

DISEÑO INDUSTRIAL Y PRODUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO  
ELÉCTRICO PARA LA ESCUDERÍA DCM EN LA COMPETENCIA FÓRMULA  
SENA ECO 2013

Reyes Ortiz Jose Luis

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Aeronáutica

Bogotá DC

2015

DISEÑO INDUSTRIAL Y PRODUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO  
ELÉCTRICO PARA LA ESCUDERÍA DCM EN LA COMPETENCIA FÓRMULA  
SENA ECO 2013

Reyes Ortiz Jose Luis

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Aeronáutico

Director

Jairo Gutiérrez

Ingeniero Aeronáutico

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Aeronáutica

Bogotá DC

2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Andrés Felipe Giraldo por darnos la oportunidad y habernos escogido para participar y representar a la Universidad en este proyecto.

A Tatiana Rodríguez Usaquén y Lizeth Rojas Castiblanco por haber sido parte de nuestro equipo de trabajo y haber puesto todas sus capacidades para entregar muy buenos resultados.

Al ingeniero Jairo Gutiérrez por haber aceptado ser el director de este proyecto y haber dedicado de su tiempo al desarrollo y la realización del mismo.

## RESUMEN

El presente proyecto de grado muestra el diseño industrial de una carrocería para el automóvil de carreras eléctrico de la escudería DCM (Distrito capital-Meta) para la competencia de vehículos tipo formula del SENA, inicialmente para el desarrollo de este, se estudiaron una serie de modelos para determinar la mejor opción que posteriormente sería fabricada de acuerdo a las características requeridas.

Luego de definido el modelo a construir, se inició la selección de materiales y procesos a utilizar para la producción de la carrocería, teniendo como un alto limitante los costos y el tiempo para lograr fabricarla.

Los materiales a utilizar en la fabricación fueron seleccionados en base a diferentes parámetros que se debían cumplir en pro del rendimiento del vehículo; el proceso de manufactura tuvo lugar en las instalaciones del centro metalmecánico del SENA y contó con la colaboración del equipo de trabajo de la escudería.

Finalmente la carrocería fue instalada en el vehículo eléctrico y este compitió en el autódromo de Tocancipa, donde alcanzo el segundo lugar en la clasificación general de las 2 validas disputadas.

Este proyecto es parte de un ecosistema más grande que es la competencia de vehículos eléctricos en Colombia lo que es un indicativo de la tendencia de reducir emisiones y ayudar al desarrollo sostenible de la movilidad.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño industrial y producción de la carrocería para el vehículo eléctrico de la escudería DCM en la competencia formula Sena eco 2013.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño industrial de la carrocería para ser analizado aerodinámicamente\*
- Seleccionar los materiales y proceso de fabricación según previo contraste de las diferentes opciones disponibles.
- Fabricar la carrocería.
- Verificar y evaluar el proceso de fabricación de la carrocería.

\* Rodriguez Tatiana, Rojas Lizeth. Proyecto final de carrera, Validación Aerodinámica, Análisis Computacional Y Experimental Del Diseño De Un Carro Eléctrico Tipo Fórmula, Y Fabricación De Alerón Delantero Para La Escuderia Dcm Competencia Sena Eco 2013, 2014.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA                                  | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN                                            | 14 |
| 3. MARCO CONCEPTUAL                                         | 15 |
| 3.1 CARROCERÍA                                              | 15 |
| 3.2 MATERIALES COMPUESTOS                                   | 15 |
| 3.2.1 Fibra de vidrio                                       | 17 |
| 3.2.2 Fibra de carbono                                      | 19 |
| 3.2.3 Fibra de aramida                                      | 20 |
| 3.3 Uso de materiales compuestos en la Formula 1            | 20 |
| 3.4 RESINAS                                                 | 21 |
| 3.4.1 Resina poliéster                                      | 21 |
| 3.4.2 Resina epóxica                                        | 22 |
| 3.4.3 Etapas de curado de resinas.                          | 22 |
| 3.5 PROCESOS DE MANUFACTURA                                 | 22 |
| 3.5.1 Moldeo por impregnación manual o <i>Hand lay-up</i>   | 23 |
| 3.5.2 Moldeo por infusión                                   | 23 |
| 3.5.3 Moldeo por transferencia de resina                    | 24 |
| 3.5.4 Enrollamiento filamentario                            | 25 |
| 4. SELECCIÓN DEL DISEÑO                                     | 26 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN                                            | 26 |
| 4.2 DISEÑO CONCEPTUAL                                       | 26 |
| 5. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES                              | 39 |
| 6. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN                      | 43 |
| 7. PROCESO DE FABRICACIÓN                                   | 45 |
| 7.1 MOLDE                                                   | 45 |
| 7.1.1 Materiales y herramientas para construcción de moldes | 49 |
| 7.2 LAMINACIÓN                                              | 53 |
| 7.2.1 Materiales y herramientas para laminación             | 54 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 7.3 FABRICACIÓN SILLA DEL PILOTO                  | 57  |
| 7.3.1 ADECUACIÓN DEL MOLDE PARA SER LAMINADO      | 57  |
| 7.3.2 LAMINACIÓN DE LA SILLA                      | 59  |
| 7.4 FABRICACIÓN DE PARTE DELANTERA                | 66  |
| 7.4.1 FABRICACIÓN DEL MOLDE DE LA PARTE DELANTE   | 66  |
| 7.4.2 LAMINACIÓN PARTE DELANTERA                  | 72  |
| 7.5 FABRICACION PONTONES LATERALES                | 75  |
| 7.5.1 FABRICACIÓN DE MOLDES DE PONTONES LATERALES | 75  |
| 7.5.2 LAMINACIÓN DE PONTONES LATERALES            | 79  |
| 7.6 FABRICACIÓN DE PARTE TRASERA                  | 81  |
| 7.6.1 FABRICACIÓN DE MOLDE DE PARTE TRASERA       | 81  |
| 7.6.2 LAMINACIÓN DE PARTE TRASERA                 | 84  |
| 7.7 ADECUACIÓN DE PIEZAS PARA ANCLAJE AL CHASIS   | 87  |
| 7.8 PINTURA DE LA CARROCERÍA                      | 92  |
| 8. EVALUACIÓN DEL PROCESO                         | 98  |
| 9. CONCLUSIONES                                   | 100 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA                                  | 101 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Fibra de vidrio mat.                                   | 18 |
| Figura 2. Fibra de vidrio woven roving.                          | 19 |
| Figura 3. Boceto 1 Diferentes vistas del vehículo                | 27 |
| Figura 4. Boceto 2 - Vista lateral                               | 28 |
| Figura 5. Boceto 3 - Vista en perspectiva                        | 28 |
| Figura 6. Ilustración digital en solidworks                      | 30 |
| Figura 7 Adaptación de la carrocería al chasis                   | 31 |
| Figura 8. Prototipo 1                                            | 32 |
| Figura 9. Prototipo 1 Pruebas en túnel de viento                 | 32 |
| Figura 10. Ilustración modelo en desarrollo                      | 33 |
| Figura 11. Ilustración modelo en desarrollo                      | 33 |
| Figura 12. Ilustración modelo final                              | 34 |
| Figura 13. Prototipo 2. Modelo final                             | 35 |
| Figura 14. Desarrollo parte delantera                            | 36 |
| Figura 15. Matrices parte delantera                              | 36 |
| Figura 16. Desarrollo pontones laterales                         | 37 |
| Figura 17. Matrices pontón derecho                               | 37 |
| Figura 18. Desarrollo parte trasera                              | 38 |
| Figura 19. Matrices parte trasera                                | 38 |
| Figura 20. Matrices                                              | 46 |
| Figura 21. Pruebas de mezcla poliuretano                         | 47 |
| Figura 22. Bloque de poliuretano                                 | 48 |
| Figura 23. Temperatura alcanzada por la reacción del poliuretano | 48 |
| Figura 24. MDF                                                   | 50 |
| Figura 25. Varillas de acero                                     | 50 |
| Figura 26. Lijadora roto-orbital                                 | 50 |
| Figura 27. Masilla Dupont Novolite                               | 50 |
| Figura 28. Poliuretano de alta densidad                          | 51 |
| Figura 29. Colbon madera                                         | 51 |
| Figura 30. Hojas de segueta                                      | 51 |
| Figura 31. Espátulas plásticas                                   | 51 |
| Figura 32. Papel abrasivo                                        | 52 |
| Figura 33. Pintura                                               | 52 |
| Figura 34. Tejido de fibra de carbono                            | 54 |
| Figura 35. Tejido de fibra de vidrio                             | 54 |
| Figura 36. Fibra de vidrio mat                                   | 54 |
| Figura 37. Cera desmoldeante                                     | 54 |
| Figura 38. Estopa                                                | 55 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 39. Alcohol polivinílico                                  | 55 |
| Figura 40. Brochas                                               | 55 |
| Figura 41. Endurecedor colrepox 1956B                            | 55 |
| Figura 42. Resina Colrepox 6090A                                 | 56 |
| Figura 43. Rodillo de estrías metálicas                          | 56 |
| Figura 44. Molde silla sin restaurar                             | 57 |
| Figura 45. Proceso de pintura del molde                          | 58 |
| Figura 46. Molde preparado para laminación.                      | 59 |
| Figura 47. Encerado de la silla                                  | 60 |
| Figura 48. Impregnación de resina sobre la fibra                 | 61 |
| Figura 49. Primera capa de fibra en la silla                     | 61 |
| Figura 50. Silla laminada                                        | 62 |
| Figura 51. Silla luego de haber sido desmoldada                  | 63 |
| Figura 52. Corte de fibra sobrante                               | 64 |
| Figura 53. Lijado de la silla                                    | 65 |
| Figura 54. Pieza final                                           | 66 |
| Figura 55. Diseño de matrices en solid works                     | 67 |
| Figura 56. Matrices de parte delantera unidas con varillas       | 67 |
| Figura 57. Bloques de poliuretano                                | 68 |
| Figura 58. Molde con relleno de poliuretano                      | 69 |
| Figura 59. Lijado molde parte delantera                          | 70 |
| Figura 60. Masillado de parte delantera                          | 71 |
| Figura 61. Molde parte delantera listo para laminar              | 72 |
| Figura 62. Laminación parte delantera                            | 73 |
| Figura 63. Laminación parte delantera                            | 74 |
| Figura 64. Pieza final parte delantera                           | 75 |
| Figura 65. Matrices pontones laterales                           | 76 |
| Figura 66. Molde pontón lateral derecho relleno de poliuretano   | 77 |
| Figura 67. Molde pontón lateral izquierdo relleno de poliuretano | 77 |
| Figura 68. Molde de pontón lateral derecho                       | 78 |
| Figura 69. Molde de pontón lateral izquierdo                     | 78 |
| Figura 70. Pontón lateral derecho laminado                       | 79 |
| Figura 71. Pontón lateral izquierdo laminado                     | 80 |
| Figura 72. Desmoldeo de pontones delanteros                      | 80 |
| Figura 73. Molde parte trasera con relleno de poliuretano        | 81 |
| Figura 74. Parte trasera lijada                                  | 82 |
| Figura 75. Molde trasero masillado                               | 83 |
| Figura 76. Molde parte trasera lista para laminación             | 83 |
| Figura 77. Molde parte trasera laminado                          | 84 |
| Figura 78. Remoción de fibra de vidrio por mal uso de resina     | 85 |
| Figura 79. Laminación de parte trasera con fibra de carbono      | 86 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 80. Pieza parte trasera de la carrocería                            | 87 |
| Figura 81. Cortes para ejes de suspensión en pieza delantera               | 88 |
| Figura 82. Cortes para ejes de suspensión en pieza trasera                 | 89 |
| Figura 83. Unión de moldes                                                 | 90 |
| Figura 84. Unión de pieza delantera con pontones                           | 91 |
| Figura 85. Piezas finales sobre chasis                                     | 92 |
| Figura 86. Base de pintura de la carrocería                                | 93 |
| Figura 87. Pintura carrocería                                              | 93 |
| Figura 88. Pintura carrocería                                              | 94 |
| Figura 89. Proceso de pintura de la parte trasera de la carrocería         | 94 |
| Figura 90. Ajustes finales de pintura de la parte trasera de la carrocería | 95 |
| Figura 91. Carrocería final                                                | 96 |
| Figura 92. Vehículo en Competencia                                         | 97 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. <i>Propiedades de diferentes materiales</i>             | 39 |
| Tabla 2. <i>Costos de diferentes materiales</i>                  | 40 |
| Tabla 3. <i>Selección de método de fabricación - Método pugh</i> | 41 |
| Tabla 4. <i>Selección de materiales - Método pugh</i>            | 43 |

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El avance tecnológico en el automovilismo ha traído consigo un enorme progreso a nivel de diseño y producción de carrocerías de autos de fórmula, las grandes fábricas de este tipo de automóviles buscan entregar a sus clientes vehículos altamente eficientes, pero que además de esto sean estéticamente atractivos; hacer que un auto cuente con estas 2 características, bastante importantes, se logra a través de un largo proceso de diseño, análisis y fabricación de una carrocería que pueda cumplir con los estándares de calidad y rendimiento exigidos.

El diseño y la fabricación de una carrocería de un automóvil de fórmula son de vital importancia ya que en ésta se verá reflejado en el desempeño del vehículo en pista; por esta razón la escudería DCM del proyecto formula Sena eco 2013 busca el apoyo de ingenieros aeronáuticos para el diseño y la construcción de una carrocería que pueda dar una ventaja competitiva sobre las demás escuderías ya que en anteriores versiones del proyecto se han tenido una serie de inconvenientes como lo son el diseño industrial, el peso y la sujeción de la misma que han afectado la seguridad y eficiencia del vehículo. Uno de los puntos críticos de este proyecto estará en la selección de materiales y procesos adecuados ya que se depende de disponibilidad de recursos, infraestructura, equipos y herramientas, personal capacitado entre otros.

Producir una carrocería que cumpla con las exigencias aerodinámicas y estéticas requeridas por la escudería DCM dependerá de un adecuado diseño industrial y la correcta aplicación de conceptos en el campo de la ingeniería y materiales, además de administrar los recursos dados por el Sena para poder cumplir con la entrega de la misma; entonces ¿Cómo desarrollar el diseño industrial y la producción de la carrocería para cumplir con las exigencias de la competencia?

