventana de configuración de valores de fuerzas
Fuente: Autores

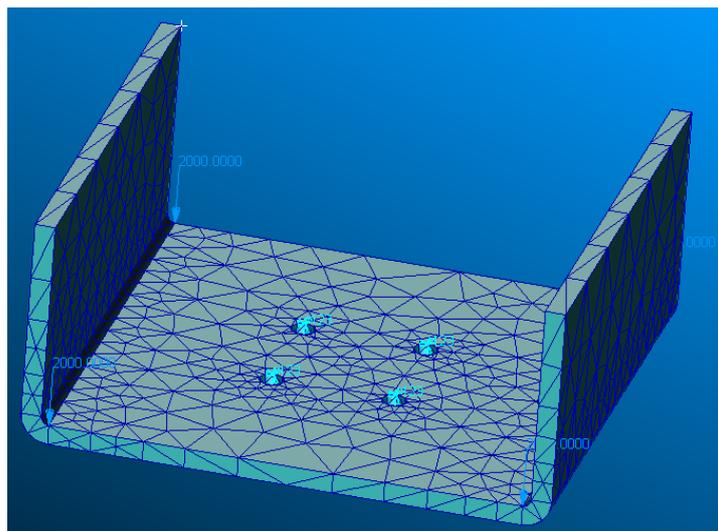


Figura 80 Visualización de las fuerzas sobre la autoparte
Fuente: Autores

- 8) Se generan las constantes a través de la opción Properties en la barra de herramientas, se le da característica de material Isotrópico mediante el botón Isotropic, esto debido a que como anisotrópico y ortotrópico el software necesita la base de datos del fabricante de la fibra de carbono, cuyo valor de adquisición es elevado; nuevamente se ingresa un nombre de archivo, mediante el botón Input Properties se brindan las características mecánicas de la fibra de carbono, las cuales están basadas en los

resultados investigativos de (Ortega, 2018) quien indica que la orientación $[(0/90)_{11}]_T$ es la recomendada para la manufactura de elementos de geometría simple; teniendo como módulo de elasticidad 53.6 GPa y un Coeficiente de Poisson 0.042 obtenidos de la tabla 5, estos valores son ingresados en la ventana desplegada (Ver Figura 81) aunque existe más parámetros, los antes mencionados son suficientes para ejecutar la simulación, se recomienda tener presente que la unidad con la que trabaja el software es Pascales, ingresado los valores se da clic en Apply.

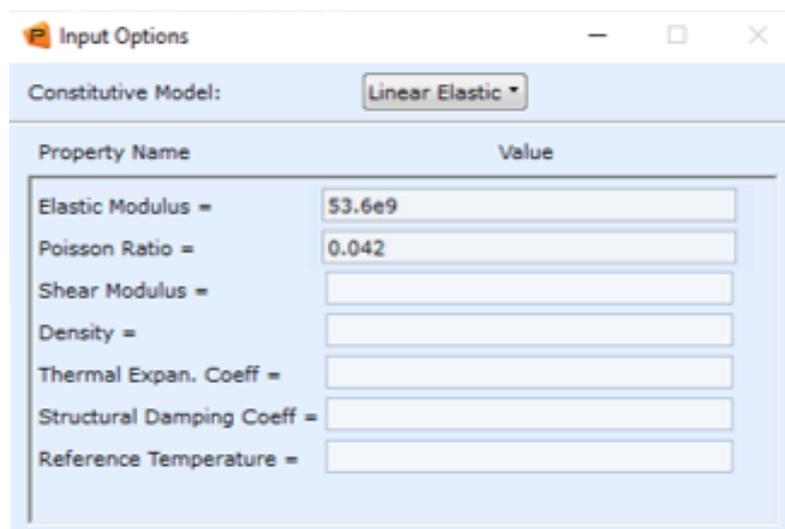


Figura 81 Ventana de configuración de propiedades mecánicas

Fuente: Autores

- 9) Como siguiente paso se genera un sólido mediante la función Solid en la pestaña de Properties, se escribe un nombre de archivo en Property Set Name , ahora se escoge la opción Input Properties y en la ventana desplegada clic al botón Mat Prop Name y se elige las propiedades que previamente se había guardado con un nombre de archivo en el paso 8 (Ver Figura 82) , se continua a elegir Select Application Region luego se selecciona la autoparte se da clic en Add, después OK y por ultimo Apply; nuevamente cambia la visualización de la autoparte (Ver Figura 83).

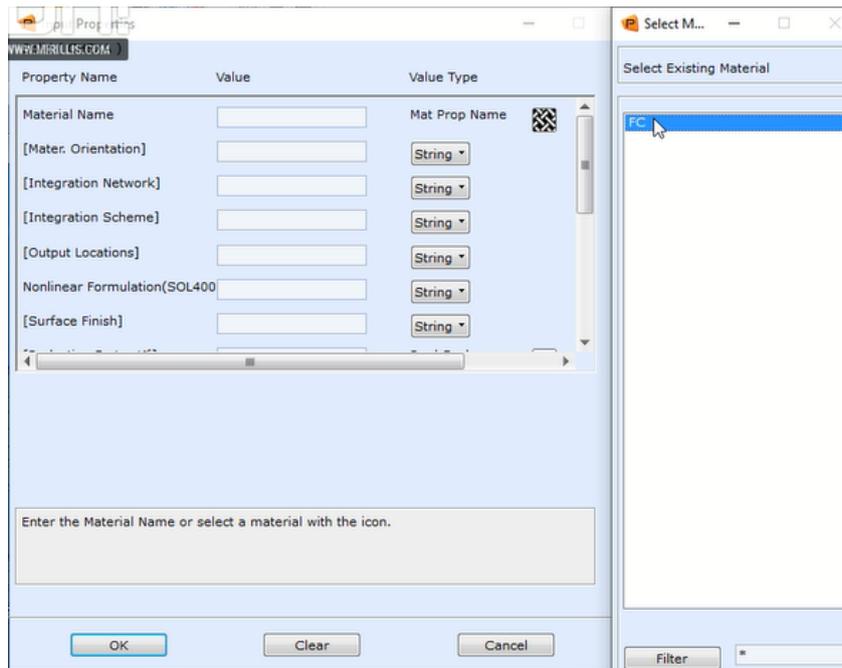


Figura 82 Ventana de selección de configuración guardada
Fuente: Autores

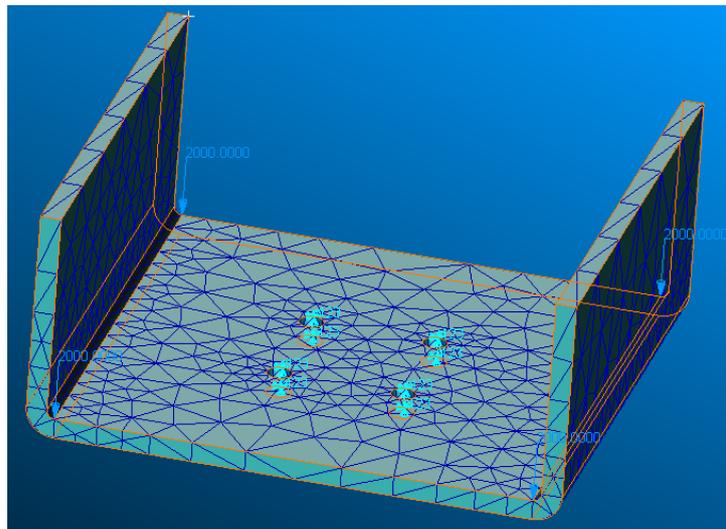


Figura 83 Visualización de la autoparte con propiedades mecánicas aplicadas
Fuente: Autores

10) Ahora se genera un análisis mediante la pestaña Analysis en la barra de herramientas, se elige Analysis Deck y se va a Translation Parameters esto va a desplegar una ventana en la que se dará Ok, después se elige la opción Solution Types y se coloca

una solución lineal estática o Linear Static (Ver Figura 84), esto debido a que la autoparte no está sometida a esfuerzos dinámicos después clic a Ok y luego Apply.

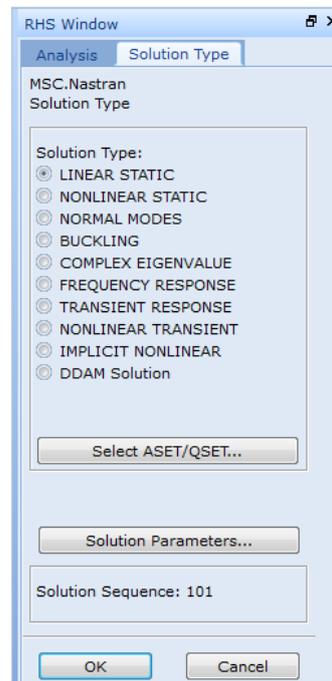


Figura 84 Ventana de tipos de soluciones
Fuente: Autores

11) A partir de este paso ya se ha generado todos los parámetros necesarios en Patran (No se debe cerrar el programa), entonces se procede a abrir el software MSC Nastran, el cual despliega una ventana para cargar el archivo a analizar, este es el archivo con el nombre guardado en el paso 1 (Ver Figura 85) después de abrirlo aparece la ventana para poner a correr el archivo, se activa Run y posterior a esto aparece nuevamente una ventana con pseudocódigos del análisis que se está ejecutando (Ver figura 86) después de un determinado tiempo se cierra la ventana y el programa, esto es por defecto, lo que significa que el análisis concluyó.