## 2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto que se presenta nace como fruto de un convenio entre la Fundación Universitaria Los Libertadores y el Sena ya que este último desea que ingenieros aeronáuticos de la Universidad realicen el proceso de diseño y producción de la carrocería del automóvil de carreras de la escudería DCM del proyecto Formula Sena Eco 2013. Para el sustento del diseño industrial de la carrocería que se realizará en este proyecto, se complementará con el trabajo de grado *“Validación aerodinámica, análisis computacional y experimental del diseño de un carro eléctrico tipo formula y fabricación del alerón delantero para la escudería DCM competencia Sena Eco 2013”* que se encargó de realizar todos los cálculos y validaciones necesarias para lograr entregar una carrocería eficiente.

El diseño de una carrocería y fabricación con materiales no adecuados pueden causar grandes problemas a la hora en la que el vehículo se encuentre en competencia sobre pista, por esta razón realizar el diseño industrial fundamentado con estudios aerodinámicos y fabricar dicha carrocería con materiales altamente resistentes y ligeros es una gran ventaja de la escudería DCM sobre las demás escuderías.

Además, permitirá una conexión interdisciplinaria entre estudiantes del Sena e ingenieros aeronáuticos de la universidad haciendo una retroalimentación de conocimiento entre ambas partes.

Como se ha evidenciado en los últimos años, la industria automovilística ha estado aplicando tecnologías aeronáuticas en el desarrollo de vehículos tipo fórmula; por esta razón desarrollar este proyecto demostrará que la ingeniería aeronáutica no sólo está enfocada en el campo de la aviación sino que también puede ser usada en áreas como el automovilismo.

Por último este proyecto sentará unas bases preliminares a futuros desarrollos o mejoras en cuanto a procesos de fabricación con materiales compuestos.

## 3. MARCO CONCEPTUAL

### 3.1 CARROCERÍA

Se puede concebir la carrocería como una caja especial destinada para transportar personas o mercancías, durante la circulación del automóvil.

La función principal de la carrocería es alojar y proteger a los pasajeros del vehículo. A través de los años ha sufrido importantes transformaciones, éstas transformaciones han nacido de nuevas necesidades a la hora de poner en marcha un vehículo; con el paso del tiempo, éstas se han introducido con el fin de obtener más confort y velocidad con menos potencia y consumo, por esta razón se ha desarrollado la aerodinámica de los vehículos en busca de mejores coeficientes aerodinámicos; en segundo lugar se ha buscado conseguir un habitáculo más seguro para los pasajeros.<sup>1</sup>

Las carrocerías existentes se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Chasis con carrocería separada
- Plataforma con carrocería separada
- Carrocería monocasco
- Carrocería autoportante

### 3.2 MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto es un sistema de materiales formado por una mezcla o una combinación debidamente dispuesta de dos o más micro o macro constituyentes con una intracara que los separa, que difieren en forma y composición química y son esencialmente insolubles entre sí.<sup>2</sup>

La importancia que tiene para la ingeniería un material compuesto es que dos o más materiales diferentes se combinan para formar otro cuyas propiedades son superiores a las de sus componentes individuales.<sup>3</sup>

Los materiales de esta familia surgen de la necesidad de obtener materiales con una combinación de propiedades que difícilmente se encuentren en los cerámicos,

---

<sup>1</sup> CENTRO DE DOCUMENTACIÓN DE ESTUDIO Y OPOSICIONES, Mantenimiento de vehículos [en línea].  
<<http://www.cede.es>>

<sup>2</sup> Universidad de Cádiz, Diseño del proceso de fabricación de un catamarán de fibra de vidrio. [en línea].

<sup>3</sup> SMITH, William F. y HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. 4 ed. México. McGraw Hill. 2004. p. 648-651

los plásticos o los metales. Por ejemplo, en la industria del transporte son necesarios materiales ligeros, rígidos, resistentes al impacto y que resistan bien la corrosión y el desgaste, propiedades que rara vez se dan juntas; por lo que se diseña un material según la aplicación para la cual se necesitan.

Una característica de todos los materiales compuestos es que, en cada uno de ellos, se pueden distinguir dos componentes bien diferenciados: la matriz y el refuerzo o fase discontinua.

La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda “embebido”. Tanto materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir con este papel. A excepción de los cerámicos, el material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo.

Las funciones principales de la matriz son:

- definir las propiedades físicas y químicas;
- transmitir las cargas al refuerzo,
- protegerlo y brindarle cohesión.

Así como también permitirá determinar algunas características del material compuesto como la conformabilidad y el acabado superficial, es decir, de las propiedades de la matriz dependerá la capacidad que posea el material compuesto para ser conformado con geometrías complejas en procesos que, generalmente, no involucrarán posteriores etapas de acabado.

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles.

- Bajo cargas compresivas: es la matriz la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continúa.
- En tracción: la matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo. Para ello es necesaria una excelente adhesión entre la matriz y el refuerzo.

El material de refuerzo es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión.

El refuerzo puede ser en forma de partículas o de fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra. Si bien, los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibras. En la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, éstas son resistentes, rígidas y de poco peso. Si el compuesto debe ser utilizado a temperaturas elevadas, también la fibra deberá tener una temperatura de fusión alta. Por lo que la resistencia específica y el módulo específico de la fibra son características importantes.<sup>4</sup>

### 3.2.1 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio, tal como lo indica su nombre, es un material que consiste en numerosos y extremadamente finas fibras de vidrio. Cuando el vidrio se convierte en finas fibras, su tensión de rotura a la tracción, aumenta considerablemente. Para la fabricación de fibra de uso en plástico reforzado, se emplea el vidrio tipo "E", el cual es un vidrio borosilícico, con escaso contenido de álcalis. Se fabrican diferentes tipos de refuerzo de fibra de vidrio, según las necesidades, en cuanto al diseño y al proceso de transformación a emplear.<sup>5</sup>

Son las fibras más comúnmente utilizadas, en principio porque su costo es menor a las de carbono o aramídicas. Las matrices más comunes son las resinas de poliéster y epóxicas. Tienen una densidad y propiedades a la tracción comparable a las fibras de carbono y aramida pero menor resistencia y módulo de tensión, aunque pueden sufrir mayor elongación sin romperse.<sup>6</sup>

Las aplicaciones más comunes son:

- carrocerías de automóviles y barcos,
- recipientes de almacenaje,
- principalmente la industria del transporte en general.

Industrialmente existen diferentes tipos de fibra de vidrio que varían en su presentación por la organización de los filamentos de estas. A continuación se explican las más utilizadas.

---

<sup>4</sup> STUPENENGO, Marco. Materiales y materias primas. Cap 10. Argentina. Saavedra. 2011. p, 7-9

<sup>5</sup> TECNOLOGIA DE LOS PLÁSTICOS. [en línea].

<http://tecnologiadelosplasticos.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

<sup>6</sup> STUPENENGO, Op., Cit., p. 10

### 3.2.1.1 Mat

El MAT es un manto de fibras de vidrio cortadas, diseñado para uso en refuerzo plástico de resinas de poliéster ortoftálicas, isoftálicas, o epóxicas, destinado para procesos de aplicación manual en los sectores de la industria náutica, construcción, automotriz y petroquímica. Es el más usado en laminación manual, tanto en la fabricación como en la reparación de todo tipo de piezas. Ejemplos: fabricación de lanchas, tuberías, tanques, jacuzzis, piezas, partes, cavas, transportes, etc. El MAT es producido cortando mechas de fibra de vidrio tipo E, que luego son dispersas al azar en forma de manto y unidas por medio de un aglomerante de alta solubilidad. El proceso es controlado a especificaciones preestablecidas para garantizar la uniformidad del producto.<sup>7</sup>



Figura 1. Fibra de vidrio mat.<sup>8</sup>

### 3.2.1.2 Woven roving (Hilos Tejidos)

El *woven roving* es una tela de Fibra de Vidrio de refuerzo, diseñada para la laminación manual con resinas. Es ideal para procesos de aplicación manual o mecanizada, en la producción de carrocerías, lanchas, cavas, piezas automotrices, gabinetes y artículos del hogar, implementos deportivos, láminas translúcidas, tanques resistentes a la corrosión, y un sinnúmero de artículos de diversos tamaños y áreas.

---

<sup>7</sup> PUNTO PLAS, GENTE DE FIBRA. [En línea]. <<http://www.puntoplas.com>>

<sup>8</sup> Ibid.

Su peso y construcción uniforme minimizan el potencial de obtener áreas débiles y aire atrapado en el laminado, y a su vez ayuda a producir piezas más fuertes. Es un material flexible, adaptándose fácilmente a ángulos y radios de curvatura. Siendo más fácil de manejar y de aplicar que otros productos similares, permite reducir el tiempo de laminación, ya el tiempo de impregnación es corto. <sup>9</sup>



*Figura 2. Fibra de vidrio woven roving.*<sup>10</sup>

### **3.2.2 Fibra de carbono**

La estructura atómica de la fibra de carbono es similar a la del grafito, consiste en láminas de átomos de carbono arreglados en un patrón regular hexagonal. El grafito es el material de las minas de lápiz negro. De la misma manera que cuando se piensa en la fibra de vidrio, no se pensaría que la mina de lápiz es un material muy resistente.

La diferencia recae en la manera en que las láminas hexagonales que forman el grafito se entrecruzan. El grafito es un material cristalino en donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras regularmente. Cuando se escribe, mayormente lo que pasa es que las hojas se deslizan fácilmente unas sobre otras, transfiriéndose al papel. Las uniones químicas entre las hojas son relativamente débiles, dándoles al grafito su blandura y brillo característicos. La fibra de carbono es una forma de grafito en la cual estas láminas son largas y delgadas. Los manojos de estas cintas se empaquetan entre sí para formar fibras, de ahí el nombre fibra de carbono. La fibra de carbono es un material amorfo: las cintas de átomos de carbono están empaquetadas o apretadas, juntas. Esto hace que ante

---

<sup>9</sup> Ibid.

<sup>10</sup> Ibid.

una tensión de tracción, las hojas se “traben” unas con otras, previniendo su corrimiento entre capas e incrementando, grandemente, su resistencia. La fibra de carbono que se utiliza en la actualidad como refuerzo de materiales compuestos se fabrica a partir de un polímero llamado poliacrilonitrilo (PAN), a través de un proceso de calentamiento. Los filamentos de fibra de carbono tienen un diámetro que oscila entre 5 y 8 mm y están combinados en mechas que contienen entre 5000 y 12000 filamentos. Estas mechas pueden retorcerse en hilos y formar tejidos. Es muy utilizada en la industria aeronáutica para disminuir el peso de los aviones. Su elevado precio limita las aplicaciones en la industria del automóvil.<sup>11</sup>

### **3.2.3 Fibra de aramida**

La aramida es un filamento orgánico que proviene de ciertos derivados del petróleo. Su nombre se deriva de las funciones orgánicas que poseen: aromático y amida. Se utilizan en estructuras compuestas, como en las fibras de Kevlar. El kevlar es un polímero totalmente aromático, infusible que, químicamente es muy similar al nylon T. Sólo se fabrica como fibra (mediante fricción en solución), tiene una estabilidad y resistencia térmica muy altas. Sus propiedades de tracción son superiores a las de las fibras textiles normales debido a un alto grado de orientación molecular resultante de sus moléculas lineales rígidas y de su propensión a formar cristales líquidos durante la fricción en solución. Sus propiedades mecánicas suelen ser inferiores. Su coeficiente específico de tracción es alto y cercano al de los compuestos de fibra de carbono pero su resistencia a la compresión es bastante débil. La aramida se degrada a 480°C en nitrógeno y a alrededor de los 380°C en aire. Se utilizan en cables, sistemas balísticos y de armamento.<sup>12</sup>

## **3.3 USO DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA FORMULA 1**

De la misma forma que en la aviación, el uso de materiales compuestos en vehículos de Formula 1 ha sido uno de los grandes avances en la fabricación de éste tipo de vehículos.

Debido a los continuos accidentes mortales en las competencias de Fórmula 1, la *Fédération Internationale de l'Automobile (FIA)* determinó un listado de materiales

---

<sup>11</sup> STUPENENGO, Marco. Materiales y materias primas. Cap 10. Argentina. Saavedra. 2011., p. 11

<sup>12</sup> Ibid., p. 20

permitidos para la construcción de un vehículo de este tipo dentro de los cuales, la gran mayoría son materiales compuestos y son mostrados en el Anexo 1.<sup>13</sup>

Iniciando, se fueron construyendo solamente algunas partes pequeñas en materiales compuestos hasta llegar al punto en que hoy en día, el 85% de los vehículos son construidos con este tipo de materiales gracias a su resistencia pero también por ser materiales ligeros.

### **3.4 RESINAS**

La resina es un término genérico utilizado para designar el polímero. La resina, su composición química y las propiedades físicas afectan fundamentalmente el proceso, fabricación, y propiedades finales de un material compuesto. Se impregnación en cualquier forma, son compatibles con la mayoría de otros materiales, y tienen un curado fácil (por calor o catalizador) en un sólido insoluble.

De la misma forma que las fibras, en la industria existen una gran variedad de presentaciones de las resinas, a continuación se explicarán únicamente las más usadas.

#### **3.4.1 Resina poliéster**

Las resinas poliéster son unas de las más usadas debido a su bajo costo y rápido procesamiento. Puede ser procesada por muchos métodos, tales como moldeo combinado de metal, impregnación manual, bolsa de vacío y moldeo por inyección.

Las resinas poliéster son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador; y para resinas no pre-aceleradas un acelerador y un catalizador.

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado, o endurecimiento y viene acompañado de una reacción exotérmica.

---

<sup>13</sup> F1 Technical Regulation 2010. Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), p. 53-54

### **3.4.2 Resina epóxica**

A diferencia del poliéster, su costo es más alto, aunque también es de las más usadas por su rápido procesamiento, además de permitir ser procesada por los mismos métodos que el poliéster.

Existe muchos tipos de resina epóxicas en las que varía la mezcla con el endurecedor según el fabricante, la cual no se puede variar si se quiere obtener óptimos resultados.

Las ventajas de las resinas epoxi es que son de alta resistencia y módulo, bajos niveles de volátiles, una excelente adhesión, baja contracción, buena resistencia química y facilidad de procesamiento.

### **3.4.3 Etapas de curado de resinas.**

Las resinas termoestables utilizan una reacción química para curar. Hay tres etapas de curado, que se denominan A, B, y C.<sup>14</sup>

- Etapa A: Los componentes de la resina (material de base y el endurecedor) han sido mixtos, pero la reacción química no se ha iniciado. La resina está en la fase A durante procedimiento de impregnación.
- Etapa B: Los componentes de la resina se han mezclado y la reacción química ha comenzado sobre el material ya impregnado.
- Etapa C: La resina se cura completamente. Algunas resinas curan a temperatura ambiente y otros necesitan un ciclo de curado a temperatura elevada para curar completamente.