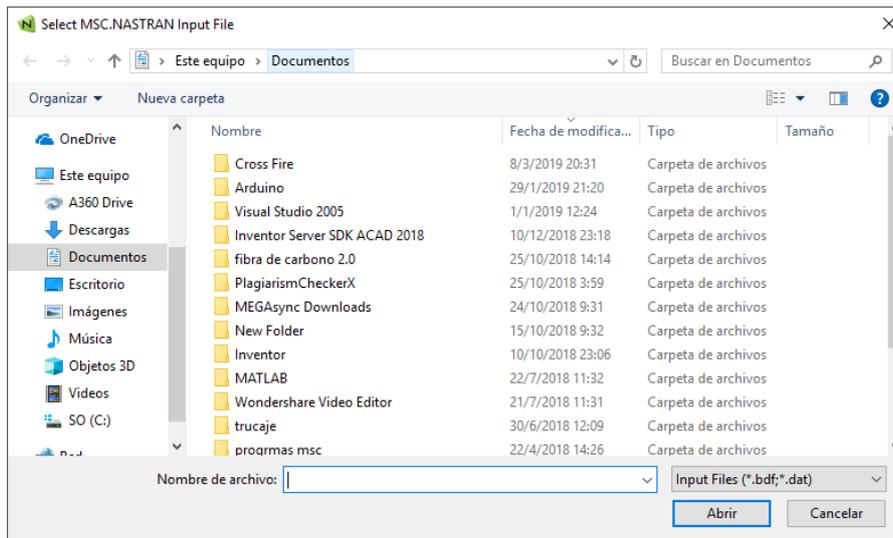


Figura 85 Ventana de carga de archivo
Fuente: Autores

```

MSC Nastran V2017.0 (pedalmodelo1)
MSC Nastran V2017.0 (Intel Windows 10 Home 6.2 9200) Sat Mar 30 21:49:17 2019
*** SYSTEM INFORMATION MESSAGE (pgm: nastran, fn: estimate_job_requirements)
Starting ESTIMATE, please wait...

*** USER INFORMATION MESSAGE (pgm: nastran, fn: estimate_job_requirements)
Estimated bpool=3770.0MB
Estimated DOF=17433
Estimated memory=4065.0MB
Estimated disk=117.7MB
MSC Nastran beginning job pedalmodelo1.
MSC Nastran started Sat Mar 30 21:49:17 HePS 2019

```

Figura 86 Ventana de seudocódigos de MSC Nastran
Fuente: Autores

12) Se regresa a Patran para continuar la simulación, el formato del archivo de análisis de Nastran es XDB, para visualizar los resultados se va a la pestaña de Analysis, se escoge la opción XDB y se procede a elegir el archivo generado por Nastran mediante la opción Select Results File (Ver Figura 87), se da clic en Ok y luego en Apply.

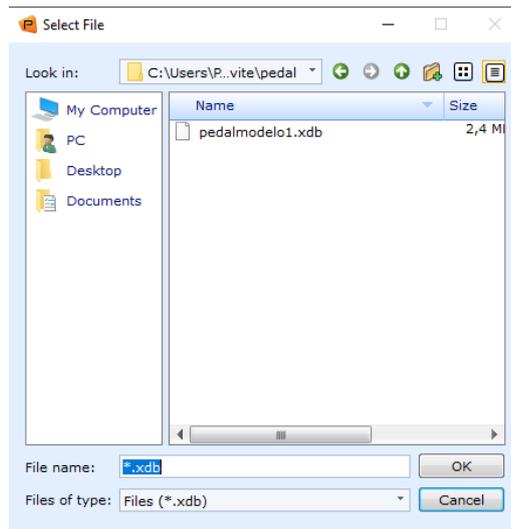


Figura 87 Ventana de selección de archivo de formato XDB
Fuente: Autores

13) Finalmente se selecciona la pestaña Results en la barra de herramientas, después la opción Fringe/ Deformation, en la ventana de trabajo del lado derecho se pueden seleccionar los diferentes resultados basados en parámetros específicos como fuerzas de rotación, fuerzas de translación, fuerzas de disipación, estrés, desplazamientos rotacionales o traslacionales; para el caso del pedal de freno se selecciona el estrés o Stress Tensor y desplazamiento traslacional o Displacement Translational (Ver Figura 88) , luego clic en Apply y la simulación estará completada (Ver Figura 89).



Figura 88 Ventana de configuración de resultados
Fuente: Autores

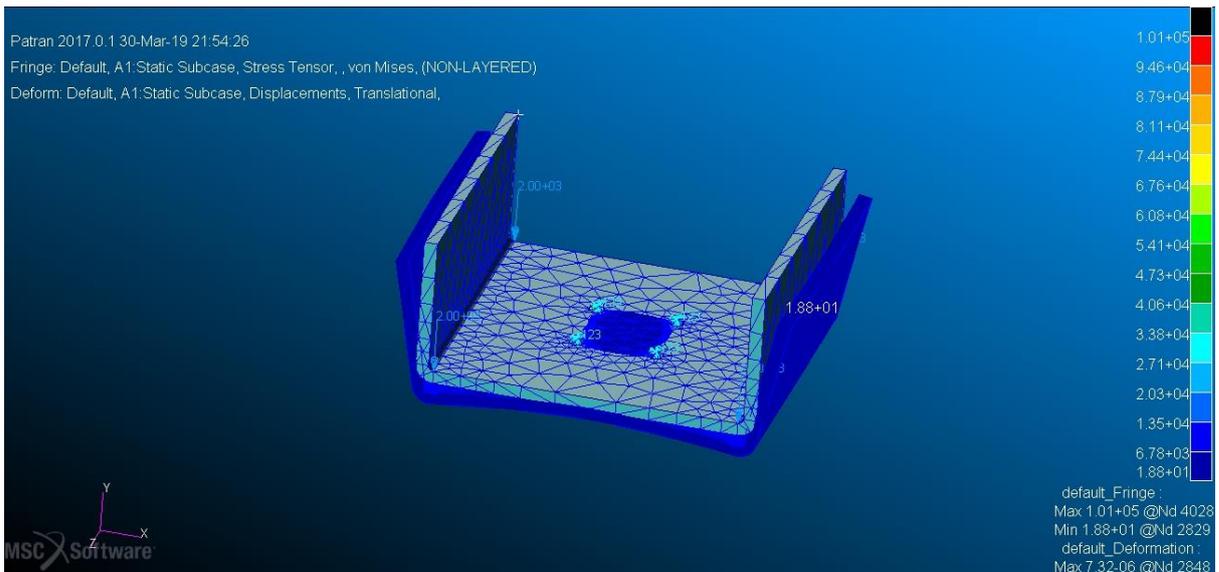


Figura 89 Deformación del pedal de freno con configuración $[(0/90)_{11}]_γ$ y espesor de 5mm
 Fuente: Autores

Una vez realizados todos los pasos se obtiene la simulación, arrojando como resultado que la deformación máxima del pedal con configuración $[(0/90)_{11}]_γ$ es de $7.32e^{-6}$ mm, esto con un espesor de la autoparte de 5mm impuesta por el diseñador (Autores), sin embargo, la deformación es demasiado pequeña y no se encuentra en un rango óptimo, lo que indica que la pieza está sobredimensionada y en consecuencia si se manufactura existiría desperdicio de recursos, debido a ello se cambió el espesor de la autoparte y se realizó dos simulaciones más con espesores de 4 y 2 mm, para las cuales se obtuvieron valores de deformación máxima $4.56e^{-5}$ mm y $1.02e^{-4}$ mm respectivamente, se selecciona este último pues es la menor deformación con un menor uso de materia prima; además de garantizar el funcionamiento óptimo de la autoparte con las cargas a la que se encuentra sometida durante su funcionamiento, sin embargo en simulaciones con espesores menores a 2mm la deformación aun es tolerable, a pesar de ello con estos espesores las propiedades mecánicas de la autoparte son de comportamiento impredecible ya que el material empieza a perder ductilidad y ganar de fragilidad, de esta forma queda validado el diseño para 2mm. Para conseguir el espesor validado por el programa, se toma en cuenta el espesor que nos

otorga cada tela de fibra, el parámetro viene especificado en la ficha técnica del fabricante (Ver Anexo A) para el caso en estudio se tiene 0.31 mm por tela, por tanto, se usarán 7 capas para adjudicarle 2 mm de espesor a la autoparte. A continuación, se puede observar la simulación de la autoparte con el espesor requerido.

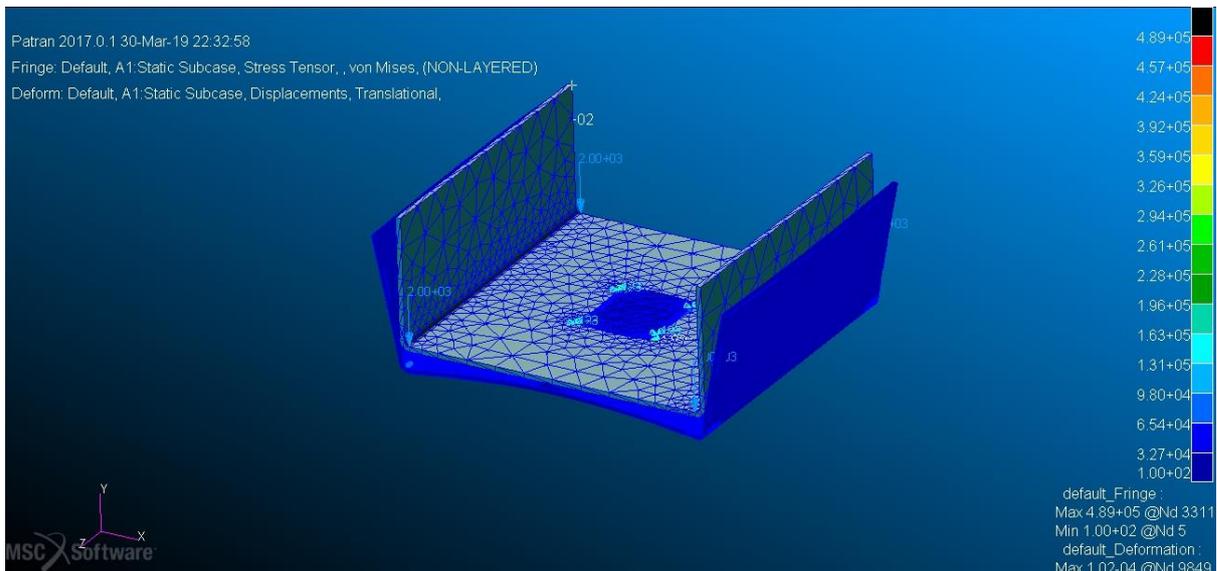


Figura 90 Deformación del pedal de freno con configuración [(0/90)₁₁] y espesor de 2 mm
Fuente: Autores

3.3. Manufactura de la autoparte

Para el medio local en que se desarrolla el presente proyecto la manufactura de las autopartes se las realizo a través de dos métodos, estos serán descritos paso a paso a continuación.