## **3.5 PROCESOS DE MANUFACTURA**

En la conformación de un material compuesto hay muchas opciones diferentes al momento de elegir materiales entre resinas y fibras, cada una de ellas con su conjunto de propiedades únicas tales como resistencia, rigidez, tenacidad, resistencia térmica, costo, productividad, etc. Sin embargo, las propiedades finales de una pieza de material compuesto producida a partir de estos distintos materiales no dependen sólo de las propiedades individuales de la resina y de las fibras sino, también, del modo mediante el cual se procesan dichos materiales.

---

<sup>14</sup> FAA, Handbooks manuals, cap7, Advanced composite material. 2008. p, 7-8

A continuación se describen algunos de los métodos de procesamiento de resinas y fibras.

### **3.5.1 Moldeo por impregnación manual o *Hand lay-up***

El moldeo por colocación manual, o moldeo por contacto, es denominado así debido a las bajas o nulas presiones que necesita y fue la primera técnica que se empleó en el laminado de los plásticos reforzados con fibra de vidrio, siendo todavía uno de los procesos más utilizados. En producciones en series industriales cortas o de piezas de gran superficie es el método más económico al presentar las ventajas de su relativa sencillez y no requerir mano de obra, excesivamente, especializada ni inversiones elevadas. Aun así, presenta los inconvenientes de un ambiente de trabajo molesto, producción lenta, acabado fino únicamente por una de las caras, y calidad final sometida a la especialización y sensibilidad del operario.<sup>15</sup>

La forma tradicional de impregnar el tejido es mediante el uso de una brocha o escobilla de goma. El operador coloca un compuesto desmoldante de manera que las capas no se adhieren al molde. Colocar una capa de tela sobre el molde y aplicar resina en el centro de la capa. Luego se utiliza la brocha o escobilla de goma para impregnar completamente el tejido. Se añaden más capas de fibra y resina y el proceso se repite hasta que todas las capas están impregnadas. Una bolsa de vacío se utilizará para consolidar las capas y para purgar el exceso de resina y compuestos volátiles. La mayoría de procesos de impregnación tienen un curado a temperatura ambiente, pero más calor, hasta 150 ° C, se utiliza para acelerar el proceso de curado.<sup>16</sup>

### **3.5.2 Moldeo por infusión**

Esta es una extensión del hand lay-up en donde el laminado es consolidado con la ayuda de una bomba de vacío y una bolsa hermética. En este proceso se coloca el laminado sobre el molde. Por sobre el laminado se aplican capas de mantas perforadas (de sangrado) que sirven para retener el exceso de resina que sale del laminado. Por sobre el conjunto se coloca una bolsa herméticamente sellada. Acto seguido se realiza vacío entre el molde y la bolsa para extraer las burbujas de aire

---

<sup>15</sup> STUPENENGO, Marco. Materiales y materias primas. Cap 10. Argentina. Saavedra. 2011., p. 21

<sup>16</sup> FAA, Op., Cit., p. 30

y retirar el exceso de resina (consolidado). El curado se realiza generalmente en vacío.

Para este proceso se pueden emplear tanto resinas epóxicas como resinas poliéster; mientras que las fibras a utilizarse pueden presentarse en una gran variedad de mantas. Se pueden lograr mayores concentraciones de fibras en el laminado que con el laminado por contacto manual; con menores concentraciones de burbujas, mejor humectación de las fibras por la presión y el flujo de resina a través de la estructura de las fibras hasta alcanzar los materiales de la bolsa. Es un proceso saludable y seguro, ya que el vacío asegura un bajo contacto del operario con las emisiones de las resinas durante el curado. Pero, el proceso agrega costos extras tanto en horas de trabajo como en materiales (bolsa y bomba de vacío) y el operador necesita tener un alto nivel de entrenamiento, ya que el mezclado y control del contenido de resina es dependiente de su habilidad.<sup>17</sup>

### **3.5.3 Moldeo por transferencia de resina**

En el moldeo por transferencia de resina o RTM por sus siglas en inglés (Resin transfer molding) un molde es rellenado con el material de refuerzo. Una presión es aplicada sobre el refuerzo para que éste tome correctamente la forma del molde y, luego, es mantenido sujeto por medio de amarras. Esta preforma es entonces cerrada por la contraparte del molde y la resina es inyectada dentro de la cavidad. Puede ser aplicado vacío al conjunto para asistir al flujo de la resina dentro de la cavidad y a la eliminación de aire atrapado. Una vez que toda la preforma es humedecida por la resina se cierra el molde a la salida de resina sobrante y comienza el curado. Durante la etapa de inyección de resina el frente de avance de la misma va eliminando el aire del refuerzo. Este proceso se diferencia de los de moldeo por presión en que la resina es introducida en el molde cuando éste se encuentra cerrado. Por medio de este proceso se pueden obtener formas complejas de manera eficiente, en cortos tiempos con alta fracción de fibras y baja concentración de burbujas; siendo una técnica segura y limpia para el operador. Ambas caras del material tienen buena terminación superficial y es viable agregar molde fácilmente inserto y fibras especiales. En contrapartida, el diseño del molde es crítico y requiere gran habilidad; las propiedades son equivalentes a las de las piezas fabricadas por moldeos a presión pero no son tan buenas como otros materiales compuestos realizados por técnicas como enrollamiento filamentario o moldeo de pre-impregnados; el control de la

---

<sup>17</sup> STUPENENGO, Op., Cit., p. 22

uniformidad de la resina puede ser dificultoso especialmente en zonas con radios marcados, como también puede ocurrir desplazamiento del refuerzo.<sup>18</sup>

### **3.5.4 Enrollamiento filamentario**

La base de este proceso es el enrollamiento sobre un mandril con la forma de la pieza a producir de una cinta de pre-impregnado o de fibras impregnadas en resina. Sucesivas capas son aplicadas variando o no el ángulo de laminación hasta alcanzar al espesor deseado. En todo el proceso, el mandril se mantiene girando mientras el cabezal de aplicación lo recorre transversalmente cubriéndolo con las fibras. La componente principal en el proceso de enrollamiento filamentario es definir las velocidades del mandril y del cabezal de aplicación. Estos dos movimientos definen el ángulo de laminación. Es decir, definen las propiedades del producto. Para el proceso de enrollamiento se puede utilizar un amplio espectro de resinas: epoxi, poliéster, vinil ester, fenólica; pero sólo fibras presentadas en bobinas.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> Ibid. p, 23

<sup>19</sup> Ibid. p, 24

## 4. DISEÑO INDUSTRIAL DE LA CARROCERÍA

### 4.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de la carrocería comenzó con una gran variedad de conceptos base, determinados de la observación de automóviles tipo formula ya existentes, lo que permitió concebir una serie de ideas que pudieran ser aplicadas a la carrocería del automóvil eléctrico de la escudería DCM, debido a que gran parte estos elementos conceptuales son raramente encontrados en entornos ordinarios y se reservan casi exclusivamente al mundo de la alta competición de automóviles; se decidió en un principio realizar una debida preparación en cuanto a los elementos que influyen a la hora de determinar las dimensiones, formas y funcionalidades de diversos elementos en una carrocería.

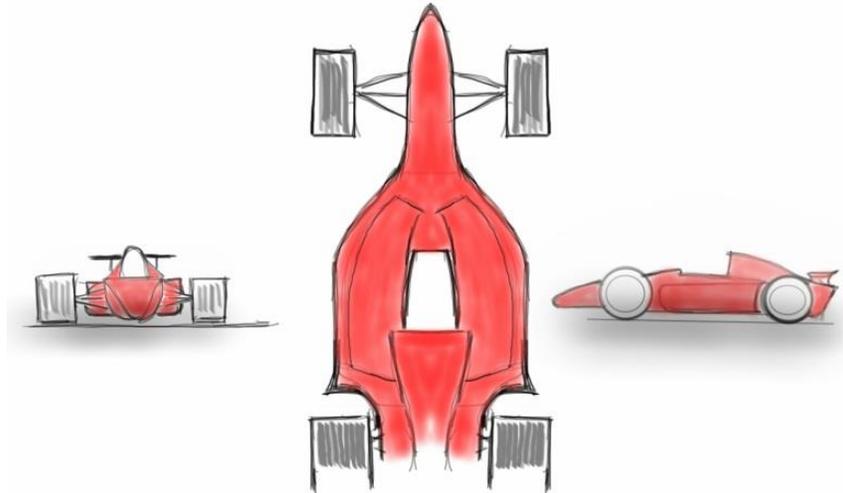
Iniciar este diseño propuso una serie de desafíos que llevaron a determinar un proceso adecuado y que se ajustara a las exigencias de tiempo para el proyecto, por lo cual se determinaron 2 estructuras generales para orientar el progreso del diseño y que este no se viera estancado posteriormente, en primera instancia se encuentra el diseño conceptual que está basado en bocetos e ilustraciones digitales que permiten ceñir el diseño a formas generales y ayudan a determinar, conceptualmente, la vía más óptima a seguir para finalizar el diseño y comenzar la etapa de fabricación.

Posteriormente está el diseño industrial que parte de los conceptos, ideas y generalidades que se desglosan del diseño conceptual, los dimensiona y detalla para permitir encaminar el proceso de fabricación, en esta etapa el desarrollo se apoya en los estudios aerodinámicos realizados en el proyecto de grado *“validación aerodinámica, análisis computacional y experimental del diseño de un carro eléctrico tipo fórmula y fabricación del alerón delantero para la escudería DCM competencia Sena Eco 2013”*, que además de facilitar el análisis de datos y simulaciones en entornos virtuales de las diferentes carrocerías, permite comprobar la eficiencia del modelo seleccionado.

### 4.2 DISEÑO CONCEPTUAL

El paso inicial fue la creación de bocetos que permitieran dar nociones básicas de la estructura y la distribución de diferentes elementos en la carrocería, como se muestra en la figura 3, tomando como guía elementos existentes en automóviles tipo formula, pero adaptándolos a las necesidades del carro de la escudería DCM,

permitiendo así formar un concepto general y una clara idea de evolución de la forma que adoptaría la carrocería más adelante.



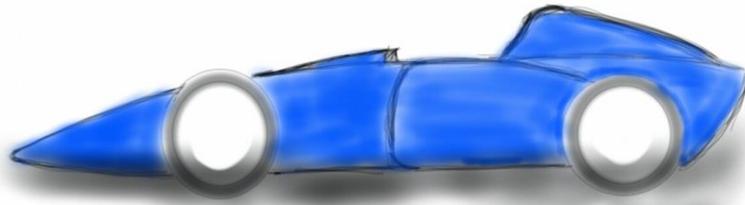
*Figura 3. Boceto 1 Diferentes vistas del vehículo<sup>20</sup>*

Gracias a estos bocetos se pudieron considerar aspectos que a nivel puramente conceptual eran difíciles de determinar, como formas y curvaturas específicas en el vehículo, como una muestra de esto en la figura 4 se pueden visualizar las curvas del automóvil desde uno de sus laterales, mientras que la figura 5 representa un desarrollo de carrocería un tanto diferente desde una vista en perspectiva.

Por ello la primera etapa resultó ser muy importante y brindo una sólida base para lo que se dispondría más adelante en el diseño de la carrocería.

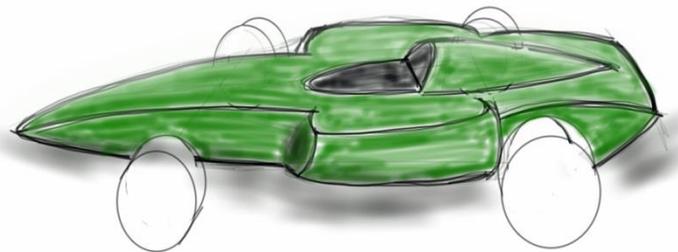
---

<sup>20</sup> Fuente autores del proyecto



*Figura 4. Boceto 2 - Vista lateral<sup>21</sup>*

Debido a que inicialmente los conocimientos que se tenían en cuanto al diseño de carrocerías eran limitados, se siguió un proceso paso a paso para determinar en el camino todos los aspectos necesarios para desarrollar con la mayor calidad posible el diseño y la fabricación, así es como se empezó con dibujo sencillos que expresaran las ideas básicas que después se convertirían en el diseño final.



*Figura 5. Boceto 3 - Vista en perspectiva<sup>22</sup>*

Más adelante se procedió a digitalizar los datos y conceptos obtenidos en la fase de bocetado en un ambiente virtual, gracias al software solidworks 2012 premium cuya implementación fue gracias al centro de metalmecánica del SENA; en esta parte del proceso se pudieron evidenciar elementos que podían ser mejorados y podían generar un punto a favor en cuanto a innovación y rendimiento del vehículo, además de permitir una imagen más clara y precisa del vehículo, lo que ayudó a desglosar aspectos claves en la carrocería, por lo cual se fueron modificando aquellos detalles que se consideraron cruciales, tanto al momento de la fabricación como al momento de la competición.

---

<sup>21</sup> Ibid., p27.

<sup>22</sup> Ibid., p27.

Cada modelo fue hecho en base a diferentes configuraciones que permitieran comparar los efectos de una parte específica del automóvil con el fin de encontrar la distribución que a nivel aerodinámico diera mejores frutos, entre estas configuraciones se pueden encontrar curvaturas diferentes en puntos a lo largo de la carrocería, superficies cuyos ángulos variaban notablemente y la disposición de los alerones, siempre regidos a las normas establecidas para la competencia.

Entre estas superficies se encuentran aquellas que estarían cercanas a las ruedas, buscando así una disminución en el arrastre de las mismas, también se encuentra el área frontal del vehículo que contempla tanto el alerón delantero como la carrocería delantera que debe tener una forma y un ángulo adecuados para avanzar con poca resistencia en la pista, la superficie posterior también es vital para disminuir la turbulencia generada en el vehículo y controlar los vórtices de modo tal que aumente la eficiencia en la pista.

Estos modelos iniciales tomaron forma en gran parte gracias a la investigación en la que se ahondo inicialmente sobre los automóviles de competencia actuales, de allí se extrajeron muchas de las ideas que harían parte del vehículo y que se probarían meticulosamente en simulaciones aerodinámicas con el fin de establecer un nexo entre estas y el rendimiento del vehículo en pista, lo que llevaría a conservar algunas de las curvaturas del carro y a prescindir de muchas otras con el fin de obtener un diseño adecuado y capaz de cumplir con las expectativas de la escudería.



*Figura 6. Ilustración digital en solidworks<sup>23</sup>*

Los modelos realizados en el software solidworks permitieron el desarrollo de estudios aerodinámicos en el proyecto de grado “*validación aerodinámica, análisis computacional y experimental del diseño de un carro eléctrico tipo fórmula y fabricación del alerón delantero para la escudería DCM competencia Sena Eco 2013*”, que mostrarían el comportamiento de las diferentes carrocerías frente a condiciones cercanas a las de la competencia, esto facilitaría en gran medida la visualización de elementos de la carrocería que fueran ineficientes y que por tanto deberían ser modificados con el fin de lograr un diseño de carrocería totalmente acorde al reglamento, pero además de ello, eficiente aerodinámicamente.

Entre las restricciones con las que se debía desarrollar el diseño, estaba el hecho de que el chasis y las estructuras motrices del vehículo fueron digitalizadas y fabricadas por personal del SENA, lo que generó una plataforma en la cual la carrocería se debía ajustar, y por lo tanto los diseños iniciales basados en las correcciones e implementados sobre esta estructura base tuvieron que hacerse de manera tal que no se viera comprometida ni la estética ni el rendimiento del automóvil.

Gracias a esto se pudo establecer de manera clara el volumen mínimo que debía ocupar la carrocería y permitió delimitar las dimensiones de la misma, teniendo en cuenta como se ubicarían las baterías, las barras de la suspensión, los motores y

---

<sup>23</sup> Ibid., p27.

la cabina del piloto, así como la forma básica que debería tener para cubrir por completo el chasis que era una de las reglas de la competencia.

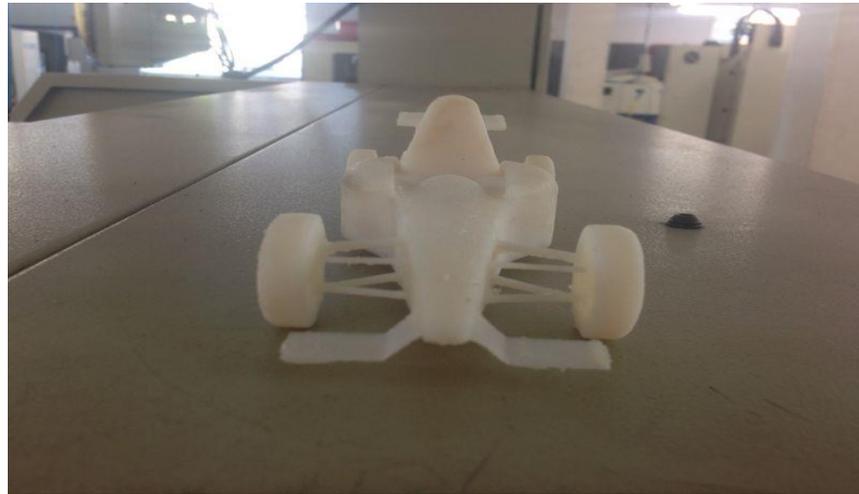


*Figura 7 Adaptación de la carrocería al chasis<sup>24</sup>*

El diseño de la carrocería fue un proceso que permitió cambios y adaptaciones para lograr un desempeño satisfactorio a nivel aerodinámico, prueba de eso fueron los modelos que se probaron en el túnel de viento de la Fundación Universitaria Los Libertadores, y que permitieron determinar puntos clave que más adelante se modificarían para aumentar en cierta medida la capacidad del automóvil. Estos modelos fueron generados en el entorno virtual para posteriormente ser manufacturados a través de un proceso de impresión en 3d.

---

<sup>24</sup> Ibid., p27.



*Figura 8. Prototipo 1<sup>25</sup>*



*Figura 9. Prototipo 1 Pruebas en túnel de viento<sup>26</sup>*

### 5.3 MODELO FINAL

Gracias a estas pruebas y también gracias en gran parte a tener una plataforma fija el diseño comenzó a tomar forma acercándose a la carrocería que se llevaría a cabo, claramente el diseño no solamente debía ser totalmente funcional sino que además debía presentar características estéticas importantes y que llamaran la atención, por lo cual las diferentes curvaturas se implementaron de manera tal que logran un equilibrio en estos 2 aspectos.

---

<sup>25</sup> Ibid., p27.

<sup>26</sup> Ibid., p27.



*Figura 10. Ilustración modelo en desarrollo<sup>27</sup>*

Aunque muchos detalles fueron modificados debido al rendimiento también se encontraron factores que debido al proceso de construcción que se desarrollaría tuvieron que ser cambiados en el momento del modelado 3d, esto con el objetivo de que el diseño no solo mantuviera sus características sino que también pudiera ser producido sin mayores complicaciones, debido en gran parte a la limitación de tiempo.



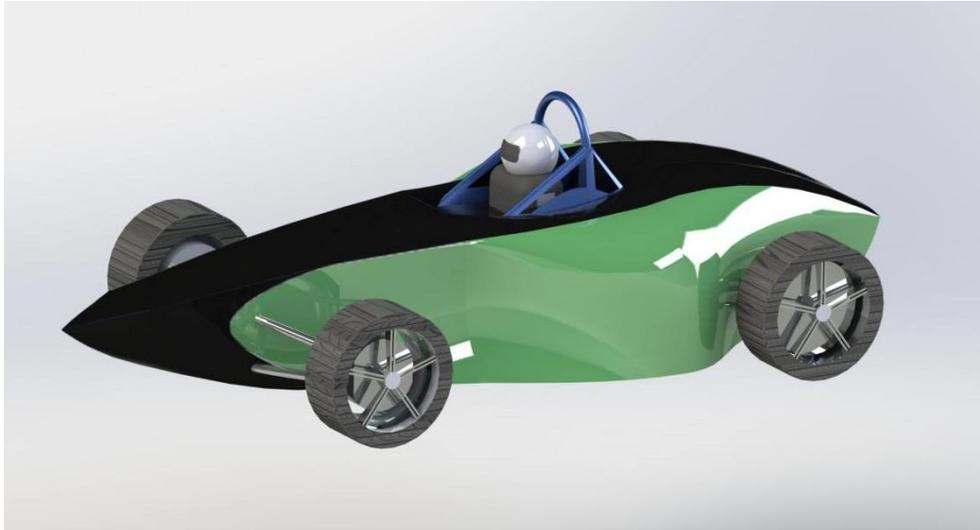
*Figura 11. Ilustración modelo en desarrollo<sup>28</sup>*

---

<sup>27</sup> Ibid., p27.

<sup>28</sup> Ibid., p27.

Cuando finalmente se obtuvo un diseño adecuado y que cumpliera con los parámetros determinados se inició con la fase de desarrollo del método para la fabricación, este fue uno de los aspectos críticos debido a que un salto de un diseño en un software CAD a la manufactura de un producto, y más de un producto de estas dimensiones, presenta desafíos que deben poder sobrellevarse con el objetivo de finalizar de forma adecuada el proyecto.



*Figura 12. Ilustración modelo final<sup>29</sup>*

Uno de los primeros procesos que se hicieron previos a la fabricación fue el prototipado del modelo final para sus respectivas pruebas en túnel de viento, el modelo presentaba todas las características del diseño final pero a una escala inferior lo que sirvió para tener una idea clara de la forma final del vehículo y de su desempeño aerodinámico.

---

<sup>29</sup> Ibid., p27.



*Figura 13. Prototipo 2. Modelo final<sup>30</sup>*

Con el modelo final se procedió a hacer un desarrollo en base a matrices para la fabricación de la carrocería, este proceso supondría una disminución en el tiempo de fabricación a pesar de ser laborioso, en primera instancia se segmentó la carrocería en 4 partes principales con el objetivo de permitir una fabricación escalonada y ayudar así a que el proceso estuviera correcto en cada etapa.

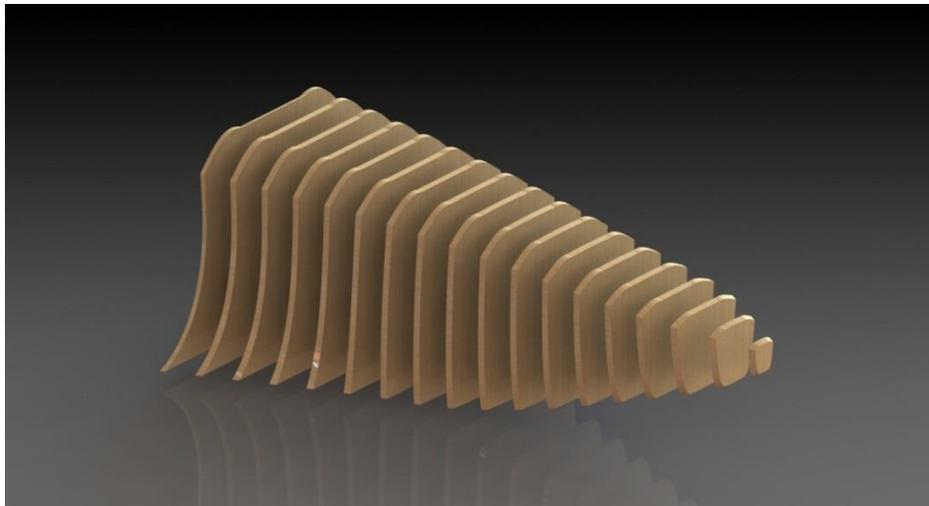
En primer lugar se trabajó en la parte delantera del vehículo que comprendía desde el borde delantero de la cabina del piloto hasta la punta de la carrocería, se decidió iniciar con esta sección debido a que era una pieza muy grande y trabajar en ella desde un principio permitiría contar con tiempo más adelante para ultimar detalles.

---

<sup>30</sup> Ibid., p27.



*Figura 14.Desarrollo parte delantera<sup>31</sup>*



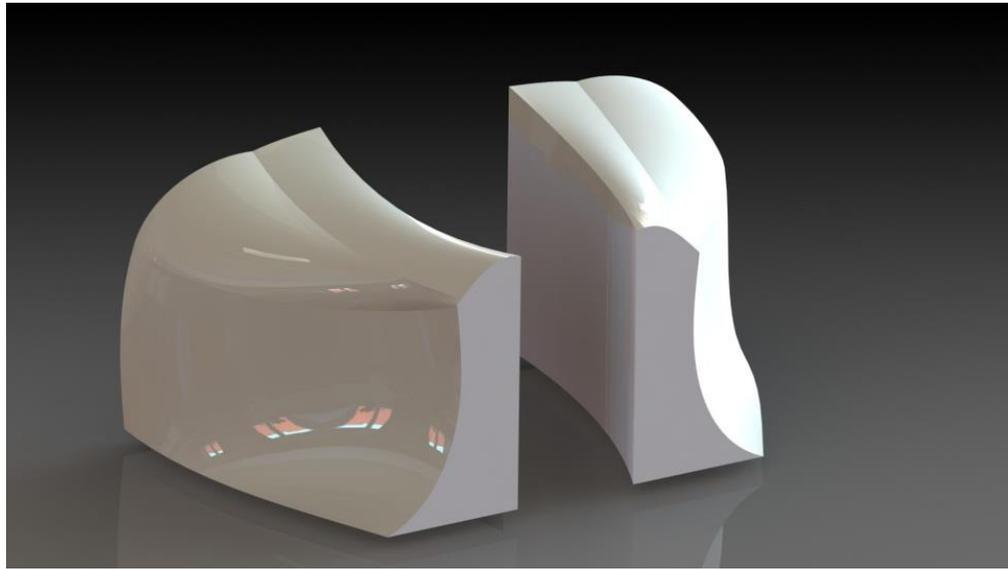
*Figura 15.Matrices parte delantera<sup>32</sup>*

En segunda instancia se trabajo en el desarrollo de las matrices de los laterales de la carroceria, gracias a que eran 2 estructuras iguales y de un tamaño relativamente contenido, se trabajarian de manera simultanea las 2 piezas, ahorrando tiempo y ayudando a mantener la uniformidad en la fabricacion.

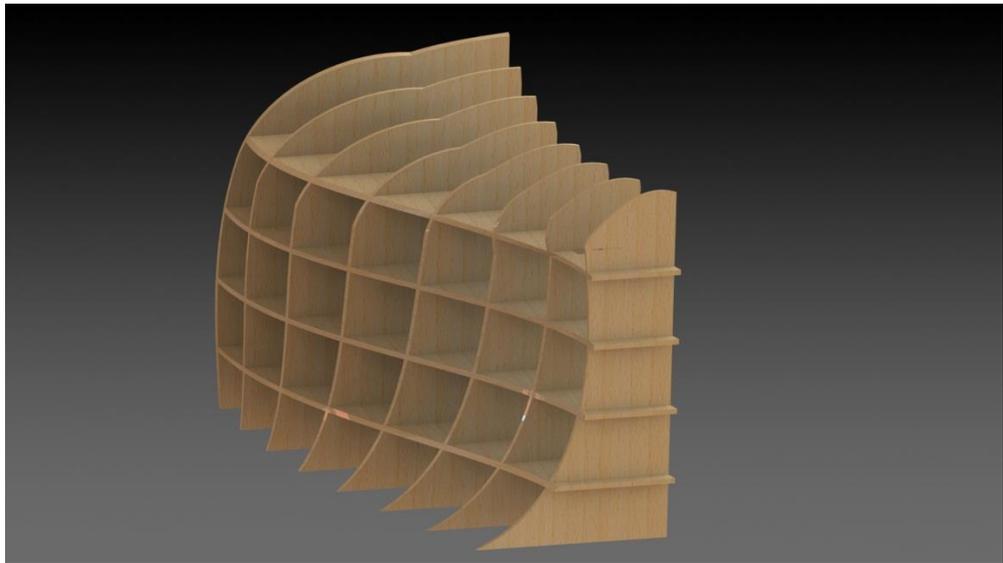
---

<sup>31</sup> Ibid., p27.

<sup>32</sup> Ibid., p27.



*Figura 16.Desarrollo pontones laterales<sup>33</sup>*



*Figura 17.Matrices pontón derecho<sup>34</sup>*

Finalmente se ejecuto la parte posterior del vehículo que era de gran importancia, no solo por que complementaria la forma de la carroceria, si no tambien por que en esta seccion se alojaria todo el sistema motriz y de potencia del automovil.