3.3.1. Método de curado (Pre-Preg)

El método de curado es un proceso que permite obtener mejores prestaciones mecánicas con un bajo peso, esto es debido al control y a la optimización de la resina durante su laminación, además este tipo de fibra presenta una mayor facilidad en el momento del laminado produciendo un acabado superficial de mayor calidad (Fibre Glast Developments Corporation, 2019). Cabe recalcar que para el proceso de curado es necesario un horno con control electrónico de temperatura y en caso de elementos,

piezas o autopartes de mayor tamaño es necesario un autoclave (Barrachina Salas, 2013). Para el método de curado se siguieron los siguientes pasos.

1) Proceso de fabricación del molde.

Se realiza mediante procesos de trazado, corte y doblado, esto dependerá de la geometría de la pieza, el molde debe constar con una sobremedida de 4mm con respecto a las dimensiones de la autoparte, el corte se lo realiza con cortadora eléctrica y posterior a ello se doblan en los bordes previamente marcados.



Figura 91 Trazado del molde
Fuente: Autores



Figura 92 Doblado de molde
Fuente: Autores

Nota: el molde debe tener las dimensiones en base a la cara con acabado superficial, es decir si el lado interno de la pieza lleva el acabado la zona externa del molde acotara estas medidas, y de manera inversa si es en el lado externo de la pieza.



Figura 93 Molde terminado
Fuente: Autores

2) Proceso de trazado y corte.

Como punto de partida se crea la plantilla que permite realizar un correcto proceso de corte de las láminas Pre-Preg, se debe dejar aproximadamente 4 mm de sobremedida en referencia a las dimensiones de la autoparte, con la finalidad de realizar el proceso de mecanizado y acabado del elemento.

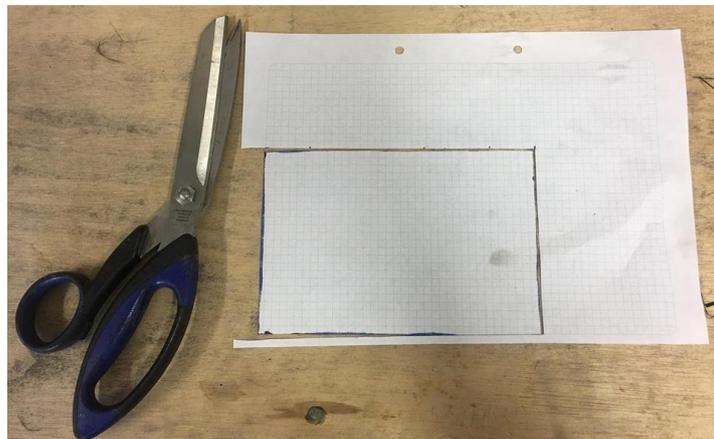


Figura 94 Plantilla para corte de telas
Fuente: Autores

El tipo de tela seleccionado es el tejido de sarga 2x2 3k, dado que para la configuración a realizarse y la disposición de las fibras, resulta ser la tela más indicada, además su uso en la ingeniería automotriz es elevado, la configuración de corte y la disposición de las fibras es a $[(0/90)11]_γ$, se realiza lo cortes con de tijeras de acero endurecido o cutter con cuchilla de carburo de tungsteno, hasta obtener un total de 7 capas.

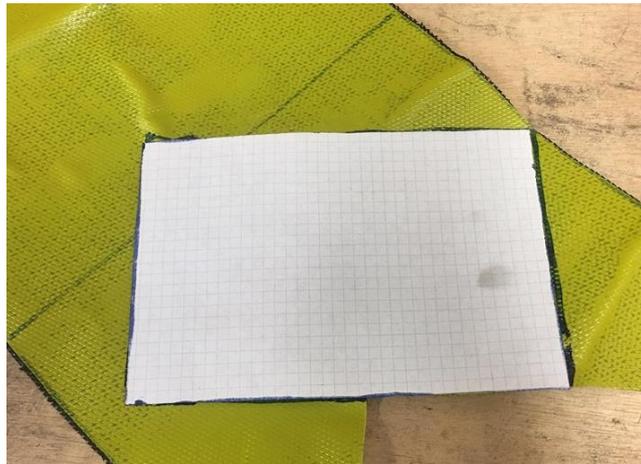


Figura 95 Trazado en láminas Pre-Preg
Fuente: Autores



Figura 96 Corte de láminas Pre-Preg
Fuente: Autores

La configuración se consigue realizando un corte a 90° con respecto a la orientación de las fibras de la lámina pre-preg, como se puede observar a continuación.

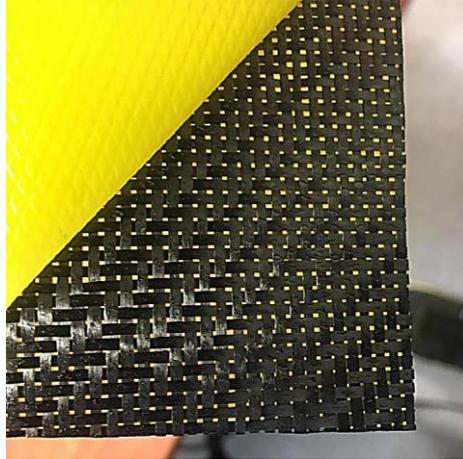


Figura 97 Tejido de sarga 2x2 3K, con corte a 90°
Fuente: Autores

De igual manera utilizando la platilla de papel, se corta el Peel Ply, tejido para purgar, película de liberación de alta temperatura y película para embolsado, todas con una sobre medida entre 2-3 cm a cada lado.

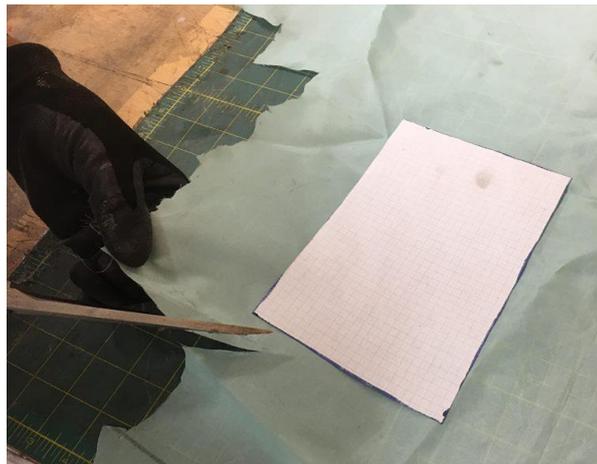


Figura 98 Corte de Peel Ply
Fuente: Autores



Figura 99 Corte de tejido para respirar y purgar
Fuente; Autores



Figura 100 Corte de película de liberación de alta temperatura
Fuente: Autores



Figura 101 Corte de película para embolsado
Fuente: Autores

3) Proceso de curado de superficie.

Para este respectivo proceso se utiliza cera desmoldante, cuyo objetivo es quitar todas las impurezas e imperfecciones que se encuentren en la superficie, la cera es aplicada a la placa base y al molde fabricado con anterioridad.



Figura 102 Aplicación de cera desmoldante sobre placa base de aluminio
Fuente: Autores

Nota: Para moldes nuevos se adjuntan 5 capas y para los que tienen varios usos 3 capas.



Figura 103 Aplicación de cera desmoldante sobre molde
Fuente; Autores

4) Proceso de laminación.

Antes de iniciar la laminación, se prepara la cara del molde sobre la cual estará el lado de la pieza con acabado superficial, para ello se usa alcohol polivinílico, este líquido sirve para aportar el mencionado acabado y a su vez evitar que las telas se impregnen en el molde, el secado se realiza durante 15 min a una temperatura de 90 °C en el horno.



Figura 104 Aplicación de alcohol polivinílico sobre molde
Fuente: Autores



Figura 105 Controlador de temperatura del horno
Fuente: Autores



Figura 106 Secado de alcohol polivinílico
Fuente: Autores

Nota: Si se desea aportar acabado superficial a ambas caras de la autoparte se debe de realizar molde y contramolde, y aplicar alcohol polivinílico a ambas.

Una vez culminada la aplicación del alcohol polivinílico se procede a la adhesión de las telas de fibra de carbono, se retira un lado de la cinta protectora del Pre-Preg y se las aplica desde el borde del molde.



Figura 107 Adhesión de telas Pre-Preg
Fuente: Autores

Se compacta con la ayuda de un rodillo, se retira la siguiente cinta protectora de la tela ya compactada y se apila una tela más encima de esta, hasta apilar las 7 capas deseadas, una vez más haciendo hincapié en la configuración a usarse de 0/90°.



Figura 108 Compactado de telas Pre-Preg
Fuente: Autores



Figura 109 Extracción de cinta protectora
Fuente: Autores

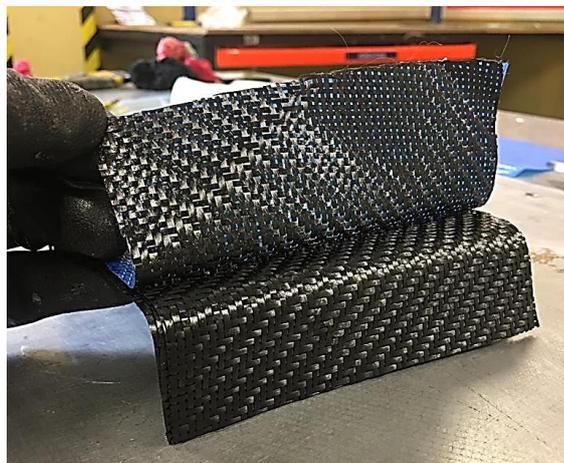


Figura 110 Apilado de tela Pre-Preg de fibra de carbono
Fuente: Autores

El laminado terminado no debe presentar ondulaciones o desprendimientos en su superficie, pues este generaría defectos en la pieza ya curada, el laminado se debe observar como la figura a continuación.