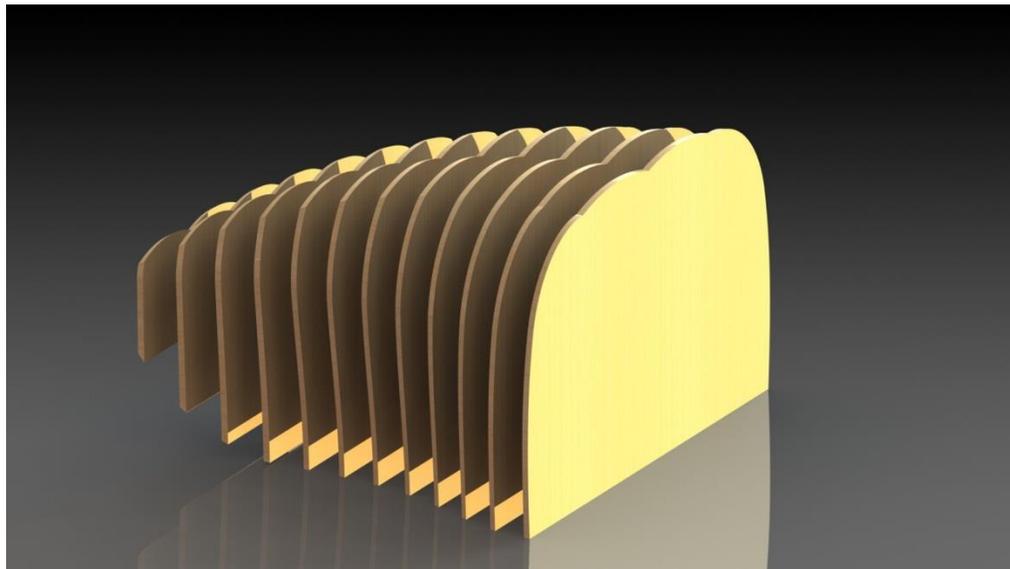
---

<sup>33</sup> Ibid., p27.

<sup>34</sup> Ibid., p27.



*Figura 18.Desarrollo parte trasera<sup>35</sup>*



*Figura 19.Matrices parte trasera<sup>36</sup>*

---

<sup>35</sup> Ibid., p27.

<sup>36</sup> Ibid., p27.

## 5. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

Para seleccionar los materiales para la fabricación del vehículo se tuvo en cuenta las propiedades intrínsecas y atribuidas de los materiales, destacando las propiedades mecánicas, el precio, disponibilidad y facilidad de fabricación entre otras.<sup>37</sup> Permitiendo reducir el área de selección debido a que en el mercado se encuentran valdezas opciones, por lo que se desprendieron encontrar las principales características que debían tener los implementos a usar.

Luego de identificar estas características se procedió a comparar los materiales y encontrar el que cumpliera con las exigencias requeridas para cada situación.

Los criterios son tomados en cuenta dependiendo de las necesidades del proyecto, los seleccionados en el presente son tomados a manera personal y fueron los siguientes:

- **Costos:** Este es uno de los criterios más relevantes en cualquier proyecto, por lo que es importante considerar que el precio de los materiales para llevarlo a cabo deben estar dentro de los límites que da el presupuesto determinado.
- **Herramientas disponibles:** Debía tenerse en cuenta que elementos eran necesarios para trabajar en el material seleccionado y por tanto, que herramientas serian usadas y cuáles de estas estaban disponibles
- **Resistencia mecánica:** Este requerimiento resulta ser fundamental debido a que el material estaría sometido a cargas importantes y debía mantenerse intacto a nivel estructural.
- **Disponibilidad:** Evidentemente el material debía ser accesible ya que, por cuestiones de tiempo, no se podía disponer de materiales que tardaran mucho en conseguirse o que tardaran en llegar para trabajar con ellos.
- **Peso:** Se consideró de gran importancia reducir al máximo posible el peso de la carrocería sin que ello sacrificara su resistencia.

Teniendo definidos estos criterios que se consideraron como los más relevantes, se determinó realizar la selección a través de una matriz en la que se valoran cuantitativamente las diferentes opciones para así determinar el material a usar.

---

<sup>37</sup> ASHBY, Michael F. Materiales para ingeniería 1. Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño Cap 1. España. Reverté. 2008., p. 12

Las tablas 1 y 2 muestran la comparación de propiedades mecánicas y de costos de diferentes materiales, las cuales sustentan la ponderación dada en la matriz de selección.

| Propiedades<br>Material             | Resistencia a compresión | Resistencia a tracción | % Elongación (Compresión) |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| Acero convencional para estampación | 23.2 Mpa                 | 206 Mpa                | 21                        |
| Acero de alta resistencia           | 24.5 Mpa                 | 300 Mpa                | 18                        |
| Aleación de aluminio y magnesio     | 17.2 Mpa                 | 52 Mpa                 |                           |
| Aleación de aluminio y cobre        | 16.6 Mpa                 | 88.3 Mpa               |                           |
| Fibra de vidrio( resina epoxica)    | 2 – 5 Mpa                | 70 - 80 Mpa            | 2.6                       |
| Fibra de carbono( resina epoxica)   | 20 – 25 Mpa              | 350 - 400 Mpa          | 5 - 10                    |

*Tabla 1. Propiedades de diferentes materiales*

| Material                            | Costos | Material (COP/M2) |
|-------------------------------------|--------|-------------------|
| Acero convencional para estampación |        | 60.000 – 70.000   |
| Acero de alta resistencia           |        | 150.000           |
| Fibra de vidrio( resina epoxica)    |        | 25.000 – 30.000   |
| Fibra de carbono( resina epoxica)   |        | 350.000 – 400.000 |

*Tabla 2. Costos de diferentes materiales*

Por consiguiente en la tabla 2. Se observa como la Fibra de vidrio indica un costo accesible al proyecto, incrementando las posibilidades obtención de la misma.

Para hacer visible la toma de decisión del material a utilizar, se recurrió al método pugh, permitiendo darle un enfoque específico en criterios directamente relacionados con la fabricación del vehículo.

| CRITERIO DE SELECCIÓN   | Ponderación | Aluminio | Acero | Materiales compuestos |                  |                 |                  |
|-------------------------|-------------|----------|-------|-----------------------|------------------|-----------------|------------------|
|                         |             |          |       | Resina epóxica        | Resina poliéster | Fibra de vidrio | Fibra de carbono |
| Resistencia mecánica    | 3           | +        | ++    | +++                   | -                | +               | +++              |
| Peso                    | 4           | ++       | -     | ++                    | +                | +               | +++              |
| Costo                   | 5           | +        | -     | +                     | ++               | +++             | -                |
| Disponibilidad          | 4           | +        | +     | +                     | ++               | ++              | -                |
| Procesos de manufactura | 3           | -        | -     | ++                    | +                | ++              | ++               |
| +                       |             | 17       | 10    | 26                    | 24               | 25              | 24               |
| 0                       |             | 0        | 0     | 0                     | 0                | 0               | 0                |
| -                       |             | 11       | 15    | 5                     | 3                | 0               | 9                |
| RESULTADOS              |             | 6        | 0     | 21                    | 21               | 25              | 15               |

*Tabla 3. Selección de materiales - Método pugh*

## 6. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN

La selección del método de fabricación se hizo por medio del método de comparación de criterios, siendo una selección cualitativa dependiendo de varios criterios relevantes, los cuales son seleccionados basados en las necesidades de los diferentes proyectos y que para el caso de este deben ser tenidos en cuenta a la hora de iniciar la fabricación.

Los criterios a tener en cuenta son:

- Costos: Al ser un proyecto estudiantil, los recursos disponibles para tan elevados costos de materiales eran bajos, y por esta razón este fué un criterio muy importante a la hora de seleccionar un proceso de fabricación.
- Herramientas disponibles: El proceso de fabricación debía también estar muy ligado a la obtención de materiales y herramientas para lograr llevar a cabo dicho proceso.
- Tiempo: Debido a que se tenía un tiempo limitado para la entrega de la carrocería, este también debía ser un criterio importante a la hora de seleccionar el proceso de fabricación
- Mano de obra: Al contar con poco personal, también se consideró un criterio importante en el momento de seleccionar el proceso.
- Habilidades técnicas: Ya que cada uno de los procesos de fabricación requieren habilidades técnicas y conocimientos en la construcción también se hizo necesario ajustarlo como criterio a la hora de seleccionar el proceso.

Teniendo definidos estos criterios que se consideraron como los más relevantes, se determinó realizar la selección a través de una matriz en la que se valoran cuantitativamente las diferentes opciones para así determinar el proceso a usar.

| CRITERIO DE SELECCIÓN    | VALOR | Moldeo por impregnación manual o Hand lay-up | Moldeo por infusión | Moldeo por transferencia de resina |
|--------------------------|-------|----------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Costo                    | 4     | +++                                          | -                   | -                                  |
| Herramientas disponibles | 3     | ++                                           | -                   | -                                  |
| Tiempo                   | 4     | -                                            | +                   | ++                                 |
| Mano de obra             | 2     | +                                            | ++                  | +                                  |
| Habilidades técnicas     | 4     | +                                            | +                   | +                                  |
| +                        |       | 24                                           | 12                  | 14                                 |
| 0                        |       | 0                                            | 0                   | 0                                  |
| -                        |       | 4                                            | 7                   | 7                                  |
| RESULTADOS               |       | 20                                           | 5                   | 7                                  |

*Tabla 4. Selección de método de fabricación - Método pugh*

Según la matriz de selección del método de fabricación se evidenció que el moldeo por impregnación manual era el más apropiado debido a que el costo y el tiempo eran los criterios con una mayor ponderación ya que eran los mayores limitantes durante el desarrollo del proyecto, además que era el proceso del cual el Sena contaba con la mayor cantidad de herramientas disponibles para la ejecución del mismo.

Como fue mencionado anteriormente, el moldeo por impregnación manual fue la primera técnica que se empleó en el laminado de los plásticos reforzados con fibra de vidrio, siendo todavía uno de los procesos más utilizados. En producciones en series industriales cortas o de piezas de gran superficie es el método más económico al presentar las ventajas de su relativa sencillez y no requerir mano de obra, excesivamente, especializada ni inversiones elevadas.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> STUPENENGO, Marco. Materiales y materias primas. Cap 10. Argentina. Saavedra. 2011., p. 21

## 7. PROCESO DE FABRICACIÓN

Para el proceso de fabricación de la carrocería fue necesario dividirla en 4 partes para una fácil laminación y obtención de las piezas. Las partes se encuentran divididas de la siguiente manera:

- Parte delantera
- Pontón lateral derecho
- Pontón lateral izquierdo
- Parte trasera

Adicional a esto, también se hizo necesario que dentro del proceso de fabricación de carrocería se incluyera la laminación de la silla del piloto, debido al manejo de materiales compuestos.

Para el proceso de ejecución de cada una de las piezas ya nombradas se realizó un mismo procedimiento que inició con la construcción del molde; a excepción del de la silla que ya se encontraba construido por anteriores versiones de la Fórmula Sena; luego se realizó la preparación de cada uno de los moldes para después ser laminados y obtener finalmente las piezas.

### 7.1 MOLDE

Cuando se trabaja con materiales compuestos, la etapa de diseño y construcción del molde se convierte en una parte indispensable del proceso ya que de esta dependerá la correcta obtención de la pieza final.

Existen una serie de factores a discutir a la hora de seleccionar los materiales y procesos para la construcción del molde. Los aspectos fundamentales previos a la hora de diseñar un molde son normalmente requerimientos estéticos, económicos y de formas de la pieza final definidos a continuación:

- Materiales disponibles
- Tamaño y complejidad de la pieza
- Cantidad de unidades a producir
- Requerimientos de acabado superficial

Los materiales disponibles para la construcción de los moldes eran materiales compuestos o madera y poliuretano de alta densidad. Debido a que los moldes en materiales compuestos son usados para cuando se requieren producir más de dos piezas y el tiempo de construcción es más extenso, se decidió construir los

moldes con matrices hechas en MDF. La cantidad de matrices y la distancia entre éstas quedará a disposición de quienes construyan moldes, sabiendo que cuanto menor sea la distancia entre ellas, se hará mucho más fácil el acabado final del molde dándole la forma deseada.



*Figura 20. Matrices<sup>39</sup>*

Adicional a las matrices se hace necesario el uso de poliuretano, un material que resulta de la combinación entre polioli e isocianato. Su bajo peso y rigidez lo hacen un material funcional a la hora de construir moldes. La dureza del material dependerá directamente de la cantidad de relación entre el isocianato y el polioli. Una alta rigidez en el material es alcanzada con una mezcla 50% y 50% de cada uno de los compuestos.

Para el caso de este proyecto, se realizó la mezcla 50% y 50% de polioli e isocianato ya que luego de algunas pruebas se logró ver que esa era la mezcla adecuada para obtener un material con dureza pero que de igual manera se dejara moldear para los requerimientos de formas de cada una de las piezas.

---

<sup>39</sup> Fuente autores del proyecto



*Figura 21. Pruebas de mezcla poliuretano<sup>40</sup>*

Una mayor cantidad de polioliol en la mezcla, dará como resultado una pieza con baja dureza y son los mostrados en la figura 19 de colores azul oscuro, una mezcla 50% y 50% dan como resultado una pieza con mayor dureza y son los mostrados en la figura 21 con color azul más claro.

Para realizar la mezcla se debe tener sumo cuidado en los porcentajes y la agilidad al diluirla sobre el molde en el que se vaya a realizar la pieza de poliuretano ya que al ser mezclados, reaccionan inmediatamente y comienza a crecer en volumen, dureza y temperatura y se tienen alrededor de entre 15 y 20 segundos antes de que el material comience a reaccionar.

---

<sup>40</sup> Ibid., p 46.



*Figura 22. Bloque de poliuretano<sup>41</sup>*

Estos dos materiales deben ser mezclados con una ayuda mecánica para que la mezcla sea perfecta ya que en ésta se verá reflejada la uniformidad de color y dureza en la pieza de poliuretano, para este caso se utilizó un taladro para realizar el proceso.

Una vez mezclados, el poliuretano comienza a aumentar su volumen y temperatura hasta los 51 C aproximadamente que fueron medidos con un termómetro electrónico como se muestra en la figura 23.



*Figura 23. Temperatura alcanzada por la reacción del poliuretano<sup>42</sup>*

---

<sup>41</sup> Ibid., p 46.

<sup>42</sup> Ibid., p 46.

Su volumen de crecimiento y su corto tiempo a la hora de desmoldar hacen que sea un material adecuado para construir moldes. Las características mecánicas del material se encuentran en el anexo 2.

Ya con las matrices armadas para la pieza, éstas se rellenaron para dar la forma de cada una de ellas; se hace pegando cubos entre matriz y matriz sin dejar espacios para luego quitar todos los excesos de poliuretano y comenzar a lijar con ayuda de una lijadora rotoorbital para dar la forma requerida de cada uno de los moldes teniendo especial cuidado en no sobreexceder el desbastamiento del poliuretano. Debido a la imprecisión del lijado, hubo partes en las que se excedió y quedaron hendiduras en el molde, lo cual era necesario corregir ya que estas se verían reflejadas en la pieza final. Para la corrección, lo que se hizo con cada uno de los moldes fué masillar con masilla Dupont Novolite toda la superficie. Masillar se refiere a rellenar y dar forma a áreas hundidas o desiguales para combinarlas con las áreas a su alrededor y darles una apariencia estética tanto a la vista como al tacto.<sup>43</sup> Este tipo de masilla debe ser mezclada con un endurecedor para que el material solidifique más rápidamente. Habiendo aplicado la masilla sobre toda la superficie, se debe volver a lijar hasta tener el acabado superficial del molde deseado.

Los procesos de construcción de cada uno de los moldes serán explicados en el desarrollo de éste capítulo.

### **7.1.1 Materiales y herramientas para construcción de moldes**

Las figuras mostradas a continuación hacen relación a los materiales y herramientas usadas para la construcción del molde.

---

<sup>43</sup> Manual para uso de fibras. [en línea]. <<http://www.optimistportugal.org/>>



Figura 24. MDF<sup>44</sup>



Figura 25. Varillas de acero<sup>45</sup>



Figura 26. Lijadora roto-orbital<sup>46</sup>



Figura 27. Masilla Dupont Novolite<sup>47</sup>

<sup>44</sup> Fuente autores del proyecto

<sup>45</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.directindustry.es/>>

<sup>46</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://norbulmaquinas.com.ar/>>

<sup>47</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.abraxas.com.co/>>



Figura 28. Poliuretano de alta densidad<sup>48</sup>



Figura 29. Colbón madera<sup>49</sup>



Figura 30. Hojas de segueta<sup>50</sup>



Figura 31. Espátulas plásticas<sup>51</sup>

<sup>48</sup> Fuente autores del proyecto

<sup>49</sup> Ibid., p 52

<sup>50</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.apextoolgroup.com.co/>>

<sup>51</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://dipat.com.ar/>>



Figura 32. Papel abrasivo<sup>52</sup>



Figura 33. Pintura<sup>53</sup>

- **MDF:** Material utilizado en este caso para hacer cortes de las matrices para la fabricación del molde.
- **Varillas:** Usadas para dar una unión entre las matrices.
- **Poliuretano de alta densidad:** Utilizado para rellenar el molde y poder dar forma más fácilmente al molde
- **Hojas de segueta:** Utilizadas para hacer cortes de poliuretano.
- **Colbon Madera:** Utilizado para pegar el poliuretano en medio de las matrices.
- **Masilla Dupont Novolite:** Utilizada para dar un mejor acabado a la superficie del molde.
- **Espátulas plásticas:** Utilizadas para una fácil aspersion de la masilla sobre la superficie del molde.
- **Papel abrasivo:** Utilizado en grano 80,100, 120, 230 para dar un acabado superficial después de haber aplicado la masilla sobre el molde.

<sup>52</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.cuervoherramientas.com>>

<sup>53</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.pinturaspanoramica.cl/>>

- **Lijadora rotoorbital:** Utilizada para dar un acabado superficial después de haber aplicado la masilla sobre el molde.
- **Pintura:** Utilizada para aplicar sobre la superficie del molde y así poder visualizar fácilmente las imperfecciones sobre el molde.

## 7.2 LAMINACIÓN

El primer paso a realizar para una adecuada laminación es realizar una limpieza al molde, este debe estar seco y libre de contaminación, se recomienda una superficie bien lijada (papel de lija de grano 80 a 120) y se debe asegurar de que el polvo del lijado ha sido limpiado antes de aplicar la cera desmoldante.

Se deben aplicar entre 2 y 3 capas de cera. Para este proyecto se aplicaron 2 capas de cera desmoldante ya que se usó también alcohol polivinílico que tiene la misma función. Entre cada capa de cera aplicada se debe brillar la superficie con estopa para una mejor adherencia de la cera. Luego de aplicadas las 2 capas de cera desmoldante se aplicó el alcohol polivinílico sobre la superficie, este puede ser esparcido con una brocha. Se debe esperar alrededor de 20 a 30 minutos para que el alcohol polivinílico quede seco, este genera una fina capa delgada que hace fácil la separación del molde y la pieza.

Estando ya seco el alcohol polivinílico, el siguiente paso es comenzar a laminar la pieza. Para esto es necesario tener un conocimiento en el uso de la resina seleccionada para el proceso. Como ya se explicó anteriormente la resina epoxi es la más utilizada por su resistencia a la tensión y a la flexibilidad, y para este proyecto fué la resina utilizada. La resina epóxica utilizada fue la 6090A, para este tipo de resina el tipo de endurecedor usado fue el 1956B. Las propiedades físicas y mecánicas de esta resina y endurecedor se pueden ver en el anexo 3.

Como muestra la ficha técnica, la mezcla adecuada resina-endurecedor es 100% resina y 20% correspondientemente, esto quiere decir que por cada 100 gramos de resina se deben aplicar 20 gramos de endurecedor. Estos se deben revolver hasta que queden muy bien mezclados y la resina pueda endurecerse uniformemente. Dejar mal mezclados los 2 elementos hará que después de laminado, queden parches de resina que no endurece sobre la fibra, por esta razón es necesario asegurarse de que los dos elementos quedaron bien mezclados.

Seguido a esto se procede a sobreponer las capas de fibra necesarias sobre el molde e impregnarlas con la mezcla resina-endurecedor.

## 7.2.1 Materiales y herramientas para laminación

Según las practicas estándar en taller del para proceso de laminación por impregnación manual, estos son los materiales requeridos para llevar a cabo dicho proceso. Para mayor conocimiento de esta práctica, ver anexo 4.



Figura 34. Tejido de fibra de carbono<sup>54</sup>



Figura 35. Tejido de fibra de vidrio<sup>55</sup>



Figura 36. Fibra de vidrio mat<sup>56</sup>

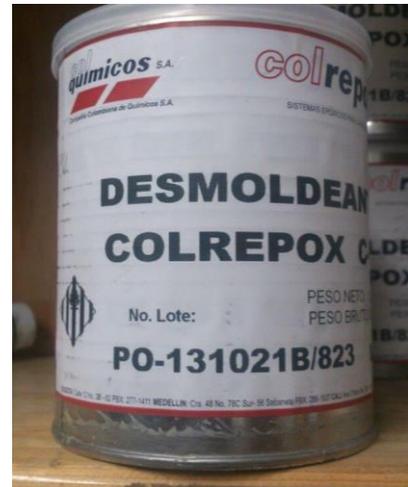


Figura 37. Cera desmoldeante<sup>57</sup>

<sup>54</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.directindustry.es/>>

<sup>55</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.solostocks.com/>>

<sup>56</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.motorex.com.pe/>>

<sup>57</sup> Fuente autores del proyecto



Figura 38. Estopa<sup>58</sup>



Figura 39. Alcohol polivinílico<sup>59</sup>



Figura 40. Brochas<sup>60</sup>

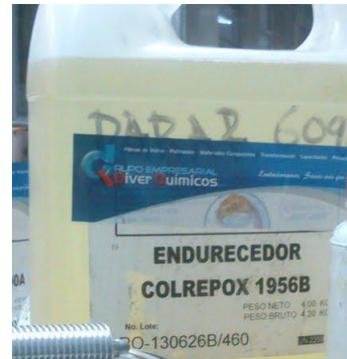


Figura 41. Endurecedor colrecox 1956B<sup>61</sup>

<sup>58</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://www.estopascopar.com/>>

<sup>59</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://tienda.resineco.com/es/PF00029>>

<sup>60</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://maderayferreteria.com/>>

<sup>61</sup> Fuente autores del proyecto



Figura 42. Resina Colrepolx 6090A<sup>62</sup>



Figura 43. Rodillo de estrías metálicas<sup>63</sup>

Las figuras mostradas anteriormente hacen relación a los materiales y herramientas usadas para la construcción de las piezas.

- **Fibra de carbono:** Al ser material compuesto es utilizada como material primario para dar forma y resistencia a la pieza.
- **Fibra de vidrio:** Al ser material compuesto es utilizada como material primario para dar forma y resistencia a la pieza.
- **Fibra de vidrio matt:** Al ser material compuesto es utilizada como material primario para dar forma y resistencia a la pieza.
- **Cera desmoldante:** utilizada para aplicar sobre la superficie para hacer más fácil el desmoldeo de la pieza.
- **Estopa:** Utilizada para aplicar la cera desmoldante.
- **Alcohol polivinílico:** Utilizado para crear una fina capa entre el molde y la pieza y así permitir una fácil separación entre ellos.
- **Brochas:** Utilizadas para aplicar la resina sobre las fibras.
- **Resina epoxi 6090A:** Utilizada para aplicar sobre las fibras y dar una resistencia al material luego de realizar su proceso de endurecimiento.
- **Endurecedor 1956B:** Utilizado para ser mezclado con la resina y completar el endurecimiento de ésta.

<sup>62</sup> Ibid., p 56

<sup>63</sup> Figura tomada y disponible [en línea]. <<http://gruposur.net/>>

- **Rodillos metálicos:** Utilizados para eliminar las burbujas que quedan entre las capas de fibra luego de aplicar la resina.

## 7.3 FABRICACIÓN SILLA DEL PILOTO

### 7.3.1 ADECUACIÓN DEL MOLDE PARA SER LAMINADO

Debido a que la competencia ya había tenido una antigua versión en el 2010, ya se tenía un molde de la silla que se iba a utilizar en el vehículo eléctrico; este había sido construido en fibra de vidrio para poder fabricar futuras piezas.

El molde estuvo alrededor de 2 años almacenado y en condiciones no adecuadas, por esta razón se encontraba deteriorado como se muestra en la figura 44 y era necesario hacerle un proceso de curado antes de proceder a la laminación.



*Figura 44. Molde silla sin restaurar<sup>64</sup>*

Para iniciar el proceso de restauración del molde de la silla fué necesario masillar los lugares en los que se encontraba con huecos que iban a afectar el proceso de laminación. Luego de aplicar la masilla y dejar que se seicara, se procedió a lijar

---

<sup>64</sup> Fuente autores del proyecto

toda la superficie para dejarla uniforme, además se pintó para así visualizar más fácilmente cualquier imperfección que tuviese la superficie del molde.



*Figura 45. Proceso de pintura del molde<sup>65</sup>*

Al pintar el molde como se muestra en la figura 45, permitió visualizar los lugares en los que aún era necesario aplicar masilla. Se realizó el mismo procedimiento de masillado, lijado y pintura sobre la superficie hasta lograr dejarla uniforme.

---

<sup>65</sup> Ibid., p 58.



*Figura 46. Molde preparado para laminación.<sup>66</sup>*

### **7.3.2 LAMINACIÓN DE LA SILLA**

Con el molde en condiciones adecuadas para laminación el primer paso realizado fué aplicar uniformemente la cera desmoldeante sobre toda la superficie de la silla como se muestra en la figura 47, se esperó alrededor de 15 minutos para luego brillar el molde, para ambos casos se utilizó la estopa; este proceso de aplicar cera y brillar debe hacerse mínimo 3 veces para asegurar una mejor adherencia de la cera al molde.

---

<sup>66</sup> Ibid., p 58.



*Figura 47. Encerado de la silla<sup>67</sup>*

Teniendo la silla encerada, se aplicó el alcohol polivinílico sobre la superficie para crear una fina capa entre la pieza y el molde y permitir un fácil desmoldeo. Se aplicaron 2 capas de alcohol polivinílico el cual debe dejarse secar durante 30 minutos antes de proceder a la laminación.

Para la laminación de la silla se decidieron colocar 3 capas de fibra de vidrio: la primera de wolán, la segunda de Mat y por último de wolán nuevamente. La manera más fácil de comenzar a laminar, es aplicar una primera capa de resina sobre la superficie de la silla y luego sobreponer la fibra de vidrio wolán, con ayuda de la brocha se debe asegurar que toda la fibra quede completamente impregnada de resina como se muestra en la figura 48, seguido a esto se colocó la segunda capa de fibra de vidrio matt; de igual manera se debe asegurar que toda la fibra quede impregnada de resina y que además no queden burbuja entre capa y capa, para esto se utiliza el rodillo metálico deslizándolo por toda la superficie, y por último se procede a ubicar la última capa de fibra de vidrio de la misma manera que las anteriores capas quedando como se muestra en la figura 50.

---

<sup>67</sup> Ibid., p 58.



*Figura 48. Impregnación de resina sobre la fibra<sup>68</sup>*



*Figura 49. Primera capa de fibra en la silla<sup>69</sup>*

---

<sup>68</sup> Ibid., p 58.

<sup>69</sup> Ibid., p 58.



*Figura 50. Silla laminada<sup>70</sup>*

Según recomendaciones de ficha técnica de la resina epoxi 6090A, mostrada en el anexo 3, el adecuado desmoldeo debe realizarse 24 horas después de aplicada la última capa de fibra de vidrio para que el material logre alcanzar óptimas propiedades mecánicas. Luego de pasadas las 24 horas se procedió a realizar el desmoldeo de la pieza como se muestra de la figura 51.

---

<sup>70</sup> Ibid., p 58.



*Figura 51. Silla luego de haber sido desmoldada<sup>71</sup>*

Luego de tener la pieza desmoldada, se debe realizar un proceso de acabado superficial a la silla. En primer lugar se cortaron los bordes de fibra sobrantes como se muestra en la figura 52.

---

<sup>71</sup> Ibid., p 58.



*Figura 52. Corte de fibra sobrante<sup>72</sup>*

Seguido a esto se procedió a lijar con una lijadora roto orbital toda la superficie de la pieza para asegurar que ésta quede uniforme y ésta pueda ser pintada como se muestra en la figura 53.

---

<sup>72</sup> Ibid., p 58.



*Figura 53. Lijado de la silla<sup>73</sup>*

---

<sup>73</sup> Ibid., p 58.