Figura 111 Laminado culminado de telas impregnadas
Fuente: Autores

Realizado el laminando, se apilan las láminas que se cortaron previamente, se sigue el siguiente orden: primero Peel Ply, segundo película de liberación de alta temperatura y por último el tejido para purgar, las láminas deben observarse como la figura a continuación.

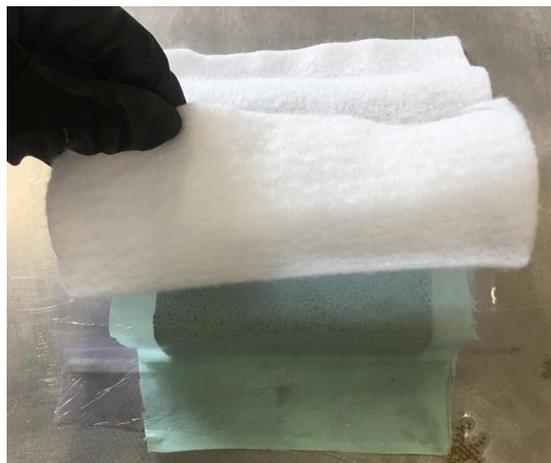


Figura 112 Orden adecuado de láminas
Fuente: Autores

5) Proceso de aislamiento.

Se coloca cinta sellante amarilla, en el contorno del conjunto laminado, dejando un espacio de aproximadamente 3 a 8 cm, para permitir el correcto vaciado y que las láminas se compacten en el contorno del molde.

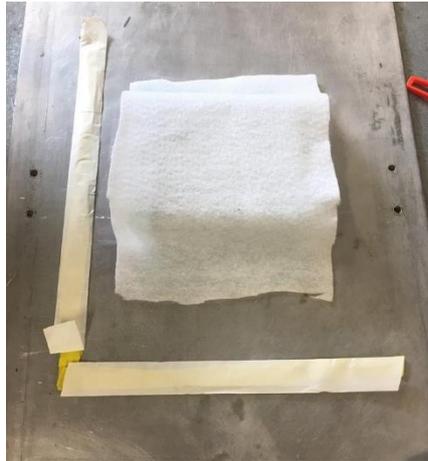


Figura 113 Colocación de cinta sellante amarilla
Fuente: Autores

Se ubica la boquilla para vaciado entre el conjunto y la cinta, seguidamente se sella todo utilizando la película de embolsado, el procedimiento consta de presionar con ayuda de un rodillo de caucho la lámina sobre la cinta sellante, y continuar con el proceso siempre en forma homogénea para evitar fugas de vacío.



Figura 114 Sellado del conjunto
Fuente: Autores

6) Proceso de vaciado.

Se introduce la placa en el horno y se conecta la manguera de vacío mediante el acople y boquilla, previo a esto se realiza un pequeño corte en la película de embolsado para realizar el acople hermético.



Figura 115 Proceso de vacío
Fuente: Autores

Se da inicio al vaciado encendiendo el compresor, la presión de vacío debe estar dentro del rango de 60 a 80 kPa.

Nota: Se debe prestar atención en que la presión de vacío llegue a toda la morfología de pieza, es decir, que compacte toda la estructura, de esta manera las capas se unen durante el proceso de curado.



Figura 116 Presión de vacío
Fuente: Autores

7) Proceso de curado.

El encendido del horno es de manera digital, ya que cuenta con un controlador electrónico, este dispositivo es de un manejo muy simple y permite el almacenamiento de “programas de curado”.

Por recomendaciones de (Fibre Glast Developments Corporation, 2019), la temperatura de curado es hasta 154 °C durante 2 horas.



Figura 117 Temperatura de curado
Fuente: Autores

8) Proceso de enfriamiento.

Una vez finalizado el proceso de curado, se espera a que se enfríe la matriz hasta alcanzar los 60 °C, se puede acelerar el proceso mediante la apertura de la puerta del horno, cabe recalcar que el enfriamiento es a temperatura ambiente.



Figura 118 Temperatura inicial de enfriamiento
Fuente: Autores



Figura 119 Temperatura final de enfriamiento
Fuente: Autores

Una vez alcanzada la temperatura de 60 °C, se procede a desconectar la manguera de vacío, luego se traslada la placa a la mesa de trabajo y se procede a la

extracción de la autoparte, retirando la película de embolsado, luego las diferentes láminas de tejido de respirar, peel ply y película de liberación.



Figura 120 Extracción de película de embolsado
Fuente: Autores



Figura 121 Extracción de láminas restantes
Fuente: Autores

Una vez retiradas las partes antes mencionadas, se extrae la autoparte del molde con el cuidado respectivo del caso, prestando atención en las zonas con morfologías pronunciadas.



Figura 122 Extracción de autoparte del molde
Fuente: Autores



Figura 123 Autoparte curada
Fuente: Autores

9) Proceso de mecanizado.

Basados en las medidas iniciales y tomando en cuenta los 4 mm de sobredimensionado en la pieza final, se procede a señalar los bordes que necesitan ser mecanizados.



Figura 124 Delimitación de bordes a mecanizar
Fuente: Autores

El mecanizado se lo lleva a cabo utilizando un pulidor Dremel y lijas de tungsteno, elementos que garantizan un acabado de gran calidad y son específicamente para este tipo de aplicaciones.

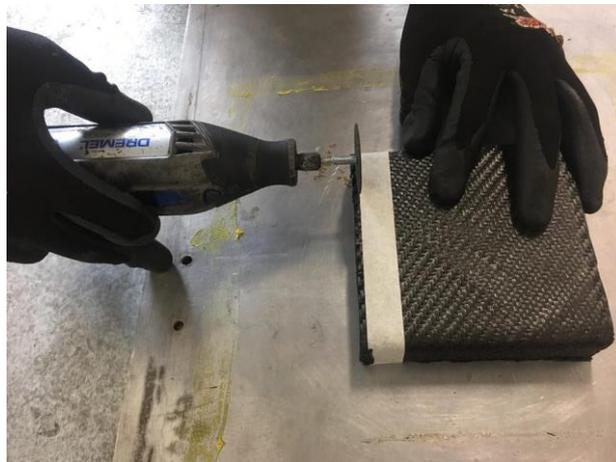


Figura 125 Mecanizado con pulidor Dremel
Fuente: Autores



Figura 126 Pulido con lija de tungsteno
Fuente: Autores

Como paso final y tomando como antecedente el diseño planteado, se procedió a señalar los puntos de referencia, en los cuales se perforan orificios de 6mm \varnothing para proporcionar los puntos de anclaje establecidos previamente, en el proceso se utilizó una broca de 6mm y un taladro de pedestal.



Figura 127 Puntos señalados para posterior taladrado
Fuente: Autores



Figura 128 Taladrado de autoparte
Fuente: Autores

La autoparte mecaniza y terminada se la observa a continuación.

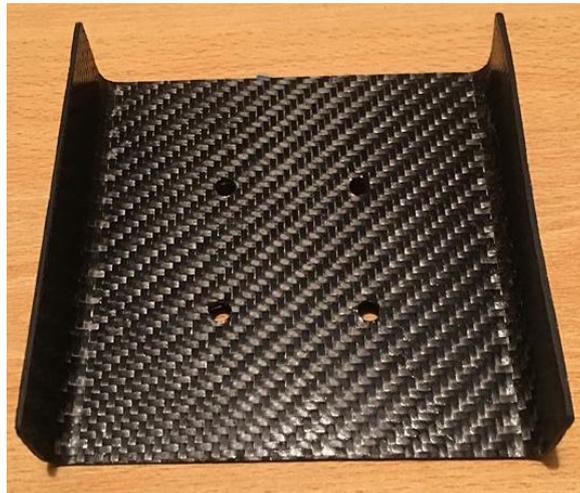


Figura 129 Pedal de fibra de carbono terminado
Fuente: Autores

3.3.2. Método de infusión

El método se caracteriza por colocar tejidos de fibras secas (no impregnadas) en molde cerrado con una bolsa de vacío o también se puede usar un contramolde que ha sido diseñado con la finalidad de inyectar la resina y que a su vez se distribuya de forma proporcional a través de las fibras mediante la aplicación del vacío, además este método garantiza una proporción de fibra de carbono alta y contenido bajo de aire atrapado entre capas, tiene un plus en cuanto a acabado superficial, pues si se usa contramolde se tiene excelente acabado en todas las caras de la pieza (Barrachina Salas, 2013), el esquema del proceso de infusión se lo puede ver a continuación.

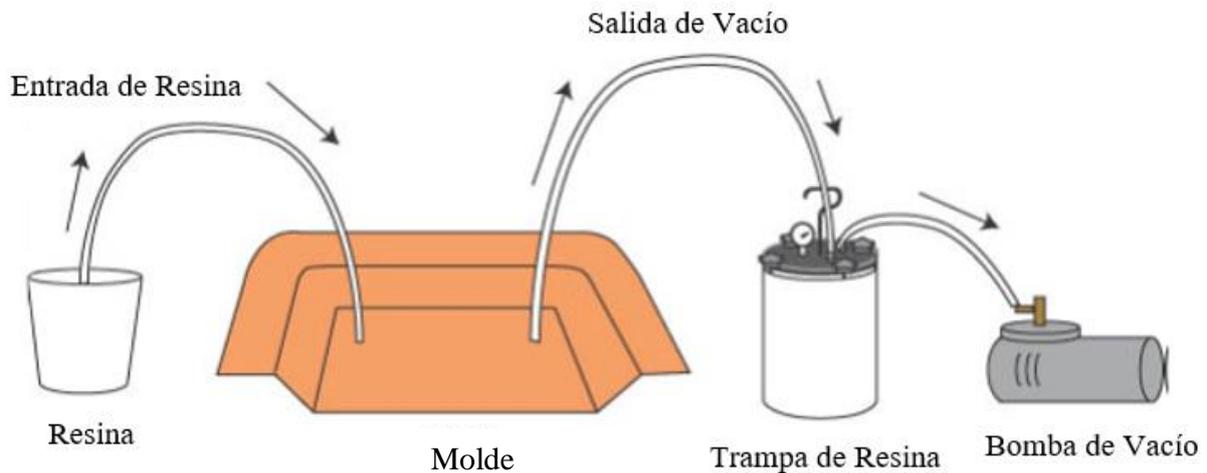


Figura 130 Esquema de método de infusión
Fuente: (Performance Composites Inc., s.f.)

Una vez esclarecido el tipo de fibra a usarse, para el caso en estudio es la tela de fibra de carbono 3K, 2x2 tejido de sarga, y el esquema del método, la secuencia de pasos para la realización del tablero de encendido a través del método antes mencionado son los siguientes.

1) Proceso de fabricación de molde.

Debido a las características geométricas que presenta la autoparte se utiliza como molde la placa base de aluminio.



Figura 131 Placa de aluminio usada como molde
Fuente: Autores

2) Proceso de trazado y corte.

Se crea la plantilla que permite el corte de las telas de fibra, esta tiene una sobremedida de 2 a 3 cm por lado en referencia a las dimensiones de la autoparte, esto se lo realiza debido a que la cohesión no se realiza de manera correcta en los perímetros de la pieza, la corrección de esta sobremedida se la realiza en el proceso de mecanizado.



Figura 132 Trazado para plantilla
Fuente: Autores

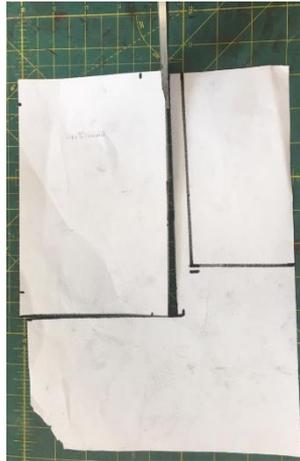


Figura 133 Corte de platilla
Fuente: Autores

Para evitar el deshilachado de las fibras se usa cinta adhesiva en la periferia del corte, se corta las telas respetando la orientación de las fibras para otorgarle la configuración de $[(0/90)_{11}]_T$, esto se logra conformando un ángulo de 90 entre el corte y la orientación de las fibras.



Figura 134 Corte de tela de fibra de carbono
Fuente: Autores

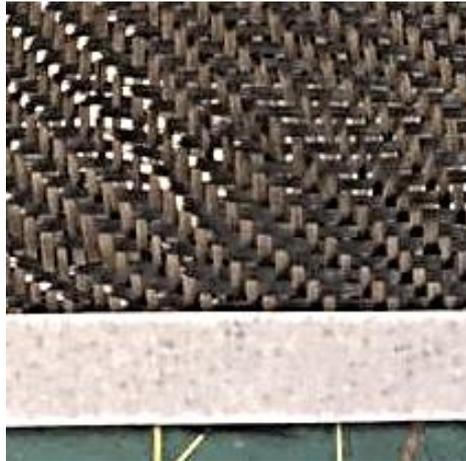


Figura 135 Orientación de corte de 90°
Fuente: Autores

Se obtiene un total de 8 capas para aportar el espesor necesario sin desperdiciar material, luego se procede al del peel ply celeste y la lámina de control de flujo de infusión verde, la elección de este último se da debido a que la infusión no requiere altas temperaturas, estos cortes son con sobremedida de 3 cm con respecto a la plantilla.



Figura 136 Corte de peel ply celeste
Fuente: Autores



Figura 137 Corte de lámina de control de flujo para infusión
Fuente: Autores

3) Proceso de curado de superficie.

Para conseguir un buen acabado superficial, el curado del molde es un punto clave, la cera desmoldante es el material empleado en este punto para ese propósito, se aplica adjuntando la misma de forma circular sobre el molde.



Figura 138 Aplicación de cera desmoldante a la placa molde
Fuente: Autores

4) Proceso de laminación.

En este paso se debe tener establecido el tipo de configuración a usarse y el número de capas, se coloca una encima de otra respetando la orientación 0/90°, seguido a esto se ubican el peel ply y la lámina de control de flujo para infusión,

una arriba de la otra, se la fija en los extremos para evitar que estas se desubiquen durante el flujo de la resina.



Figura 139 Colocación de la primera capa de fibra
Fuente: Autores



Figura 140 Colocación de peel ply y lámina de control de flujo para infusión
Fuentes: Autores

Se realiza la ubicación del tubo espiral en conjunto con un acople en T que luego será usado para fijar la manguera de ingreso de resina, el conjunto permite la distribución de la resina catalizada, se lo fija en la parte por donde se ha designado el ingreso de la misma, al otro extremo se ubica la boquilla para realizar el vacío.



Figura 141 Fijación de tubo espiral
Fuente: Autores

5) Proceso de aislamiento de pieza.

Se hace hincapié en realizar un vacío óptimo, pues es el pilar fundamental del proceso de infusión, para realizarlo se coloca la cinta sellante amarilla alrededor de la pieza y sobre el cuello del acople en T, luego se coloca la película para embolsado presionado con ayuda de un rodillo de caucho sobre las secciones de la bolsa en contacto con la cinta de sellado, se debe poner especial atención en la zona del acople pues se realiza una perforación en la bolsa para colocarle la manguera de ingreso sin problemas.



Figura 142 Fijación de cinta sellante amarilla
Fuente: Autores



Figura 143 Colación de acople
Fuente: Autores

Una vez realizado esto se acopla la boquilla con el cierre hermético que posee la misma, se colocan las mangueras en el acople en T, también entre la zona de salida de la boquilla y la trampa de resina, y de esta última hacia la bomba de vacío, cada una con sus respectivas abrazaderas para garantizar el vacío como se puede observar en la figura, se realiza una pequeña prueba de vacío para la cual se sella la entrada de la manguera de ingreso con la ayuda de un regulador de presión o alicate de presión de boca plana, se enciende la bomba y se espera a que la presión este entre 60 - 70 kPa y se sella la manguera entre la trampa de resina y la bomba, se procede a apagar la bomba, la presión no debe variar en los próximos 15 – 20 minutos de esta manera se comprueba que el vacío está ejecutándose de manera correcta, la prueba es la recomendada por (Fibre Glast Developments Corporation, 2019).



Figura 144 Sistema de vacío para infusión
Fuente: Autores

6) Proceso de preparación de resina epoxi.

Una vez aislada la pieza, se mezclan la resina con el catalizador en un recipiente transparente con un cierto diámetro de ancho que permita ejecutar una buena mezcla de estos dos, se utiliza una proporción de 5% de catalizador, el tiempo que se puede trabajar con esta mezcla viene indicado en la ficha técnica de la misma, el tiempo suele variar de 20 minutos o 3 horas (Barrachina Salas, 2013).



Figura 145 Preparación de resina epoxi
Fuente: Autores

7) Proceso de impregnación de la resina epóxica

Se ubica la manguera de entrada en el recipiente con la mezcla, se enciende la bomba de vacío para hacer fluir la resina catalizada para todas las telas de fibra ya compactadas.

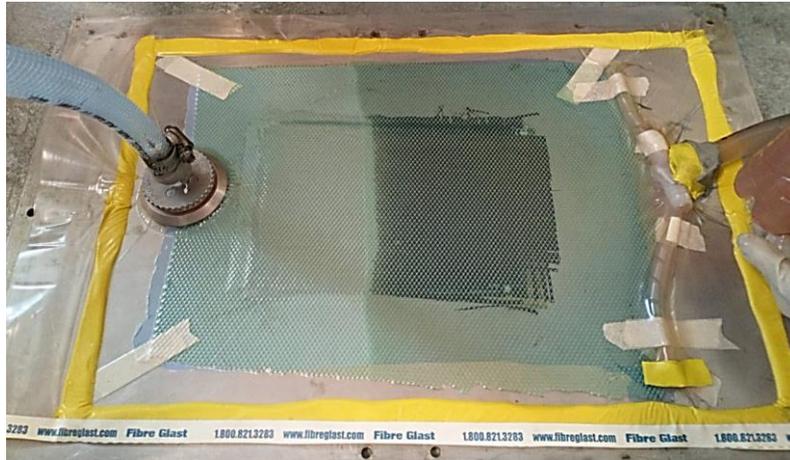


Figura 146 Proceso de impregnación
Fuente: Autores

Cuando la presión este entre 60-70 kPa y la resina haya cubierto todas las superficies de las telas, se sella la manguera entre la trampa de resina y la bomba, luego se debe sellar también la manguera de ingreso de resina, se realiza mediante alicates de presión de boca plana o regulador de flujo, a continuación, se apaga la bomba.

8) Proceso de enfriamiento.

Realizado el proceso de impregnación se deja catalizar la resina para que esta endurezca, el tiempo suele estar comprendido entre 12 y 24 horas (este tiempo viene indicado por el fabricante en la ficha técnica).

Una vez transcurrido este tiempo se extrae la pieza, para ello se retira la película de embolsado y el resto de láminas que fueron usadas.



Figura 147 Sustracción de película de embolsado
Fuente: Autores

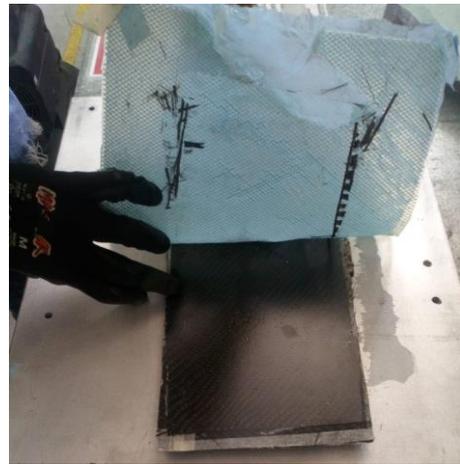


Figura 148 Sustracción de láminas restantes
Fuente: Autores

9) Proceso de mecanizado.