*Figura 54. Pieza final<sup>74</sup>*

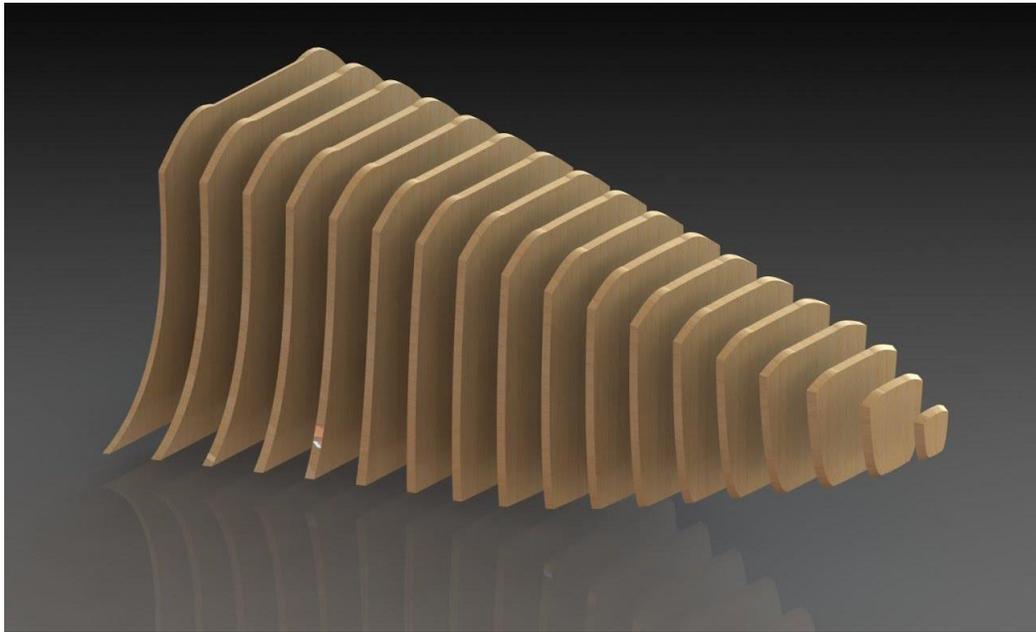
## **7.4 FABRICACIÓN DE PARTE DELANTERA**

### **7.4.1 FABRICACIÓN DEL MOLDE DE LA PARTE DELANTE**

Para la fabricación del molde se obtuvieron matrices por medio del software dividiendo la pieza en 19 partes que luego fueron rellenos con poliuretano de alta densidad.

---

<sup>74</sup> Ibid., p 58.



*Figura 55. Obtención de matrices en solid works<sup>75</sup>*

Luego de impresas las matrices en MDF, éstas se unieron con varillas de acero para dar una rigidez al molde como se muestra en la figura 56.



*Figura 56. Matrices de parte delantera unidas con varillas<sup>76</sup>*

---

<sup>75</sup> Ibid., p 58.

<sup>76</sup> Ibid., p 58.

Para el relleno entre matrices y dar forma al molde, se utilizó poliuretano de alta densidad; primero se construyeron varios bloques que luego serían utilizados para rellenar las matrices como se muestra en la figura 57.



*Figura 57. Bloques de poliuretano<sup>77</sup>*

Luego de tener los bloques, se cortaron en cubos para ser puestos en los huecos entre matriz y matriz como se muestra en la figura 58.

---

<sup>77</sup> Ibid., p 58.



*Figura 58. Molde con relleno de poliuretano<sup>78</sup>*

Al tener la pieza completamente rellena con el poliuretano, se debe comenzar a lijar para quitar los excesos de material y así comenzar a dar uniformidad al molde siendo guiados por las matrices de MDF.

---

<sup>78</sup> Ibid., p 58.



*Figura 59. Lijado molde parte delantera<sup>79</sup>*

Habiendo lijado todos los excesos de material se procedió a masillar todo el molde y pintarlo para lograr observar algunas desigualdades sobre la superficie, corregirlas y así poder darle un acabado superficial para una fácil laminación.

---

<sup>79</sup> Ibid., p 58.



*Figura 60. Masillado de parte delantera<sup>80</sup>*

Con este último paso, se tuvo listo el molde de la parte delantera para luego ser laminado.

---

<sup>80</sup> Ibid., p 58.



*Figura 61 Molde parte delantera listo para laminar<sup>81</sup>*

#### **7.4.2 LAMINACIÓN PARTE DELANTERA**

Teniendo preparado el molde el primer paso a realizar para iniciar la laminación de la pieza es limpiarlo para que no quede ninguna impureza mezclada en la laminación. Seguido a esto, procedimos a aplicar las 2 capas de cera desmoldante brillando el molde entre cada capa para luego aplicar el alcohol polivinílico.

Estando seco el alcohol, se mezcló la resina con el endurecedor y se aplicó una primera capa de resina sobre el molde sobreponiendo inmediatamente la primera capa de fibra de vidrio wolán e impregnando completamente de resina la fibra de vidrio. Para aplicar la siguiente capa, se esperaron 30 minutos para que la resina comenzara a realizar su proceso de endurecimiento y permitir que desde la primera hasta la última capa hicieran esto correctamente. Pasados los 30 minutos, se aplicó la segunda capa, pero esta vez con fibra de vidrio matt, se hizo el mismo procedimiento de impregnación y adicional se aseguró que no quedaran burbujas de aire entre capa y capa ni excesos de resina sobre la fibra pasando sobre la superficie un rodillo metálico. Nuevamente se realizó lo mismo con otra capa de matt y por último una capa de wolán por tener un mejor acabado superficial que el matt quedando como se muestra en las figuras 62 y 63.

---

<sup>81</sup> Ibid., p 58.



*Figura 62. Laminación parte delantera<sup>82</sup>*

---

<sup>82</sup> Ibid., p 58.



*Figura 63. Laminación parte delantera<sup>83</sup>*

Luego de haber puesto e impregnado con resina la última capa de resina, se esperaron 24 horas por el tiempo de curado y desmoldeo que recomienda la ficha técnica de la resina. Después de pasado este tiempo se procedió a realizar el desmoldeo de la pieza.

---

<sup>83</sup> Ibid., p 58.



*Figura 64. Pieza final parte delantera<sup>84</sup>*

El peso final de esta pieza fue de 7 kilogramos.

## **7.5 FABRICACION PONTONES LATERALES**

### **7.5.1 FABRICACIÓN DE MOLDES DE PONTONES LATERALES**

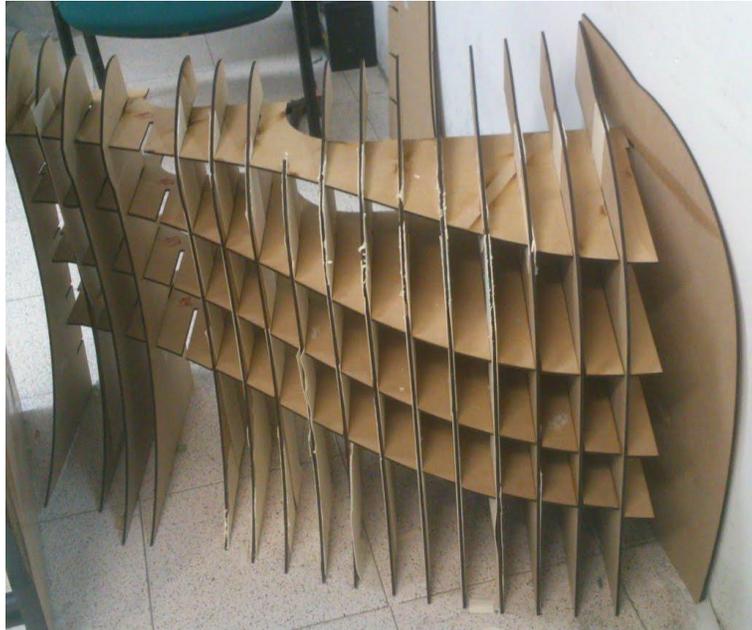
De igual manera, para la fabricación de los moldes de los pontones laterales se realizaron matrices para la formación del molde. Para estos moldes, se hicieron

---

<sup>84</sup> Ibid., p 58.

matrices verticales y horizontales para poder dar una mayor precisión a la figura debido a que era en estas partes de la carrocería donde las curvas eran más pronunciadas.

Al tener matrices laterales y transversales no se hizo necesario unirlas con varillas debido a que encajaban unas con otras formando el molde, tal como se muestra en la figura 65.



*Figura 65. Matrices pontones laterales<sup>85</sup>*

Se procedió igualmente a rellenar todas las matrices con cubos de poliuretano para luego ser lijados y buscar la forma del molde quitando todos los excesos de poliuretano.

---

<sup>85</sup> Ibid., p 58.



*Figura 66. Molde pontón lateral derecho relleno de poliuretano<sup>86</sup>*



*Figura 67. Molde pontón lateral izquierdo relleno de poliuretano<sup>87</sup>*

---

<sup>86</sup> Ibid., p 58.

<sup>87</sup> Ibid., p 58.

De la misma forma que con el molde de la parte delantera, debido a la imprecisión del lijado, se hizo necesario masillas todo el molde para rellenar y dar forma a áreas desiguales hasta obtener el acabado superficial deseado del molde y pintarlos para observar mejor esas desigualdades.



*Figura 68. Molde de pontón lateral derecho<sup>88</sup>*



*Figura 69. Molde de pontón lateral izquierdo<sup>89</sup>*

Ya con los pontones masillados, se procedió a realizarle la misma limpieza al molde antes de comenzar a ser laminado.

---

<sup>88</sup> Ibid., p 58.

<sup>89</sup> Ibid., p 58.

## 7.5.2 LAMINACIÓN DE PONTONES LATERALES

Ya con el molde preparado y limpio de toda impureza, lo primero en realizar fué aplicar las 2 capas de cera desmoldante, brillando después de haber aplicado cada capa para luego aplicar el alcohol polivinílico.

Inmediatamente después de secado el alcohol, se realizó la mezcla de resina-endurecedor para ser aplicada sobre el molde y así sobreponer la primera capa de fibra de vidrio wolán, luego se impregnó toda la fibra con la resina, esperando 30 minutos antes de poner la segunda capa. Pasado este tiempo se sobrepuso la segunda capa de fibra de vidrio matt y de igual manera se impregnó de resina asegurándose que no quedaran burbujas entre capa y capa ni excesos de resina pasando sobre la superficie un rodillo metálico. Nuevamente se realizó el mismo procedimiento con otra capa de matt y por último una capa de wolán por tener un mejor acabado superficial que el matt.



*Figura 70. Pontón lateral derecho laminado<sup>90</sup>*

---

<sup>90</sup> Ibid., p 58.



*Figura 71. Pontón lateral izquierdo laminado<sup>91</sup>*

Luego de haber puesto e impregnado con resina la última capa de resina, se esperaron 24 horas por el tiempo de curado y desmoldeo que recomienda la ficha técnica de la resina. Después de pasado este tiempo se procedió a realizar el desmoldeo de las piezas.



*Figura 72. Desmoldeo de pontones delanteros<sup>92</sup>*

---

<sup>91</sup> Ibid., p 58.

<sup>92</sup> Ibid., p 58.

El peso final de cada uno de los pontones fué 5 kilogramos.

## 7.6 FABRICACIÓN DE PARTE TRASERA

### 7.6.1 FABRICACIÓN DE MOLDE DE PARTE TRASERA

De la misma forma que con las piezas anteriores, del diseño en solid works, se sacaron las matrices para la formación del molde de la parte trasera, éstas se cortaron en MDF para luego ser armado con varillas de acero que le dieron estabilidad a cada una de las matrices. Luego de tener las matrices armadas, se procedió a rellenarlo con cubos de poliuretano para poder dar la forma de la pieza trasera como se muestra en la figura 73.



*Figura 73. Molde parte trasera con relleno de poliuretano<sup>93</sup>*

---

<sup>93</sup> Ibid., p 58.

Seguido a esto, se quitó todo el exceso de poliuretano lijando toda la superficie hasta obtener la forma deseada.



*Figura 74. Parte trasera lijada<sup>94</sup>*

Debido a la imprecisión del lijado y para dar un mejor acabado superficial, se hizo necesario masillar el molde y pintarlo, esto se realizó cuantas veces fuera necesario hasta conseguir una superficie uniforme.

---

<sup>94</sup> Ibid., p 58.



*Figura 75. Molde trasero masillado<sup>95</sup>*

Luego de haber realizado esto, se obtuvo el molde listo para laminación.



*Figura 76. Molde parte trasera lista para laminación<sup>96</sup>*

---

<sup>95</sup> Ibid., p 58.

<sup>96</sup> Ibid., p 58.

## 7.6.2 LAMINACIÓN DE PARTE TRASERA

Para iniciar el proceso de laminación del molde de la parte trasera, primero se hizo la respectiva limpieza para poder comenzar a aplicar la primera capa de cera desmoldante. Igualmente se aplicaron 2 capas de cera brillando entre cada capa para luego aplicar una capa de alcohol polivinílico.

Seguido a esto se realizó la mezcla de resina-endurecedor para iniciar la laminación del molde. Se aplicó la primera capa de mezcla sobre el molde y seguidamente se sobrepuso la fibra de vidrio wolan, esperados 30 minutos se puso la segunda y tercera capa de fibra de vidrio matt y por último la capa de fibra de vidrio wolan.



*Figura 77. Molde parte trasera laminado<sup>97</sup>*

Debido a que cuando se estaba laminando la tercera capa, se agotó el endurecedor 1956B correspondiente a la resina 6090A, se hizo solicitud al equipo

---

<sup>97</sup> Ibid., p 58.

de provisión de materiales, quienes envasaron el endurecedor en el mismo recipiente que se estaba usando.

Pasadas 24 horas, la resina no había iniciado a gelificar y por esto se revisó la trazabilidad del componente que se había solicitado. La razón por la que la resina nunca inició su proceso fué porque el endurecedor entregado era el 2627B y no era compatible con el tipo de resina utilizada. Por esto fué necesario remover todas las capas de fibra de vidrio puestas en el molde como se muestra en la figura 78.



*Figura 78. Remoción de fibra de vidrio por mal uso de resina<sup>98</sup>*

Para evitar pérdida de material, costos y tiempo se hace recomendable siempre revisar la trazabilidad de todo componente utilizado en cualquier proceso.

Siendo lo último que se tenía en fibra de vidrio, hubo un patrocinador que decidió aportar al proyecto fibra de carbono y por esta razón, la parte trasera de la carrocería fué laminada en este material compuesto.

---

<sup>98</sup> Ibid., p 58.

Se reinició el proceso aplicando nuevamente las capas de cera desmoldeante y alcohol polivinílico. Para la laminación de la parte trasera de la carrocería se utilizaron 2 capas de fibra de carbono y una intermedia de matt, en la figura 79 se muestra esta parte laminada con fibra de carbono.



*Figura 79. Laminación de parte trasera con fibra de carbono<sup>99</sup>*

Luego de 24 horas, se procedió a hacer el desmoldeo, obteniendo así la última pieza de la carrocería.

---

<sup>99</sup> Ibid., p 58.



*Figura 80. Pieza parte trasera de la carrocería<sup>100</sup>*

El peso final de la parte trasera fue de 10 Kg para un peso total de la carrocería de 27 Kg.

### **7.7 ADECUACIÓN DE PIEZAS PARA ANCLAJE AL CHASIS**

Teniendo ya las 4 piezas de la carrocería, era necesario hacerles una serie de ajustes para poder ser ancladas al chasis del vehículo tal como la unión entre ellas, cortes para ejes de suspensión, y anclajes a chasis.