Una vez extraída la pieza se delimita las zonas donde se realizarán cortes tomando en cuenta los 3 cm de sobremedida, el proceso de corte se lo lleva a cabo utilizando un pulidor Dremel y luego para otorgar un acabado óptimo al perfil del elemento se usa lijas de carburo de tungsteno.

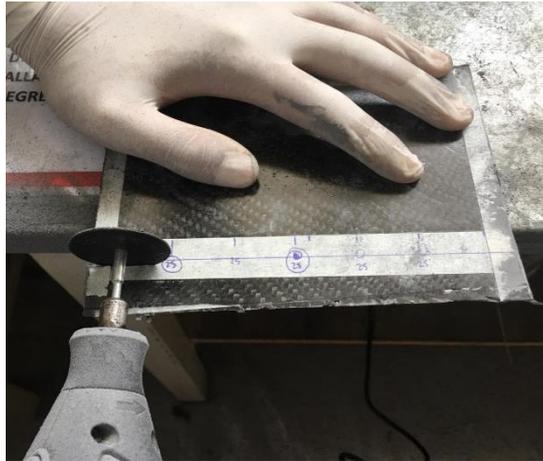


Figura 149 Mecanizado con pulidor Dremel
Fuente: Autores



Figura 150 Pulido con lija de carburo de tungsteno
Fuente: Autores

Se continua con un proceso de taladrado de acuerdo a las medidas previamente planteadas en el diseño, se realizan 5 orificios, los cuales son 4 de diámetro 12 mm, 1 de diámetro 22 mm y 4 de diámetro 4 mm, se ubica los puntos para el taladrado esbozando sobre la autoparte.



Figura 151 Esbozo de los puntos de taladrado
Fuente: Autores

Una vez realizado el esbozo, con la ayuda de un taladro de pedestal se realiza lo orificios con los diámetros preestablecidos.

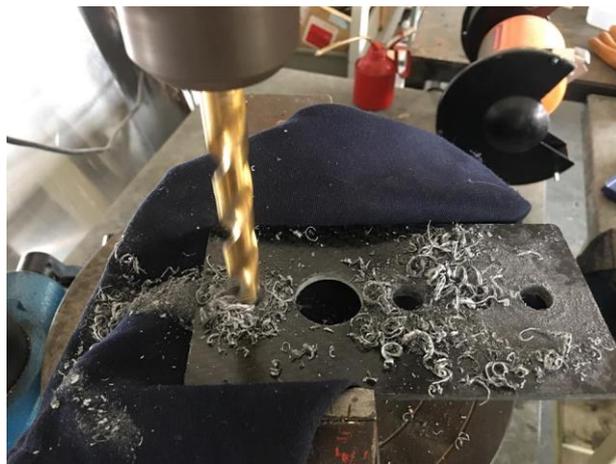


Figura 152 Taladrado de la autoparte
Fuente: Autores

Culminado el mecanizado, la autoparte luce de la siguiente manera.



Figura 153 Tablero de encendido mecanizado
Fuente: Autores

Como se había detallado con anterioridad esta autoparte es de carácter estético, por tanto, incorpora accesorios para ayuda al piloto, una vez adjuntados el elemento se visualiza de la siguiente manera.



Figura 154 Tablero de encendido en fibra de carbono para vehículos de competencia
Fuente: Autores

3.4. Futuros proyectos aplicables

Durante el desarrollo de proyectos con compuestos Epoxi-Carbono o fibra de carbono se generan una cantidad de residuos, ya sea durante el proceso de trazado, impregnación o en el proceso de mecanizado y acabado, estos residuos pueden variar en cantidad y tipo de tela, es por ello que alrededor del mundo existen investigaciones y proyectos que proponen el reciclaje de estos residuos, además existen empresas que ya tienen procedimientos patentados para la reutilización de este material. (Rehkopf, 2011)

Actualmente los procesos de reciclaje más comunes y que se encuentra en auge a nivel mundial son la Pirólisis y la Solvólisis, a continuación, se describe cada uno de estos procesos.

3.4.1. La Pirólisis

Es la descomposición química de materia orgánica y de todo tipo de materiales, con excepción de metales y vidrios, este proceso se da por el calentamiento de la materia a altas temperaturas y en ausencia del oxígeno, esto produce cambios irreversibles en el estado físico y químico de los materiales a tratar. En este caso, las altas temperaturas queman la resina y permiten una des impregnación de las fibras (CEUPE, 2019).

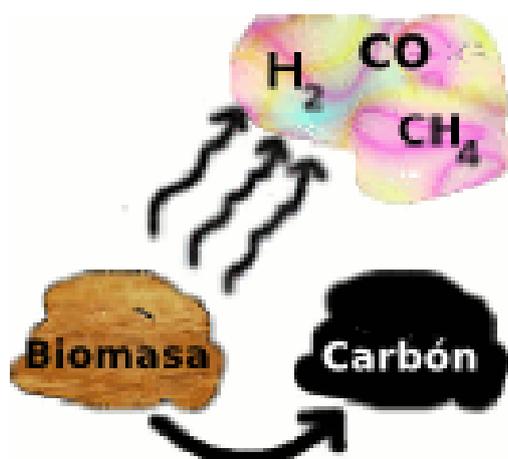


Figura 155 Pirólisis
Fuente: (CEUPE, 2019)

Cabe recalcar que la pirolisis extrema que solo deja carbono como residuo se llama carbonización.

3.4.2. La Solvólisis

Es una reacción química en la que se utiliza un solvente como el agua o el alcohol y es uno de los reactivos que se encuentran en gran exceso para producir la reacción química, esto es una reacción de sustitución, es decir que los átomos de solvente se reemplazan por otros átomos, en el caso del compuesto Epoxi-Carbono, se reemplazan por la resina epoxi. (Joomla, s.f.)

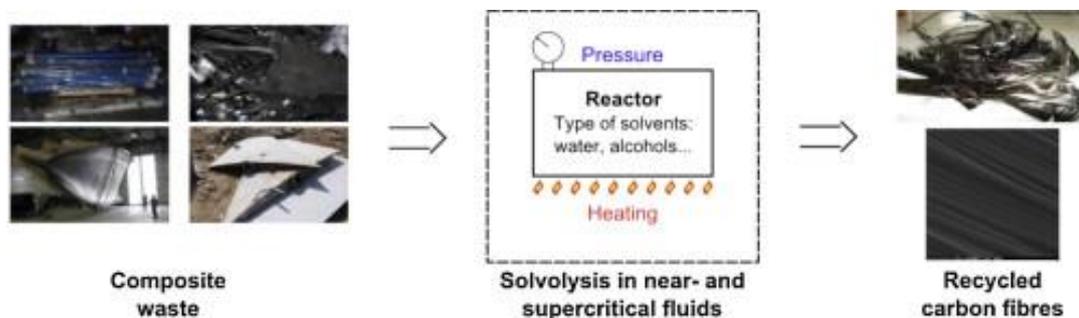


Figura 156 Solvólisis
Fuente: (Joomla, s.f.)

Estos métodos permiten el reciclado de las fibras de carbono, estas contienen la mayoría de sus filamentos en desorden, por lo que la elaboración de nuevos elementos o piezas se realizan bajo el proceso de compresión de fibra carbono, las piezas que se buscan generar con fibras recicladas no deben presentar características mecánicas elevadas, pues es difícil predecir el comportamiento bajo cargas y esfuerzo (Rehkopf, 2011).



Figura 157 Fabricación de elementos a partir de fibra de carbono reciclada
Fuente: (Rehkopf, 2011)

4. CONCLUSIONES

- En los últimos años el uso de la fibra de carbono en la industria automotriz a nivel nacional se ha visto reflejado en la importación de autopartes ya fabricadas, sin embargo, la manufactura no se encuentra desarrollada a nivel técnico, siendo en su mayoría aplicaciones artesanales, de esta manera las universidades realizan aportes referentes a la manufactura técnica para piezas de fibra de carbono.
- Para obtener mejores resultados en la manufactura de autopartes, se debe seguir las indicaciones de los fabricantes del material base e insumos, sin embargo en el mercado nacional existen materiales y elementos sustitutos a los recomendados con los cuales la calidad final del producto es menor en comparación a la obtenida mediante el uso de materiales importados pero el costo final es menor.
- Las telas de fibra de carbono Pre-Preg presentan un elevado costo, razón por la cual su uso va destinado a elementos de dimensiones menores además se tiene limitaciones en el laminado cuando la pieza presenta geometrías complejas; por otra parte, las telas de fibra de carbono no impregnadas representan un menor costo, motivo por el cual su uso está destinado a autopartes y piezas de dimensiones mayores, también posee mayor capacidad de adaptarse a geometrías complejas durante el laminado.
- Se estableció un proceso de diseño y manufactura en función de las recomendaciones por parte de los fabricantes, los mismos que cuentan con una amplia trayectoria y experiencia en este campo, adicionalmente se utilizó toda la información proveniente de investigaciones y experiencias desarrolladas dentro de la UPS, de esta manera los procesos garantizan resultados óptimos.
- Los procesos de manufactura utilizados en investigaciones anteriores no adoptaban una metodología esquemática y secuencial, dadas estas observaciones se

establecieron procesos válidos para la manufactura de cualquier autoparte de geometría simple.

- El método de curado utilizando láminas Pre-Preg garantiza la obtención de mejores prestaciones mecánicas, y su uso está enfocado en autopartes y elementos de geometría simple de carácter funcional.
- El método de infusión el cual utiliza telas no impregnadas con resina epoxi, permite la fabricación de autopartes de mayor escala y un acabado superficial de excelente calidad, por ende, el método está orientado a piezas y autopartes cuya finalidad sea el uso de carácter estético, debido a que el costo actual de la tela no impregnada es 2 veces menor respecto al Pre-Preg.

5. RECOMENDACIONES

- Es indispensable la instalación de un sistema de ventilación dentro del laboratorio de materiales, dado que los procesos de manufactura que se desarrollan dentro del mismo generan partículas microscópicas y gases, y al no existir la evacuación de estos se generan daños a la salud.
- Es necesario la instalación de un sistema de aspiración centralizado, cuya finalidad sea la absorción y posterior almacenaje de material particulado y también el generado durante los procesos CAV.
- No es recomendable fabricar con espesores menores a 2mm, puesto que las propiedades mecánicas de la autoparte son de comportamiento impredecible ya que el material empieza a perder ductilidad y ganar de fragilidad.
- Es recomendable usar el método de curado para la fabricación de autopartes, dado que para el método de infusión se necesita mayor experiencia en el control de las variables como la presión de vacío y la relación de mezcla de la resina epoxi.

- Realizar seminarios, capacitaciones y promover el uso del software MSC Nastran y Patran a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz y de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Un laboratorio que se enfoque a la manufactura de autopartes debe contar con las herramientas específicas y equipos de protección adecuados al tipo de material que se manipula.

6. REFERENCIAS

- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (2008). *Materiales para Ingeniería I*. Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Barrachina Salas, A. (2013). *Diseño y construcción de una llanta para un monoplaza de la Formula Student*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Bravo Murillo, D., & Bueno Sáenz, D. (2015). *Ciencia de los materiales/Fibra de Carbono*. Madrid.
- Caisa, J. R. (2016). *Análisis de las curvas de desempeño de una viga reforzada con fibras de carbono y fibras de vidrio*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato .
- Campoverde Pacurucu, P. S., & Idrovo Villa, A. E. (2018). *Propuesta de producción del tablero de fibra de carbono utilizando herramientas lean manufacturing para el vehículo monoplaza Formula SAE*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Castro Composites. (s.f.). *Herramientas/Utensilios*. Recuperado el 20 de Marzo de 2019, de [castrocompositesshop.com: https://www.castrocompositesshop.com/es/17-herramientas-utensilios](https://www.castrocompositesshop.com/es/17-herramientas-utensilios)
- CEUPE. (2019). *Que es la Pirólisis*. Recuperado el 17 de Abril de 2019, de [ceupe.com: https://www.ceupe.com/blog/blogger/ceupe.html](https://www.ceupe.com/blog/blogger/ceupe.html)
- Colan Australia Composite Reinforcement. (2013). *Carbon Woven Fabric Unidirectional 450G/M2 500mm*. Recuperado el 22 de Marzo de 2019, de [www.colan.com.au: http://www.colan.com.au/compositereinforcement/woven-fabrics/carbon-fibre/carbon-woven-fabric-plain-450g-m2-500mm.html](http://www.colan.com.au/compositereinforcement/woven-fabrics/carbon-fibre/carbon-woven-fabric-plain-450g-m2-500mm.html)
- Espinoza Beltrán , G. E., & Hidalgo Pacheco , J. A. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo Formula SAE*. Cuenca : Universidad Politécnica Salesiana.
- Fibre Glast Developments Corporation. (2019). *Carbon Firber*. Recuperado el 09 de Marzo de 2019, de [www.fibreglast.com: https://www.fibreglast.com/product](https://www.fibreglast.com/product)
- Fornace, L. V. (2006). *Weight Reduction Techniques Applied to Formula SAE Vehicle Design: An Investigation in Topology Optimization*. San Diego: University of California.

- García Cedillo, R. M., & Ortega Ortega, J. D. (2018). *Propuesta de guía metodológica de aprendizaje práctico, para la fabricación de autopartes de geometrías simples en fibra de carbono*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- GestioPolis. (8 de Abril de 2001). *¿Qué es el estudio de factibilidad en un proyecto?*
Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/que-es-el-estudio-de-factibilidad-en-un-proyecto/>
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: EOI.
- IMEche. (Enero de 2017). *Formula Student Rules*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de Institution of Mechanical Engineers: <http://www.imeche.org/events/formula-student/team-information/rules>
- IMEche. (Enero de 2019). *Formula Student Rules*. Recuperado el 6 de Mayo de 2019, de Institution of Mechanical Engineers: http://www.imeche.org/docs/default-source/1-oscar/formula-student/2019/rules/fs-rules_2019_v1-1.pdf?sfvrsn=2&fbclid=IwAR1msvFhrv8hR3d5BFX4q-TE9tLXLtV43yaGrJD6BO-oCOUfCLbxoh00DIM
- ISO. (s.f.). *(ISO/TC 94) Personal safety -- Personal protective equipment*. Recuperado el 22 de Febrero de 2019, de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/committee/50580.html>
- Joomla. (s.f.). *Solvólisis*. Obtenido de [melillamedioambiente.com](http://www.melillamedioambiente.com):
http://www.melillamedioambiente.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1925
- Kit Carbono Composites. (2019). *Perma-Grit Disco de corte Diamantado de 32mm con adaptador*. Recuperado el 22 de Marzo de 2019, de [kitcarbono.com](http://www.kitcarbono.com):
<http://www.kitcarbono.com/productos/view/Perma-Grit-Disc-32mm-Perma-Grit-Disco-de-corte-Diamantado-de-32mm-con-adaptador>
- MacMillan, L. (2016). *Baja Braking System & Pedal Assembly*. Boulder : The University of Colorado at Boulder.

- Mejía, J. A. (2016). *Diseño de un prototipo de volante para un vehículo tipo fórmula SAE mediante técnicas de optimización estructural*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Miravete, A., & Cuartero, J. (2003). *Materiales Compuestos* (Vol. II). Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Nwachukwu, U., Onyenanu, I. U., & Atanmo, P. N. (2016). *Design and Analysis of FSAE Brake System using locally sourced Material*. Nigeria: Chukwuemeka Odumegwu Ojukwu University (COOU).
- Ortega, P. S. (2018). *Análisis de autopartes de fibra de carbono de geometría simple mediante software*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana .
- Performance Composites Inc. (s.f.). *Fiberglass and Composite Material Design Guide*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de www.performancecomposites.com: <http://www.performancecomposites.com/about-composites-technical-info/122-designing-with-fiberglass.html>
- Perma-Grit Tools Ltd. (s.f.). *Sanding Blocks*. Recuperado el 16 de Abril de 2019, de [permagrit.com](http://www.permagrit.com): <https://www.permagrit.com/sanding-blocks/>
- Pintulac. (2018). *Resina Poliéster Cobaltada Sintapol*. Obtenido de [pintulac.com.ec](http://www.pintulac.com.ec): <https://www.pintulac.com.ec/resina-poliester-cobaltada-sintapol>
- Ramos, L. P. (2013). *Diseño del sistema de frenado para un prototipo Fórmula Student*. Sevilla: Universidad de Sevilla .
- Rehkopf, J. D. (2011). *Automotive Carbon Fiber Composites: From Evolution to Implementation*. Warrendale: SAE International .
- Roland DGA Corporation. (2019). *MDX-540 Milling Machine Features*. Recuperado el 23 de Febrero de 2019, de [rolanddga.com](http://www.rolanddga.com): <https://www.rolanddga.com/en/products/3d/mdx-540-benchtopy-milling-machine/features>
- Southern Car Parts. (2018). *Carbon Fiber Front Door Panel*. Recuperado el 23 de Febrero de 2019, de [southerncarparts.com](http://www.southerncarparts.com): <https://www.southerncarparts.com>
- Temprano, C. M. (2016). *Diseño y fabricación de manguetas traseras para prototipo Fórmula Student*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Tirupathi R. , C., & Ashok D. , B. (1999). *Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería*. Pearson Educación.

Villa, M. N. (2018). *Caracterización de las propiedades tensiles de un material compuesto laminado reforzado con fibra de carbono*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

7. ANEXOS

A. Ficha técnica de tela de fibra de carbono Pre-Preg



Carbon Fiber Room Temperature Storage Prepreg



Our Carbon Fiber Room Temperature Prepreg is a 5.9oz 2x2 twill weave fabric woven from 3K carbon fibers and impregnated with a thermosetting epoxy resin system. It is storable at room temperatures and does not require freezer storage. With the long out life of the resin matrix, the carbon fiber prepreg can be shipped and handled at room temperatures. It is ideal for use when a long shelf life is desired, high-temperature capabilities are not required and controlled resin content is wanted.

| Physical Fabric Properties | | Cure Cycles | |
|----------------------------|---|--|--|
| Weight | 5.9 oz/yd ² | There are three optional cure cycles. All three will produce similar properties. | |
| Thickness | .012" | | |
| Construction (W x F) | 13x13 2x2 Twill Weave | | |
| Fiber Type | 3K Carbon Fiber Standard Modulus PAN, 33MSI | 1. | <ul style="list-style-type: none"> • 5°F-per-minute ramp up to 310°F (154°C) • Hold for 1 hour • <5°F-per-minute ramp down to at least 150°F (66°C) before removing from oven |
| Resin Matrix | Thermosetting Epoxy | | |
| Resin Content | 36% | | |
| Technical Resin Properties | | 2. | <ul style="list-style-type: none"> • 5°F-per-minute ramp up to 290°F (154°C) • Hold for 2 hours • <5°F-per-minute ramp down to at least 150°F (66°C) before removing from oven |
| Density | 1.229 g/cc | | |
| Tg (fromG* DMA curve) | 270°F | | |
| Tensile Strength | 10.7 ksi | | |
| Tensile Modulus | 440 ksi | | |
| Elongation @ Break | 4.0% | | |
| Tg after 24hr Water Boil | 169°F | 3. | <ul style="list-style-type: none"> • 5°F-per-minute ramp up to 270°F (154°C) • Hold for 4 hours • <5°F-per-minute ramp down to at least 150°F (66°C) before removing from oven |
| Water Absorption | 3.9% | | |

Shelf Life/Storage

The material should remain sealed when not in use and be stored indoors, out of the weather.