En primer lugar se sobrepuso la parte delantera sobre el chasis para así tomar las medidas para los cortes de los ejes de la suspensión como se muestra en la figura 81.

---

<sup>100</sup> Ibid., p 58.



*Figura 81. Cortes para ejes de suspensión en pieza delantera<sup>101</sup>*

Luego se hizo el mismo procedimiento para los ejes de la suspensión de la parte trasera.

---

<sup>101</sup> Ibid., p 58.



*Figura 82. Cortes para ejes de suspensión en pieza trasera<sup>102</sup>*

Seguido a esto, se unieron todos los moldes para dejar en una sola pieza la parte delantera con los pontones como se muestra en la figura 83.

---

<sup>102</sup> Ibid., p 58.



*Figura 83. Unión de moldes<sup>103</sup>*

Teniendo los moldes unidos, se reubicaron las piezas finales sobre los moldes para hacer unión entre la pieza delantera con los pontones con fibra de vidrio, realizando el mismo procedimiento de laminación anteriormente explicado para luego desmoldar como se muestra en la figura 84.

---

<sup>103</sup> Ibid., p 58.



*Figura 84. Unión de pieza delantera con pontones<sup>104</sup>*

La pieza trasera se dejó como pieza aparte debido a que las baterías del vehículo se encontraban en ese lugar y debía tener una fácil remoción para cualquier ajuste que éstas pudiesen requerir.

Seguido a esto se superpusieron las piezas finales sobre el chasis para hacer el respectivo anclaje a éste como se muestra en la figura 85.

---

<sup>104</sup> Ibid., p 58.



*Figura 85. Piezas finales sobre chasis<sup>105</sup>*

Las piezas fueron ancladas al chasis por medio de pernos y tuercas unidas a unas platinas que el equipo de chasis ya había diseñado y dispuesto para estos anclajes.

## **7.8 PINTURA DE LA CARROCERÍA**

El proceso de pintura de la carrocería estuvo a cargo de una persona con los conocimientos necesarios para dar un acabado final de pintura a las piezas. Las figuras a continuación muestran algunos de los pasos realizados para pintar el vehículo.

---

<sup>105</sup> Ibid., p 58.



*Figura 86. Base de pintura de la carrocería<sup>106</sup>*



*Figura 87. Pintura carrocería<sup>107</sup>*

---

<sup>106</sup> Ibid., p 58.

<sup>107</sup> Ibid., p 58.



*Figura 88. Pintura carrocería<sup>108</sup>*



*Figura 89. Proceso de pintura de la parte trasera de la carrocería<sup>109</sup>*

---

<sup>108</sup> Ibid., p 58.

<sup>109</sup> Ibid., p 58.



*Figura 90. Ajustes finales de pintura de la parte trasera de la carrocería<sup>110</sup>*

Luego de haber pintado la carrocería, se le colocaron calcomanías de publicidad de empresas debido a que la gran mayoría de materiales fueron provistos como patrocinios de varias de ella con el fin de tener publicidad durante el proyecto quedando finalmente el carro como se muestra en la figura 91.

---

<sup>110</sup> Ibid., p 58.





*Figura 92. Vehículo en Competencia<sup>112</sup>*

---

<sup>112</sup> Ibid., p 58.

## 8. EVALUACIÓN DEL PROCESO

Debido a que la evolución en el diseño y fabricación de carrocerías y otros elementos en materiales compuestos es un proceso continuo, es de gran relevancia el análisis de posibles mejoras que permitan seguir avanzando y generando ideas para permitir progreso en este campo.

Es por esto que existen áreas de trabajo que pueden explotarse con el fin de mejorar significativamente la eficiencia, tanto en la fabricación, como en el producto final.

Para el proceso inicial de diseño y selección de carrocería, se cree que fue bastante importante el hecho de tener no sólo uno sino varias opciones disponibles para ser estudiadas y así poder seleccionar la que más se adecuara a las necesidades de la escudería, siendo importante recalcar que el diseño se realizó sobre la base del chasis que ya había sido diseñado por el equipo a cargo antes de ser diseñada la carrocería. En este caso se considera hacer un reajuste en la acomodación de las baterías para que así se logre disminuir el ancho de la carrocería y poder hacer un reajuste en la misma. La Carrocería y el chasis deben ser equipos que trabajen alineadamente en el proceso de diseño ya que se permitirían ajuste de las dos partes.

Para el caso del proceso de fabricación se obtuvo el final deseado, aunque cabe anotar que existen muchas mejoras que se pueden realizar teniendo los recursos necesarios para su cumplimiento. Estas mejoras pueden ser realizadas primeramente en los moldes, ya que debido a los procesos artesanales bajo los cuales se elaboraron, fueron susceptibles a presentar fallas con respecto al modelo computacional, esto podría ser solucionado con métodos de producción más eficientes y precisos como el modelado en maquinaria CNC de corte, en donde materiales como el poliuretano pueden ser esculpidos con velocidad y con mucha más precisión. En segundo lugar se pueden tener en cuenta que los materiales usados pueden ser reemplazados por materiales más resistentes y livianos, siempre y cuando el factor económico y el factor de tiempo no representen un elemento tan crítico, esta modificación en los materiales, también podría estar acompañada por una modificación en los procesos de manufactura al cual se le podría agregar un proceso de vacío al final para así poder tener un mejor acabado y no tener excesos de resina en la pieza.

Estos cambios, además, conllevarían a una disminución importante en el peso de la carrocería que es uno de los objetivos primordiales en un automóvil de competición e implicarían incluso un incremento en la resistencia mecánica de la misma, dando así un importante salto hacia adelante en el diseño y la fabricación de una carrocería de este tipo.

Otro proceso que resultaría beneficioso para la producción de la carrocería es la impresión 3d, aunque en principio sería para partes pequeñas como sujeciones, lo que aumentaría en gran medida la velocidad de fabricación, esto dejaría la puerta abierta en el futuro a impresiones de gran formato que permitan fabricar piezas de mayor tamaño y así prescindir de algunos procesos que impliquen costos o tiempos de fabricación mayores.

## 9. CONCLUSIONES

Se realizó un proceso de diseño industrial y fabricación de la carrocería para el vehículo de la escudería DCM de la competencia Fórmula Sena eco 2013 en el que se logró unir competencias académicas y técnicas entre estudiantes de la Fundación Universitaria Los Libertadores y el SENA para así poder obtener el resultado final que terminó en un segundo puesto en la competencia en pista.

El uso de materiales compuestos en construcción de vehículos tipo fórmula hacen que, como se evidenció en el proceso de construcción, las piezas fabricadas sean de bajo peso como para este caso en el que la pieza obtuvo un peso total de 27 Kg y de esta manera se logró reducir el peso presupuestado por el director técnico de la escudería que era de 38 Kg.

Se evidenció que el método de impregnación manual, siendo uno de los más económicos en el mercado se podría combinar con otras técnicas como lo es el proceso de vacío para obtener una pieza final con mejores acabados superficiales.

Hay una gran cantidad de materiales y procesos que podrían ser utilizados a la hora de llevar a cabo proyectos de este tipo pero su uso dependerá de los recursos con los que se cuente a la hora del desarrollo tales como presupuesto, infraestructura, personal, tiempo, equipos y herramientas entre otros.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

[1] ASHBY, Michael F. Materiales para ingeniería 1. Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño Cap 1. España. Reverté. 2008., p. 12

[2] CENTRO DE DOCUMENTACIÓN DE ESTUDIO Y OPOSICIONES, Mantenimiento de vehículos [en línea].

[3] SMITH, William F. y HASHEMI, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales.4 ed. México. McGraw Hill. 2004.

[4]STUPENENGO, Marco. Materiales y materias primas. Cap 10. Argentina. Saavedra. 2011.

[5] F1 Technical Regulation 2010. Fédération Internationale de l'Automobile (FIA)

[6] Manual para uso de fibras. [en línea]. <<http://www.optimistportugal.org/>>

[7] BESEDNJAK, Alejandro. Materiales compuestos y procesos de fabricación. 1 ed. Barcelona. Edicions UPC. 2005

[8] Diseño industrial y desarrollo del producto. [en línea]. <[http://www.camarasaragon.com/innovacion/docs/0405\\_HerramientasDisenoIndustrial.pdf](http://www.camarasaragon.com/innovacion/docs/0405_HerramientasDisenoIndustrial.pdf)>

ANEXO 1  
F1 TECHNICAL REGULATION 2010. FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE  
L'AUTOMOBILE (FIA), P. 53-54

## ARTICLE 15 : CAR CONSTRUCTION

### 15.1 Permitted materials :

15.1.1 The following is the list of permitted materials. These are the only materials permitted to be used in the construction of the Formula One Car provided only that in all cases the material is available on a non-exclusive basis and under normal commercial terms to all competitors.

#### Permitted materials :

- 1) Aluminium alloys.
- 2) Silicon carbide particulate reinforced aluminium alloy matrix composites.
- 3) Steel alloys.
- 4) Cobalt alloys.
- 5) Copper alloys containing  $\leq 2.5\%$  by weight of Beryllium.
- 6) Titanium alloys (but not for use in fasteners with  $<15\text{mm}$  diameter male thread).
- 7) Magnesium alloys.
- 8) Nickel based alloys containing  $50\% < \text{Ni} < 69\%$ .
- 9) Tungsten alloy.
- 10) Thermoplastics : monolithic, particulate filled, short fibre reinforced.
- 11) Thermosets : monolithic, particulate filled, short fibre reinforced.
- 12) Carbon fibres manufactured from polyacrylonitrile (PAN) precursor. (\*)
- 13) Carbon fibres manufactured from polyacrylonitrile (PAN) precursor which have :
  - A tensile modulus  $\leq 550\text{GPa}$ .
  - A density  $\leq 1.92\text{g/cm}^3$ .
  - Unidirectional or planar reinforcement within their pre-impregnated form, not including three dimensional weaves or stitched fabrics (but three dimensional preforms and fibre reinforcement using Z-pinning technology are permitted).
  - No carbon nanotubes incorporated within the fibre or its matrix.
  - A permitted matrix, not including a carbon matrix.
- 14) Aramid fibres.
- 15) Poly(p-phenylene benzobisoxazole) fibres (e.g. "Zylon").
- 16) Polyethylene fibres.
- 17) Polypropylene fibres.
- 18) E and S Glass fibres.
- 19) Sandwich panel cores: Aluminium, Nomex, polymer foams, syntactic foams, balsa wood, carbon foam.
- 20) The matrix system utilised in all pre-impregnated materials must be epoxy, cyanate ester, phenolic, bismaleimide, polyurethane, polyester or polyimide based. (\*)
- 21) The matrix system utilised in all pre-impregnated materials must be epoxy, cyanate ester or bismaleimide based.
- 22) Monolithic ceramics.

[Materials marked (\*) are permitted only for parts classified as either front, rear or side impact structures, side intrusion panels or suspension members as regulated by Articles 15.4.3, 15.5.3, 15.4.6, 15.4.7 and 10.3 of the Technical Regulations respectively.]

**Exceptions :**

- 1) All electrical components (e.g. control boxes, wiring looms, sensors).
  - 2) All seals & rubbers (e.g. rubber boots, o-rings, gaskets, any fluid seals, bump rubbers).
  - 3) Fluids (e.g. water, oils).
  - 4) Tyres.
  - 5) Coatings and platings (e.g. DLC, nitriding, chroming).
  - 6) Paint.
  - 7) Adhesives.
  - 8) Thermal insulation (e.g. felts, gold tape, heat shields).
  - 9) All currently regulated materials (e.g. fuel bladder, headrest, extinguishant, padding, skid block).
  - 10) Brake and clutch friction materials.
  - 11) All parts of engines homologated according to Appendix 4 of the Sporting Regulations.
- 15.1.2 No parts of the car may be made from metallic materials which have a specific modulus of elasticity greater than  $40\text{GPa} / (\text{g}/\text{cm}^3)$ . Tests to establish conformity will be carried out in accordance with FIA Test Procedure 03/02, a copy of which may be found in the Appendix to these regulations.

ANEXO 2  
POLIOL E ISOCIANATO

|                   |                      |                                                                                     |
|-------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Código: ET-001-PR | <b>FICHA TECNICA</b> |  |
| Versión: 00       |                      |                                                                                     |
| Página 106 de 109 |                      |                                                                                     |

FECHA DE REVISION: MARZO 01 /11

## POLIOL 704/R / ISOCIANATO P.I.

### DESCRIPCION

El **POLIOL 704/R** Formulado está diseñado para la producción por el proceso de inyección, de piezas moldeadas, con densidades aplicadas de 700 – 900 Kg/m<sup>3</sup>. La reacción del **POLIOL 704/R.** formulado y el **ISOCIANATO P.I.** nos ayudará a producir piezas como coderas y algunas otras piezas para la Industria del mueble y automotriz.

### PROPIEDADES TIPICAS

|                           |          | POLIOL<br>704 /R | ISOCIANATO P.I. |
|---------------------------|----------|------------------|-----------------|
| Número de OH              | mg KOH/g | 164-176          | ----            |
| Contenido de NCO          | %        | ----             | 28-30           |
| Temperatura de Almacenaje | ° C      | 15-25            | 25-35           |
| Viscosidad (cps) @ 25°C   |          | 550              | 130             |
| Estabilidad (1)           | Meses    | 6                | 6               |

(1) Almacenado en los tambores originales sellados y en un lugar seco a la temperatura recomendada.

### RELACION DE TRABAJO RECOMENDADA

partes por peso

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Poliol 704 / R  | 100     |
| Isocianato P.I. | 50 - 55 |

## **CARACTERISTICAS DE LA REACCION**

(Temperatura de los componentes 20 °C)

Los valores aquí especificados pueden variar según las condiciones de proceso.

|                   |                   | <b>Espumado a mano</b> |
|-------------------|-------------------|------------------------|
| Tiempo de crema   | Seg               | 32-39                  |
| Tiempo de Gel     | Seg               | 50-55                  |
| Tiempo de Tacto   | Seg               | 55-65                  |
| Densidad libre de | Kg/m <sup>3</sup> | 700-900                |

## **CONDICIONES DE PROCESAMIENTO**

|                            |     |       |
|----------------------------|-----|-------|
| Temperatura de Componentes | °C  | 20-25 |
| Temperatura de Moldes      | °C  | 45-55 |
| Tiempo de Desmoldeo        | Min | 3-4   |

ANEXO 3  
RESINA EPOXICA 6090A – ENDURECEDOR 1956B

ANEXO 4  
AMTS STANDARD WORKSHOP PRACTICE WET LAY-UPS