- The shelf life is 6 months from the date of manufacture when the maximum storage temperature shall not exceed 90°F (32°C).
- The shelf life is 12 months from the date of manufacture when the maximum storage temperature shall not exceed 75°F (24°C).
- The shelf life is 30 months from the date of manufacture when the maximum storage temperature shall not exceed 0°F (-18°C), with an additional 6 months at <75 °F (24°C).

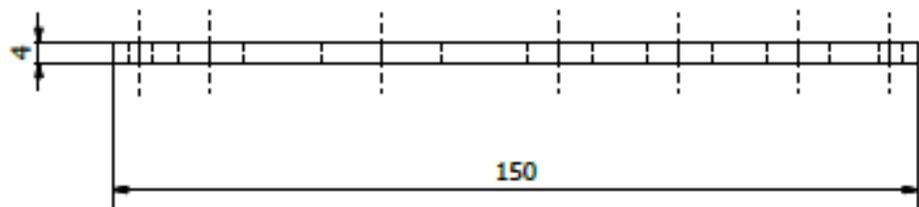
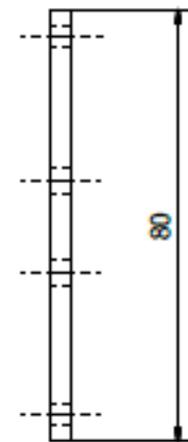
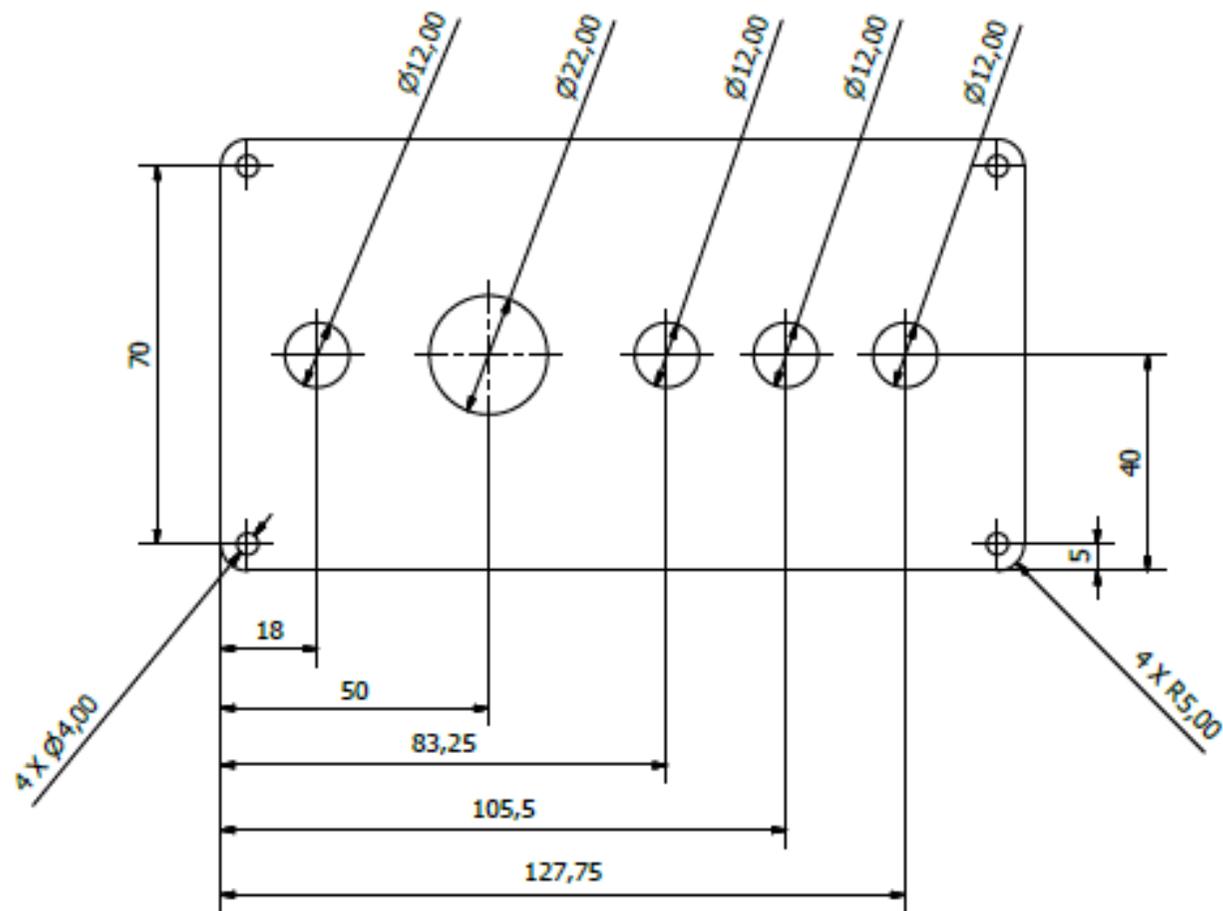
All the information contained in these properties is believed to be reliable. It is intended for comparison purposes only as each manufactured lot will exhibit variations. The user should evaluate the suitability of each product for their application. We cannot anticipate the variations in all use and we make no warranties and assume no liability in connection with the use of this information.



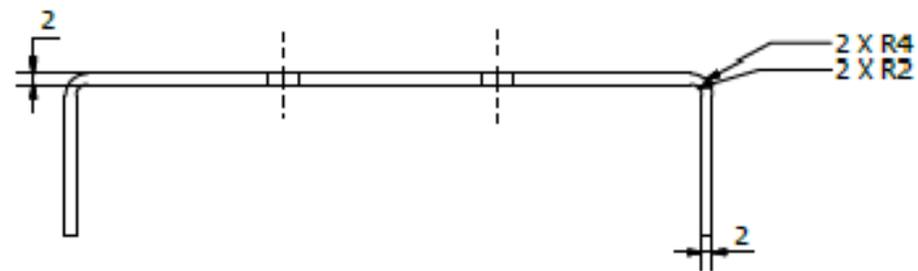
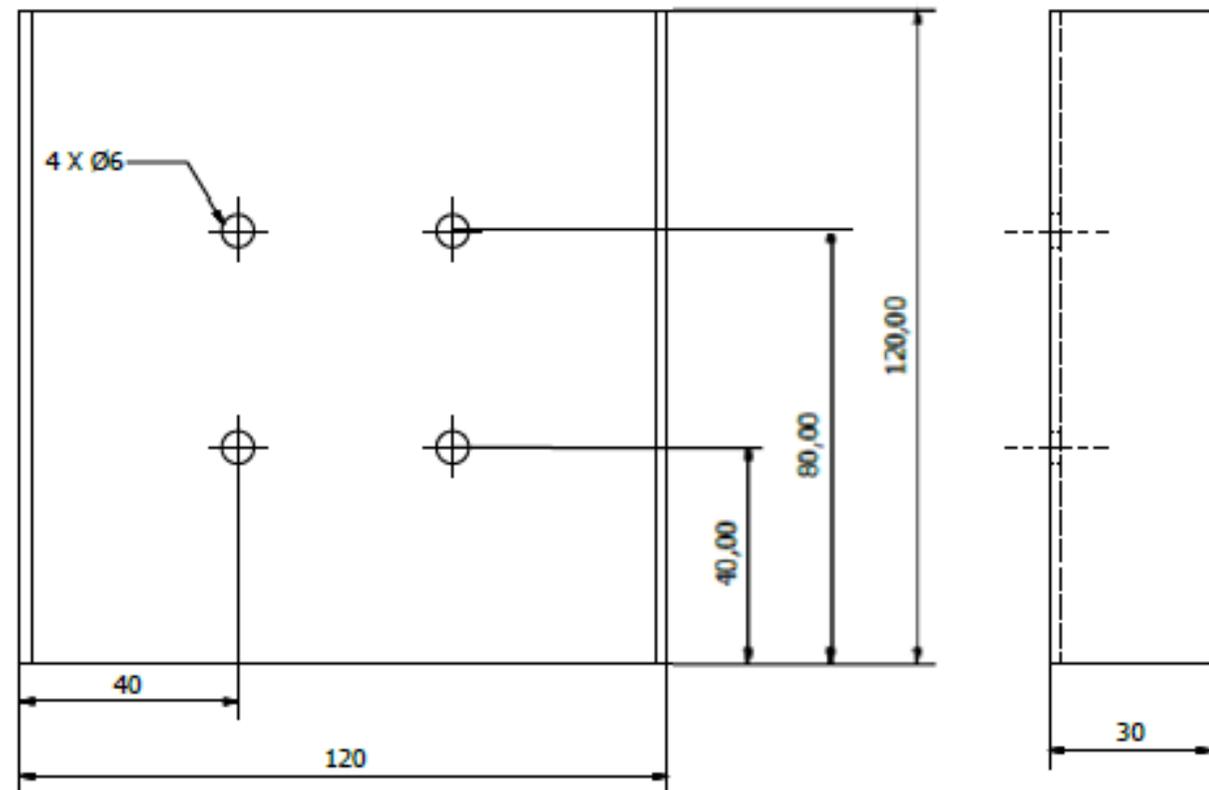
ISO 9001:2008 Certified I No. 49881
All Rights Reserved © 2014 Copyright ACP Composites, Inc.

78 Lindbergh Ave | Livermore, CA 94551
1-800-811-2009 | P. 925-443-5900 | F. 925-443-5901
Revision: C | June, 2015 | Page: 1 of 1

B. Planos constructivos de autopartes



| | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|---------|
| Diseño de MÉREZ & VITE W. | Revisado por ING. CALLE W. | Aprobado por ING. CALLE W. | Fecha 29/04/2019 | Fecha 29/04/2019 | |
| UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA | | | TABLERO DE ENCENDIDO | | |
| | | | TABLERO FINAL | | Edición |



| | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------|
| Diseño de Perez S, Vite W | Revisado por Ing. Calle W | Aprobado por Ing. Calle W | Fecha | Fecha 29/04/2019 |
| UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA | | | PEDAL DE FRENO | |
| | | | PEDAL | Edición 1 / 1 |